



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE PAPEL A  
PARTIR DE LA CELULOSA EXTRAÍDA DEL OLOTE DE MAÍZ  
(*Zea mays L. var. Ceratina*).”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR:** JUAN ENRIQUE VALDIVIESO VALDIVIESO

**DIRECTOR:** ING. MARCO RAÚL CHUIZA ROJAS

Riobamba – Ecuador

2020

**©2020, Juan Enrique Valdivieso Valdivieso**

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, JUAN ENRIQUE VALDIVIESO VALDIVIESO, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora 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, 15 de enero 2020.



**Juan Enrique Valdivieso Valdivieso**

**CI: 060503460-2**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE LA CELULOSA EXTRAÍDA DEL OLOTE DE MAÍZ (*Zea mays L. var. Ceratina*)** de responsabilidad del señor Juan Enrique Valdivieso Valdivieso, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Bolívar Edmundo Flores Humanante <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 .....	2020/01/15
Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 .....	2020/01/15
Ing. Karina Gabriela Salazar LLangari <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 .....	2020/01/15

## **DEDICATORIA**

A la mayor gloria de Dios y de la Virgen María por la sabiduría recibida para desarrollar el presente trabajo de titulación.

A mi familia que ha sido un pilar fundamental para culminar mi carrera universitaria y fomentar los valores necesarios para ser una persona de bien.

A mi movimiento católico Lazos de amor Mariano quien me han motivo a dedicar mi juventud al servicio de Dios y de los demás.

A mis amigos que me han acompañado en el trayecto universitario y me han brindado su apoyo, conocimiento y cariño.

**Juan**

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
1.1 Identificación del problema.....	2
1.2 Justificación del Proyecto.....	3
1.3 Línea base del proyecto.....	4
1.3.1 <i>Diagnóstico</i> .....	4
1.3.2 <i>Propuesta de cambio</i> .....	4
1.3.3 <i>Variables de logro</i> .....	4
1.3.4 <i>Beneficiarios directos e indirectos</i> .....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 <i>Objetivo General</i> .....	5
1.4.2 <i>Objetivo Específico</i> .....	5
1.5 Localización del Proyecto.....	6
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>7</b>
2.1 Maíz.....	7
2.2 Olote.....	7
2.2.1 <i>Celulosa</i> .....	8
2.2.1.1 <i>Clasificación de la celulosa</i> .....	9
2.2.2 <i>Propiedades biométricas</i> .....	10

2.2.3	<i>Papel</i> .....	10
2.2.3.1	<i>Fuentes principales del Papel</i> .....	11
2.2.3.2	<i>Fuentes alternativas para la elaboración del papel</i> .....	11
<b>2.2.4</b>	<b><i>Proceso de obtención de pulpa</i></b> .....	<b>12</b>
2.2.4.1	<i>Proceso químico</i> .....	12
2.2.4.2	<i>Proceso mecánico</i> .....	12
2.2.4.3	<i>Proceso semi-químico</i> .....	13
2.2.4.4	<i>Proceso de fibra reciclada</i> .....	13
2.2.4.5	<i>Proceso con pasta no maderable</i> .....	13
<b>2.2.5</b>	<b><i>Proceso de elaboración del Papel</i></b> .....	<b>13</b>
2.2.5.1	<i>Preparación de la materia prima</i> .....	13
2.2.5.2	<i>Despulpado</i> .....	14
2.2.5.3	<i>Lavado de la pulpa</i> .....	14
2.2.5.4	<i>Blanqueado</i> .....	14
2.2.5.5	<i>Formación de la hoja</i> .....	14
2.2.5.6	<i>Prensado y secado</i> .....	15
<b>2.2.6</b>	<b><i>Evaluación de la calidad del papel</i></b> .....	<b>15</b>
2.2.6.1	<i>Gramaje</i> .....	15
2.2.6.2	<i>Resistencia al Rasgado</i> .....	15
2.2.6.3	<i>Resistencia a la explosión Muellen</i> .....	16
2.2.6.4	<i>Índice de Longitud de ruptura</i> .....	16
<b>2.3</b>	<b>Tipo de estudio</b> .....	<b>16</b>
2.3.1	<i>Métodos</i> .....	16
<b>CAPÍTULO III</b>		
<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Técnicas</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Procedimiento a nivel de laboratorio</b> .....	<b>27</b>
3.2.1	<i>Caracterización química del olote de maíz</i> .....	27
3.2.2	<i>Propiedades biométricas del olote de maíz</i> .....	27

<b>3.2.3</b>	<b><i>Identificación de variables de proceso</i></b> .....	<b>29</b>
3.2.3.1	<i>Recepción y lavado de la materia prima</i> .....	29
3.2.3.2	<i>Troceado de la materia prima</i> .....	30
3.2.3.3	<i>Secado de la materia prima</i> .....	31
3.2.3.4	<i>Molienda y tamizado</i> .....	36
3.2.3.5	<i>Pulpeado en Sosa Caústica</i> .....	37
3.2.3.6	<i>Filtración del licor negro</i> .....	39
3.2.3.7	<i>Lavado de la pulpa</i> .....	39
3.2.3.8	<i>Blanqueado</i> .....	40
3.2.3.9	<i>Elaboración de mezcla</i> .....	41
3.2.3.10	<i>Formación de la hoja</i> .....	42
3.2.3.11	<i>Secado de la hoja</i> .....	43
<b>3.2.4</b>	<b><i>Diagrama del proceso</i></b> .....	<b>45</b>
<b>3.2.5</b>	<b><i>Diseño de ingeniería para la obtención de papel</i></b> .....	<b>46</b>
3.2.5.1	Balance de masa y energía .....	46
3.2.5.1.1	<i>Balance de masa</i> .....	46
3.2.5.1.2	<i>Balance de energía</i> .....	59
3.2.5.2	Diseño de Equipos .....	65
<b>3.3.4</b>	<b><i>Recursos Totales</i></b> .....	<b>99</b>

## **CAPÍTULO IV**

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>100</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterización del olote de maíz</b> .....	<b>100</b>
<b>4.2</b>	<b>Microscopia Electrónica de Barrido SEM</b> .....	<b>101</b>
<b>4.3</b>	<b>Caracterización de la pulpa para papel</b> .....	<b>102</b>
<b>4.4</b>	<b>Número de kappa en la pulpa de olote</b> .....	<b>104</b>
<b>4.5</b>	<b>Lignina en la pulpa de olote</b> .....	<b>105</b>
<b>4.6</b>	<b>Soda residual en el Licor Negro</b> .....	<b>105</b>
<b>4.7</b>	<b>Rendimiento de la pulpa</b> .....	<b>106</b>
<b>4.8</b>	<b>Blancura de la lámina de papel</b> .....	<b>107</b>

<b>4.9</b>	<b>Variables de calidad de las láminas de papel.....</b>	<b>110</b>
<b>4.10</b>	<b>Resultados diseño del proceso.....</b>	<b>112</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>114</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>115</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Comparación de la composición química del olote (%).....	8
<b>Tabla 2-2:</b> Análisis mineralógico de residuales del olote de maíz.....	8
<b>Tabla 3-2:</b> Tipo de gramaje y propiedades biométricas del olote .....	15
<b>Tabla 1-3:</b> Determinación de humedad.....	19
<b>Tabla 2-3:</b> Determinación de cenizas.....	20
<b>Tabla 3-3:</b> Molienda.....	21
<b>Tabla 4-3:</b> Determinación de pH.....	22
<b>Tabla 5-3:</b> Determinación de celulosa .....	23
<b>Tabla 6-3:</b> Determinación de lignina .....	25
<b>Tabla 7-3:</b> Determinación de consistencia de la pulpa.....	26
<b>Tabla 8-3:</b> Normas aplicadas para la caracterización.....	27
<b>Tabla 9-3:</b> Datos de las propiedades biométricas.....	27
<b>Tabla 10-3:</b> Datos del proceso de lavado .....	29
<b>Tabla 11-3:</b> Datos para el cálculo del porcentaje de .....	30
<b>Tabla 12-3:</b> Datos para el cálculo de humedad de la materia prima .....	32
<b>Tabla 13-3:</b> Datos el balance de energía de la Estufa de secado.....	32
<b>Tabla 14-3:</b> Datos adicionales balance de.....	33
<b>Tabla 15-3:</b> Datos para el cálculo del rendimiento de la operación de tamizado.....	37
<b>Tabla 16-3:</b> Datos experimentales para el tamizado .....	37
<b>Tabla 17-3:</b> Datos para el cálculo de rendimiento del proceso de pulpeado.....	38
<b>Tabla 18-3:</b> Datos para el cálculo de rendimiento del proceso de pulpeado.....	38
<b>Tabla 19-3:</b> Datos para la determinación de soda residual .....	39
<b>Tabla 20-3:</b> Datos del proceso de lavado de la pulpa.....	40
<b>Tabla 21-3:</b> Datos del proceso de blanqueado de pulpa.....	41
<b>Tabla 22-3:</b> Datos para la preparación de la mezcla .....	41
<b>Tabla 23-3:</b> Datos para la determinación de consistencia de pulpa .....	42
<b>Tabla 24-3:</b> Datos del proceso de formación de la hoja.....	43
<b>Tabla 25-3:</b> Datos del proceso de formación de la hoja.....	43
<b>Tabla 26-3:</b> Datos del producto final .....	44
<b>Tabla 27-3:</b> Dimensiones de la mesa de selección y.....	65
<b>Tabla 28-3:</b> Dimensiones para la capacidad de la mesa.....	66
<b>Tabla 29-3:</b> Dimensiones para la capacidad de la picadora .....	67
<b>Tabla 30-3:</b> Dimensiones para la capacidad de la picadora .....	70
<b>Tabla 31-3:</b> Fuerza de corte de la cuchilla .....	71
<b>Tabla 32-3:</b> Valores factor (f) y velocidad tangencial .....	81

<b>Tabla 33-3:</b> Fórmulas para diseño del agitador.....	93
<b>Tabla 34-3:</b> Costo Insumos .....	98
<b>Tabla 35-3:</b> Costo Insumos .....	98
<b>Tabla 36-3:</b> Maquinarias y Equipos .....	99
<b>Tabla 37-3:</b> Recursos Totales.....	99
<b>Tabla 1-4:</b> Resultados de la caracterización.....	100
<b>Tabla 2-4:</b> Propiedades biométricas del olote de maíz.....	101
<b>Tabla 3-4:</b> Índices de calidad de la materia prima .....	101
<b>Tabla 4-4:</b> Wavernumber vs. %T.....	104
<b>Tabla 5-4:</b> Resultados del Número de.....	104
<b>Tabla 6-4:</b> Resultados del porcentaje de lignina y alfacelulosa presente en la pulpa. ....	105
<b>Tabla 7-4:</b> Resultados de la soda residual presentes en el licor negro. ....	106
<b>Tabla 8-4:</b> Resultados del rendimiento .....	106
<b>Tabla 9-4:</b> Resultados blancura de láminas de papel .....	107
<b>Tabla 10-4:</b> Valores para el diagrama de cromaticidad .....	110
<b>Tabla 11-4:</b> Resultados variables de calidad del papel .....	111
<b>Tabla 12-4:</b> Resultados diseño del proceso.....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Macro Localización del proyecto.....	6
<b>Figura 2-1:</b> Micro Localización del proyecto .....	6
<b>Figura 1-2:</b> Olote de maíz .....	7
<b>Figura 2-2:</b> Estructura de la celulosa .....	9
<b>Figura 1-3:</b> Recepción de la materia prima.....	29
<b>Figura 2-3:</b> Troceado de la materia prima .....	31
<b>Figura 3-3:</b> Secado materia prima.....	31
<b>Figura 4-3:</b> Molienda materia prima.....	36
<b>Figura 5-3:</b> Pulpeado en sosa caústica .....	38
<b>Figura 6-3:</b> Filtrado del licor negro.....	39
<b>Figura 7-3:</b> Filtrado del licor negro.....	40
<b>Figura 8-3:</b> Blanqueado de la pulpa.....	40
<b>Figura 9-3:</b> Elaboración de mezcla .....	41
<b>Figura 10-3:</b> Formación de hoja.....	43
<b>Figura 11-3:</b> Secado de hoja .....	44
<b>Figura 12-3:</b> Diagrama del proceso para la fabricación de papel .....	45
<b>Figura 13-3:</b> Grafico de $NpvsNRe$ para diferentes agitadores tipo turbina.....	96
<b>Figura 1-4:</b> SEM del olote de maíz .....	101
<b>Figura 2-4:</b> FTIR celulosa.....	103
<b>Figura 3-4:</b> FTIR pulpa de olote de maíz .....	103
<b>Figura 4-4:</b> Gráfica CIE XYZ del estándar papel bond.....	108
<b>Figura 5-4:</b> Gráfica CIE XYZ de las muestras de papel.....	109
<b>Figura 6-4:</b> Gráfica CIE XYZ de las muestras de papel .....	110

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Curva de secado del olote de maíz.....	33
<b>Gráfico 2-3:</b> Curva de la Humedad media vs. $1/W$ .....	35

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** TABLA DE PROPIEDADES DEL AGUA SATURADA
- ANEXO B:** PROPIEDADES BIOMÉTRICAS
- ANEXO C:** ANÁLISIS QUÍMICO DE LICOR NEGRO
- ANEXO D:** NORMA NTE INEN 1423:2013. DETERMINACIÓN DE BLANCURA
- ANEXO E:** NORMA NTE INEN-ISO 536:2013. DETERMINACIÓN DEL GRAMAJE
- ANEXO F:** NORMA NTE INEN-ISO1974:2013. RESISTENCIA AL RASGADO
- ANEXO G:** NORMA NTE INEN-ISO 1399:2013. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR
- ANEXO H:** NORMA TAPPI T 236 OM-99. NÚMERO DE KAPPA DE PULPA
- ANEXO I:** CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICO DEL OLOTE DE MAÍZ
- ANEXO J:** CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA PULPA DE OLOTE
- ANEXO K:** MUESTRAS DE PAPEL DEL TRATAMIENTO “M”
- ANEXO L:** MUESTRAS DE PAPEL DEL TRATAMIENTO “P”
- ANEXO M:** PRUEBAS DE CALIDAD DEL PAPEL
- ANEXO N:** DISEÑO DE EQUIPOS 1
- ANEXO O:** DISEÑO DE EQUIPOS 2
- ANEXO P:** DISEÑO DE EQUIPOS 3
- ANEXO Q:** DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

## RESUMEN

Se diseñó un proceso para la elaboración de papel a partir de la celulosa extraída del olote de maíz (*Zea mays L. var. Ceratina*). Para ello el olote fue sometido a un proceso de molienda y tamizado, donde se obtuvo un material particulado con diámetro de luz de malla de 210  $\mu\text{m}$  que facilitó la extracción de la pulpa celulósica a diferentes proporciones de hidróxido de sodio por cada 100 g de materia prima (1:5, 3:10, 2:5). Las condiciones del pulpeado se efectuaron a 95 grados Celsius con variación de tiempo de 2h, 3h, y 4h, la pulpa obtenida se sometió a un proceso de blanqueado con hipoclorito de sodio a 45 grados Celsius por 0,75 h hasta conseguir el color característico del papel bond. Las láminas de papel secadas en ausencia de luz a temperatura ambiente fueron caracterizadas dando como resultado un gramaje 1,63 g/metros cuadrados, el índice de ruptura de 189 kgf, un calibre de 0,152 mm, y el índice de blancura con una variación de reflectancia de 13,61% en relación al estándar. El proceso de pulpeado más óptimo dio un rendimiento de 44,73% y un número de kappa de 32,88 al trabajar con una proporción 3:10 de NaOH (hidróxido de sodio) durante 3 horas a 95 grados Celsius.

**Palabras clave:** <OLOTE DE MAÍZ>, <MAÍZ (*Zea mays L. var. Ceratina*)>, <CELULOSA>, <SOSA CAÚSTICA>, <PULPEADO>, <BLANQUEADO>, <NÚMERO DE KAPPA>, <GRAMAJE>, <ÍNDICE DE RUPTURA>, <RENDIMIENTO>

REVISADO

06 FEB 2020

Ing. Jhonatan Parreño Ugullas, MBA  
ANALISTA DE BIBLIOTECA



## ABSTRACT

A paper- making process was designed from cellulose extracted from corn cob(*Zea mays L. var. Ceratin*). For this, the cob was subjected to a process of grinding and sieving, where a particulate material with a mesh light diameter of 210 um was obtained that facilitated the extraction of cellulosic pulp at different proportions of sodium hydroxide per 100 g of raw material (1:5, 3:10, 2:5). The pulping conditions were performed at 95 degrees Celsius with time variation of 2h, 3h, and 4h, the pulp obtained underwent a bleaching process with sodium hypochlorite at 45 degrees Celsius by 0,75 h until the characteristic color of bond paper was achieved. The sheets of paper dried in the absence of light at room temperature were characterized resulting in a weight of 1,63g/square meters, the breakout rate of 189 kgf, a gauge of 0,152 mm, and the whiteness index with a reflectance variation of 13,61% relative to the standard. The most optimal pulping process gave a yield of 44,73% and a kappa number of 32,88 when working with a 3:10 ratio of NaOH (sodium hydroxide) for 3 hours at 95 degrees Celsius.

**Keywords:** <CORN COB>, <CORN (Zea Mays L. Var. Ceratina)>, <CELLULOSE>,<CAUSTIC SOSA>, <PULPEED>, <BLEACHED>, <KAPPA NUMBER>, <GRAMMAGE>, <RUPTURE INDEX>, <PERFORMANCE>



## INTRODUCCIÓN

Ecuador en el 2019 empleó 543 millones de dólares en importaciones de pulpa y papel así lo asegura NOSIS TRADE (2019) debido a la carencia de industrias que transformen la madera en pulpa destinada a la fabricación de papel. Esto representa una fuerte inversión por parte del estado, por lo que es necesario buscar procesos alternativos para producir pulpa de papel con una proyección accesible y eficiente. Los residuos originados de la actividad agrícola que no tienen una disposición final correcta trae como consecuencia la contaminación ambiental que afecta al entorno. El INEC en el Boletín Técnico N° 01-2018-ESPAC, menciona que a nivel nacional la superficie cosechada de maíz en el Ecuador fue de 365334 hectáreas, siendo un producto que genera abundantes desechos. El olote de maíz (*Zea mays. L*) es catalogado como desecho agrícola no maderable por su escasa aplicabilidad en la industria alimentaria o ganadera, por lo que múltiples investigaciones han hallado aspectos interesantes para la participación como sustrato microbiano, filtro para el tratamiento de aguas residuales, aprovechamiento de xilanasas presentes en su composición, entre otras. Este subproducto de origen agrícola generado en grandes cantidades en el proceso de separación del grano de la mazorca, se estima que por cada tonelada de maíz se obtienen 170 kg de olote (CIMMYT, 1995).

A través de una degradación hidrotérmica el olote presenta 45-50% de celulosa en su estructura, cifra que también afirma la investigación de Córdova et al. (2013). Por otra parte, olote al tener una considerable cantidad de celulosa en su estructura según Olivos et. al., (2012) hace de este material un elemento apto para la elaboración de láminas de papel. Hoy en día los materiales que no han alcanzado ningún valor económico después de una actividad agrícola son considerados como residuos, destinados a su desecho convencional, pero la investigación abre una puerta para que los residuos participen de un proceso industrial que le dote un valor agregado que cubra una necesidad social y sea amigable con el ambiente.

Por tanto, en esta investigación se propone someter al olote en un pulpeado en sosa caustica a diferentes concentraciones, bajo condiciones subcríticas, esto es, a temperaturas de 95 °C a presión atmosférica con la finalidad de obtener láminas de papel con apariencia al papel bond comercial a través de la extracción de una pulpa rica en celulosa. De esta manera se aprovecha un residuo que reemplace las fuentes maderables fuertemente atacadas por una opción más amigable con el ambiente.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1 Identificación del problema

El olote de maíz es un subproducto agrícola que se genera en grandes cantidades en el proceso de separación del grano de la mazorca, el cual ha sido esparcido a la intemperie y/o quemado por los agricultores, generando un problema de contaminación ambiental. La más común es la práctica tradicional de la quema agrícola a cielo abierto para eliminar los residuos del maíz, con la intención de evitar costos y subsistir. Esta quema es una fuente significativa de emisiones contaminantes al aire, de compuestos como el bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>), hidrocarburos (NMHC) y partículas menores a 10 micras (PM<sub>10</sub>); así lo informa el Instituto de investigación de la Universidad de California. Los efectos de la contaminación del aire son el olor y la falta de visibilidad, desde un punto de vista estético, y de seguridad. Además, problemas relacionados con la salud, producidos al respirar las partículas suspendidas y el humo. (Mocada & Quintero 2018, p.2)

Según los datos de INEC 2017, en Ecuador se produjeron cerca de 1,2 millones de toneladas de maíz en las más de 200 000 hectáreas sembradas en el país, la provincia de Los Ríos es la mayor productora de 566.043 Tm (Toneladas métricas) de maíz duro, Manabí 355.230 Tm, Guayas 315.390 Tm y Chimborazo junto a otras provincias productoras de maíz cosecha 199.443 Tm. La producción de biomasa residual que genera un cultivo de maíz de grano (cañas, hojas, chalas y olores), fluctúa entre 20 a 35 toneladas por hectárea. El estudio publicado por la revista *Agronomy Journal*, descubrió que la eliminación de residuos procedentes del maíz y del trigo repercutía de manera nefasta en la calidad del suelo y el entorno. La eliminación de más del 50% de los residuos agrícolas puede tener consecuencias negativas para la estructura del suelo: reducir la secuestro de carbono orgánico del suelo, aumentar la erosión del agua y reducir el ciclo de nutrientes y la producción de cultivos, especialmente en suelos inclinados y erosionables. (Clay et al. 2019)

Es por estos motivos que el siguiente proyecto tiene la finalidad de dar un valor agregado a los residuos que se generan en proceso de separación del grano de la mazorca de maíz para la producción de láminas de papel mediante un tratamiento químico.

## **1.2 Justificación del Proyecto**

Es conveniente aprovechar el olote de maíz para la producción de papel debido al alto contenido de celulosa 45%, lignina 15.8% y hemicelulosas 33.6% de las cuales el 94% es xilana, lo que hacen muy atractivo este residuo para el desarrollo de nuevos materiales de uso común (Córdova et al. 2013). Estas características químicas hacen del olote de maíz un material idóneo para la fabricación de papel, debido a que la celulosa un componente principal del papel.

En la actualidad los agricultores de la zona interandina han destinado el olote de maíz como alimento para rumiantes debido a la fibra que contiene nutrientes digestibles totales en la materia seca y que proporciona energía metabólica, otros optan por el abandono en la intemperie, y quema del material; estas actividades no representan un beneficio económico para el sector agrícola. Siendo necesario aprovechar los componentes del olote para obtener productos que satisfagan las necesidades de los habitantes. En la actualidad existen investigaciones que han aprovechado este residuo no maderable para obtención de colorantes por la presencia de cianina como el principal compuesto químico responsable del color, sustratos microbianos para la obtención de xilanasas, biocombustible a partir de biomasa lignocelulósica presente en el olote, biomasa, obtención de disoluciones de polietilenglicol y bases para la elaboración de plásticos biodegradables. Últimos estudios encuentran al olote de maíz como un material que puede absorber contaminantes presentes en aguas residuales.

El olote de maíz es un material multifuncional, por tal motivo la fabricación de láminas de papel se convertiría en un proyecto viable, debido a que el Ecuador en el año 2017 se produjo 1,2 millones de toneladas de maíz, así lo asegura el INEC. La adquisición del olote de maíz representaría un bajo costo económico por la abundancia en los sectores agrícolas y la facilidad de su localización. El aporte de un valor agregado a un desecho orgánico resulta una opción positiva, ya que de esta manera se realiza un reciclaje que beneficia al medio ambiente y a la población. En el Ecuador no existen empresas que exploten el olote de maíz, por lo que se convertiría en un proyecto innovador que genere papel de fuentes ajenas a los árboles que comúnmente han sido talados causando un daño al ecosistema.

### **1.3 Línea base del proyecto**

#### ***1.3.1 Diagnóstico***

El papel es un material empleado en varias actividades del ser humano, pero la industrialización de este material requirió la tala de grandes áreas de selvas y bosques. La producción de papel a partir de la madera supone un 88 % de la producción mundial de pasta (176 millones de toneladas) según lo ha manifestado la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO 1995; citado en Teschke et al. 2008).

La deforestación viene acompañada de graves consecuencias como el origen del efecto invernadero, alteraciones en el ciclo del agua causando erosión o inundaciones y la disminución de la biodiversidad permitiendo la extinción de especies animales y vegetales.

#### ***1.3.2 Propuesta de cambio***

Por tal motivo se presenta una alternativa que es amigable con el ecosistema como es el “Diseño de un proceso para la obtención de papel a partir de la celulosa extraída del olote de maíz (*Zea mays L. var. Ceratina*)”.

Aprovechando los desechos originados en el proceso de separación del grano de maíz del olote o tuza, dándole un valor agregado a este elemento que permitió la elaboración de papel.

#### ***1.3.3 Variables de logro***

El uso adecuado de bibliografía permitió escoger la metodología más adecuada para la elaboración de papel con características idóneas para su manipulación, además del origen de nuevas hipótesis para mejorar el proceso de este material que se podrían desarrollar a futuro.

#### ***1.3.4 Beneficiarios directos e indirectos***

**Beneficiarios directos:** El presente proyecto otorgará múltiples beneficios a los agricultores que tiene la tarea de sembrar y cosechar sus productos para luego comercializarlos en los mercados.

De esta forma se generaría un ingreso monetario al sector agrícola debido a la adquisición del olote; el mismo que carecía de valor económico y servía como alimento de animales o como materia destinada para la quema.

**Beneficiarios indirectos:** El sector educativo y laboral de la ciudad de Riobamba obtendría productos ecológicos de calidad elaborados a base de papel proveniente del olote de maíz como una nueva alternativa a bajo costo. El medio ambiente es otro beneficiario, debido a que el papel obtenido será de una fuente no maderable que contribuya a disminuir la tala indiscriminada de árboles, aplicando el concepto de reciclaje.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo General***

- Diseñar un proceso para la obtención de papel a partir de la celulosa extraída del olote de maíz (*Zea mays L. var. Ceratina*).

### ***1.4.2 Objetivo Específico***

- Obtener la celulosa del olote de maíz mediante un pulpeado en sosa caústica.
- Elaborar papel a partir del olote de maíz a escala de laboratorio.
- Establecer las variables del proceso para fabricar papel a nivel industrial usando datos obtenidos a nivel de laboratorio.
- Diseñar el proceso para la fabricación de papel mediante cálculos de ingeniería.
- Validar el diseño del proceso de fabricación de papel a través de la caracterización del producto final según normativa.

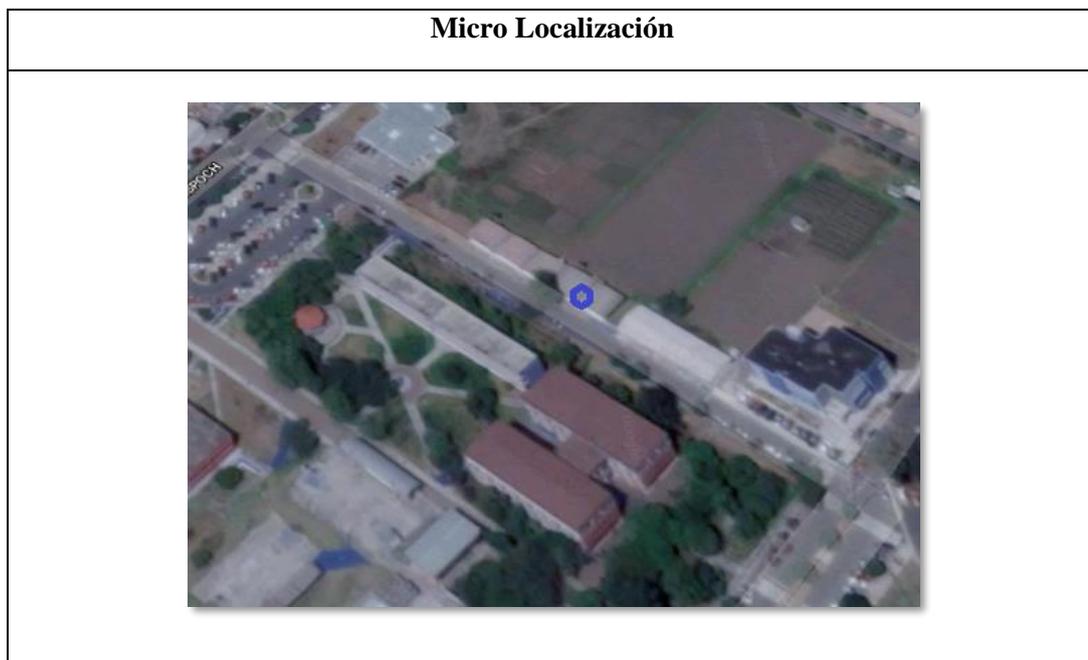
## 1.5 Localización del Proyecto

El proyecto de estudio se realizará en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Ubicada en la Panamericana Sur km 1/2.



**Figura 1-1: Macro Localización del proyecto**

Fuente: Google Maps



**Figura 2-1: Micro Localización del proyecto**

Fuente: Google Maps

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1 Maíz

El maíz, *Zea mays L.*, fue cultivado por la tribu Mafdeas con variaciones en su ciclo vegetativo según las variedades, de entre 80 a 140 días con producción anual. Requiere una superficie profunda con suficiente humedad y buen drenaje, está enriquecido con sustancias nutritivas asimilables. Además, existen variedades que requieren regadío mecánico o abastecido naturalmente por lluvias, las cuales aprovechan la humedad aportada a los terrenos luego de la crecida de los ríos. Los granos de maíz seleccionados, se siembran en tierra fértil previamente humedecida a profundidades entre 5 cm y 12 cm, tienen una gran habilidad germinativa y las plántulas brotan sobre el suelo en corto lapso de tiempo. En relación a la altitud el maíz se desarrolló sobre los 2000 msnm y las heladas que asesinan la planta en todas sus variedades, aunque algunas son resistentes. (Falabella et al. 2008)

El maíz (*Zea mays L. var. Ceratina*) posee granos que tienen el endospermo suave entre las otras variedades más populares que permiten una rápida digestión, su propiedad más considerable es la amilopectina contenida al 100 % en el almidón, esta especie se desarrolla en todo gran parte del continente Americano. (Agama et al. 2013)

#### 2.2 Olote



**Figura 1-2:** Olote de maíz

Fuente:(Olivo et al. 2012)

“El residuo del desgranado del maíz (*Zea mays L.*) se conoce como olote de maíz, un tejido esponjoso y blanco que representa la médula donde se almacenan las reservas alimenticias del

cereal” (Olivo et al. 2012). El olote del maíz se ubica en los recursos no maderables empleados para la alimentación de animales de granja con un bajo nivel nutricional, o destinado para la quema o esparcidos en la intemperie ocasionando contaminación en el ambiente. La caracterización química del olote de maíz en base seca permite observar que está formado por celulosa (45%), hemicelulosa (35%) y lignina (15%), de los cuales la hemicelulosa contiene en su composición 94% de xilanas, compuesto que es usado en la fabricación de fertilizantes nitrogenados. (Saha & Bothast 1999; citado en Olivo et al. 2012)

**Tabla 1-2:** Comparación de la composición química del olote (%)

Componentes (%)	Referencias			
	(Córdova et al., 2013)	(Garrote et al., 2007a)	(Rivas et al., 2004)	(Thompson, 1995)
Hemicelulosa	33,6	31,1	39,0	33,7-41,2
Celulosa	45-50	34,3	34,3	30,0-41,7
Lignina	15,8	18,8	14,4	4,5-15,9
Cenizas	2,0	No reporta	No reporta	No reporta

Fuente: Córdova, 2013. Caracterización y valoración química del olote.

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 2-2:** Análisis mineralógico de residuales del olote de maíz

Olote	N %	K mg/kg	P mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	Zn mg/kg	Fe mg/kg	Cu mg/kg	Na mg/kg	Mn mg/kg
	1,7	3654	55	2173	1096	35,48	52,1	1,81	1469	8,13

Fuente: Torres & Gaibor, 2015.

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

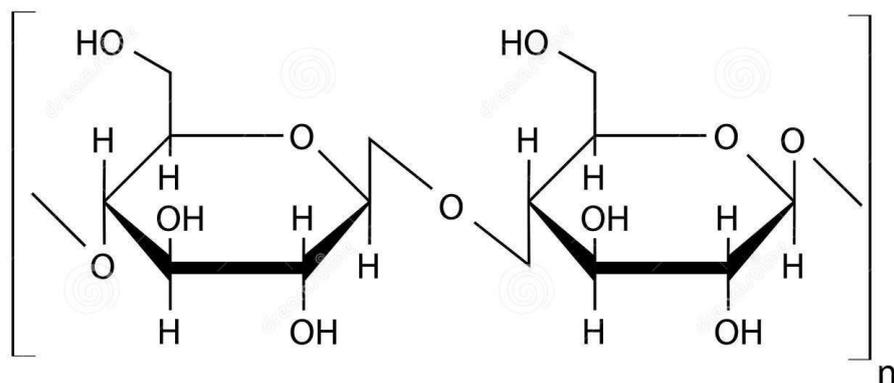
### 2.2.1 Celulosa

“La celulosa es un polímero natural que tiene como estructura base los enlaces 1,4-β glucosídicos. Tiene una estructura semicristalina que puede variar dependiendo del tipo de fuente de la cual es aislada” (Gardner et al. 2008; citado en Gañán et al. 2017, p.1).

La celulosa es una larga cadena polimérica con peso molecular variable cuya fórmula empírica es  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , con un valor mínimo de  $n=20$ , justamente el principal componente de las paredes celulares de los árboles maderables y otras plantas, es una fibra vegetal que al ser analizada con ayuda del microscopio es similar a un cabello humano, cuya longitud varía conforme el tipo de planta. Este componente posee una estructura fibrosa y lineal, en la cual se establecen varios puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de diferentes cadenas aproximadas de glucosa,

dándoles la característica de resistentes e insolubles al agua y en la mayor parte de los disolventes orgánicos (Paz 2008, p.12).

La celulosa es un compuesto altamente utilizado por el hombre en la industria de papel, siendo esta la que presenta mayor demanda. Las plantas que completan el proceso de fotosíntesis sintetizan billones de kilogramos de celulosa al año, haciendo de este compuesto una reserva de energía renovable que abunda en la naturaleza. El etanol como combustible es el resultado de la hidrólisis de la celulosa para la obtención de glucosa. Existen múltiples procesos para sintetizar la celulosa que lastimosamente su rentabilidad no es la más idónea, pero que los hongos y las bacterias producen enzimas capaces de degradar la celulosa, lo cual ha sido aprovechada por la industria papelera, alimenticia, detergentes, y textiles. La celulosa se encuentra en el pericarpio y en el germen junto con las hemicelulosas y la lignina de ciertos alimentos tales como el arroz, el maíz y el trigo (Castillo 2005, p. 403).



**Figura 2-2:** Estructura de la celulosa  
Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

### 2.2.1.1 Clasificación de la celulosa

- **Alfa celulosa:** es la porción que permanece sin disolver al someter la materia prima en una solución diluida de hidróxido de sodio, que es filtrada, lavada, secada y pesada. La determinación de este compuesto proporciona la calidad en la estructura del papel, e indica la cantidad de celulosa verdadera presente en la pulpa. (Loc s.f.; citado en Suárez 2016, p.8).
- **Hemicelulosa:** sustancia ubicada en la pared celular asociada con la celulosa, formada en su estructura interna por pentosas y hexosas distintas de la glucosa, enlazadas entre sí con un grado de polimerización de 100 a 200 (Ortuño 1999, p. 529). La hemicelulosa está constituida por beta y gama celulosa.

- **Beta celulosa:** es la sustancia que se precipita al acidular el filtrado que queda después de hacer la determinación de alfa celulosa.
- **Gama celulosa:** es la sustancia que queda disuelta en el filtrado sobrante de la determinación de beta celulosa. (Loc s.f.; citado en Suárez 2016, p.8).

### 2.2.2 *Propiedades biométricas*

Las propiedades biométricas permiten determinar si la materia que se está utilizando es apta o no para fabricar papel de calidad excelente, buena, regular o mala. Están en función de la longitud de la fibra, diámetro de la fibra, diámetro de lumen y el grosor de la pared celular (Hernández 2008; citado en Espinoza & León 2017). Con estas propiedades podemos hallar los siguientes parámetros:

- Coeficiente de rigidez: relación entre el grosor de la pared y el diámetro de la fibra, este parámetro sirve para determinar qué tan gruesa o delgada del papel.
- Coeficiente flexibilidad: relación entre el diámetro de lumen con el diámetro de la fibra, lo que permite analizar la unión entre las fibras y la resistencia a la doblez.
- Relación Runkel: relación entre el espesor de la fibra y el diámetro de lumen, permitiendo saber si la materia prima es apta para elaborar papel.
- Índice de Peteri: relación entre la longitud y diámetro de la fibra, permite determinar el índice de esbeltez.

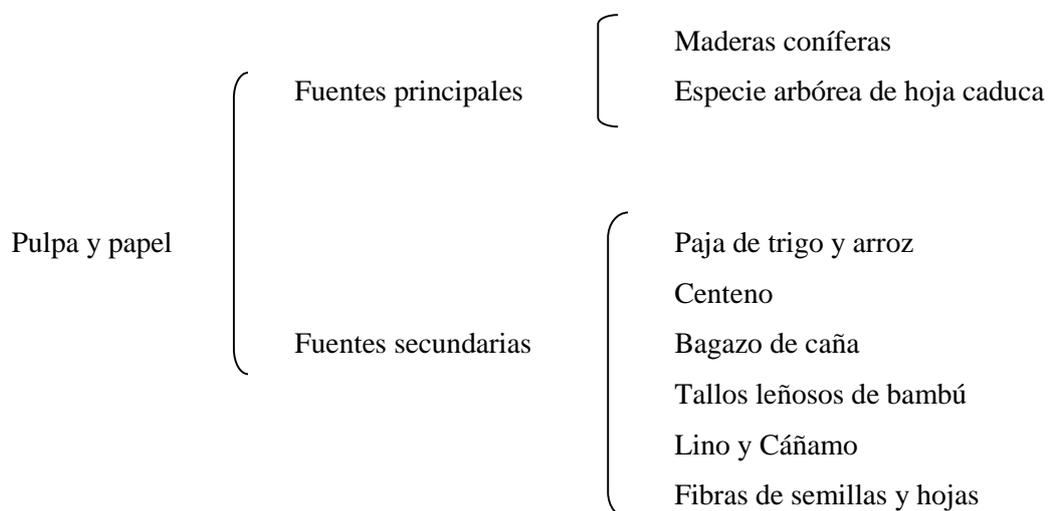
### 2.2.3 *Papel*

El papel es un material compuesto por una delgada lámina proveniente de la pulpa enriquecida de celulosa. El papel es el resultado del tratamiento de una pasta de fibras vegetales sometidas al proceso de pulverización y suspendidas en agua, en su mayoría son blanqueadas, y posteriormente secada a temperatura ideal y prensada, a la que normalmente se le adicionan sustancias como  $(C_3H_6)_n$  polipropileno o  $(C_2H_4)_n$  polietileno con el objetivo de proporcionar a la pulpa características específicas (Calameo 2017).

El papel se fabrica a partir de la celulosa obtenida de diferentes tipos de madera, caña de azúcar, trapo, desperdicios de papel, etc. El proceso de obtención de pulpa consiste en separar la lignina de la materia prima para la manipulación de la fibra de celulosa y transformarlas en una pasta ideal para la elaboración del papel, cartón, rayón y otra gama de gran variedad (Zubicaray 2005, p.173).

### 2.2.3.1 Fuentes principales del Papel

El entramado de las fibras de celulosas da origen a la pasta y al papel, unidas mediante puentes de hidrógeno.



El entramado de las fibras de celulosa da origen a la pasta y al papel, 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 (Teschke et al. 2008).

### 2.2.3.2 Fuentes alternativas para la elaboración del papel

El estudio realizado por González et al. (2016), revela que el vástago del plátano, la cáscara del tomate, cáscara de mango, tallos de rosa, clavel, maíz, y corteza de la yuca contienen en su estructura un alto contenido de celulosa, lo cual los convierte en materia prima ideal para la producción de papel, reemplazando la madera y mejorando la disposición final de los residuos originados en la manipulación de plantas y vegetales. A este análisis se suma la investigación abordada por Moya et al. (1992, p.46), manifiestan que el olote de maíz posee  $59,2 \pm 0,2\%$  de alfa celulosa y  $17,9 \pm 0,1\%$  de lignina, lo que convierte a este residuo en un candidato para la elaboración de pulpa y papel.

## **2.2.4 Proceso de obtención de pulpa**

### *2.2.4.1 Proceso químico*

La fabricación de pasta química comprende el proceso kraft, soda y sulfito que conlleva la cocción de materias primas utilizando soluciones químicas acuosas a temperatura y presión elevadas para extraer las fibras celulósicas de pulpa (Casey 1983; citado en Bajpai 2015, p. 15).

- **Proceso kraft**

El proceso de fabricación de pasta Kraft produce una variedad de pulpas empleadas para el embalaje, papeles y cartón de alta resistencia. Este proceso domina la industria debido a las ventajas en la recuperación química y la resistencia de la pulpa, representa el 91% de la pasta química y el 75% de toda la pulpa producida. El proceso de fabricación de pasta kraft maneja un licor de cocción alcalino de hidróxido de sodio y sulfuro de sodio para digerir la madera. Este licor de cocción es denominado licor blanco que se mezcla con las astillas de la materia prima en un digestor. Después de que las astillas de madera hayan sido cocinadas, el contenido de virutas se desintegra en pulpa, descargando a baja presión en un tanque de soplado. Se producen comúnmente varios grados de pulpa, entre ellos las pulpas sin blanquear se caracterizan por un color marrón oscuro usadas generalmente para envasar productos. Los grados de pulpa blanqueada se utilizan para producir papeles blancos con rendimientos muy bajos. (Annergren & Lundqvist 2008; citado en Bajpai 2015, p. 15).

- **Proceso de sulfito**

El pulpado con sulfito es una mezcla ácida de ácido sulfuroso e ión bisulfito que contiene una de las cuatro bases químicas: magnesio, amoníaco, sodio o calcio. Las pulpas de sulfito en comparación a las pulpas kraft poseen menor color en su apariencia y se pueden blanquear más fácilmente, pero no son tan fuertes. Las pulpas de sulfito se producen en varios grados, pero los grados blanqueados dominan la producción (Sixta 2006; citado en Bajpai 2015, p. 17). Los rendimientos están generalmente en el rango de 40 a 50%, pero tienden hacia el extremo inferior de este rango en grados blanqueados.

### *2.2.4.2 Proceso mecánico*

Las pulpas mecánicas se obtienen triturando la madera u otro material contra una piedra o entre placas metálicas dando lugar al ablandamiento de la lignina. La lignina que une la celulosa a la hemicelulosa no se disuelve, simplemente se ablanda, permitiendo que las fibras se asienten fuera de la estructura de la madera. La pulpa de madera triturada muestra propiedades favorables con

respecto al brillo, dispersión de luz y volumen, lo que permite la producción de papeles con gramajes bajos. (Teschke et al. 2008, p. 6).

#### *2.2.4.3 Proceso semi-químico*

El proceso semiquímico utiliza una combinación de energía química y mecánica para extraer las fibras de la pulpa. Las astillas de madera ingresan a un proceso de ablandamiento en un digestor con productos químicos, vapor y calor. Una vez que se ablandan las virutas, los métodos mecánicos completan el proceso de fabricación de pasta. Posterior a este proceso la pulpa se lava después de la digestión para eliminar los productos químicos del licor de cocción y los compuestos orgánicos disueltos de las astillas de madera. La parte química del proceso semi-químico y los pasos de lavado de la pulpa son muy similares a los procesos de kraft y sulfito. (Bajpai 2015, p. 18).

#### *2.2.4.4 Proceso de fibra reciclada*

El papel reciclado y debidamente seleccionado se ha convertido en una fuente cada vez más importante de fibra para la fabricación de papel. En la actualidad, casi el 50% de la materia prima de fibra para la fabricación de papel se basa en fibra reciclada, la cual es rehumedecida y se reduce a pulpa, principalmente por medios mecánicos. Las tintas, gomas, clips y otros contaminantes pueden eliminarse mediante destintado químico y separación mecánica (Bajpai 2015, p. 18).

#### *2.2.4.5 Proceso con pasta no maderable*

Las especies provenientes de fuentes no maderables normalmente se cocinan más fácilmente que las partículas de madera, este proceso se realiza en cocción con hidróxido de sodio, y la cantidad suele ser menor. Las especies no maderables normalmente contienen en su composición mayores cantidades de sílice que la madera. La sílice afecta negativamente en la calidad de la pulpa y del papel, además se dificulta la recuperación química. (Bajpai 2015, p. 20).

### **2.2.5 Proceso de elaboración del Papel**

#### *2.2.5.1 Preparación de la materia prima*

La preparación de materia prima es el primer paso para la fabricación de pasta celulósica, que incluye descortezado (cuando la madera se utiliza como materia prima), astillado, cribado de viruta, manejo y almacenamiento de viruta y otros procesos que dependen del tipo de materia prima que se esté utilizando (Biermann, 1996; citado en Bajpai, 2015, p. 14). Es necesario un tamaño de

viruta uniforme (típicamente 20 mm de largo en la dirección del grano y 4 mm de grosor) para la eficiencia de los procesos y para la calidad de la pulpa. La operación de tamizado es una recomendación de Vega et al. (2005) en las pruebas realizadas para la extracción de celulosa del olote, siendo necesario usar un tamaño de partícula situado entre un rango de 35 a 60 mallas para disminuir la cantidad de material insoluble.

#### *2.2.5.2 Despulpado*

El despulpado permite que las astillas de la materia prima se separen en fibras de celulosa individuales al eliminar la lignina de la pulpa, para esto se debe elegir el proceso óptimo dependiendo del tipo de papel que queramos obtener, entre ellos se encuentra el proceso kraft, proceso sulfito, proceso mecánico, proceso semi mecánico, y el proceso para fuentes no maderables.

#### *2.2.5.3 Lavado de la pulpa*

El propósito del lavado de la pulpa es obtener una pulpa libre de solubles no deseados, para obtener un papel con características de calidad. Esto se realiza reemplazando el licor contaminado (negro o blanco) que está mezclado a las fibras de pulpa por agua limpia, generalmente agua destilada por sus propiedades. En la industria moderna, las operaciones de lavado también incluyen el desplazamiento de un tipo de licor por otro tipo de licor (Krotscheck, 2006, p. 512).

#### *2.2.5.4 Blanqueado*

El blanqueado tiene por objetivo de refinar y aclarar la pulpa obtenida del despulpado, de tal forma que se disuelve o modifica la lignina oscura que no se eliminó en el proceso de elaboración de pasta. El resultado del blanqueado es el brillo de la pulpa para que se pueda utilizar en productos de papel de bond y papel de seda. Los blanqueadores más utilizados en la industria del papel son el cloro, oxígeno, ozono, peróxido de hidrógeno y agentes quelantes como el ácido etilén-diaminotetracético. (Teschke et al. 2008, p. 23).

#### *2.2.5.5 Formación de la hoja*

En la industria papelera se utiliza la caja de formación que es un equipo automatizado que recibe la pulpa de baja consistencia por ductos y las distribuye a presión en la malla de formación. Existe el método tradicional que manipula una formadora que consta de un marco 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 un poco hacia los lados para que de esa manera se repartan las fibras de manera uniforme (Antolin 2011; citado en Espinoza & León 2017, p. 22).

### 2.2.5.6 *Prensado y secado*

Las hojas de papel obtenidas del proceso anterior son sometidas a un prensado húmedo, en la industria se utiliza prensas de tornillo hidráulico, siendo el resultado un producto fácil de manipular y retirar sin riesgo de que se dañe. Las hojas prensadas proceden a secarse a temperatura ambiente cuando se realiza de forma tradicional, o en secadores de rodillo en la industria papelerera. (Antolin2011; citado en Espinoza & León 2017, p. 24)

## 2.2.6 *Evaluación de la calidad del papel*

### 2.2.6.1 *Gramaje*

Se llama gramaje al peso en gramos de un metro cuadrado de papel, (también se acostumbra llamarle peso base).

**Tabla 3-2:** Tipo de gramaje y propiedades biométricas del olote

<b>Tipo</b>	<b>Gramaje (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Propiedades Biométricas del olote</b>	<b>Dimensión (um)</b>
Papel	gramaje < 119		
Cartulina	120 < gramaje < 300	Diámetro de Lumen	4,03
Cartón	gramaje > 300	Grosor de pared	2,12

**Fuente:** Espinoza & León, 2017; Urías, 1996

**Realizado por:** Valdivieso, Juan, 2020

### 2.2.6.2 *Resistencia al Rasgado*

La resistencia al rasgado de borde se mide en un papel intacto que no se ha iniciado un rasgado, y cuando se ha iniciado un rasgado se denomina resistencia interna de rasgado. (Papeles Cordillera S.A. 2015)

### *2.2.6.3 Resistencia a la explosión Muellen*

Es la resistencia ejercida por el papel al momento de ser sometido a una fuerza perpendicular a su superficie hasta que éste estalla, esta variable de calidad se expresa en  $\text{Psi} \cdot \text{g}/\text{m}^2$  (Espinoza & León 2017).

### *2.2.6.4 Índice de Longitud de ruptura*

Es la longitud máxima de una tira de papel con ancho uniforme, que se rompe por su propio peso cuando se sostiene de uno de sus extremos y se tira de ella del otro (Casey 1990; citado en Espinoza & León 2017, p. 24).

## **2.3 Tipo de estudio**

El presente proyecto tiene como base la investigación exploratoria y experimental con la finalidad de obtener una adecuada metodología en el desarrollo de la obtención de papel, manejando adecuadamente conceptos, variables y métodos.

- **Exploratoria:** la elaboración de papel a partir del olote de maíz es un tema que no ha sido suficientemente abordado o estudiado permitiendo ampliar el estudio de este residuo del maíz para esta y otras áreas de interés. Además, la intención es indagar 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, ebullición, blanqueado, 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 una metodología cuantitativa para analizar y controlar los datos obtenidos. (Bernal 2006)

### **2.3.1 Métodos**

Al trabajar con proyectos de diseño se requiere de la utilización de la parte teórica y práctica donde permita la manipulación de variables hasta conseguir los objetivos planteados. Los métodos a utilizar son los siguientes:

- **Método Deductivo**

Este método permite empezar de conceptos generales hasta lograr el objetivo deseado del proyecto, utilizando fundamentos de múltiples operaciones unitarias, química orgánica, análisis instrumental y química analítica para la obtención del producto final. Mientras que para el diseño del proceso se requiere conceptos de Ingeniería de Plantas y Cálculos Básicos para un desarrollo adecuado de la planta que se busca diseñar.

- **Método Experimental**

La investigación se desarrolla con un enfoque experimental para manipular las variables de estudio como tamaño de partícula después de la operación de molienda, la temperatura en la ebullición con NaOH, el pH del licor negro, la concentración de los reactivos químicos usados en el blanqueo de la pulpa, entre otras; permitiendo observar el efecto en las conductas observadas. Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir algún acontecimiento particular.

## **CAPÍTULO III**

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Técnicas**

El desarrollo del trabajo de titulación se sustenta con la normativa correspondiente a la elaboración de papel, entre estas tenemos la norma INEN para el muestreo y caracterización físico química de materia prima y la norma TAPPI para la preparación del papel con su respectiva evaluación de calidad.

**Tabla 1-3:** Determinación de humedad

FUNDAMENTO	NORMA	TÉCNICA	CÁLCULOS
<p>Método de referencia básico para evaluar el contenido de humedad en granos enteros y quebrados de maíz; con alto contenido de humedad. Debe usarse para informes de especialistas; también para calibrar aparatos, como medida de humedad.</p>	<p>NTE INEN 1513</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.</li> <li>• Pesar con aproximación al 0,1 gramos, la cápsula limpia, seca y su tapa.</li> <li>• Colocar rápidamente en la cápsula entre 25 a 40 gramos del grano entero de maíz y distribuirla uniformemente.</li> <li>• Cerrar inmediatamente la cápsula con la tapa y pesar con aproximación al 0,1 gramos.</li> <li>• Colocar la cápsula abierta con su contenido y su tapa en la estufa calentada entre 130-133°C, manteniéndole en ésta durante el tiempo de 38 ± 2h.</li> <li>• Luego sacar la cápsula de la estufa, colocar la tapa, trasladar al desecador y tan pronto la muestra haya alcanzado la temperatura ambiente (generalmente 30 a 45 minutos), pesar con aproximación al 0,01 gramos.</li> </ul>	$H = (m1 - m2) \frac{100}{m1 - m0}$ <p><b>Donde:</b>  H = Contenido de humedad en porcentajes de masa.  m0 = masa de la cápsula vacía y tapa, en gramos.  m1 = masa de la cápsula, la tapa con la muestra, sin secar, en gramos.  m2 = masa de la cápsula, la tapa con la muestra seca, en gramos.</p>

Fuente: (INEN, 1987)

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 2-3:** Determinación de cenizas

FUNDAMENTO	NORMA	TÉCNICA	CÁLCULOS
<p>La cantidad de residuos inorgánicos que queda después de la incineración de una materia orgánica (alimento).</p>	<p>NTE INEN 0401:86</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primeramente se coloca la cápsula en la mufla y se calienta durante 15 min a 550° ± 25°C, es colocada luego en el desecador para enfriarla y pesarla con una aproximación a 0,1 mg.</li> <li>• Es pesada la cápsula 10 g de muestra colocamos sobre una fuente de calor a una temperatura de 105°C para su evaporación.</li> <li>• Se añaden unas gotas de aceite de oliva y se calienta hasta que cese el borboteo.</li> <li>• Es quemada la muestra hasta la combustión completa en un mechero Bunsen. La cápsula es colocada con su respectivo contenido en la mufla a una temperatura de 550 °C, hasta la obtención de cenizas que sean blancas.</li> <li>• Finalmente se registra el peso de la cápsula con su contenido con aproximación al 0,1 mg.</li> </ul>	$C = 100 * \frac{m3 - m1}{m2 - m1}$ <p><b>Donde:</b>            C= Contenido de cenizas, en porcentaje de masa            m1= masa de la cápsula vacía en gramos            m2= masa de la capsula con la muestra en gramos            m3= masa de la cápsula con la ceniza en gramos</p>

**Fuente:** (INEN, 1979; citado en Cuadrado, 2018)

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 3-3: Molienda**

FUNDAMENTO	NORMA	TÉCNICA	CÁLCULOS
<p>La molienda es la operación básica mecánica que consiste reducir el tamaño de una sustancia normalmente sólida hasta convertirla en polvo mediante trituración o el machaqueo sin alterar su naturaleza. Para llevar a cabo la molienda se emplean molinos de diferentes tipos de acuerdo a la necesidad y se reduce a polvo las sustancias sólidas, en porciones pequeñas de materia prima se puede utilizar mortero con su mazo correspondiente. (Sánchez, 2014)</p>	<p>NTE INEN-ISO 3588</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar la materia prima y proceder a la operación de cuarteo.</li> <li>• Encender el molino.</li> <li>• Colocar la materia prima en la tolva de carga del molino y proceder a la molienda por 5 minutos.</li> <li>• Pesar el producto molido.</li> <li>• Colocar 7 tamices en cascada desde la malla más gruesa hasta la más fina.</li> <li>• Alimentar el material molido a la bandeja superior del tamiz.</li> <li>• Tamizar por 10 minutos</li> <li>• Apagar el equipo y pesar el residuo de cada bandeja, evitando las pérdidas del producto.</li> </ul>	$P = P_{brutomolido} - P_{finos}$ <p><b>Donde:</b>  <math>P_{brutomolido}</math> = Peso bruto molido (g)  <math>P_{finos}</math> = Peso finos (g)</p>

Fuente: (INEN-ISO, 2014)

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 4-3:** Determinación de pH

FUNDAMENTO	NORMA	TÉCNICA	CÁLCULOS
Norma técnica nacional para medir el pH en conservas vegetales	NTE INEN 0384:1978	Método de Potenciómetro	<p>Es colocado en un vaso de precipitación 10 g o 10 cm<sup>3</sup> de la muestra preparada, se añade 100 cm<sup>3</sup> de agua destilada (recientemente hervida y enfriada) se procede agitar suavemente.</p> <p>Si hay la presencia de partículas que se encuentran en suspensión se debe dejar el recipiente en reposo para que el líquido decante.</p> <p>Finalmente se determina el pH introduciendo los electrodos del potenciómetro en el vaso de precipitación con la muestra, cuidando que los electrodos no toquen las paredes del recipiente ni las partículas sólidas si existen porque puede afectar la lectura por ende la determinación de pH de la muestra.</p>

Fuente: (Ramos, 2013; citado en Cuadrado, 2018)

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 5-3:** Determinación de celulosa

FUNDAMENTO	NORMA	TÉCNICA	CÁLCULOS
<p>El despulpado permite que las astillas de la materia prima se separen en fibras de celulosa individuales al eliminar la lignina de la pulpa, para esto se debe elegir el proceso óptimo dependiendo del tipo de papel que queramos obtener mediante procesos químicos y mecánicos.</p>	<p>TAPPI T 201 m-54</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocamos en un matraz pequeño 2 gramos de la muestra seca que fue anteriormente extraída con alcohol-benceno (TAPPI T 6 os-59).</li> <li>• Se añadió 30 ml de hipoclorito de sodio al 96% dejándolo actuar por 6 horas.</li> <li>• Transcurrido el tiempo se procedió a filtrar la mezcla al vacío lavándolo sucesivamente con 50 ml de agua destilada, 50 ml de solución al 3% de ácido sulfúrico, 50 ml de agua destilada y 50 ml de solución al 2 % de sulfito de sodio.</li> <li>• Hecho esto se pasa la mezcla a un vaso y se lo lava por agitación en 30 minutos con 105 ml de solución de sulfito de sodio.</li> <li>• Luego, nuevamente se filtra al vacío con 150 ml de agua destilada.</li> <li>• El residuo se seca a 103°C en la estufa</li> </ul>	$\% \text{ decelulosa} = \frac{P_2}{P_1} * 100$ <p><b>Dónde:</b>  P<sub>2</sub> = Peso del residuo del proceso seco.  P<sub>1</sub> = Peso de la muestra seca.</p>

Continua

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se adicionó 15 ml de ácido sulfúrico al 72% a 120°C, se agitó la mezcla por 2 horas.</li> <li>• Se agregaron 560 ml de agua destilada y se hirvió con un sistema a reflujo por 4 horas.</li> <li>• La mezcla se filtró al vacío y se lavó con agua destilada caliente (70°C).</li> <li>• Se dejó secar en una estufa a 103°C hasta peso constante.</li> </ul>	
--	--	--	--

**Fuente:** (Rivera, 2018)

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 6-3:** Determinación de lignina

FUNDAMENTO	NORMA	TÉCNICA	CÁLCULOS
<p>La determinación del porcentaje de lignina en la materia prima permitirá conocer el proceso adecuado para el blanqueo de la pulpa debido a que la lignina da un color marrón a la pulpa. La lignina une las fibras de celulosa, las cuales deben romperse para liberar la celulosa para producir papel. La lignina es de gran importancia en la industria del cartón, debido a su características colorimétricas.</p>	<p>TAPPI T 13 os-54</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En un vaso de precipitación, se colocó 1 gramo de la muestra seca previamente extraída con alcohol-benceno.</li> <li>• Se adicionó 15 ml de ácido sulfúrico al 72% a 120°C, se agitó la mezcla por 2 horas.</li> <li>• Luego se agregó 560 ml de agua destilada y se llevó a ebullición con un sistema a reflujo por 4 horas.</li> <li>• La mezcla se filtra al vacío y se lava con agua destilada caliente (70°C).</li> <li>• Se dejó secar en una estufa a 103°C hasta peso constante.</li> </ul>	$\% \text{ lignina} = \frac{P_2}{P_1}$ <p><b>Dónde:</b>                      P<sub>1</sub> = Peso de la muestra seca                      P<sub>2</sub> = Peso del residuo del proceso seco.</p>

Fuente: (Rivera, 2018)

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 7-3:** Determinación de consistencia de la pulpa

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>CONVENIN: 820-90 TAPPI 240 OM-93</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Homogenizar la muestra.</li> <li>• Medir 100 ml de la suspensión fibrosa en probeta o vaso de aforo.</li> <li>• Depositar en el embudo Buchner un filtro seco y pesado.</li> <li>• Descargar lentamente la muestra en el embudo Buchner, hasta filtrar totalmente (proceso al vacío).</li> <li>• Cuando se haya extraído totalmente el agua de la pulpa, sacar el papel filtro del embudo, remover las trazas de fibra que quedan en las paredes del embudo y depositar sobre la muestra filtrada.</li> <li>• Secar el papel filtro con la pulpa hasta obtener peso seco constante (aproximadamente 20 minutos) y registrar el peso.</li> </ul>	$\%C = \frac{(P - F)}{Pm} * 100\%$ <p><b>Donde:</b>            C = Consistencia en %            P = Peso seco de fibra + Papel filtro seco            F = Peso seco del filtro            Pm = Peso neto de la muestra en gramos,</p>

**Fuente:** (Covenin 820-90 & Tappi 240 om-93 2018)

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

### 3.2 Procedimiento a nivel de laboratorio

#### 3.2.1 Caracterización química del olote de maíz

La caracterización de las propiedades químicas del olote de maíz se realizó con la finalidad de evidenciar la idoneidad de la materia prima para la elaboración de papel. La determinación de humedad, cenizas, celulosa y lignina se efectuaron de acuerdo a la metodología de las normas TAPPI y NTE INEN.

**Tabla 8-3:** Normas aplicadas para la caracterización química del olote de maíz.

Propiedad	Norma
Ceniza	NTE INEN 0401:86
Celulosa	TAPPI T 201 m-54
Lignina	TAPPI T 13 os-54

Fuente: (NTE INEN, 1987; TAPPI, 2016)

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

#### 3.2.2 Propiedades biométricas del olote de maíz

**Tabla 9-3:** Datos de las propiedades biométricas del olote de maíz

Longitud de la fibra	150,7 um
Diámetro de la fibra	14,125 um

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

#### Cálculo Índice de rigidez:

Para los siguientes cálculos utilizamos los datos de la tabla 3-2:

$$CR = \frac{2W}{D}$$

Dónde:

$CR$  = Índice de Rigidez

$W$  = Grosor de la pared (um)

$D$  = Diámetro de la fibra (um)

$$CR = \frac{2 * 2,12 \text{ um}}{14,125 \text{ um}}$$

$$CR = 0,3$$

**Cálculo Índice de flexibilidad:**

$$CF = \frac{u}{D}$$

Dónde:

*CF = Índice de flexibilidad*

*u = Diámetro de Lumen (um)*

*D = Diámetro de la fibra (um)*

$$CF = \frac{4,03 \text{ um}}{14,125 \text{ um}}$$

$$CF = 0,285$$

**Cálculo Coeficiente de Peteri o índice de esbeltez:**

$$IE = \frac{L}{D}$$

Dónde:

*IE = Índice de esbeltez*

*L = Longitud de la fibra (um)*

*D = Diámetro de la fibra (um)*

$$IE = \frac{150,7 \text{ um}}{14,125 \text{ um}}$$

$$IE = 10,67$$

**Relación de Runkel:**

$$RR = \frac{2W}{u}$$

Dónde:

*RR = Relación Runkel*

$W = \text{Grosor de la pared (um)}$

$u = \text{Diámetro de lumen (um)}$

$$RR = \frac{2 * 2,12 \text{ um}}{4,03 \text{ um}}$$

$$RR = 1,05$$

### 3.2.3 Identificación de variables de proceso

#### 3.2.3.1 Recepción y lavado de la materia prima

Se recolectó 0,5 kilogramos del olote de maíz siguiendo los criterios de muestreo de las normas ISO 7002 e ISO 874, residuos generados en el mercado San Alfonso del cantón Riobamba. La materia prima ingresó al proceso de selección para separar olotes que presentaban gusanos, materia orgánica en descomposición, pelos de la mazorca (estigma del maíz), granos de maíz u otro elemento no deseado. Posterior a esto en una mesa de acero inoxidable se lava la materia prima con abundante agua hasta haber eliminado los contaminantes restantes.



**Figura 1-3:** Recepción de la materia prima

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 10-3:** Datos del proceso de lavado

Agua de lavado (L)	Tiempo de lavado (s)
6	180

**Fuente:** Laboratorio de Procesos Industriales

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 11-3:** Datos para el cálculo del porcentaje de material defectuoso

<b>Peso muestra global</b> <i>Fi (kg)</i>	<b>Peso desechos del olote</b> <i>Fm (kg)</i>
0,5	0,025

**Fuente:** Laboratorio de Procesos Industriales

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

Para la determinación del porcentaje defectuoso se realiza tomando en consideración el peso de la materia prima mediante la siguiente ecuación:

$$\%Def = \frac{Fm}{Fi} * 100$$

Donde:

*Def:* Porcentaje material defectuoso (%)

*Fm:* Peso desechos generados en la recepción y lavado (kg)

*Fi:* Peso de la muestra global (kg)

$$\%Def = \frac{0,025 \text{ kg}}{0,5 \text{ kg}} * 100$$

$$\%Def = 5$$

El porcentaje de material defectuoso será empleado en el balance materia para evaluar el proceso en su totalidad.

### 3.2.3.2 Troceado de la materia prima

Los olotes de maíz entraron al proceso de troceado manual, reduciendo a pequeños trozos de aproximadamente 2cm de ancho por 3cm de largo con la finalidad facilitar su manipulación y el posterior proceso de secado.



**Figura 2-3:** Troceado de la materia prima  
**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

### *3.2.3.3 Secado de la materia prima*

Los trozos de olote ingresaron a una estufa de secado para eliminar la humedad presente en su composición y obtener un material adecuado para el proceso de molienda. Las condiciones de secado se realizaron a 90°C durante 12 horas.



**Figura 3-3:** Secado materia prima  
**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 12-3:** Datos para el cálculo de humedad de la materia prima

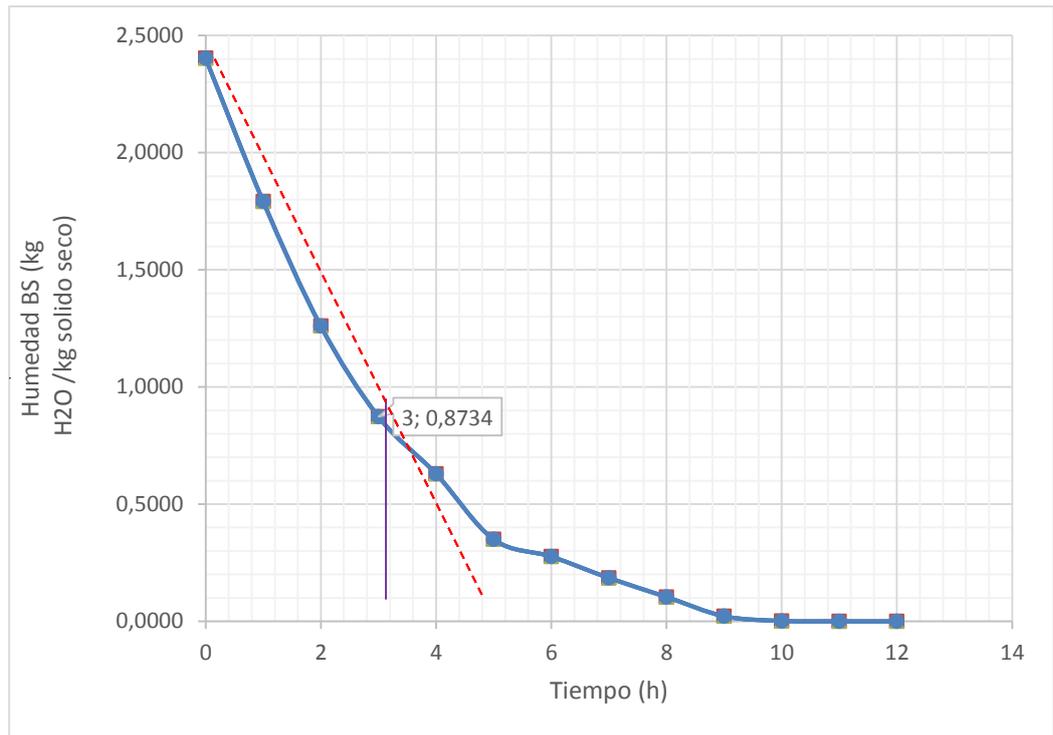
Tiempo (h)	Peso olote de maíz (kg)
0	0,5
1	0,4842
2	0,4158
3	0,3466
4	0,2694
5	0,1983
6	0,1875
7	0,1741
8	0,1622
9	0,1501
10	0,1478
11	0,1469
12	0,1469

Fuente: Laboratorio de Investigación  
Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 13-3:** Datos el balance de energía de la Estufa de secado

Tiempo (h)	Muestra (kg)	Humedad base seca (kg H <sub>2</sub> O /kg sólido)	Humedad media	$\Delta\theta$ (h)	$\Delta X$	W (kg/h*m <sup>2</sup> )	1/W (h*m <sup>2</sup> /kg)
0	0,5	2,4037	2,0980	1	-0,5718	0,5364	1,864
1	0,4102	1,7924	1,5262	1	-0,4595	0,4310	2,320
2	0,332	1,2600	1,0667	1	-0,3152	0,2957	3,382
3	0,2752	0,8734	0,7515	1	-0,2617	0,2455	4,073
4	0,2394	0,6297	0,4198	1	-0,1767	0,1657	6,035
5	0,1983	0,3499	0,3131	1	-0,0824	0,0773	12,942
6	0,1875	0,2764	0,2308	1	-0,0861	0,0808	12,379
7	0,1741	0,1852	0,1447	1	-0,0817	0,0766	13,050
8	0,1622	0,1042	0,0630	1	-0,0512	0,0480	20,831
9	0,1501	0,0218	0,0118	1	-0,0109	0,0102	97,875
10	0,1478	0,0018	0,0009	1	-0,0009	0,0008	1184,479
11	0,1469	0,0000	0,0000	1	-0,0004	0,0004	2375,009
12	0,1469	0,0000	0,0000	1	-0,0004	0,0004	2375,009

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020



**Gráfico 1-3:** Curva de secado del olote de maíz

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 14-3:** Datos adicionales balance de Energía de la Estufa de secado

<b>Masa de agua (kg)</b>	0,3531
<b>Área de secado (m<sup>2</sup>)</b>	0,1566
<b>Sólido seco (kg)</b>	0,1469

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

- **Velocidad anticrítica**

Para el cálculo de la velocidad de secado se observa un periodo de velocidad que decrece y otro periodo que permanece constante. Por tanto, usaremos la siguiente fórmula para hallar la velocidad en el periodo anticrítico:

$$W_c = \frac{S}{A} \left( \frac{dx}{d\theta} \right)$$

Dónde:

$W$  = velocidad de secado anticrítica (kg/hm<sup>2</sup>)

$A$  = Superficie expuesta al secado (m<sup>2</sup>)

$S = \text{Sólido seco (kg)}$

$\Delta\theta = \text{Variación del tiempo de secado (h)}$

$\Delta x = \text{Variación de la humedad en base seca (kg agua/kg sólido seco)}$

$$W_c = \frac{0,1469}{0,1566} \left( \frac{1,5194 - 0,7515}{3 - 1} \right)$$

$$W_c = 0,1913 \frac{\text{kg}}{\text{h} * \text{m}^2}$$

- **Tiempo periodo anticrítico**

Para el cálculo del tiempo en periodo anticrítico se utiliza la siguiente fórmula:

$$\theta_a = \frac{S}{A} \left[ \frac{x_i - x_c}{W_c} \right]$$

Dónde:

$\theta_a = \text{Tiempo en el periodo anticrítico (h)}$

$W_c = \text{Velocidad de secado anticrítica (kg/hm}^2\text{)}$

$A = \text{superficie de secado (m}^2\text{)}$

$S = \text{Sólido seco (kg)}$

$x_c = \text{Humedad crítica}$

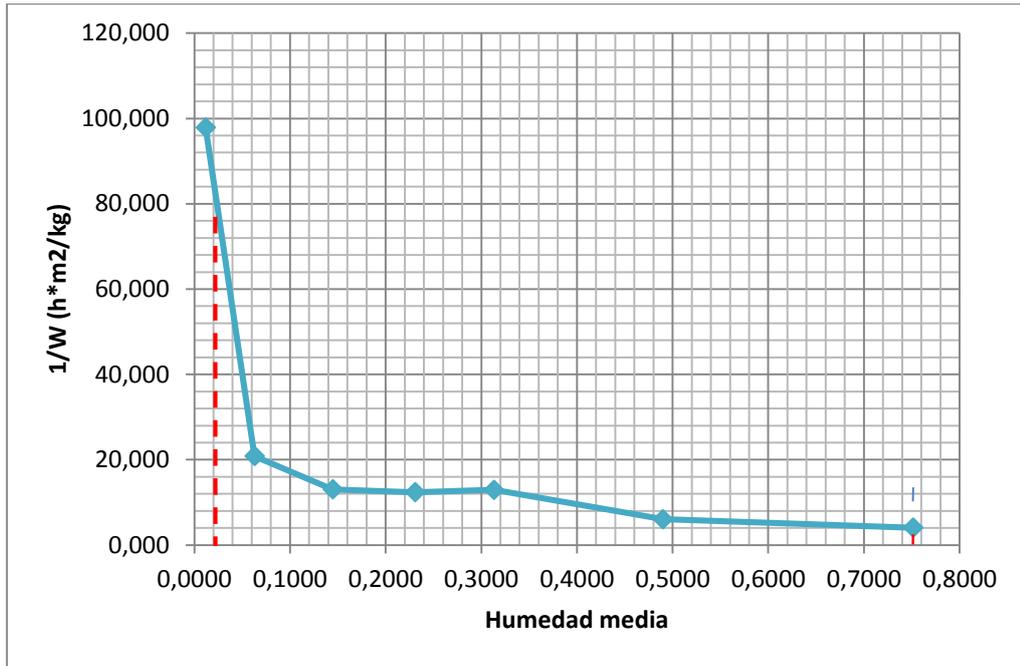
$x_i = \text{Humedad inicial}$

$$\theta_a = \frac{0,1469}{0,1566} \left[ \frac{1,5194 - 0,7515}{0,1913} \right]$$

$$\theta_a = 3,765 \text{ h}$$

- **Tiempo periodo pos-crítico**

Para determinar el periodo pos-crítico usamos la gráfica X vs. 1/W con los datos establecidos en la tabla 13-3.



**Gráfico 2-3:** Curva de la Humedad media vs. 1/W

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

Con la gráfica anterior hallamos el área bajo la curva, la misma que se fragmento en varias figuras geométricas para facilitar el cálculo de los valores:

$$\text{Área total} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 + A_9 + A_{10}$$

$$\text{Área total} = (1,98 + 1,02 + 0,324 + 1,01 + 0,989 + 0,989 + 0,593 + 0,543 + 0,26 + 1,04) \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 8,75 \text{ m}^2$$

$$\theta_{p1} = \frac{S}{A} \int_{x_f}^{x_i} \frac{dW}{W}$$

Dónde:

$$\theta_{p1} = \text{Tiempo en el periodo pos-crético (h)}$$

$$\theta_{p1} = \frac{0,1469}{0,1566} * (8,75)$$

$$\theta_{p1} = 8,21 \text{ h}$$

El tiempo total de secado será:

$$\theta_T = \theta_a + \theta_{p1}$$

Dónde:

$\theta_T =$  Tiempo total de secado (h)

$$\theta_T = (3,75 h) + (8,21 h)$$

$$\theta_T = 11,96 h$$

#### 3.2.3.4 Molienda y tamizado

Los trozos de olote secos ingresan a la tolva de alimentación del molino de martillos por un lapso de tiempo corto, recogiendo el material pulverizado en bolsas plásticas y sometiendo tantas veces sea necesario los trozos grandes al proceso de molienda. Posteriormente se inició la operación de tamizado, dejando pasar las partículas pequeñas o finas, y retiene las de tamaños superiores, siendo necesario un tamaño de viruta uniforme para la eficiencia de los procesos y para la calidad de la pulpa según lo menciona Bajpai (2015). El criterio para elegir el diámetro de partícula se realizó tomando como referencia la norma **NTE INEN 616**: Harina de trigo; la cual requiere de un tamiz de 210  $\mu\text{m}$  para obtener un producto de calidad. En el caso de la harina de olote no requiere un diámetro excesivamente pequeño por lo que usó un diámetro superior del tamaño de partícula en un tamiz de 360  $\mu\text{m}$ .



**Figura 4-3:** Molienda materia prima

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 15-3:** Datos para el cálculo del rendimiento de la operación de tamizado

<b>Luz de malla (um)</b>	<b>P<sub>1</sub>(g)</b>	<b>P<sub>2</sub>(g)</b>
850	343	346,12
425	310	333,08
360	296	391,6
212	283	295,2
150	282	290,4
100	277	283,78

**Fuente:** Laboratorio de Investigación

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 16-3:** Datos experimentales para el tamizado

<b>Peso inicial bruto (kg)</b>	<b>Peso bruto molido (kg)</b>
0,1498	0,0956

**Fuente:** Laboratorio de Investigación

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

### 3.2.3.5 Pulpeado en Sosa Caústica

Para este proceso, se pesó una cantidad del olote pulverizado equivalente a 0,0956kg e ingreso en un recipiente de acero inoxidable tratando de asemejar algunas condiciones de un digestor adecuado para este proceso. La cantidad de agua usada fue de 2500 mL por cada 100 g materia prima para un pulpeado de 2 horas, la misma que aumenta en relación al tiempo. El NaOH disuelto en agua se depositó en el recipiente de acero inoxidable junto al olote pulverizado. La cocción se llevó a 95°C, controlando esta temperatura con un termómetro por un lapso de tiempo de 3 horas. Este proceso permitió separar la celulosa de la lignina y del resto de componentes presentes en la pulpa que no intervienen en el proceso de la elaboración del papel.



**Figura 5-3:** Pulpeado en sosa caústica  
**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 17-3:** Datos para el cálculo de rendimiento del proceso de pulpeado

Agua		Olotte de maíz particulado		NaOH		Tiempo (h)	Temperatura (°C)
%	Kg	%	Kg	%	Kg	3	95
96,29	3,5	2,61	0,095	1,1	0,04		

**Fuente:** Laboratorio de Procesos Industriales

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 18-3:** Datos para el cálculo de rendimiento del proceso de pulpeado

Tiempo de cocción (h)	Cantidad de NaOH (kg)	Olotte de maíz pulverizado (kg)	Pulpa obtenida al final de la cocción (kg)
2	0,02	0,095	0,0581
	0,03	0,095	0,0512
	0,04	0,095	0,0484
3	0,02	0,095	0,0534
	0,03	0,095	0,0463
	0,04	0,095	0,0474
4	0,02	0,095	0,0497
	0,03	0,095	0,0425
	0,04	0,095	0,0396

**Fuente:** Laboratorio de Procesos Industriales

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

### 3.2.3.6 Filtración del licor negro

La solución de la pulpa celulósica y licor negro fueron separados por un medio filtrante (tela, lienzo), recolectando el licor negro en un vaso de precipitación para su posterior análisis y tratamiento de residual. La pulpa retenida en el lienzo se traslada a recipientes adecuados para su posterior procesamiento.



**Figura 6-3:** Filtrado del licor negro

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 19-3:** Datos para la determinación de soda residual

Tiempo de cocción (h)	Agua (L)	Licor negro (L)
2	2	0,723
3	2,750	1,095
4	3,500	2,050

Fuente: Laboratorio de Procesos Industriales

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

### 3.2.3.7 Lavado de la pulpa

El lavado de la pulpa se llevó a cabo con agua destilada con la finalidad de obtener una pulpa libre de solubles no deseables, este proceso culmina cuando el pH del agua de lavado es neutro.



**Figura 7-3:** Filtrado del licor negro  
**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 20-3:** Datos del proceso de lavado de la pulpa filtrada

Agua de lavado (L)	Tiempo de lavado (s)
8	900

**Fuente:** Laboratorio de Procesos Industriales

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

#### 3.2.3.8 *Blanqueado*



**Figura 8-3:** Blanqueado de la pulpa  
**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

El blanqueo de la pulpa se llevó a cabo en una disolución de hipoclorito de sodio en proporción 2:1 en relación al agua por 45 minutos a una temperatura entre 20° y 60°C para reducir el color marrón de la pulpa y obtener un blanqueado óptimo. Se repite el proceso de lavado de la pulpa para eliminar la disolución de cloro con varios miligramos agua hasta obtener una pulpa limpia.

**Tabla 21-3:** Datos del proceso de blanqueado de pulpa

<b>Agua (L)</b>	<b>Hipoclorito de sodio(L)</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
0,2	0,1	0,75	45

**Fuente:** Laboratorio de Procesos Industriales

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

### 3.2.3.9 Elaboración de mezcla

Para la formación de la lámina de papel se realiza una mezcla de 0,0424 kg de pulpa blanqueada con 0,2 L de agua de tal forma la disolución alcance una consistencia adecuada de 0,321 % según afirma la normativa. La mezcla obtenida fue de 0,260 L y para la formación de una lámina de papel de 17x12 cm se requiere una cantidad de 0,06 L; teniendo al final del proceso 4 hojas de papel.



**Figura 9-3:** Elaboración de mezcla

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 22-3:** Datos para la preparación de la mezcla

<b>Agua (L)</b>	<b>Pulpa blanqueada (kg)</b>
0,2	0,0424

**Fuente:** Laboratorio de Procesos Industriales

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 23-3:** Datos para la determinación de consistencia de pulpa

Muestra de solución de pulpa (mL) Pm	Peso papel filtro (g) F	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Peso papel + pulpa seca (g) P
100	1.030	90	0,33	1,358

Fuente: Laboratorio de Procesos Industrial

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

Para calcular la consistencia de la solución de pulpa para la formación de las láminas de papel se sigue 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)

Sabiendo que 100 mL  $\approx$  100 g

$$\%C = \frac{(1,358 \text{ g} - 1,030 \text{ g})}{100 \text{ g}} * 100$$

$$\%C = 0,328$$

### 3.2.3.10 Formación de la hoja

En un recipiente con agua se introdujo los bastidores de 17x12 cm de tal manera que ambos quedaran sumergidos las  $\frac{3}{4}$  partes de su estructura, se procedió a dosificar la disolución de pulpa de olote-agua con una consistencia adecuada en la parte superior del bastidor realizando movimientos paralelos alojando en la malla una película de pasta celulósica. La película de celulosa se coloca en un lienzo hasta que esta quede incorporada en la misma y se procedió a

absorber con una esponja y toallas de cocina el agua sobrante. Finalmente se prensa con una superficie lisa por algunos minutos para mejorar la textura del papel.



**Figura 10-3:** Formación de hoja

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 24-3:** Datos del proceso de formación de la hoja

Tiempo de formación de hoja / unidad (s)	Tiempo promedio de formación de hoja / unidad (s)
300	294,17
285	
294	
321	
274	
291	

Fuente: Laboratorio de Procesos Industriales

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 25-3:** Datos del proceso de formación de la hoja

Dosificación de solución de pulpa (L)	Consistencia (%)	Viscosidad (Pa.s)	Tiempo formación de hoja (s)
0,060	0,328	0,15	294,17

Fuente: Laboratorio de Procesos Industriales

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

### 3.2.3.11 Secado de la hoja

La tela se seca en un cuarto oscuro en ausencia de luz solar para evitar el daño de la lámina de papel por 48 horas a una temperatura de 21 °C, cuando culminó el proceso se retiró con precaución la lámina de papel de la tela, de esta manera se obtuvo el producto final.



**Figura 11-3:** Secado de hoja  
Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

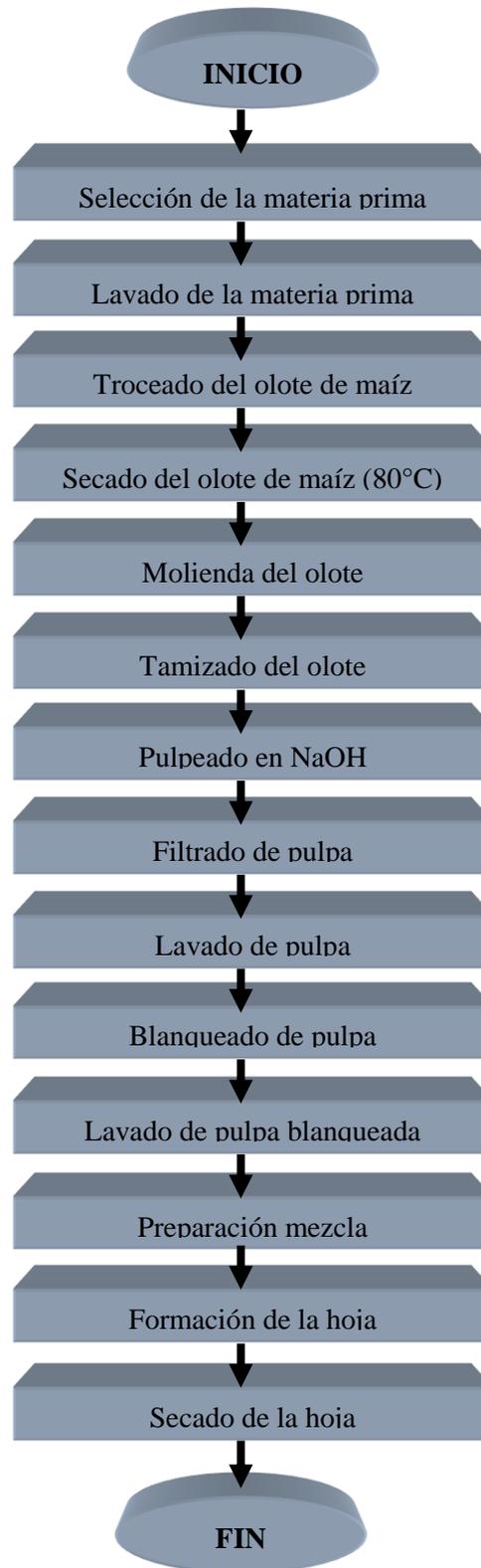
**Tabla 26-3:** Datos del producto final

Muestra	Formación de láminas de papel		Número de láminas de papel	Peso lámina de papel (g)	Peso promedio (g)
	Si	No			
k1		X	-	-	-
k2		X	-	-	-
k3	X		4	1,199	1,376
				1,323	
				1,584	
				1,398	
m1	X		4	2,781	2,584
				3,183	
				2,010	
				2,365	
m2	X		4	3,174	2,657
				2,446	
				2,251	
				2,756	
m3	X		3	2,398	2,796
				1,711	
				4,279	
p1	X		3	2,917	2,621
				2,498	
				2,445	
p2	X		3	2,331	2,244
				2,433	
				1,967	
p3	X		4	3,010	3,273
				2,602	
				3,431	
				4,049	

**Fuente:** Laboratorio de Procesos Industriales

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

### 3.2.4 Diagrama del proceso



**Figura 12-3:** Diagrama del proceso para la fabricación de papel

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

### 3.2.5 Diseño de ingeniería para la obtención de papel

#### 3.2.5.1 Balance de masa y energía

##### 3.2.5.1.1 Balance de masa

➤ Inspección y selección de la materia prima



Donde:

$F_i$  = Alimentación de olote fresco (kg)

$F_m$  = Masa del olote en buen estado (kg)

$F_p$  = Impurezas (kg)

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

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{F_m}{F_i} * 100$$

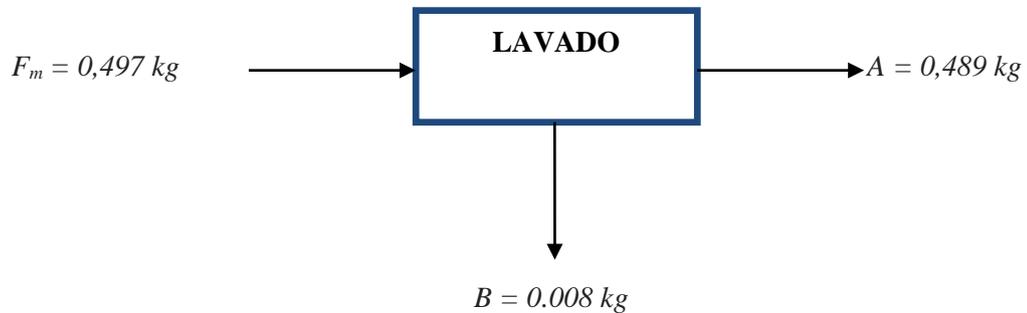
$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,497 \text{ kg}}{0,5 \text{ kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 99,4 \%$$

La inspección de la materia prima requiere de 7 segundos por unidad como intervalo de tiempo para este procedimiento, sabiendo que el olote tiene un peso promedio 0,0362 kg.

➤ **Lavado materia prima**

El proceso de lavado de la materia prima se realiza con 6 L de agua, para facilitar los cálculos llevamos este valor en unidades de masa, considerando la densidad del agua de 1000 kg/m<sup>3</sup>.



Donde:

$A = \text{Olate lavado (kg/día)}$

$B = \text{Perdidas (kg/día)}$

$W = \text{Agua de entrada (L)}$

$WI = \text{Agua de salida (L)}$

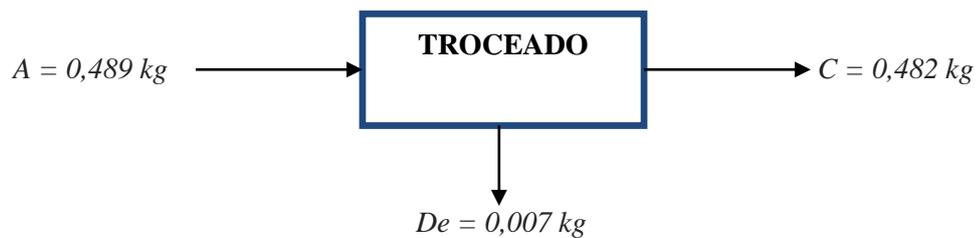
$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

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

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,489 \text{ kg}}{0,497 \text{ kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 98,39 \%$$

➤ **Troceado materia prima**



Donde:

$C = \text{Materia prima troceada (kg)}$

$De = \text{Desperdicio materia prima (kg)}$

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

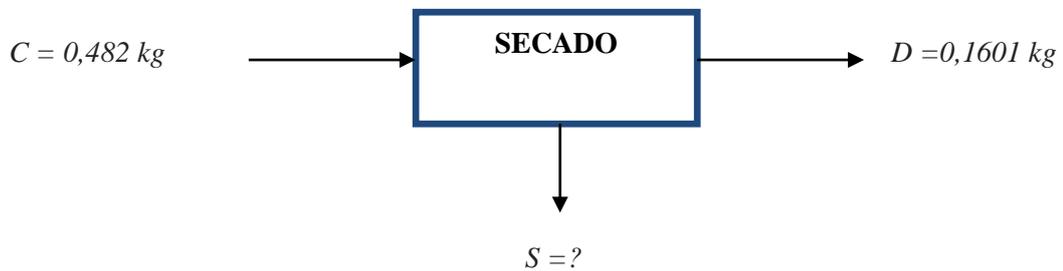
$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{C}{A} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,482 \text{ kg}}{0,489 \text{ kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 98,57 \%$$

El proceso de troceado requiere de 2 minutos por unidad de olote debido a la dureza de su morfología.

➤ **Secado del olote de maíz**



Donde:

$C = \text{Masa olote húmedo (kg)}$

$D = \text{Materia prima seca (kg)}$

$S = \text{Agua evaporada (kg)}$

Aplicando la siguiente ecuación para el balance de materia:

$$C = D + S$$

$$0,482 \text{ kg} = 0,1601 \text{ kg} + S$$

$$S = 0,322 \text{ kg}$$

Finalmente hallamos el rendimiento del proceso de secado:

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

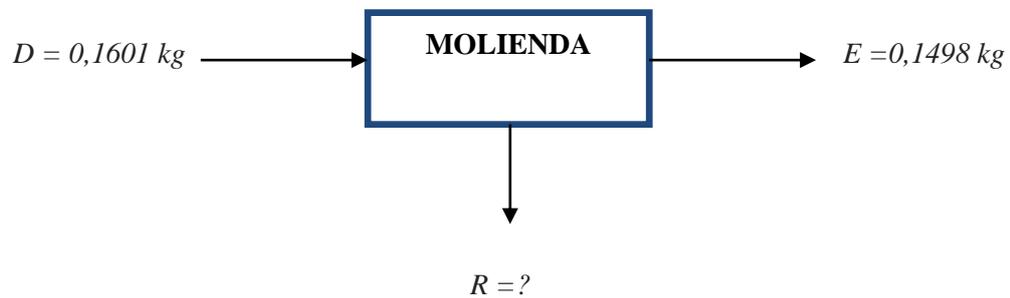
$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{D}{C} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,1601 \text{ kg}}{0,482 \text{ kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 33,21 \%$$

Las condiciones del proceso de secado se realizaron a 90 ° C durante 12 horas en una estufa de secado, con la finalidad de eliminar la humedad presente en la materia prima de tal forma que sea ideal para el proceso de molienda.

➤ **Molienda del olote de maíz**



Donde:

$E = \text{Materia prima pulverizada (kg)}$

$R = \text{Material perdido en el proceso (kg)}$

El balance de materia será:

$$D = E + R$$

$$0,1601 \text{ kg} = 0,1498 + R$$

$$R = 0,0103 \text{ kg}$$

Calculamos el rendimiento del proceso:

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

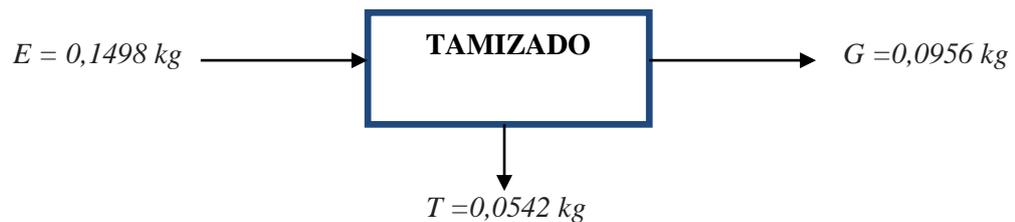
$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{E}{D} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,1498 \text{ kg}}{0,1601 \text{ kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 93,56\%$$

La molienda de la materia prima requirió de 2 minutos para completar del proceso.

➤ **Tamizado**



Donde:

$G$  = Materia prima tamizada (kg)

$T$  = Rechazo (kg)

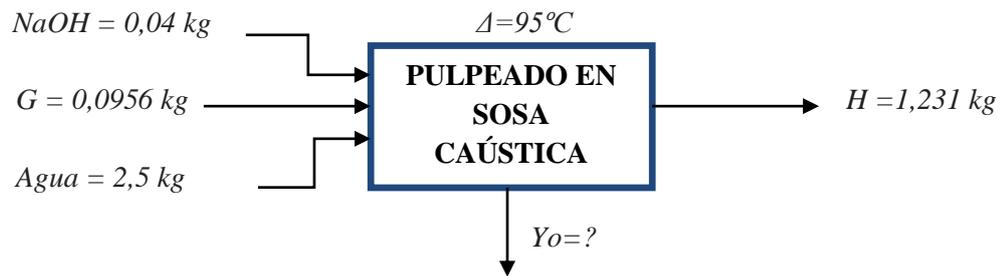
$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

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

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,0956 \text{ kg}}{0,1498 \text{ kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 68,32 \%$$

➤ **Pulpeado en sosa cáustica NaOH**



Donde:

$H$  = Pulpa obtenida del proceso de pulpeado (kg)

$Y_o$  = Agua evaporada (kg)

Efectuamos el balance de masa para el siguiente proceso:

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

$$NaOH + G + Agua = Y_o + H$$

$$0,04 \text{ kg} + 0,0956 \text{ kg} + 2,5 \text{ kg} = Y_o + 1,231 \text{ kg}$$

$$Y_o = 1,405 \text{ kg}$$

El agua evaporada en el proceso de pulpeado es de 1,405 kg. Calculamos el rendimiento del proceso:

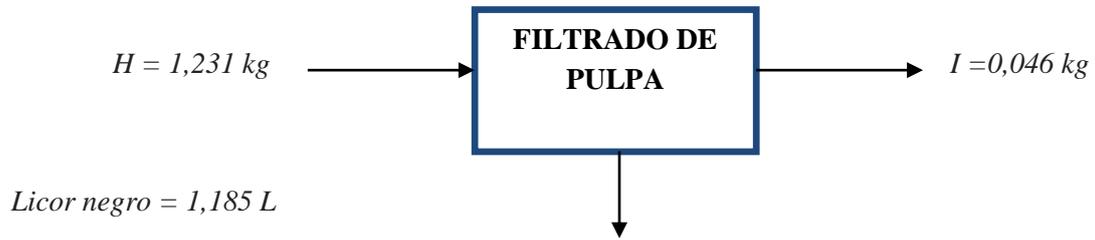
$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100 = \frac{H}{G} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{1,231 \text{ kg}}{2,636 \text{ kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 47,1 \%$$

El proceso de pulpeado se efectúa a 3 horas con una temperatura de 95° C en un recipiente metálico de acero inoxidable.

➤ **Filtrado de la pulpa**



Donde:

$I = \text{Pulpa obtenida del proceso de filtrado (kg)}$

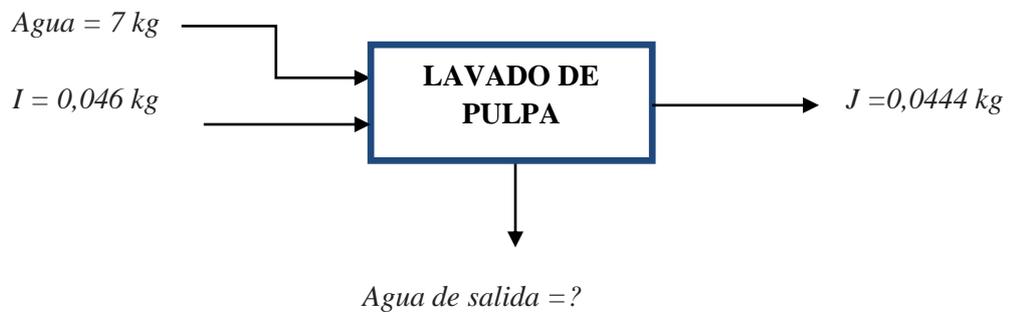
$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

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

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,046 \text{ kg}}{1,231 \text{ kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 3,73 \%$$

➤ **Lavado de pulpa**



Donde:

$J = \text{Pulpa lavada (kg)}$

Agua de salida (kg)

Realizamos un balance global para determinar el agua de salida:

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

$$Agua + I = Agua\ de\ salida + J$$

$$7\ kg + 0,046\ kg = Agua\ de\ salida + 0,044\ kg$$

$$Agua\ de\ salida = 7,002\ kg$$

El agua de salida aumenta en peso debido a que contiene sólido disueltos en su composición que al momento de pasar por la malla filtrante no quedaron retenidos, sino que pasaron al recipiente almacenador de licor negro. Esto lo podemos corroborar en el ANEXO C con los resultados del análisis químico del licor negro realizados para determinar sus propiedades, evidenciando la cantidad de sólido disueltos (g/L).

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

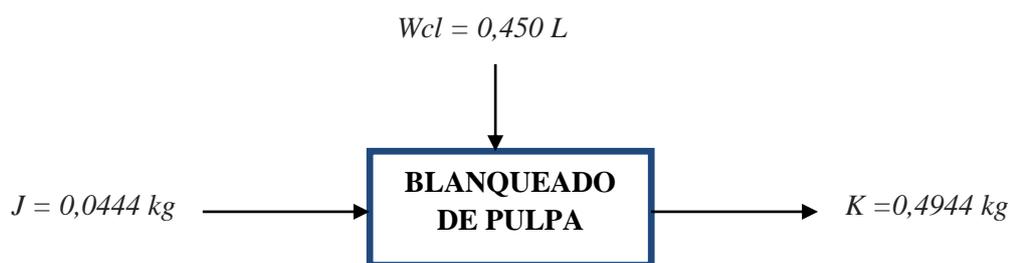
$$Rendimiento\ (\%) = \frac{J}{I} * 100$$

$$Rendimiento\ (\%) = \frac{0,0444\ kg}{7,0460\ kg} * 100$$

$$Rendimiento = 0,63\ \%$$

### ➤ **Blanqueado de pulpa**

Para el proceso de blanqueado se usó la proporción 2:1 del agua en relación al Hipoclorito de sodio.

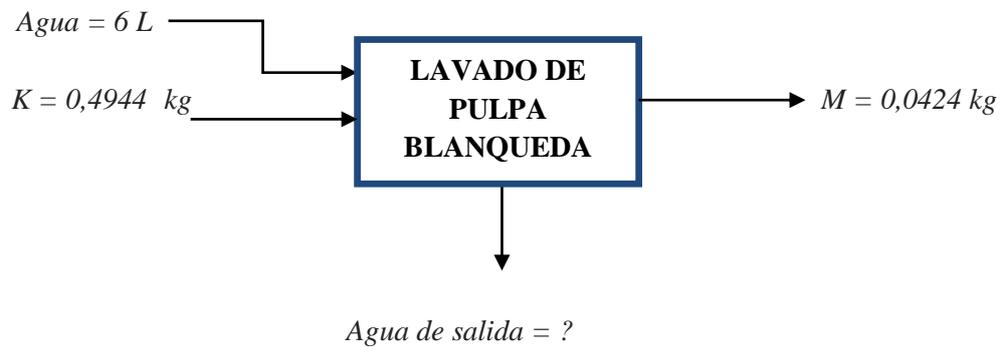


Donde:

$K = Pulpa\ blanqueada\ (kg)$

$Wcl = Disolución\ agua-hipoclorito\ de\ sodio\ (L)$

➤ Lavado de pulpa blanqueada



Donde:

$M = \text{Pulpa lavada (kg)}$

$\text{Agua de salida (kg)}$

Realizamos un balance de masa:

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

$$\text{Agua} + K = M + \text{Agua de salida}$$

$$6 \text{ kg} + 0,4944 \text{ kg} = \text{Agua de salida} + 0,0424 \text{ kg}$$

$$\text{Agua de salida} = 6,452 \text{ kg}$$

El lavado de la pulpa se lo realiza en un medio filtrante (lienzo) en compañía de agua, cuya salida contiene en su composición sólidos disueltos.

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

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{M}{K} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,0424 \text{ kg}}{0,4944 \text{ kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 8,58 \%$$

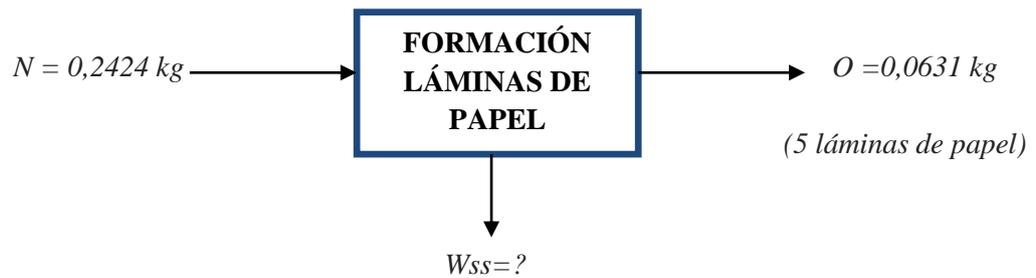
➤ **Elaboración de mezcla**



Donde:

$N$  = Mezcla de pulpa para papel (kg)

➤ **Formación láminas de papel**



El proceso de pulpeado se efectúa a 3 horas con una temperatura de 95° C en un recipiente metálico de acero inoxidable.

Donde:

$P$  = Lámina de papel húmeda (kg)

$W_{ss}$  = Agua salida del proceso (kg)

Balance de masa:

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

$$N = O + W_{ss}$$

$$0,2424 \text{ kg} = 0,0631 \text{ kg} + W_{ss}$$

$$W_{ss} = 0,1793 \text{ kg}$$

Para formar la lámina de papel la malla presente en el bastidor retiene la pulpa filtrando por su estructura el agua, mediante cálculos podemos evidencia pérdidas pequeñas de pulpa.

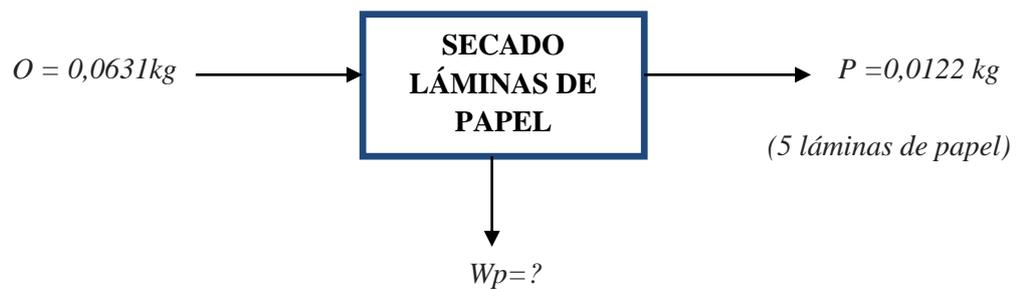
$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{O}{N} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,0631 \text{ kg}}{0,2424 \text{ kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 26,03 \%$$

➤ **Secado de lámina de papel**



Donde:

$P$  = Lámina de papel húmeda (kg)

$Wp$  = Agua evaporada en el proceso de secado (kg)

Balance de masa:

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

$$O + Wp = P$$

$$0,0631 \text{ kg} + Wp = 0,0122 \text{ kg}$$

$$Wp = 0,0509 \text{ kg}$$

Rendimiento del proceso:

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

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{P}{O} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,0122 \text{ kg}}{0,0631 \text{ kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 19,06 \%$$

Una vez finalizado el balance de masa efectuamos el cálculo del rendimiento del proceso desde la obtención de la pulpa celulósica hasta la formación de las láminas de papel:

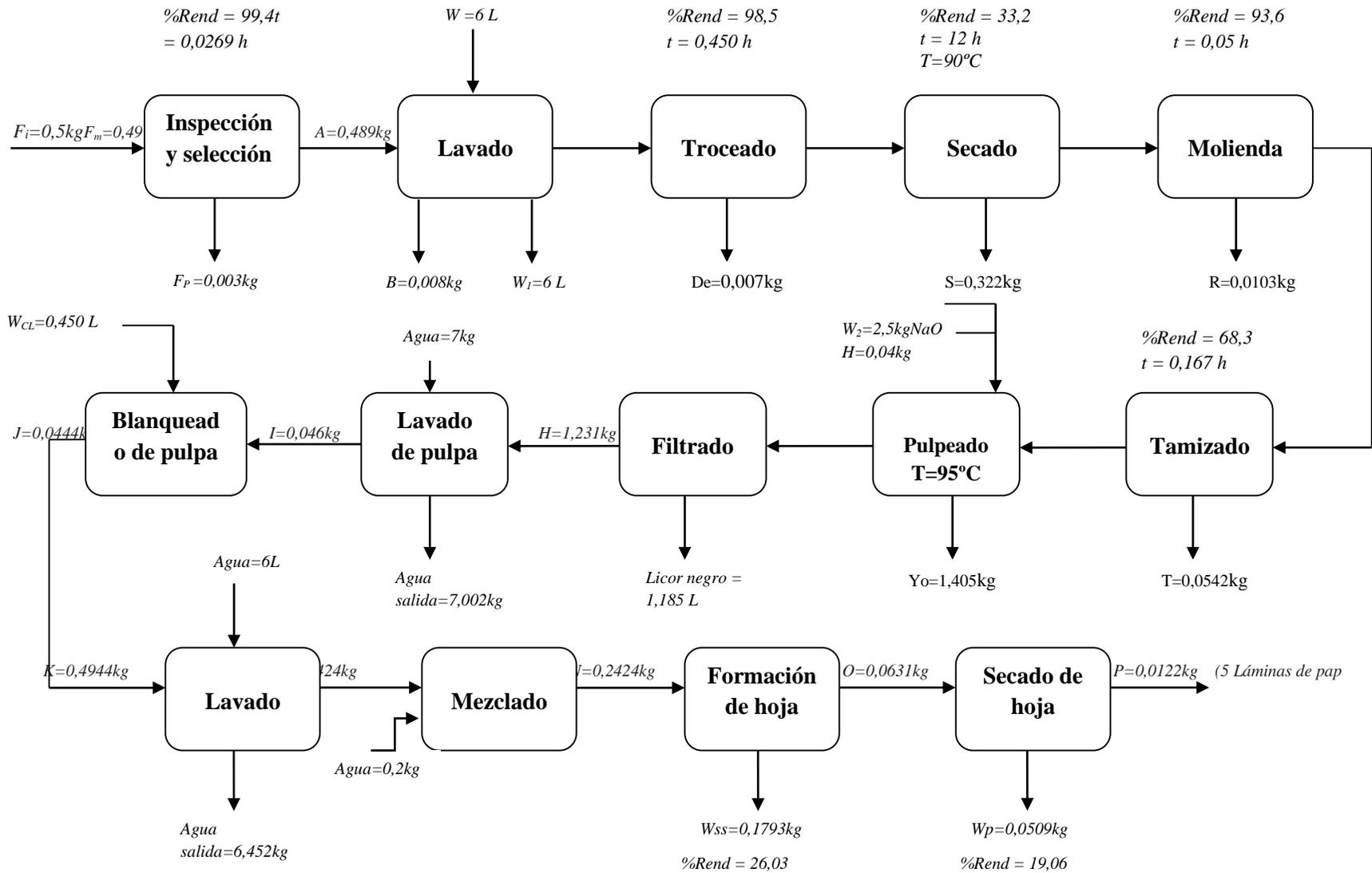
$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Láminas de papel}}{\text{Pulpa celulósica}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,0122 \text{ kg}}{0,0406 \text{ kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 30,05 \%$$

➤ **Diagrama de flujo del proceso**



### 3.2.5.1.2 Balance de energía

➤ Balance de energía del secador

- **Cálculo del calor sensible**

Al inicio del proceso de secado el agua contenida en la muestra ingresa con una temperatura de 22° C, hasta alcanzar la temperatura de saturación de 90° C. El valor de la entalpía (H) y demás propiedades termodinámicas del agua y agua saturada se hallan a través de la carta psicométrica y la separata de las propiedades.

$$H_{\text{Agua}}(\text{kJ/kg}) = 92,33$$

$$H_{\text{Agua}}(\text{kJ/kg}) = 377$$

$$C_S = H_{\text{Agua}-90^{\circ}\text{C}} - H_{\text{Agua}-22^{\circ}\text{C}}$$

Dónde:

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

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

$$H_{\text{Agua}-90^{\circ}\text{C}} = \text{Entalpía del agua } 90^{\circ}\text{C}$$

$$C_S = (377 - 92,33) \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

$$C_S = 284,7 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

- **Cálculo del calor latente**

El calor latente del agua para pasar de estado líquido a gaseoso de acuerdo a Tipler et al. (2003) es de 2257 KJ/kg.

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

- **Cálculo del calor suministrado para llevar de 22° C a 90°C**

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

Dónde:

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

$$Q = (284,7 + 2257) \frac{KJ}{kg}$$

$$Q = 2541,7 \frac{KJ}{kg}$$

- **Cálculo de Cp del olote de maíz**

De acuerdo a Heldman & Singh (1981), la capacidad calorífica de un vegetal se puede determinar en función del contenido de la humedad presente en la estructura, con el siguiente análisis matemático propuesto por Dickerson, usaremos el porcentaje de humedad de la tabla 1-4:

$$C_{P(\text{olote})} = 1,675 + 0,025 (\% \text{ humedad})$$

Dónde:

$C_{P(\text{olote})} = \text{Calor calorífica del olote } \left( \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \right)$

$$C_{P(\text{olote})} = 1,675 + 0,025 (16,11\%)$$

$$C_{P(\text{olote})} = 2,078 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C}$$

- **Calor necesario para calentar el sólido**

$$Q_S = m_{\text{olote}} * C_P * \Delta T$$

Dónde:

$Q_S = \text{Calor necesario para calentar el sólido (kJ)}$

$C_p = \text{Capacidad calorífica del olote (kJ/kg } ^\circ C)$

$G_s = \text{Corriente de sólido seco (kg/h)}$

$\Delta T = \text{Gradiente de temperatura (} ^\circ C)$

$$Q_S = (40 \text{ kg}) * \left(2,078 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}\right) * (90 - 22)^\circ\text{C}$$

$$Q_S = 5652,48 \text{ kJ}$$

- **Calor necesario para evaporar agua**

$$V = C * X_1 - C * X_2$$

Dónde:

$V =$  Corriente de agua evaporada (kg/h)

$C =$  Masa de olote (kg)

$X_1 =$  Humedad absoluta en la entrada del olote (kg H<sub>2</sub>O/kg sólido seco)

$X_2 =$  Humedad absoluta en la salida del olote (kg H<sub>2</sub>O/kg sólido seco)

$$V = (40 \text{ kg}) * (0,1611) - (40 \text{ kg}) * (0,018)$$

$$V = 7,16 \text{ kg agua}$$

Para calcular el calor necesario para evaporar el agua se tiene:

$$Q_v = V * \gamma_v$$

Dónde:

$Q_v =$  Calor necesario para evaporar el agua contenida

$\gamma_v =$  Calor latente de vaporización del agua

$$Q_v = (7,16 \text{ kg}) * 2257 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_v = 16169,14 \text{ kJ}$$

Para calcular el calor total necesario, se efectúa la siguiente operación:

$$Q_T = Q_v + Q_S$$

Dónde:

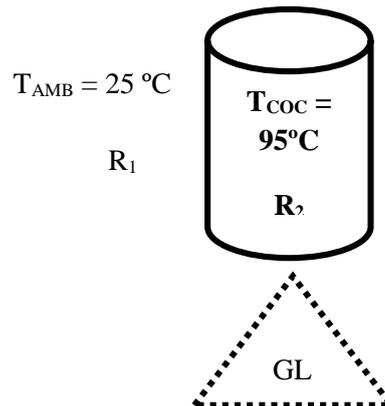
$Q_T =$  Calor total (KJ)

$$Q_T = 16169,14 \text{ KJ} + 9520 \text{ KJ}$$

$$Q_T = 25689,15 \text{ KJ}$$

➤ *Balance de energía del Recipiente de cocción (pulpeado)*

- **Representación gráfica**



- **Cálculo del calor que desprende el sistema**

$$Q = U * A * \Delta T$$

Dónde:

$Q =$  Calor que desprende el sistema (KJ/h)

$U =$  Coeficiente global de transferencia (W/K.m<sup>2</sup>)

$A =$  Área de transferencia (m<sup>2</sup>)

$\Delta T =$  Variación de temperatura (°K)

El área de transferencia de calor será la siguiente, considerando el radio  $r = 0,25 \text{ m}$  y una altura de  $h = 1,6 \text{ m}$  del recipiente metálico como se evidencian en la sección 3.2.5.2

$$A = 2 * \pi * r * h$$

$$A = 2 * \pi * 0,25 \text{ m} * 1,6 \text{ m}$$

$$A = 2,51 \text{ m}^2$$

Calculamos el coeficiente global de transferencia (U)

$$U = \frac{1}{\sum A * R} = \frac{1}{A * R_1 + A * R_2}$$

Dónde:

$R_1 =$  Resistencia de convección recipiente-aire

$R_2 =$  Resistencia de conducción mezcla-recipiente

Calculo de la resistencia por convección:

$$R_1 = \frac{1}{h * A}$$

Dónde:

$h =$  Coeficiente de convección aire (10 W/m<sup>2</sup> °K)

$A =$  Área de transferencia (m<sup>2</sup>)

$$R_1 = \frac{1}{10 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K} * 2,51 m^2} = 0,0398 \frac{K}{W}$$

Calculamos la resistencia por conducción:

$$R_1 = \frac{e}{k * A}$$

Dónde:

$e =$  Espesor recipiente (5,44x10<sup>-3</sup> m)

$k =$  Coeficiente de conducción (47 W/m°K)

$A =$  Área de transferencia (m<sup>2</sup>)

$$R_1 = \frac{5,44x10 - 3 m}{\left(47 \frac{W}{m \text{ } ^\circ K}\right) * (2,51 m^2)} = \frac{4,61x10^{-5} K}{W}$$

Por tal motivo:

$$U = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{(0,0398 + 4,61x10^{-5})K/W * (2,51m^2)} = 10,01 \frac{W}{K.m^2}$$

Con este valor calculamos el calor que pierde el sistema:

$$Q = U * A * \Delta T$$

$$Q = \left(10,01 \frac{W}{K \cdot m^2}\right) * (2,51m^2) * (368 - 298)^{\circ}K$$

$$Q = 1758,76 W$$

Hallamos la masa de GLP necesario para alcanzar una temperatura de 95°C de la mezcla:

$$Q_{GLP} = Q_{PAREDES} + Q_{MEZCLA} + Q_{PÉRDIDAS}$$

$$m_{GLP} * PCI = 0 + (m * Cp * \Delta T)_{MEZCLA} + 1758,76 W$$

$$m_{GLP} = \frac{(m * Cp * \Delta T)_{MEZCLA} + 1758,76 W}{PCI}$$

Dónde:

$m_{GLP}$  = Masa de GLP (kg)

$PCI$  = Poder calorífico interno GLP (42000 KJ/kg)

$m$  = Masa de la mezcla (agua+NaOH+olote)

$Cp$  = Capacidad calorífica de la mezcla (KJ/kg°C)

Determinamos Cp de la mezcla:

$$Cp_{mezcla} = x_i * C_{pi}$$

$$Cp_{mezcla} = x_{olote} * Cp_{olote} + x_{agua} * Cp_{agua} + x_{NaOH} * Cp_{NaOH}$$

$$Cp_{mezcla} = (0,037) * \left(3,50 \frac{KJ}{kg^{\circ}C}\right) + (0,962) * \left(4,18 \frac{KJ}{kg^{\circ}C}\right) + (0,015) * \left(1,48 \frac{KJ}{kg^{\circ}C}\right)$$

$$Cp_{mezcla} = 4,18 \frac{KJ}{kg^{\circ}C}$$

Hallamos la masa de GLP:

$$m_{GLP} = \frac{\left[ 2,63 \text{ kg} * 4,18 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (95 - 25)^{\circ}\text{C} \right]_{mezcla} + 1758,76 \frac{\text{J}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ KJ}}{1000 \text{ J}}}{42000 \text{ KJ/kg}}$$

$$m_{GLP} = 0,0186 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

### 3.2.5.2 Diseño de Equipos

Para el diseño de equipos se utilizó una escala de ampliación 80:1 en relación con los datos obtenidos a nivel de laboratorio con la finalidad de que el volumen de los equipos pueda abarcar mayor cantidad de materia prima e insumos.

El acero inoxidable es el material estrella al momento de la construcción de equipos en el sector industrial porque es apto para el cuidado de la salud y alta resistencia ante el fenómeno de corrosión. Para la industria de papel se ha escogido dos tipos de materiales que serán base para la elaboración de equipos:

**AISI 304:** (11% Ni y 19% Cr) su precio es elevado en comparación al acero por su mayor resistencia a la corrosión. Además, que el uso de hidróxido de sodio en la industria requiere de materiales de acero inoxidable.

**ASTM A240:** acero inoxidable resistente a temperaturas elevadas usadas en intercambiadores de hornos, digestores, evaporadores, tanques, equipos de celulosa, papel y materiales expuestos a atmósferas marinas. La conductividad térmica de este material es de 500° C y una expansión térmica de 32° F a 600° F.

#### ➤ **Diseño de la mesa de selección y lavado de materia prima**

- **Volumen de la mesa**

**Tabla 27-3:** Dimensiones de la mesa de selección y Lavado de materia prima

<i>Especificaciones</i>	<i>Dimensión (m)</i>
Longitud de la mesa (L <sub>m</sub> )	2
Ancho de la mesa (a <sub>m</sub> )	1
Altura de la caja de la mesa (h <sub>m</sub> )	0,20
Altura de la mesa (h <sub>o</sub> )	1,10

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2019

$$V_m = L_m * a_m * \square_m$$

$$V_m = 2m * 1 * 0,2m$$

$$V_m = 0,4 m^3$$

- Capacidad de la mesa

**Tabla 28-3:** Dimensiones para la capacidad de la mesa

<i>Especificaciones</i>	<i>Dimensión (kg/m<sup>3</sup>)</i>
Densidad olote de maíz	721,1

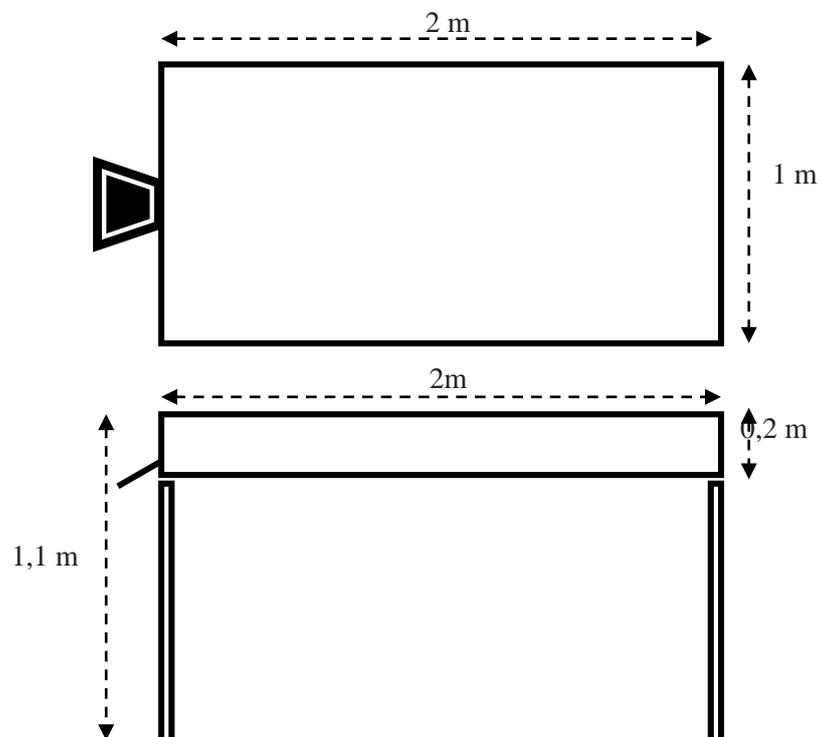
Realizado por: Valdivieso, Juan. 2019

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

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

$$m = 721,1 \frac{kg}{m^3} * 0,4m^3$$

$$m = 288,44 kg$$



➤ **Diseño Picadora industrial**

Con las especificaciones anteriores del olote de maíz se calcula el volumen de la picadura industrial. La masa de materia prima a nivel de laboratorio fue de 0,5 kg para iniciar el proceso de reducción de tamaño, pero para el diseño realizaremos a escala de ampliación 80:1, por tanto la masa que ingresa al proceso será de 40 kg.

• **Volumen de la picadora**

**Tabla 29-3:** Dimensiones para la capacidad de la picadora

<i>Especificaciones</i>	<i>Peso (kg)</i>
Masa de alimentación	40

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2019

$$V_t = \frac{m}{\rho_{olote}}$$

Dónde:

$V_t =$  Volumen total ( $m^3$ )

$m =$  masa del olote (kg)

$\rho_{olote} =$  Densidad del olote ( $kg/m^3$ )

$$V_t = \frac{40 \text{ kg}}{721,1 \text{ kg}/m^3}$$

$$V_t = \frac{40 \text{ kg}}{721,1 \text{ kg}/m^3}$$

$$V_t = 0,055 \text{ m}^3$$

Para el diseño de la picadora industrial se acoge un factor de seguridad para lograr un proceso eficiente, el mismo que se será de 15%.

$$V_t = 0,055 \text{ m}^3 * 1,15$$

$$V_t = 0,055 \text{ m}^3 * 1,15$$

$$V_t = 0,0633 \text{ m}^3$$

- **Radio de tanque**

El diámetro de la picadora se considera  $\emptyset = 0,5 \text{ m}$

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

$$r = 0,25 \text{ m}$$

- **Velocidad Angular**

De acuerdo a Cuadrado (2019), la velocidad angular para una picadora industrial corresponde a 1760,7 rpm.

$$W = \frac{\theta}{t}$$

Dónde:

W = Velocidad angular (rad/s)

$$W = \frac{1760,7 \text{ revoluciones}}{1 \text{ min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$W = 184,38 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

- **Altura del tanque**

Teniendo en cuenta el volumen de la picadora decimos:

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

Teniendo en cuenta el volumen de la picadora decimos:

Dónde:

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

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

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

$$H = \frac{4 * 0,0633 \text{ m}^3}{\pi * (0,5\text{m})^2}$$

$$H = 0,322 \text{ m}$$

Para una adecuada operación se adiciona un factor de seguridad a la altura del tanque del 30%.

$$H_t = H * 1,15$$

$$H_t = 0,322 \text{ m} * 1,30$$

$$H_t = 0,419 \text{ m}$$

- **Longitud de las cuchillas**

Para la longitud de la cuchilla será 5/7 del radio circular según Cuadrado (2019), por tanto:

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

$$d_c = \frac{5(0,25 \text{ m})}{7}$$

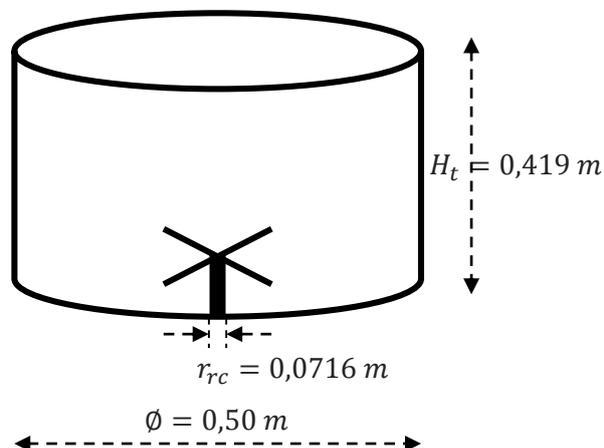
$$d_c = 0,179 \text{ m}$$

- **Radio del rodete de cuchillas**

$$r_{rc} = \frac{2 * d_c}{5}$$

$$r_{rc} = \frac{2 * (0,179\text{m})}{5}$$

$$r_{rc} = 0,0716 \text{ m}$$



- **Energía de ruptura**

**Tabla 30-3:** Dimensiones para la capacidad de la picadora

<i>Especificaciones</i>	<i>Dimensión</i>
$\delta$ Gravedad específica ( $m/s^2$ )	9,8
e Espesor cuchilla ( $m$ )	0,005
Densidad pulpa ( $kg/m^3$ )	1008,9

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2019

$$E_{ruptura} = m_{olote} * \delta * H$$

$$E_{ruptura} = (40 \text{ kg}) * \left(9,8 \frac{m}{s^2}\right) * (0,419 \text{ m})$$

$$E_{ruptura} = 164,25 \text{ J}$$

- **Velocidad de cuchilla**

$$E_{ruptura} = E_c$$

$$E_{ruptura} = \frac{1}{2} * m_{olote} * v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2 * E_{ruptura}}{m_{olote}}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 * (164,25 \text{ J})}{40 \text{ kg}}}$$

$$v = 2,87 \frac{m}{s}$$

- **Aceleración angular**

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

$$\alpha = \frac{1}{2} * \frac{\left(184,38 \frac{rad}{s}\right)^2}{2\pi \text{ rad}}$$

$$\alpha = 2705,3 \frac{rad}{s^2}$$

- **Masa de cuchilla móvil**

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

Dónde:

$m_c =$  masa de cuchilla móvil (kg)

$F_c =$  Fuerza de corte (N)

$\alpha =$  aceleración angular (rad/s)

$d_c =$  longitud cuchilla (m)

**Tabla 31-3:** Fuerza de corte de la cuchilla

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

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2019

$$m_c = \frac{(50,54 \text{ kg}) * 3}{\left(2705,3 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}\right) * (0,179 \text{ m})}$$

$$m_c = 0,313 \text{ kg}$$

- **Fuerza centrífuga de la cuchilla**

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

Dónde:

$F_c =$  Fuerza centrífuga (N)

$m_c =$  masa cuchilla

$$F_c = (0,313 \text{ kg}) * (184,38 \text{ rad/s})^2 * (0,25 \text{ m})$$

$$F_c = 2660,19 \text{ N} * \text{rad}^2 * \frac{1 \text{ rev}^2}{(2\pi \text{ rad})^2}$$

$$F_c = 67,38 \text{ N}$$

- **Fuerza cortante**

$$\tau = \frac{F_c}{A}$$
$$A = e * d_c$$

Dónde:

$\tau$  = fuerza cortante (Pa)

$A$  = área cuchilla (m<sup>2</sup>)

$l$  = longitud cuchilla (m)

$e$  = espesor cuchilla (m)

$$A = (0,005 \text{ m}) * (0,179 \text{ m})$$

$$A = 8,95 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\tau = \frac{67,38 \text{ N}}{8,95 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau = 75284,9 \text{ Pa}$$

- **Torque de cuchilla**

$$T = F_c * d_c$$

$$T = (67,38 \text{ N}) * (0,179 \text{ m})$$

$$T = 12,06 \text{ Nm}$$

- **Potencia del motor**

Wolfsburg (sf), establece en la publicación Variable Intake Manifold in VR Engines, la potencia del motor en función del torque en unidades kW.

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

Dónde:

$T$  = torque de a cuchilla (Nm)

$P$  = Potencia (Kw)

$$P = \frac{(12,06 \text{ Nm}) * \left(184,38 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right) * \left(\frac{1 \text{ rpm}}{2\pi \text{ rad}}\right) * \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}\right)}{9550}$$

$$P = 2,223 \text{ kW} * \frac{1 \text{ hp}}{1,34 \text{ kW}}$$

$$P = 1,65 \text{ hp} \approx 2 \text{ hp}$$

➤ **Estufa de secado**

• **Volumen del secador**

Conociendo los flujos de entrada mencionados en el balance de materia y aplicando el factor de expansión tenemos:

Masa de olote húmeda = 38,56 kg

Masa de olote seca = 12,81 kg

Largo = 1,1 m

Ancho = 0,6 m

Alto = 1,1 m

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

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

$$V = 0,726 \text{ m}^3$$

Aplicamos un factor de seguridad de 20%:

$$V_T = V * 1,20$$

$$V_T = 0,726 \text{ m}^3 * 1,20$$

$$V_T = 0,871 \text{ m}^3$$

• **Cálculo de calor necesario para secar el olote de maíz**

$$Q_a = D * C_p(\text{olote}) * \Delta T$$

Dónde:

$D$  = Cantidad de olote que sale del secador (kg)

$C_{p \text{ olote}}$  = Calor específico del olote (KJ/kg °C)

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

$Q_a$  = Calor necesario para el secado (° C)

$$Q_a = 12,81 \text{ kg} * \left( 3,50 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \right) * (90 - 22)^\circ\text{C}$$
$$Q_a = 3048,3 \text{ KJ}$$

- **Cálculo del calor necesario para calentar y evaporar el agua**

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

Dónde:

$W_b$  = Cantidad de agua evaporada (kg)

$C_p$  = Calos específico del agua (KJ/kg °C)

$h_{fg}$  = Entalpía de evaporación 2449,4 KJ/kg

$$Q_b = (28,24 \text{ kg}) * 4,193 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (212 - 90)^\circ\text{C} + (28,24 \text{ kg}) * (2449,4 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}})$$
$$Q_b = 83617,11 \text{ KJ}$$

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

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

Dónde:

$h_{gt}$  = Entalpía de vapor saturado a 50°C, tenemos 2592,1 KJ/kg

$h_{ft}$  = Entalpía de vapor saturado a 90°C, tenemos 2660,1 KJ/kg

$$Q_c = 28,24 \text{ kg} * (2660,1 - 2592,1) \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_c = 1920,86 \text{ KJ}$$

- **Cálculo del calor total de secado**

$$Q_T = Q_a + Q_b + Q_c$$
$$Q_T = (3048,3 + 83617,11 + 1920,86) \text{ KJ}$$
$$Q_T = 88586,3 \text{ KJ}$$

- **Cálculo del consumo del vapor**

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

$$CV = \frac{88586,3 \text{ KJ}}{2449,4 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}}$$
$$CV = 36,16 \text{ kg}$$

- **Área de transferencia del calor**

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

Dónde:

$U =$  Coeficiente global de transferencia de calor  $204,28 \text{ (KJ/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$

$A_t =$  Área de transferencia de calor ( $\text{m}^2$ )

$\Delta T =$  Diferencia de temperatura ( $^\circ\text{C}$ )

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

Para el cálculo del gradiente de temperatura se tiene:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_{\text{Sólido}} - \Delta T_{\text{Aire}}}{2}$$
$$\Delta T = \frac{(35 - 15)^\circ\text{C} - (20 - 90)^\circ\text{C}}{2}$$

$$\Delta T = 45 \text{ }^\circ\text{C}$$

Entonces el área de transferencia será:

$$A_t = \frac{88586,3 \text{ KJ}}{\left(204,28 \frac{\text{KJ}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}\right) * (45^\circ\text{C})}$$
$$A_t = 9,64 \text{ m}^2$$

➤ **Molino de martillos**

• **Determinación de la Potencia**

De acuerdo a (McCabe & Smith, 1986, p. 854) se propone la siguiente ecuación para determinar la potencia del molino, consideramos un índice de trabajo de 6,695 kW h/ton correspondiente al yeso, por la similitud de la densidad del olote de maíz.

El índice de trabajo se multiplica por el siguiente factor de conversión porque se trata de un material seco, así lo establece la ley de Bond.

$$W_i = \frac{4}{3} * 6.695 = 8,97 \text{ kW} \frac{\text{h}}{\text{ton}}$$

$$\frac{P}{m} = 0,815 * W_i * \left( \frac{1}{\sqrt{D_{pb}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{pa}}} \right)$$

Dónde:

$P$  = Potencia del molino (kW)

$W_i$  = Índice de trabajo (kW h/ton)

$D_{pa}$  = Diámetro del tamiz por donde pase el 80% de la alimentación (mm)

$D_{pb}$  = Diámetro del tamiz por donde retenga el 80% del producto (mm)

$m$  = masa de alimentación (ton/h)

$$\frac{Pm}{1,321 \text{ ton/h}} = 0,3162 * \left( 8,97 \text{ kW} \frac{\text{h}}{\text{ton}} \right) * \left( \frac{1}{\sqrt{0,36}} - \frac{1}{\sqrt{0,8}} \right)$$

$$P_m = 1,321 \frac{\text{ton}}{\text{h}} * 0,3162 * \left( 8,97 \text{ kW} \frac{\text{h}}{\text{ton}} \right) * \left( \frac{1}{\sqrt{0,36}} - \frac{1}{\sqrt{0,8}} \right)$$

$$P_m = 2,056 \text{ kW} * \frac{1 \text{ HP}}{0,7457 \text{ kW}} = 2,75 \text{ HP}$$

- **Cálculo de las velocidades de rotación del molino**

Para el cálculo de la velocidad de rotación asumimos algunos datos de acuerdo a la construcción del molino de martillos como:  $\emptyset$  polea del motor (80 mm),  $\emptyset$  polea del molino (130 mm), velocidad motor rotación (3450 rpm).

$$\frac{\emptyset_{\text{polea molino}}}{v_{\text{molino}}} = \frac{\emptyset_{\text{polea motor}}}{v_{\text{motor}}}$$

$$\frac{v_{\text{motor}} * \emptyset_{\text{polea molino}}}{\emptyset_{\text{polea motor}}} = v_{\text{molino}}$$

$$v_{\text{molino}} = \frac{3450 \text{ rpm} * 130 \text{ mm}}{80 \text{ mm}}$$

$$v_{\text{molino}} = 5606,25 \text{ rpm}$$

- **Determinación de la constante del molino**

De acuerdo con la tenemos la siguiente fórmula:

$$\frac{P}{m} = k * \ln \frac{D_{pa}}{D_{pb}}$$

Dónde:

$P$  = Potencia del molino (kW)

$k$  = constante del molino (kW h/ton)

$m$  = alimentación (ton/h)

$D_{pa}$  = Diámetro del 80% de la alimentación (mm)

$D_{pb}$  = Diámetro del 80% del producto (mm)

$$k = \frac{P}{m * \ln \frac{D_{pa}}{D_{pb}}}$$

$$k = \frac{2,056}{(1,321) * \ln \frac{0,8}{0,36}}$$

$$k = 1,95$$

- **Volumen de alimentación**

Sabiendo que el peso de alimentación del olote seco es de 0,1498 kg indicado en Tabla 16-3, si aplicamos el factor de ampliación 80:1, tenemos una masa de 11,984 kg.

$$V_c = \frac{m}{\rho_{olote}}$$

Dónde:

$V_c = \text{volumen de carga (m}^3\text{)}$

$\rho_{olote} = \text{densidad del olote (kg/m}^3\text{)}$

$m = \text{masa de alimentación (kg)}$

$$V_c = \frac{11,984 \text{ kg}}{721,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_c = 0,0167 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del volumen de la carcasa del equipo**

Para evitar daños en el arranque del motor se recomienda usar hasta un 30% de llenado de materia prima en la tolva de alimentación:

$$V_{sc} = \frac{V_c}{\% \text{llenado}} * 100$$

$$V_{sc} = \frac{0,0166 \text{ m}^3}{30} * 100$$

$$V_{sc} = 0,0554 \text{ m}^3$$

- **Dimensiones del molino**

Vamos a considerar que la cascara del molino tiene forma cilíndrica.

$$V_{sc} = \pi * r^2 * h_c$$

Dónde:

$V_{sc}$  = Volumen de la cáscara ( $m^3$ )

$r$  = radio de la base (m)

$h_c$  = altura de la cáscara (m)

$$h_c = \frac{V_{sc}}{\pi * r^2}$$

Asumimos un radio de 0,17 metros.

$$h_c = \frac{0,0554 m^3}{\pi * (0,17m)^2}$$

$$h_c = 0,61 m$$

- **Cálculo de masa de los martillos**

Según Hall & Salas (1968), recomiendan que en un molino de martillos los martillos deben estar separados 2,5 a 7,5 cm y girar u a una velocidad de 2500 a 4000 rpm; y su velocidad puede ser entre 75 y 100 metros por segundo. Finalmente, el espesor del martillo puede ser de 0,28 a 0,3 cm, la altura del martillo 8 cm, la longitud del martillo entre 3,5 a 4 cm, y finalmente el diámetro de abertura para el tren de martillo de 1 cm.

El volumen del martillo será:

$$V_{total} = V_{martillo} - V_{abertura\ tren}$$

$$V_{martillo} = espesor * altura * longitud$$

$$V_{martillo} = (0,29) * (8) * (3,5)$$

$$V_{martillo} = 8,12 cm^3 * \frac{1m^3}{(100 cm)^3}$$

$$V_{martillo} = 8,12 \times 10^{-6} m^3$$

El volumen de la abertura del tren será:

$$\begin{aligned}V_{abertura\ tren} &= \pi * e * \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^2 \\V_{abertura\ tren} &= \pi * 0,29\ cm * \left(\frac{1}{2}\right)^2 \\V_{abertura\ tren} &= 0,228\ cm^3 * \frac{1m^3}{(100\ cm)^3} \\V_{abertura\ tren} &= 2,28 \times 10^{-7}\ m^3\end{aligned}$$

Aplicamos la fórmula mencionada anteriormente:

$$\begin{aligned}V_{total} &= 8,12 \times 10^{-6}\ m^3 - 2,28 \times 10^{-7}\ m^3 \\V_{total} &= 7,89 \times 10^{-6}\ m^3\end{aligned}$$

Usaremos el acero DF-2 que al momento del impacto y la abrasividad es muy resistente, este material tiene por densidad  $\rho = 7800\ kg/m^3$ .

$$\begin{aligned}m_{martillo} &= V_{martillo} * \rho_{martillo} \\m_{martillo} &= (7,89 \times 10^{-6}\ m^3) * \left(7800\ \frac{kg}{m^3}\right) \\m_{martillo} &= 0,0615\ kg\end{aligned}$$

- **Cálculo de la velocidad tangencial de los martillos**

$$W = r * \omega_m$$

Dónde:

$W =$  Velocidad tangencial molino (m/s)

$r_m =$  radio entre la punta de martillo y el centro del eje del molino (m)

$\omega_m =$  velocidad angular de los martillos (rad/s)

Según el autor antes mencionado seleccionamos una velocidad angular de 3000 rpm.

$$\omega_m = 3000\ \frac{rev}{min} * \frac{2\ \pi\ rad}{1\ rev} * \frac{1\ min}{60\ s} = 314,15\ \frac{rad}{s}$$

Por tal motivo tenemos:

$$W_m = (0,116m) * \left(314,15 \frac{rad}{s}\right)$$
$$W_m = 36,44 \frac{m}{s}$$

- **Cálculo del factor dependiente de la velocidad de rotación de los martillos**

De acuerdo a la siguiente tabla propuesta por Guayllas & Montero (2012), interpolamos el valor en función de la velocidad tangencial:

**Tabla 32-3:** Valores factor (f) y velocidad tangencial

Velocidad tangencial	F
17	0,0220
20	0,0160
23	0,0100
26	0,0080
30	0,0030
40	0,0015

Fuente: (Guayllas & Montero, 2012)

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

El resultado de la interpolación para  $W = 36,44 \frac{m}{s}$  tenemos un factor (f) de 0,00225.

- **Cálculo del número de martillos**

$$P = \frac{G * r^2 * n^3 * e * f}{8 * 100000 * n}$$

Dónde:

$G$  = Peso del martillo (kg)

$r$  = Radio que describe el martillo (m)

$n$  = número de vueltas por minuto del rotor

$e = \text{Número de martillos}$

$f = \text{factor de pendiente de velocidad de rotación de los martillos}$

$n_m = \text{Eficiencia mecánica del motor (0,7)}$

$$e = \frac{N * 8 * 100000 * n_m}{G * r^2 * n^3 * f}$$
$$e = \frac{1 * 8 * 100000 * 0,7}{(0,0615 \text{ kg}) * (0,007\text{m})^2 * (3000)^3 * (0,00225)}$$

$$e = 19 \text{ martillos}$$

- **Cálculo de la torsión ejercida por el motor de molino**

$$T_{motor} = \frac{P * 100}{2 * \pi * f * g}$$

Dónde:

$T_{motor} = \text{momento de torsión aplicado al molino (Nm)}$

$P_{motor} = \text{Potencia del motor (kW)}$

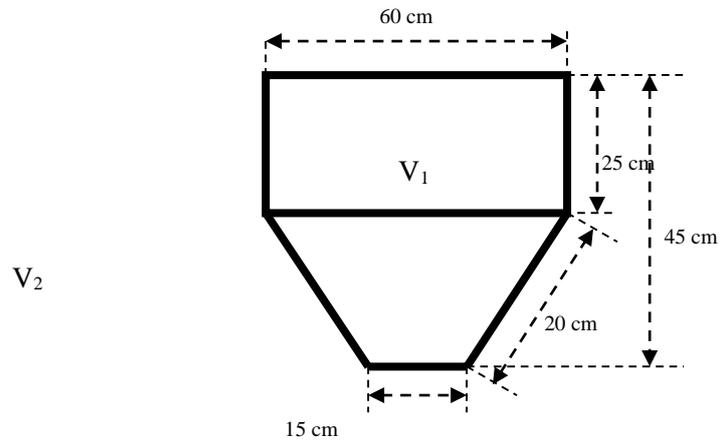
$v_m = \text{Velocidad lineal del molino (rev/s)}$

$g = \text{aceleración de la gravedad (m/s}^2\text{)}$

$$T_{motor} = \frac{(2,056 \text{ kW}) * 100}{2 * \pi * (0,00225) * \left(\frac{9,8\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$T_{motor} = 1,335 \text{ Nm}$$

- **Dimensiones de la tolva de alimentación**



El volumen total de la tolva será:

$$V_T = V_1 + V_2$$

$V_1$  corresponde a la parte superior de la tolva que posee una forma cubica:

$$V_1 = a * b * h$$

Dónde:

$$a = 60 \text{ cm}$$

$$b = 60 \text{ cm}$$

$$h = 25 \text{ cm}$$

$$V_1 = a * b * h$$

$$V_1 = (60 \text{ cm}) * (60 \text{ cm}) * (25 \text{ cm})$$

$$V_1 = 90000 \text{ cm}^3$$

$$V_1 = 90000 \text{ cm}^3 * \frac{(1 \text{ m})^3}{(100 \text{ cm})^3}$$

$$V_1 = 0,09 \text{ m}^3$$

$V_2$  corresponde a la parte inferior de la tolva de alimentación que posee una forma de pirámide truncada.

$$V_2 = \frac{h}{3} * (A_{base1} + A_{base2} + \sqrt{A_{base1} * A_{base2}})$$

$$V_2 = \frac{20 \text{ cm}}{3} * (3600 \text{ cm}^2 + 225 \text{ cm}^2 + \sqrt{3600 \text{ cm}^2 * 225 \text{ cm}^2})$$

$$V_2 = 22950000 \text{ cm}^3 * \frac{(1 \text{ m})^3}{(100 \text{ cm})^3}$$

$$V_2 = 22,95 \text{ m}^3$$

Calculamos finalmente el volumen total de la tolva de alimentación:

$$V_T = (0,09 \text{ m}^3) + (22,95 \text{ m}^3)$$

$$V_T = 23,04 \text{ m}^3$$

### ➤ Tamices vibratorios

Para el proceso de tamizado ingresa un flujo másico de 0,1498 kg por lote, al mismo valor se le adiciona un factor de ampliación 80:1, teniendo como alimentación 11,96 kg.

#### • Cálculo del volumen del tamiz

$$V_{tamiz} = \frac{m_{olote}}{\rho_{olote}} * F_S$$

Dónde:

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

$m_{olote}$  = masa del olote (kg)

$\rho_{olote}$  = densidad del olote ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$F_S$  = factor de paso para tamiz (1.2)

$$V_{tamiz} = \frac{11,96 \text{ kg}}{721,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} * (1,2)$$

$$V_{tamiz} = 0,0199 \text{ m}^3$$

La superficie de un tamiz se calcula mediante el método de Le-Blanc, según lo establece Blanco (2014):

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

Dónde:

$Ct =$  Capacidad unitaria (ton/m<sup>2</sup>h)

$T =$  Flujo másico tratado (ton/h)

$S =$  Superficie de la criba (m<sup>2</sup>)

Sabiendo que el porcentaje de rechazo es de 6% para una malla de 260 μm, calculamos la capacidad unitaria de acuerdo a los parámetros utilizados están ligados al equipo, al material y al proceso. Para determinar la capacidad unitaria, usamos la siguiente fórmula:

$$Ct = Q * \frac{H}{H_0} * \frac{\rho}{1,5} * F_1 * F_2 * F_3 * F_4 * F_5 * F_6 * F_7 * F_8$$

Descartamos el factor  $F_3$  y  $F_4$  que corresponde a tamices de varios pisos y al material húmedo respectivamente.

$$Ct = Q * \frac{H}{H_0} * \frac{\rho}{1,5} * F_1 * F_2 * F_5 * F_6 * F_7 * F_8$$

Dónde:

$Q =$  Capacidad base (0,1708 ton/m<sup>2</sup>h)

$H =$  Porcentaje en huecos de la criba (65)

$H_0 =$  Capacidad base (31,64)

Densidad del olote (7,21 ton/m<sup>3</sup>)

Factor de corrección por la desviación de la forma de los granos (1)

Factor para cribas horizontales (0,80)

Factor de corrección por el porcentaje de rechazo

= Factor de eficiencia deseado

$\rho =$

$F_1 =$

$F_2 =$

$F_5 =$

$F_6$

$F_7 =$  Factor de

corrección a la dimensión de la mitad de malla  
de corrección del contenido de humedad del producto

$F_8 = \text{Factor}$

Los factores  $F_5$ ,  $F_6$  y  $F_7$  se descarta debido a que el porcentaje de rechazo es inferior a las 8%,  
teniendo:

$$Ct = 0,171 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2\text{h}} * \frac{65}{31,64} * \frac{7,21 \text{ ton/m}^3}{1,5} * 1 * 0,8 * 0,8$$

$$Ct = 1,08 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2\text{h}}$$

La superficie del tamiz se calcula:

$$S = \left( \frac{11,96 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{1,08 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2\text{h}}} \right) * 1,2 * \left( \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} \right)$$

$$S = 0,01328 \text{ m}^2$$

El diámetro del tamiz se calcula por la siguiente fórmula:

$$\phi = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4(0,01328 \text{ m}^2)}{\pi}}$$

$$\phi = 0,180 \text{ m}$$

### ➤ Recipiente industrial para cocción

Para que el recipiente metálico resista su propio peso se requiere de un espeso mínimo de la pared y cualquier carga adicional, para ello seguimos el criterio ASME BPV según Sinnott & Towler (2012), p. 1004; que para un diámetro de 1 metro se requiere de 5 mm de espesor que incluye una corrosión permisible de 2 mm.

- **Volumen del recipiente**

Conociendo los flujos de entrada mencionados en el balance de materia y aplicando el factor de expansión tenemos:

Masa de olote = 7,648 kg

Masa de NaOH = 3,2 kg

Masa de agua = 220 kg

Usando la densidad de cada componente se obtiene su volumen:

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

$$V_{olote} = \frac{m_{olote}}{\rho_{olote}}$$

$$V_{olote} = \frac{7,648 \text{ kg}}{721,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_{olote} = 0,0106 \text{ m}^3$$

Si  $\rho_{NaOH} = 2130 \text{ kg/m}^3$

$$V_{NaOH} = \frac{m_{NaOH}}{\rho_{NaOH}}$$

$$V_{NaOH} = \frac{3,2 \text{ kg}}{2130 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_{NaOH} = 0,0015 \text{ m}^3$$

Si  $\rho_{Agua} = 997 \text{ kg/m}^3$

$$V_{Agua} = \frac{m_{Agua}}{\rho_{Agua}}$$

$$V_{Agua} = \frac{220 \text{ kg}}{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_{Agua} = 0,221 \text{ m}^3$$

El volumen del equipo se establece según la sumatoria de los insumos:

$$V_T = V_{olote} + V_{NaOH} + V_{Agua}$$

$$V_T = 0,0106 \text{ m}^3 + 0,0015 \text{ m}^3 + 0,221 \text{ m}^3$$

$$V_T = 0,233 \text{ m}^3$$

Consideramos un factor de seguridad de 20%

Entonces el volumen total del evaporador es:

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

$$V_{TT} = (0,233 \text{ m}^3) + (0,233 \text{ m}^3) * (0,20)$$

$$V_{TT} = 0,280 \text{ m}^3$$

- **Altura del tanque**

Asumimos un diámetro de 0,50 m del recipiente.

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

Dónde:

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

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

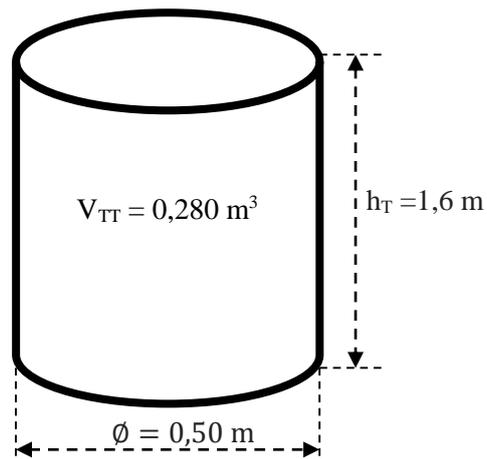
$r = \text{radio del recipiente (m)}$

$$h = \frac{0,280 \text{ m}^3}{\pi * (0,25\text{m})^2}$$

$$h = 1,426 \text{ m}$$

Consideramos un factor de seguridad de 10 %

$$h_T = h + h * 0,10$$
$$h_T = 1,426 \text{ m} + (1,426 \text{ m}) * 0,10$$
$$h_T = 1,569 \text{ m} \approx 1,6 \text{ m}$$



- **Dimensiones del soporte del recipiente**

De acuerdo a Sinnott & Towler (2012) establece las dimensiones y longitudes del soporte de falda de acuerdo al diámetro del tanque cilíndrico para la cocción de pulpa, en este caso por manejar un diámetro de 0,50 m tenemos:

Altura del soporte (V) = 0,48 m

Longitud de placa de apoyo (C) = 0,55 m

Longitud media (E) = 0,24 m

Distancia de separación entre soportes (J) = 0,190 m

Diámetro soporte ( $t_1$ ) = 6 mm

➤ **Tanque de blanqueado**

Para el diseño del tanque de blanqueado se toma los datos mencionados en el balance de masa y se aplica el factor de expansión.

$$m_{pulp\grave{a}} = 3,552 \text{ kg}$$

$$V_{\text{agua}} = 0,024 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cloro}} = 0,012 \text{ m}^3$$

• **Volumen del tanque de blanqueado**

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

$$V_{pulp\grave{a}} = \frac{m_{pulp\grave{a}}}{\rho_{pulp\grave{a}}}$$

$$V_{pulp\grave{a}} = \frac{3,552 \text{ kg}}{1008,9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_{pulp\grave{a}} = 0,00352 \text{ m}^3$$

Determinamos el volumen total sumando los volúmenes de todos los insumos:

$$\begin{aligned} V_{TANQUE} &= V_{pulp\grave{a}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{cloro}} \\ V_{TANQUE} &= 0,00352 \text{ m}^3 + 0,024 \text{ m}^3 + 0,012 \text{ m}^3 \\ V_{TANQUE} &= 0,0395 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Consideramos un factor de seguridad de 20%

Entonces el volumen total del evaporador es:

$$\begin{aligned} V_{TB} &= V_T + V_T * (0,20) \\ V_{TB} &= (0,0395 \text{ m}^3) + (0,0395 \text{ m}^3) * (0,20) \\ V_{TB} &= 0,0474 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- **Altura del tanque**

Asumimos un diámetro de 0,35 m del recipiente.

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

Dónde:

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

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

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

$$h = \frac{0,0491 \text{ m}^3}{\pi * (0,175\text{m})^2}$$

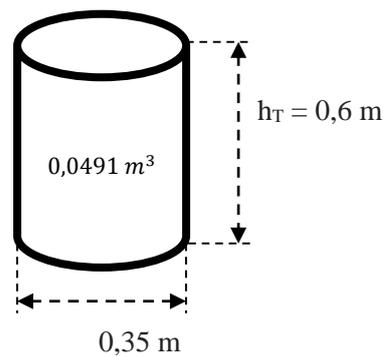
$$h = 0,5103 \text{ m}$$

Consideramos un factor de seguridad de 10 %

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

$$h_T = 0,5103 \text{ m} + (0,5103 \text{ m}) * 0,10$$

$$h_{TANQUE} = 0,561 \text{ m} \approx 0,6 \text{ m}$$



➤ **Agitador**

El agitar se requiere para obtener una mezcla de consistencia 0,3% que contiene pulpa blanqueada y agua. Para esto usamos los datos mencionados en el balance de masa:

$$m_{pulpa} = 3,39 \text{ kg}$$

$$V_{agua} = 0,016 \text{ m}^3$$

- **Volumen del agitador**

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

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

$$V_{pulpa} = \frac{3,390 \text{ kg}}{1008,9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_{pulpa} = 0,00336 \text{ m}^3$$

El volumen total:

$$\begin{aligned} V_T &= V_{pulpa} + V_{agua} \\ V_T &= 0,00336 \text{ m}^3 + 0,016 \text{ m}^3 \\ V_T &= 0,0194 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Usamos un factor de seguridad del 20%, entonces el volumen final será:

$$\begin{aligned} V_{TA} &= V_T + V_T * (0,20) \\ V_{TA} &= (0,0194 \text{ m}^3) + (0,0194 \text{ m}^3) * (0,20) \\ V_{TA} &= 0,0234 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- **Altura del agitador**

Asumimos que el diámetro es 0,30 m.

$$\begin{aligned} h &= \frac{V_{TA}}{\pi * r^2} \\ h &= \frac{0,0261 \text{ m}^3}{\pi * (0,150 \text{ m})^2} \\ h &= 0,371 \text{ m} \end{aligned}$$

Introducimos un factor de seguridad del 15%, teniendo:

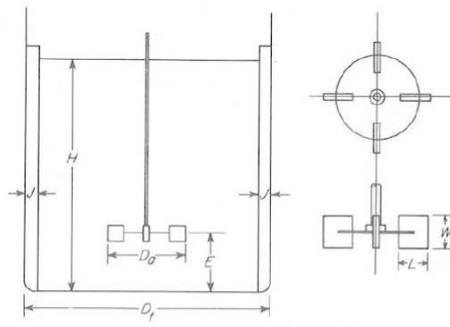
$$H = h + h * 1,15$$

$$H = 0,371 \text{ m} + (0,371) * 1,15$$

$$H = 0,796 \text{ m}$$

- **Diseño interno del agitador**

Tomamos en cuenta los parámetros sugeridos por McCabe, et al., (2018) tomamos la siguiente forma:



**Figura 13-3:** Dimensiones del agitador

Fuente: (MacCbe, et al., 2018, p. 264)

**Tabla 33-3:** Fórmulas para diseño del agitador

$\frac{j}{D_t} = \frac{1}{12}$	$\frac{H}{D_t} = \frac{1}{1}$	$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$
$\frac{D_a}{D_t} = \frac{2}{3}$	$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3}$	$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$

Fuente: (MacCbe, et al., 2018, p. 264)

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2019

- **Diámetro del rodete**

Sabiendo que  $D_t = h = 0,371 \text{ m}$  según lo establece el autor mencionado.

$$D_a = \frac{2D_t}{3}$$

$$D_a = \frac{2(0,371 \text{ m})}{3}$$

$$D_a = 0,247 \text{ m}$$

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

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

$$E = \frac{1}{3} * (0,371 \text{ m})$$

$$E = 0,124 \text{ m}$$

- **Longitud del brazo**

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

$$L_{eje} = (0,796 \text{ m}) - (0,124 \text{ m})$$

$$L_{eje} = 0,672 \text{ m}$$

- **Ancho de las paletas**

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

$$W = \frac{0,247 \text{ m}}{5}$$

$$W = 0,0494 \text{ m}$$

- **Longitud de paletas**

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

$$L = \frac{0,247 \text{ m}}{4}$$

$$L = 0,0618 \text{ m}$$

- **Ancho para las placas deflectoras**

$$j = \frac{0,371 \text{ m}}{12}$$

$$j = 0,0309 \text{ m}$$

- **Cálculo de la potencia del impulsor**

Sabiendo que la mezcla de pulpa y agua es un fluido newtoniano MacCabe, et al., (2018) establece la siguiente ecuación para determinar la potencia del impulsor:

$$P = N_p * N^3 * (D_a)^5 * \frac{\rho}{g}$$

Dónde:

$N_p =$  Número de potencia

$g =$  constante ley de Newton 32,17

$N =$  Velocidad de giro (rps)

$D_a =$  Diámetro del tanque (m)

$\rho =$  densidad de la mezcla (kg/m<sup>3</sup>)

El número de potencia se determina a través de la gráfica de  $N_p$  vs  $N_{Re}$ , para el número de Reynolds seguimos la siguiente ecuación:

$$N_{Re} = \frac{N * D_a^2 * \rho}{\mu}$$

Dónde:

$N =$  velocidad de giro (rps)

$D_a =$  diámetro del impulsor (m)

$\rho =$  densidad de la mezcla (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu =$  viscosidad de la mezcla (Pa.s)

Tomando en cuenta la masa de la mezcla correspondiente a 19,98 kg y el volumen que ocupa la mezcla en el vaso de precipitación de 0,0003 m<sup>3</sup>.

$$\rho = \frac{m_{mezcla}}{V_{mezcla}}$$

$$\rho = \frac{19,98 \text{ kg}}{0,0003 \text{ m}^3}$$

$$\rho = 66600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

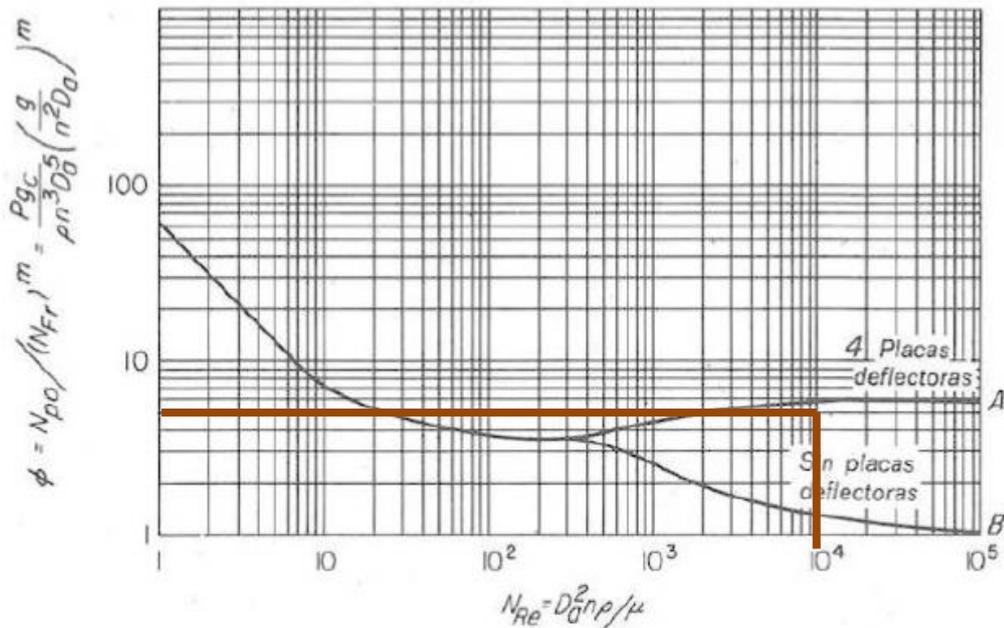
Asumimos una velocidad de giro de 135 rpm de acuerdo a bibliografía.

$$N_{Re} = \frac{N * D_a^2 * \rho}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{\left(135 \text{ rpm} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}\right) * (0,247 \text{ m})^2 * (66600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{(0,15 \text{ Pa.s})}$$

$$N_{Re} = 60947,8$$

Tomamos en cuenta el número de potencia  $N_p$  de 4,9 y como lo establece McCabe a través de la gráfica hallamos la potencia requerida:



**Figura 13-3:** Grafico de  $N_p$  vs  $N_{Re}$  para diferentes agitadores tipo turbina

**Fuente:** (MacCabe, et al., 2018, p. 264)

$$P = N_p * N^3 * (D_a)^5 * \frac{\rho}{g}$$

$$P = 4,9 * \left(2,25 \frac{\text{rev}}{\text{s}}\right)^3 * (0,247 \text{ m})^5 * \frac{66600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{32,17}$$

$$P = 86,72 \text{ W} * \frac{1 \text{ Hp}}{745,7 \text{ W}}$$

$$P_{AGITADOR} = 0,116 \text{ Hp}$$

Como el valor de la potencia es relativamente baja, por tanto se considera una potencia de al menos 2 Hp.

➤ **Placas formadoras de papel**

Una hoja de papel formato A4 tiene las siguientes dimensiones que servirán para el diseño de los bastidores: Ancho = 0,21 m; Alto = 0,297 m.

• **Volumen del bastidor**

**Bastidor base**

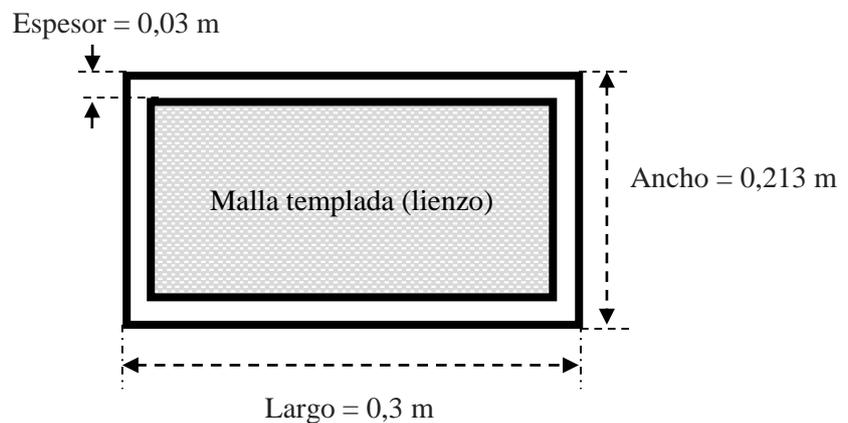
Consideramos un espesor de 0,03 m

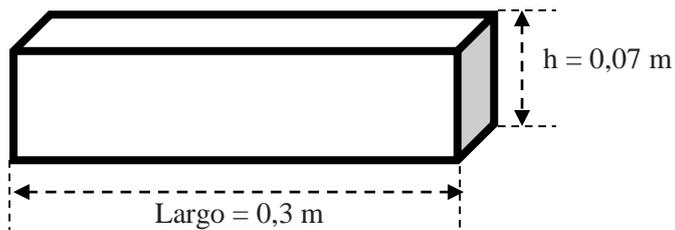
$$\begin{aligned} V_1 &= \text{largo} * \text{ancho} * \text{espesor} \\ V_1 &= (0,21 \text{ m}) * (0,297 \text{ m}) * (0,03 \text{ m}) \\ V_1 &= 0,00187 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

**Bastidor superior**

Consideramos un espesor de 0,03 m y una altura de 0,07 m

$$\begin{aligned} V_2 &= \text{largo} * \text{ancho} * \text{espesor} \\ V_2 &= (0,21 \text{ m}) * (0,297 \text{ m}) * (0,07 \text{ m}) \\ V_2 &= 0,00624 \text{ m}^3 \end{aligned}$$





### 3.3 Requerimientos de Equipos y Maquinarias

#### 3.3.1 Costo Insumos

**Tabla 34-3:** Costo Insumos

RUBROS	CANTIDA D	UNIDAD	PRECIO UNITARIO \$	TOTAL \$
Olote de maíz	40	Kg	0,00	0,00
Hidróxido de sodio	20	Kg	40,00	800,00
Agua	15000	L	0,01	150,00
Cloro	70	L	1,19	83,33
<b>TOTAL</b>				1033,33

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2019

#### 3.3.2 Recursos Humanos

**Tabla 35-3:** Costo Insumos

PERSONAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	TOTAL (\$)
Operario	3	394	1182
Técnico de Laboratorio de calidad	1	700	700
Jefe de Administración	1	700	700
<b>TOTAL</b>			2582

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

### 3.3.3 Recursos Materiales

**Tabla 36-3:** Maquinarias y Equipos

MAQUINARIA – EQUIPOS	VALOR (\$)
Mesa de lavado	500
Picadora	3000
Estufa de secado	4000
Molino de Martillos	2000
Tamices vibratorios	1250
Tanque de cocción	1300
Quemador a gas	230
Tanque de blanquead	1120
Bastidores	350
<b>TOTAL</b>	<b>13750</b>

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

### 3.3.4 Recursos Totales

**Tabla 37-3:** Recursos Totales

RUBROS	VALOR \$
Costo insumos	1033,33
Recursos Humanos	2582
Recursos materiales	13750
<b>TOTAL</b>	<b>17365,33</b>

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Caracterización del olote de maíz

La caracterización química del olote de maíz se realizó de acuerdo a las directrices de las normas INEN y TAPPI. Los resultados están de acuerdo a fracciones de humedad, ceniza, celulosa y lignina.

**Tabla 1-4:** Resultados de la caracterización química del olote de maíz

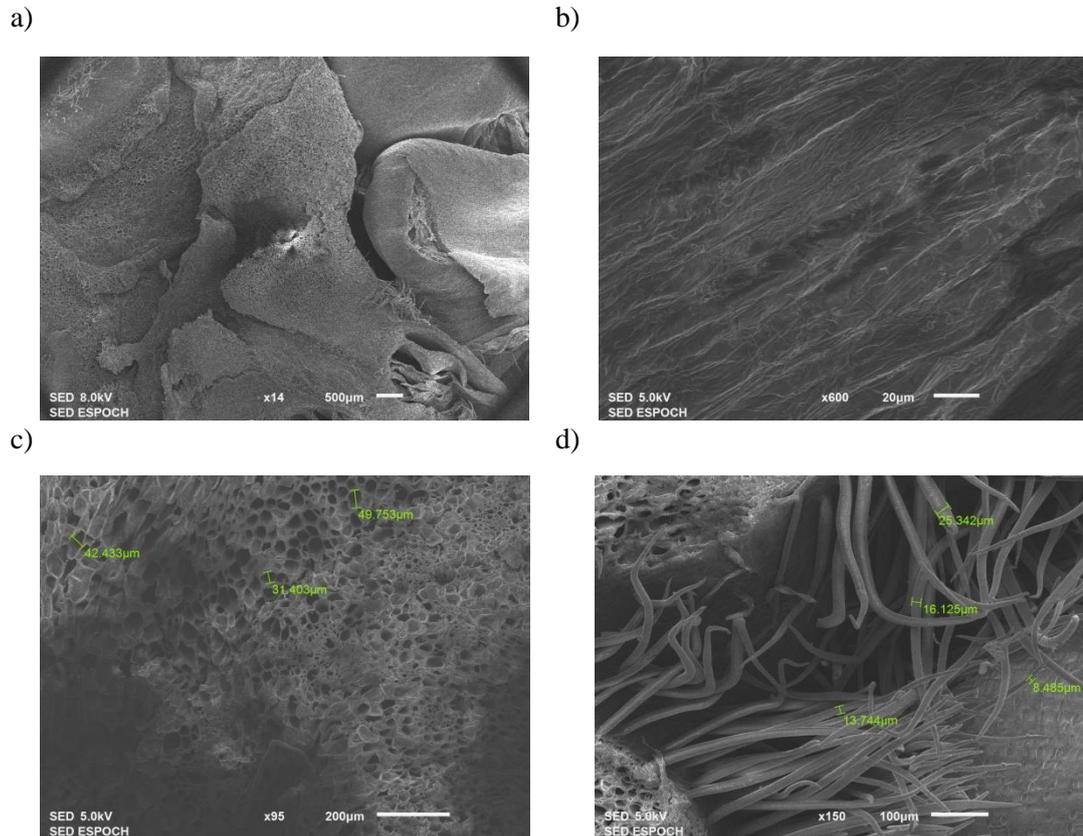
Propiedad	Porcentaje (%)
Humedad	16,11
Ceniza	2,340
Celulosa	40,225
Lignina	15,482

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

El tratamiento hidrotérmico bajo condiciones subcríticas según la norma Tappi 9m, 1954 dado por Córdoba et al. (2013) señala que el contenido de celulosa es de 45% presente en el olote de maíz. Y el contenido de lignina en la composición fue de 15,8%. Bajo la misma directriz Portuguéz et al. (1992) señala que el porcentaje de celulosa en el olote está en un 59,2% y la lignina en 17,9%. Al comparar los resultados obtenidos con la muestra de olote analizada a nivel de laboratorio, vemos que estos valores están por debajo de los que aluden los autores mencionados; siendo 40,225% de celulosa y 15,482% de lignina. Esto se debe a que Moya, empleó un método de deslignificación a la muestra de olote a base de varias soluciones de NaOH a 80° C, separando así de la lignina de la celulosa para que este último componente sea más puro y sus resultados sean más precisos. El alto porcentaje de celulosa presente en el olote de maíz hace de este residuo un material idóneo para la elaboración de papel, aludiendo a lo afirmado por Grant et al. (1966) que la estructura básica de la pasta y papel en un entramado de fibras de celulosa.

## 4.2 Microscopia Electrónica de Barrido SEM

Por medio de un microscopio de barrido se observó la estructura microscópica del olote de maíz, en la figura 1-4 (c) (d) se observa el diámetro de las fibras del olote de maíz y la longitud de la fibra.



**Figura 1-4:** SEM del olote de maíz

Fuente: Valdivieso Juan, 2020.

**Tabla 2-4:** Propiedades biométricas del olote de maíz

Variable	Medida (um)
Longitud de la fibra (L)	150,7
Diámetro de la fibra (D)	14,125

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

**Tabla 3-4:** Índices de calidad de la materia prima

Índice	Valor
Coefficiente de rigidez (CR)	0,3
Coefficiente de flexibilidad (CF)	0,285
Coefficiente de Peteri (IE)	10,67
Relación Runkel (RR)	1,05

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

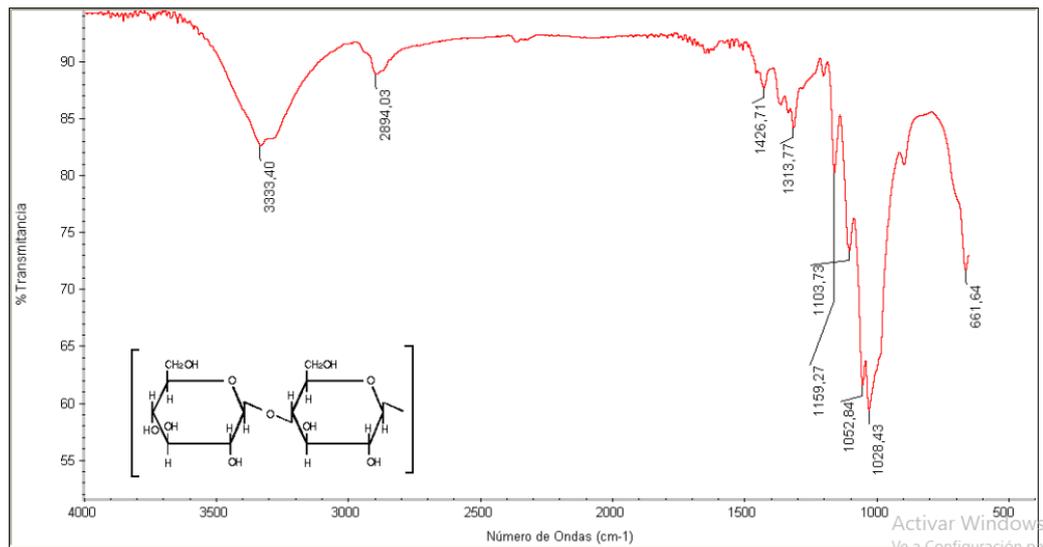
Fuentes (1987) establece que el valor del coeficiente de rigidez que se encuentra en un rango de 0,20-0,35 indica que el grosor la pared celular es “delgado” afectando a la adherencia entre las fibras y con ello la resistencia del papel de manera alarmante pero no total. El resultado de CR en el olote de maíz como se indica en la tabla 3-4, tiene un valor de 0,3 que se vio afectado al momento de formar las láminas de papel donde las fibras celulósicas tenía dificultad para adherirse entre sí en bajas concentraciones de sosa cáustica, pero mejorando al incremento de la concentración del mismo. La resistencia fue baja al momento de monitorear las variables de calidad del papel.

El índice de flexibilidad tiene una relación parabólica con la longitud de rompimiento, este índice al alcanzar valores >50 la resistencia a la tensión será mayor y la resistencia al rasgado y a la dobléz se verá favorecido (Araiza & Quiñones, 2000). El CF del olote maíz se encuentra en la última denominación con un valor de 0,285 que al compararlo con la tabla del Anexo D, observamos que existe un poco superficie de contacto y una pobre unión de fibra a fibra al momento del secado de la lámina de papel.

Porres & Valladares (1979), presentan una clasificación de la calidad de pulpa presentes en el Anexo B, siendo < 0,25 excelente para hacer papel considerado grado I, mientras que los resultados mayores a 2 determinan que la materia prima es una mala elección para hacer papel. En el ensayo realizado para medir este índice podemos ver que el resultado es de 1,05 que al ubicar en la Tabla antes mencionada observamos el olote de maíz es una especie buena-regular para la elaboración de papel. Araiza & Quiñones (2000) al determinar el índice de Peteri de la madera de *Casuarina equisetifolia* obtuvo un valor 72,9 que entra en la categoría de calidad moderada. Al comparar con el índice determinado en la investigación fue de 10,67 que lo ubica en una pulpa de regular calidad.

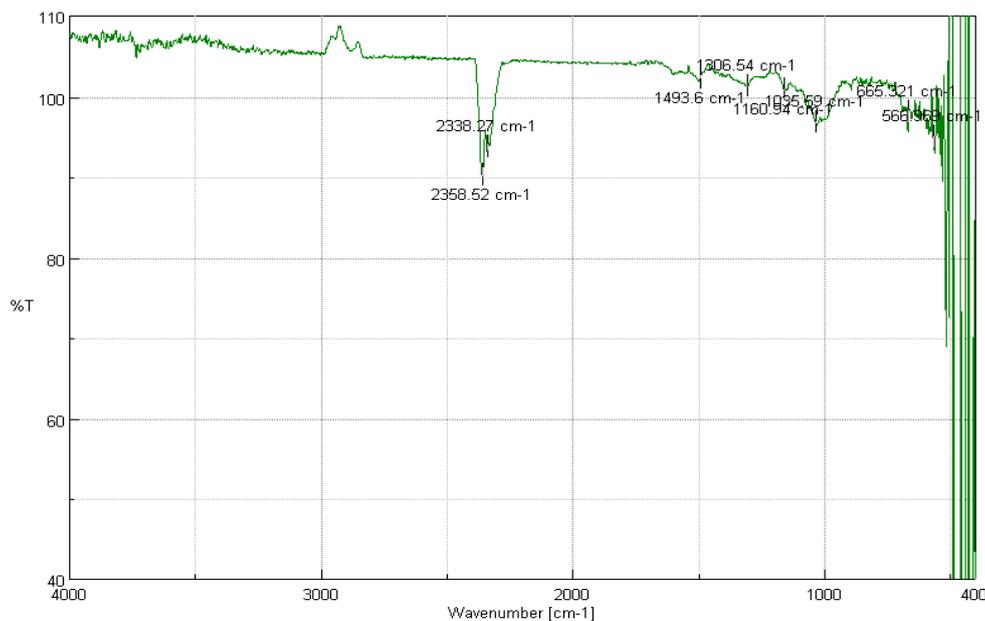
### **4.3 Caracterización de la pulpa para papel**

La Espectroscopia de transmisión de infrarrojo permite observar los grupos funcionales que hacen parte de un compuesto a través de vibración de la longitud de onda, los estudios realizados por Requejo (2011) presentan el IR de la celulosa virgen. Se puede apreciar en la figura 2-4 las bandas características del estiramiento del enlace O-H a  $3353\text{ cm}^{-1}$ , el enlace C-O a  $1052\text{ cm}^{-1}$ , la tensión C-H a  $2871\text{ cm}^{-1}$  y C-H de los grupos metilos  $1454\text{ cm}^{-1}$ . Así como también lo confirma el estudio de la celulosa realizado por Contreras et al. (2010) ubicando en el espectro las bandas de manera minuciosa C-H<sub>2</sub> ( $2918, 2851, 1471$  y  $1375\text{ cm}^{-1}$ ), C-H ( $1360$  Y  $1280\text{ cm}^{-1}$ ), C-O ( $1054$  y  $1030\text{ cm}^{-1}$ ), C-O-C ( $1160\text{ cm}^{-1}$ ).



**Figura 2-4: FTIR celulosa**

Fuente: Requejo, 2011



**Figura 3-4: FTIR pulpa de olote de maíz**

Fuente: Valdivieso, Juan. 2020

En la tabla 4-4 y la figura 3-4 se muestra el IR de la pulpa celulósica obtenida después del tratamiento del olote de maíz con sosa caústica a temperatura, los picos presentes en las bandas 2338,27; 2358,58; 1493,6 y 1306,54  $\text{cm}^{-1}$  hacen referencia a las bandas cristalinas del enlace C-H y C-H<sub>2</sub> según la comparación bibliográfica.

La vibración del enlace C-O-C se puede observar con claridad en la frecuencia 1160,54  $\text{cm}^{-1}$  y para el enlace C-O únicamente 1035,59  $\text{cm}^{-1}$ .

**Tabla 4-4: Wavnumber vs. %T**

Wavnumber [cm-1]	%T
2358.52	90.3417
2338.27	93.7937
1493.6	102.297
1306.54	101.379
1160.94	100.85
1035.59	96.8111
665.321	98.0921
566.969	95.0783

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

#### 4.4 Número de kappa en la pulpa de olote

El valor del número de kappa de una pulpa destinada a la fabricación de papel mientras más alto sea indica que el proceso de separación de la celulosa de la lignina fue deficiente y viceversa así lo manifiesta Espinoza & León (2017). También Hernandez (2008) menciona que el número de kappa comprendido entre 30-35 es aceptable para pulpas destinadas al proceso de blanqueado obteniendo efectos bastante buenos. Los resultados presentados en la tabla 5-4 del presente proyecto dan un número de kappa superior a 30 para el tratamiento 40% NaOH (p1, p2, p3) en comparación al resto de resultados, debido que el aumento de sosa caustica permite obtener una deslignificación más efectiva. Y al momento de someter la pulpa (p1, p2, p3) de olote al proceso de blanqueado con hipoclorito de sodio se obtuvo un color blanco característico del papel de escritorio, a diferencia del resto de láminas de papel que presentaron una apariencia opaca.

**Tabla 5-4: Resultados del Número de Kappa la pulpa de olote de maíz.**

Muestra	Número de Kappa
<i>k1</i>	24,16
<i>k2</i>	23,12
<i>k3</i>	34,55
<i>m1</i>	27,31
<i>m2</i>	29,15
<i>m3</i>	22,15
<i>p1</i>	31,12
<i>p2</i>	32,88
<i>p3</i>	38,08

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

#### 4.5 Lignina en la pulpa de olote

De acuerdo a los resultados obtenidos en la elaboración de papel de la cáscara de maíz Espinoza & León (2017) se observa que porcentaje de lignina presente en la pulpa decrece al aumentar la concentración del Sosa Caustica, debido a que esta base separa la lignina de celulosa. En la tabla 6-4 observamos que los 3 últimos tratamientos (p1, p2, p3) llevan un menor contenido de lignina en la pulpa, esto trae como consecuencia un mejor resultado en el blanqueado, lo contrario sucede con las pulpas con alto porcentaje de lignina que son difíciles de blanquear, así lo establece Bajpai (2015). El porcentaje de alfacelulosa aumenta proporcionalmente cuando el ataque de la sosa caustica a la lignina aumenta, obteniendo una celulosa cada vez más pura libre de otros componentes que pueden afectar la apariencia de la lámina de papel

**Tabla 6-4:** Resultados del porcentaje de lignina y alfacelulosa presente en la pulpa.

<i>Muestra</i>	<i>% lignina</i>	<i>% Alfacelulosa</i>
<i>k1</i>	4,55	74,92
<i>k2</i>	4,05	76,06
<i>k3</i>	3,78	77,85
<i>m1</i>	4,09	86,25
<i>m2</i>	3,54	88,30
<i>m3</i>	3,11	89,28
<i>p1</i>	2,57	91,52
<i>p2</i>	1,83	93,06
<i>p3</i>	1,60	94,85

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

#### 4.6 Soda residual en el Licor Negro

El licor negro es el desecho generado en el proceso de pulpeado del olote de maíz, al analizar su composición encontramos que en la tabla 7-4 se detalla la cantidad de hidróxido de sodio que no se consumió en el proceso. Podemos que ver que NaOH se consume en función al tiempo, es decir que a mayor tiempo mayor será el consumo de esta base y viceversa. El pulpeado del tratamiento k3, m3, p3 tienen poca cantidad de hidróxido no consumido en relación al resto de tratamientos desarrollados en 60 y 120 minutos. Esta característica es ideal debido a que se puede mejorar la dosificación del NaOH a una menor cantidad ahorrando capital a la actividad papelera.

**Tabla 7-4:** Resultados de la soda residual presentes en el licor negro.

<i>Muestra</i>	<i>pH</i>	<i>Concentración soda residual (g<sub>NaOH</sub>/L<sub>licor negro</sub>)</i>	<i>Hidróxido no consumido (g)</i>
<i>k1</i>	12,27	6,28	3,14
<i>k2</i>	12,81	0,71	0,258
<i>k3</i>	12,90	2,22	0,59
<i>m1</i>	12,96	5,448	1,70
<i>m2</i>	13,33	13,264	4,80
<i>m3</i>	13,36	6,52	1,53
<i>p1</i>	13,53	18,41	9,2
<i>p2</i>	13,42	5,68	2,07
<i>p3</i>	13,23	5,01	1,34

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

#### 4.7 Rendimiento de la pulpa

**Tabla 8-4:** Resultados del rendimiento del proceso de pulpeado

<i>Muestra</i>	<i>% Rendimiento</i>
<i>k1</i>	61,16
<i>k2</i>	53,89
<i>k3</i>	50,94
<i>m1</i>	56,21
<i>m2</i>	48,74
<i>m3</i>	48,73
<i>p1</i>	51,26
<i>p2</i>	44,73
<i>p3</i>	41,68

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

La concentración de hidróxido de sodio y el tiempo de maceración que la pulpa después de la cocción influye directamente en el rendimiento de la pulpa. Según Jeetha (2015) si el tiempo de maceración es excesivo el rendimiento de la pulpa disminuye. Así como el NaOH rompe los enlaces de hidrogeno que mantienen unidas a las moléculas, su excesivo contacto con la materia orgánica puede degradar la celulosa según Huerta (2012). Los resultados presentados la Tabla 8-4 nos permiten deducir que el rendimiento del pulpeado es alto cuando la concentración de NaOH

es baja, lo contrario sucede al momento aumentar la concentración de este compuesto. Sin embargo el rendimiento se puede aumentar en un pequeño porcentaje realizando un mejor filtrado de pulpa, porque se evidenció perdidas al momento de efectuar este proceso.

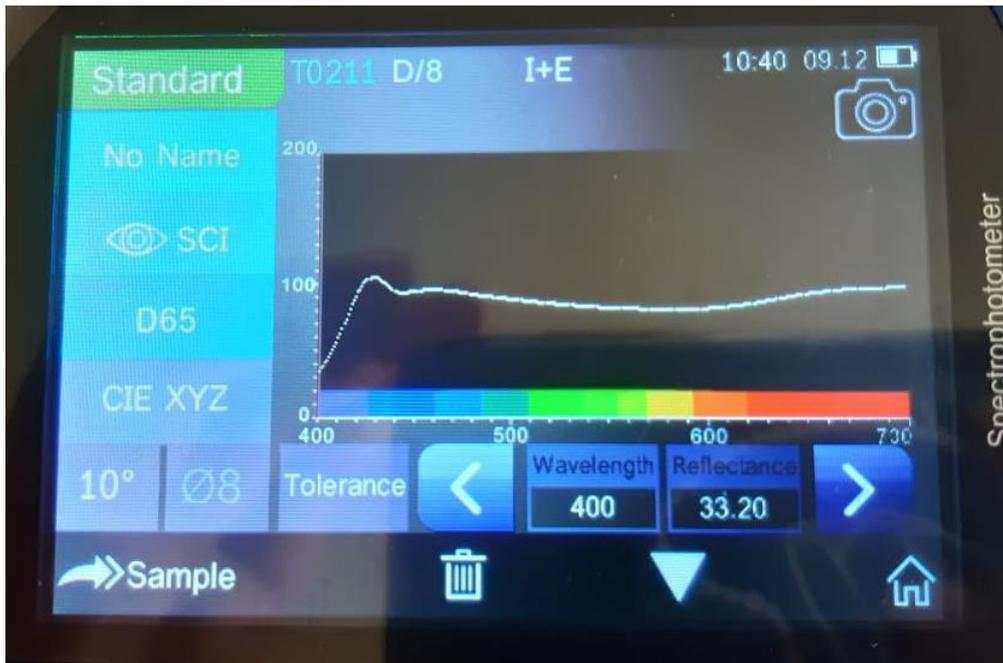
#### 4.8 Blancura de la lámina de papel

**Tabla 9-4:** Resultados blancura de láminas de papel

<i>Muestra</i>	$X_1$	$Y_1$	$Z_1$	$\Delta E$	<i>Longitud de onda (nm)</i>	<i>Reflectancia (%)</i>
<i>Estándar</i>	80,13	83,64	100,82	-	400	33,20
<i>k1</i>	-	-	-	-	-	-
<i>k2</i>	-	-	-	-	-	-
<i>k3</i>	75,60	79,87	74,24	13,91	400	61,17
<i>m1</i>	70,41	74,31	69,9	15,74	400	50,18
<i>m2</i>	75,74	80,19	74,48	15,86	400	55,19
<i>m3</i>	67,53	71,60	67,47	16,26	400	49,91
<i>p1</i>	80,79	85,38	85,32	15,38	400	51,87
<i>p2</i>	78,98	83,40	81,63	13,61	400	61,64
<i>p3</i>	80,13	84,87	82,48	15,51	400	61,63

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

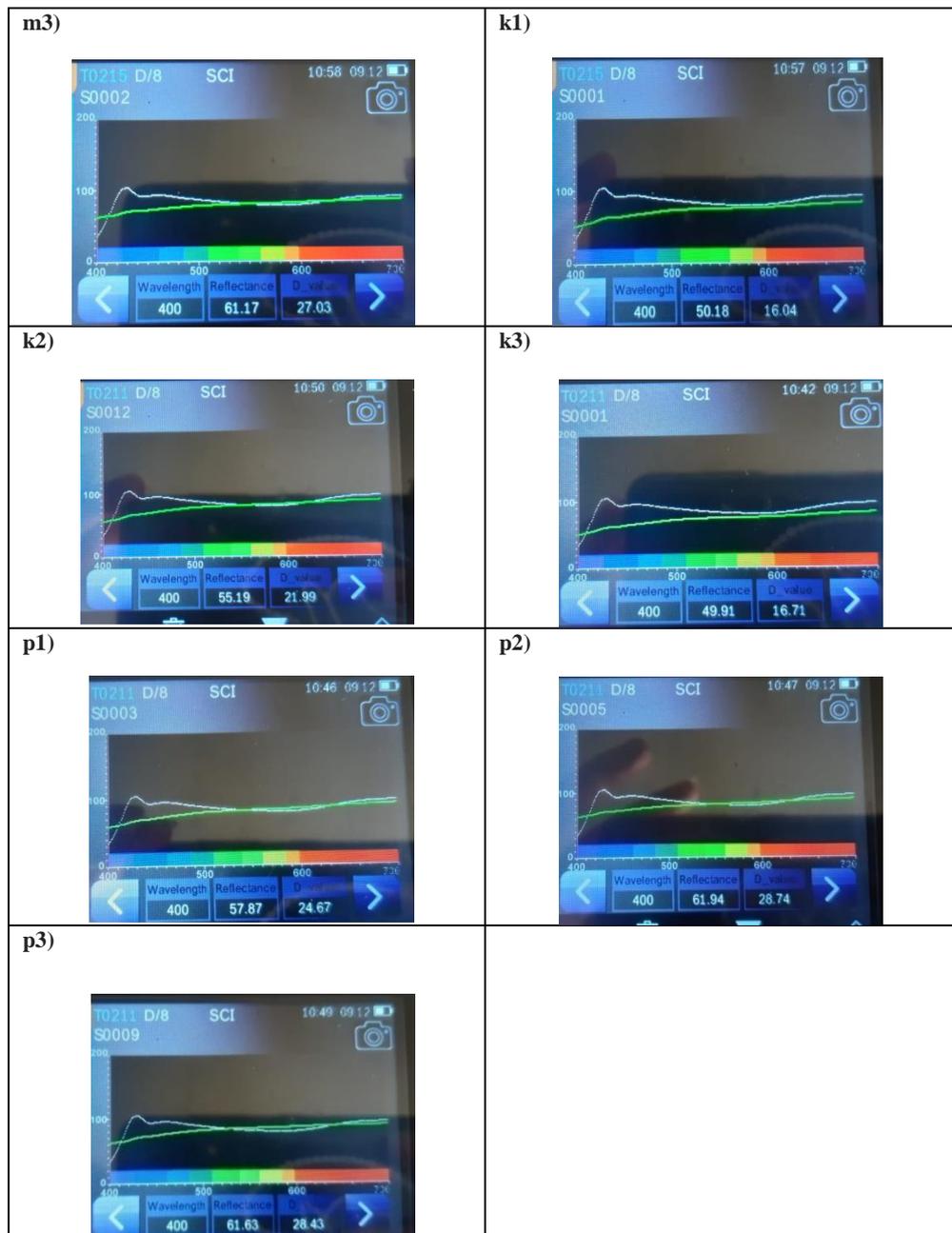
El proceso de blanqueamiento de la pulpa pardasegún Teschke & Demers (2012) requiere de distintos agentes blanqueadores a concentraciones, temperaturas y tiempos específicos, caso contrario se produce una pérdida del rendimiento de la pulpa debido a la destrucción de la fibra (Bajpai, 2015, p. 23). Por tal motivo el blanqueado se llevó a cabo con una disolución de hipoclorito de sodio en proporción 2:1, a temperatura de 45 °C durante 0,75h, si estos parámetros llegaban a excederse la pulpa perdía la capacidad de adherencia al momento del formar las láminas de papel.



**Figura 4-4:** Gráfica CIE XYZ del estándar papel bond

Fuente: Valdivieso, Juan. 2020

El análisis del índice de blancura del papel obtenido en esta investigación se realizó con la lectura del espectrofotómetro que imprime valencias primarias que corresponden a las longitudes de onda de los colores de algunos colores básicos de un sistema de color. El estándar de comparación fue un hoja de papel bond cuyos valores triestímulos fueron  $X=80,13$ ;  $Y=83,64$ ;  $Z=100,82$  que al ubicar en el plano tridimensional CIE-1931 corrobora se trata del color blanco. La Figura 5-4 obtenida en el espectrofotómetro nos presenta la curva longitud de onda vs. Reflectancia de la hoja de papel bond correspondiente al color blanco, con una longitud de onda de 400 nm y una reflectancia de 33,20 que serán el estándar para comparar las muestras de papel obtenidas en la presente investigación.



**Figura 5-4:** Gráfica CIE XYZ de las muestras de papel

Fuente: Valdivieso, Juan. 2020

La muestra m3 tiene una  $\Delta E$  (Variación de reflectancia) de 13,91 lo cual es una diferencia bastante pequeña por lo que la curva generada se asemeja a la de su estándar congruente en varios puntos, catalogando al color de la hoja como moderado. Las muestras del tratamiento k1, k2 y k3 mediante la caracterización óptica presentaban un color más opaco con tendencia a plomo, así se confirma en la figura 6-4 k1), k2), k3) cuyas curvas no son congruentes con la muestra estándar sino que se distancian la una de la otra.

Mientras que los resultados más aceptables son las muestras del tratamiento p1, p2 y p3 cuyas  $\Delta E$  son menores en relación al tratamiento k (30% NaOH), este tipo de papel tiene el color

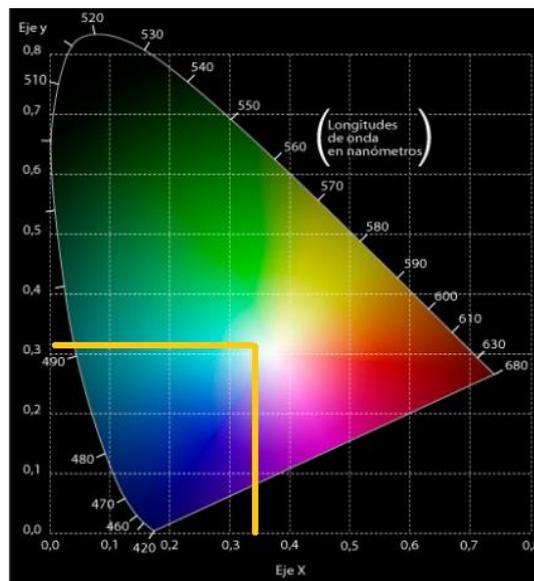
característico de una hoja de papel bond. Lo corroboramos analizando los gráficos que congruente en varios puntos de la curva. Aportamos que este color blanco característico del papel es consecuencia del número de kappa de la pulpa analizada (tabla 5-4) cuyo parámetro predijo que serían aptas para un blanqueado efectivo.

A través del método CIE XYZ 1931 en el diagrama de cromaticidad se coloca el par ordenado (x,y) calculados con los valores de la tabla 9-4 y confirmamos el color blanco del papel obtenido en la investigación. Esto se efectuó para la muestra p2 con características semejantes al estándar.

**Tabla 10-4:** Valores para el diagrama de cromaticidad

Coordenada	Valor
x	0,32
y	0,34

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020



**Figura 6-4:** Gráfica CIE XYZ de las muestras de papel  
Fuente: Westland, 2001

#### 4.9 Variables de calidad de las láminas de papel

Las láminas de papel obtenidas a partir del olote de maíz se caracterizaron para obtener sus variables de calidad, el gramaje de las hojas de papel de la tabla 10-4, corresponden a los gramos de papel por su área, en nuestro caso las láminas tienen dimensiones de 0,17 x 0,12 m que en

comparación a las dimensiones del papel bond formato A4 de 0,21 x0,297 m (ISO 216, 2011) son pequeñas por lo que se recomienda formar láminas de papel más grandes.

El calibre de las muestras hace referencia al espesor de una lámina de papel que se encuentran entre valores de 0,216 y 0,138 mm, siendo este último semejante a la de una lámina de papel bond así lo define Pacheco (2008), mientras que los valores de calibre restantes entrarían a formar parte de las cartulinas. Es evidente que estos últimos valores mencionados estén fuera de rango debido a que la dosificación de la pulpa para formar papel es manual y puede haber un margen de error.

**Tabla 11-4:** Resultados variables de calidad del papel

<b>Muestra</b>	<b>Gramaje (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Índice de Ruptura (Kgf)</b>	<b>Calibre (mm)</b>	<b>Número de puntos</b>
k1	-	-	-	-
k2	-	-	-	-
k3	1,57	265	0,204	293
m1	1,90	110	0,196	300
m2	1,61	158	0,216	158
m3	1,20	213	0,138	167
p1	1,93	202	0,203	125
p2	1,15	189	0,152	105
p3	1,63	198	0,141	111

**Realizado por:** Valdivieso, Juan. 2020

El índice de resistencia al rasgado de las láminas de papel de olote de maíz se encuentra entre 110 kgf a 265 kgf siendo el valor menor y mayor respectivamente. Hernández (2008) en la investigación para obtener papel de la corona de piña menciona que los datos obtenidos a partir de 373 kgf presentan una buena resistencia al rasgado lo que permite destinar el papel a la impresión, escritura y prensa. En esta investigación antes mencionada se evidencia que el papel proviene de una mezcla de pulpa virgen y pulpa de la corona de piña por lo que sus propiedades mejoran. El papel de olote de maíz no presenta un alto índice de resistencia al rasgado intuyendo que para mejorar esta propiedad debe mezclarse con pulpa virgen para obtener un papel más fuerte.

4.10 Resultados diseño del proceso

Tabla 12-4: Resultados diseño del proceso

<b>MESA DE SELECCIÓN Y LAVADO DE LA MATERIA PRIMA</b>			
Descripción	Abreviatura	Valor	Unidad
Longitud de la mesa	$L_m$	2	M
Ancho de la mesa	$a_m$	1	M
Altura caja de la mesa	$h_m$	0,20	M
Altura total mesa	$h_o$	1,10	M
<b>PICADORA</b>			
Volumen	$V_t$	0,0633	$m^3$
Radio tanque	R	0,25	M
Velocidad Angular	W	184,37	rad/s
Altura tanque	$H_t$	0,419	M
Longitud cuchillas	$d_c$	0,179	M
Radio cuchillas	$r_{rc}$	0,0716	M
Energía de ruptura	$E_{ruptura}$	167,25	J
Velocidad cuchilla	V	2,87	m/s
Masa cuchilla	$m_c$	0,313	Kg
Potencia motor	P	2	HP
<b>ESTUFA DE SECADO</b>			
Volumen secador	V	0,871	$m^3$
Calor para calentar olote	$Q_a$	3048,3	KJ
Calor para evaporar agua	$Q_b$	83617,11	KJ
Calor total de secado	$Q_T$	88586,3	KJ
Área transferencia calor	$A_T$	9,64	$m^2$
<b>MOLINO DE MARTILLOS</b>			
Potencia	$P_m$	3	Hp
Velocidad rotación	$V_{molino}$	5606,25	Rpm
Constante molino	K	1,95	-
Volumen martillo	$V_{martillo}$	$8,12 \times 10^{-6}$	$m^3$
Masa martillos	$m_{martillo}$	0,0615	Kg
Volumen alimentación	$V_c$	0,0166	$m^3$
Velocidad tangencial martillos	$W_m$	36,44	m/s

Número martillos	E	19	-
Volumen molino	$V_T$	23,04	$m^3$
<b>TAMICES VIBRATORIOS</b>			
Volumen tamiz	$V_{tamiz}$	0,0199	$m^3$
Diámetro tamiz	$\emptyset$	0,180	M
<b>RECIPIENTE INDUSTRIAL PARA COCCIÓN</b>			
Volumen recipiente	$V_{TT}$	0,280	$m^3$
Altura tanque	$h_T$	1,6	M
<b>TANQUE DE BLANQUEADO</b>			
Volumen tanque	$V_{TANQUE}$	0,0474	$m^3$
Altura tanque	$h_{TANQUE}$	0,6	M
<b>AGITADOR</b>			
Volumen agitador	$V_{TA}$	0,0234	$m^3$
Altura	H	0,796	M
Diámetro rodete	$D_a$	0,247	M
Altura del rodete	E	0,124	M
Longitud del brazo	$L_{eje}$	0,672	M
Ancho paletas	W	0,0494	M
Longitud paletas	L	0,0618	M
Potencia	$P_{AGITADOR}$	1HP	
<b>BASTIDORES FORMADORES DE HOJA</b>			
Espesor	E	0,03	M
Volumen bastidor base	$V_1$	0,00187	$m^3$
Altura bastidor	$h_1$	0,07	M

Realizado por: Valdivieso, Juan. 2020

## CONCLUSIONES

- Se extrajo la celulosa del olote de maíz mediante un tratamiento alcalino en NaOH a 95°C separando la lignina y otros componentes con un rendimiento del 44,73% dejando así una pulpa celulósica destinada a formar láminas de papel.
- A nivel de laboratorio se elaboraron láminas de papel de color blanco, característico del bond comercial confirmado por los ensayos de la Norma NTE INEN 1423:2013.
- Mediante la experimentación se obtuvieron variables de proceso para fabricar papel de la celulosa del olote de maíz, la primera corresponde a un diámetro partícula de 360  $\mu\text{m}$  en el proceso de molienda y tamizaje, seguido de una proporción 3:10 para la cantidad de la sosa cáustica en relación a la materia prima. También que el mejor pulpeado se alcanzó usando 2,75 litros de agua, en 3 horas, a una temperatura constante de 95° C y un tiempo de maceración de 24 horas. Finalmente, el proceso de blanqueado se efectuó a 0,75 horas, una temperatura de 50° C con una proporción 2:1 de hipoclorito de sodio en relación al agua, si esta proporción es superior la pulpa pierde sus propiedades de adherencia dificultando la formación de las láminas de papel.
- El diseño del proceso para obtener papel de la celulosa extraída del olote de maíz requerirá de los siguientes equipos: una picadora de potencia 2HP, una estufa de secado que opere 95 °C por 12 horas, un molino de potencia de 3 HP, un recipiente de cocción de 0,288 m<sup>3</sup>, un tanque de blanqueado de 0,0474 m<sup>3</sup> y un tanque de agitación de 2 HP y 135 rpm; utilizando acero inoxidable AISI 304 y ASTM A240 resistentes a la corrosión y tiempo de vida útil prolongado.
- Se validó el proceso mediante la caracterización de las láminas de papel mediante las normas NTE INEN 536:2013 Gramaje del papel, NTE INEN 1974:2013 Resistencia al Rasgado, NTE INEN 1399:2013 Calibre del papel, NTE INEN 1423:2013 Blancura de papel, TAPPI T 236 om-99 Número de Kappa, obteniendo los siguientes valores: gramaje (1,15 g/m<sup>2</sup>), índice de resistencia al rasgado (189 kgf), calibre (0,182 mm), número de puntos (105) y el color blanco de la lámina (mediante gráfica espectrofotométrica).

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda probar un nuevo método de pulpeado que consiste en una maceración en frío (ausencia de temperatura) utilizando peróxido de hidrógeno y ácido acético glacial, de esta manera se disminuyen costos de combustible.
- Se recomienda realizar el proceso de pulpeado en un digestor que permita elevar la temperatura y presión consiguiendo un menor tiempo de cocción.
- Para la elaboración de la mezcla de dosificación destinada a formar la lámina de papel a más de la pulpa celulósica y el agua, se recomienda añadir pegamento de acetato de polivinilo que ayuda a unir de mejor manera las fibras y obtener un papel más compacto.
- La malla que atrapa en su estructura la pulpa celulósica debe ser con un diámetro de poro inferior 210 um para evitar el desperdicio de la pulpa, además que el material de la malla debería ser acero inoxidable por su rigidez y resistencia a la corrosión.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**AGAMA-ACEVEDO, Edith, et al.** Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis. *Agrociencia*, 2013, vol. 47, no 1, pp. 01-12.

**ARAIZA, Julio César Villaseñor & QUIÑONES, José Guadalupe Rutiaga.** La madera de Casuarina equisetifolia L., química e índices de calidad de pulpa. *Madera y Bosques*, 2000, vol. 6, no 1, pp. 29-40.

**ARETÉ, Anna Biau, et al.** El manejo de los residuos de maíz y sus efectos en la producción de calidad del suelo. *Vida rural*, 2013, no 356, pp. 37-40.

**BAJPAI, Pratima.** *Green chemistry and sustainability in pulp and paper industry*. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 11-37.

**CASTILLO, Francisco.** *Biotecnología ambiental*. Editorial Tebar, 2005, pp. 185-190.

**CIMMYT.** *Manejo de los ensayos e informes de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz*, México DF, ISBN: 970-648-045-5, pp. 20

**CONTRERAS, Héctor J., et al.** Espectroscopía ATR-FTIR de celulosa: aspecto instrumental y tratamiento matemático de espectros. *e-Gnosis*, 2010, vol. 8.

**CÓRDOBA, Jhon Alexander, et al.** Caracterización y valoración química del olote: degradación hidrotérmica bajo condiciones subcríticas. *Revista latinoamericana de química*, 2013, vol. 41, no 3, pp. 171-184.

**COSTA, M. M.; COLODETTE, J. L.** The impact of kappa number composition on eucalyptus kraft pulp bleachability. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 2007, vol. 24, no 1, pp. 61-71.

**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 (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2019. pp. 78-95.

**ESPINOZA, J. LEÓN, K.** Obtención de papel a partir de la cáscara de maní (*Arachis hypogaea*). 2017.

**GRANT, Julius, et al.** Manual sobre la fabricación de pulpa y papel:(Laboratorio). 1966.

**JEETAH, Pratima; GOLAU, Nisha; BUDDYNAUTH, Karishma.** Production of cardboard from waste rice husk. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2015, vol. 3, no 1, pp. 52-59.

**HELDMAN, Dennis & LUND, Daryl.** *Handbook of food engineering*. [en línea].CRC press Taylor & Francis Group, 2018.[Consulta: 11 Noviembre 2019]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=IPqADwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT16&dq=HELDMAN,+Dennis+R.%3B.&f=false>

**HEEDERIK, Dick.** Industria del papel y de la pasta de papel: Fábricas de papel reciclado. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, vol. 3.

**HERNÁNDEZ, M.** Elaboración y caracterización del papel artesanal de la corona del fruto de dos variedades de piña (Ananas comosus (L.) Merr.). *Universidad Autónoma Chapingo*, 2008.

**HUERTAA, Adrián Chávez, et al.** Obtención y caracterización de papel de quitosano. *Revista Iberoamericana de polimeros*, 2012, vol. 13, no 2, pp. 41-51.

**INEC. (2017).** Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. Recuperado de: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac\\_2017/Informe\\_Ejecutivo\\_ESPAC\\_2017.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2017/Informe_Ejecutivo_ESPAC_2017.pdf)

**KIAEI, Majid; SAMARIHA, Ahmad; KASMANI, Jafar Ebrahimpour.** Characterization of Biometry and Chemical and Morphological Properties of Fibers from Bagasse, Corn, Sunflower, Rice, and Rapeseed Residues in Iran. *Journal of forest and environmental science*, 2010, vol. 26, no 2, pp. 75-82.

**NTE INEN 0520:1980** “*Harinas de origen vegetal. Determinación de la ceniza*”

**NTE INEN 1513:2015** “*Granos y cereales. Maíz. Determinación del contenido de humedad*”.

**NTE INEN-ISO 3588:2014** “*Espicias Y Condimentos. Determinación Del Grado De Finura De La Molienda. Tamizado Manual Método de Referencia*”.

**NTE INEN-ISO 7002:2015** “*Diseño de Productos alimenticios agrícolas método estandarizado para muestreo de un Lote*”

**ORTUÑO, Ángel Vian.** *Introducción a la química industrial*. Reverté, 1999.

**PAZ, F.** Determinación de la Composición Química de la Madera obtenida del primer clareo en Arboles de melina (gmelina arborea roxb.), de una plantación proveniente del departamento de Izabal. *Composición Química de Madera, Celulosa*, 2008.

**PERRY, R. et al.** *Manual del ingeniero químico*. [en línea]. Tomo V (6a. ed.) McGraw-Hill Interamericana, 1992. [Consulta: 12 de noviembre de 2019]. Disponible en: ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/espochsp/detail.action?docID=3195781>.

**PORTUGUÉZ, Manuel E. Moya; DURÁN, Marlen; BALLESTEROS, María R. Sibaja.** Obtención de lignina y celulosa de residuos de maíz. *Uniciencia*, 1992, vol. 9, no 1, pp. 45-50.

**PUJOL, D., et al.** The chemical composition of exhausted coffee waste. *Industrial Crops and Products*, 2013, vol. 50, pp. 423-429.

**QUINTERO NÚÑEZ, Margarito; MONCADA AGUILAR, Andrés.** Contaminación y control de las quemas agrícolas en Imperial, California, y Mexicali, Baja California. *Región y sociedad*, 2008, vol. 20, no 43, pp. 3-24.

**RIVERA RODRÍGUEZ, Héctor David.** *Obtención de celulosa mediante hidrólisis térmica a partir de biomasa residual procedente del banano (musa acuminata, aaa) y de la caña de azúcar (saccharum officinarum)*. 2018. Tesis de Licenciatura. Quito: UCE.

**REQUEJO LEAL, Salvador.** *Degradación química de madera y PET reciclado y su aplicación en la síntesis de resinas poliéster*. 2011. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León.

**SMITH, Julian C., and WARREN L. McCabe.** *Operaciones básicas de ingeniería química*. Vol. 2, Editorial Reverté, 2018. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/espochsp/detail.action?docID=5758276>.

**SÁNCHEZ, Adrián del Salvador Yaque.** *Operaciones auxiliares elementales en laboratorio y en procesos en la industria química y afines*. QUIE0308. IC Editorial, 2014.

**SIXTA, Herbert (ed.).** *Handbook of pulp*. Wiley-vch, 2006.

**TAPIA, Torres; PRISCILA, Nicol; et. al.** *Estudio de la aplicación del olote o tusa de maíz para la reducción del color en aguas residuales de la Hilandería Guijarro cantón Guano*. 2016. Tesis de Licenciatura. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo, 2016.

**TAPPI, T. 236 om-99.** *Kappa number of pulp, 1999*.

**URIAS, Juan Carlos Tamarit.** Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. *Madera y Bosques*, 1996, vol. 2, no 2, pp. 29-41.

**VEGA-BAUDRIT, José, et al.** Obtención y caracterización de disoluciones de polietilenglicol (PEG) a partir de residuos de olote de la Agroindustria del Maíz. Síntesis de polímeros

potencialmente biodegradables. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 2005, vol. 6, no 3, pp. 199.

**ZUBICARAY, Manuel Viejo.** *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones.* Editorial Limusa, 2005.

# ANEXOS

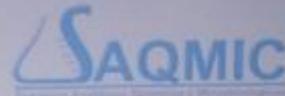
## ANEXO A: TABLA DE PROPIEDADES DEL AGUA SATURADA (LÍQUIDO-VAPOR)

Temp.	Presión	Volumen específico		Energía interna		Entalpía			Entropía	
		m <sup>3</sup> / kg		kJ / kg		kJ / kg			kJ / kg K	
		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Vaporiz.	Líquido	Vapor
°C	bar	v <sub>f</sub> x 10 <sup>3</sup>	v <sub>g</sub>	u <sub>f</sub>	u <sub>g</sub>	h <sub>f</sub>	h <sub>fg</sub>	h <sub>g</sub>	s <sub>f</sub>	s <sub>g</sub>
.01	0.00611	1.0002	206.136	0.00	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562
4	0.00813	1.0001	157.232	16.77	2380.9	16.78	2491.9	2508.7	0.0610	9.0514
5	0.00872	1.0001	147.120	20.97	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	9.0257
6	0.00935	1.0001	137.734	25.19	2383.6	25.20	2487.2	2512.4	0.0912	9.0003
8	0.01072	1.0002	120.917	33.59	2386.4	33.60	2482.5	2516.1	0.1212	8.9501
10	0.01228	1.0004	106.379	42.00	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.9008
11	0.01312	1.0004	99.857	46.20	2390.5	46.20	2475.4	2521.6	0.1658	8.8765
12	0.01402	1.0005	93.784	50.41	2391.9	50.41	2473.0	2523.4	0.1806	8.8524
13	0.01497	1.0007	88.124	54.60	2393.3	54.60	2470.7	2525.3	0.1953	8.8285
14	0.01598	1.0008	82.848	58.79	2394.7	58.80	2468.3	2527.1	0.2099	8.8048
15	0.01705	1.0009	77.926	62.99	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.7814
16	0.01818	1.0011	73.333	67.18	2397.4	67.19	2463.6	2530.8	0.2390	8.7582
17	0.01938	1.0012	69.044	71.38	2398.8	71.38	2461.2	2532.6	0.2536	8.7351
18	0.02064	1.0014	65.038	75.57	2400.2	75.58	2458.8	2534.4	0.2679	8.7123
19	0.02198	1.0016	61.293	79.76	2401.6	79.77	2456.5	2536.2	0.2823	8.6897
20	0.02339	1.0018	57.791	83.95	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.6672
21	0.02487	1.0020	54.514	88.14	2404.3	88.14	2451.8	2539.9	0.3109	8.6450
22	0.02645	1.0022	51.447	92.32	2405.7	92.33	2449.4	2541.7	0.3251	8.6229
23	0.02810	1.0024	48.574	96.51	2407.0	96.52	2447.0	2543.5	0.3393	8.6011
24	0.02985	1.0027	45.883	100.70	2408.4	100.70	2444.7	2545.4	0.3534	8.5794
25	0.03169	1.0029	43.360	104.88	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.5580
26	0.03363	1.0032	40.994	109.06	2411.1	109.07	2439.9	2549.0	0.3814	8.5367
27	0.03567	1.0035	38.774	113.25	2412.5	113.25	2437.6	2550.8	0.3954	8.5156
28	0.03782	1.0037	36.690	117.42	2413.9	117.43	2435.2	2552.6	0.4093	8.4946
29	0.04008	1.0040	34.733	121.60	2415.2	121.61	2432.8	2554.5	0.4231	8.4739
30	0.04246	1.0043	32.894	125.78	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.4533
31	0.04496	1.0046	31.165	129.96	2418.0	129.97	2428.1	2558.1	0.4507	8.4329
32	0.04759	1.0050	29.540	134.14	2419.3	134.15	2425.7	2559.9	0.4644	8.4127
33	0.05034	1.0053	28.011	138.32	2420.7	138.33	2423.4	2561.7	0.4781	8.3927
34	0.05324	1.0056	26.571	142.50	2422.0	142.50	2421.0	2563.5	0.4917	8.3728
35	0.05628	1.0060	25.216	146.67	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	8.3531
36	0.05947	1.0063	23.940	150.85	2424.7	150.86	2416.2	2567.1	0.5188	8.3336
38	0.06632	1.0071	21.802	159.20	2427.4	159.21	2411.5	2570.7	0.5458	8.2950
40	0.07384	1.0078	19.523	167.56	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	8.2570
45	0.09593	1.0099	15.258	188.44	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	8.1648
50	0.1235	1.0121	12.032	209.32	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	8.0763
55	0.1576	1.0146	9.568	230.21	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.9913
60	0.1994	1.0172	7.671	251.11	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.9096
65	0.2503	1.0199	6.197	272.02	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	7.8310
70	0.3119	1.0228	5.042	292.95	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	7.7553
75	0.3858	1.0259	4.131	313.90	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	7.6824
80	0.4739	1.0291	3.407	334.86	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	7.6122
85	0.5783	1.0325	2.828	355.84	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	7.5445
90	0.7014	1.0360	2.361	376.85	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	7.4791
95	0.8455	1.0397	1.982	397.88	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	7.4159
100	1.014	1.0435	1.673	418.94	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	7.3549
110	1.433	1.0516	1.210	461.14	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	7.2387
120	1.985	1.0603	0.8919	503.50	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	7.1296
130	2.701	1.0697	0.6685	546.02	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	7.0269
140	3.613	1.0797	0.5089	588.74	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	6.9299
150	4.758	1.0905	0.3928	631.68	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	6.8379
160	6.178	1.1020	0.3071	674.86	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	6.7502
170	7.917	1.1143	0.2428	718.33	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	6.6663
180	10.02	1.1274	0.1941	762.09	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	6.5857
190	12.54	1.1414	0.1565	806.19	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	6.5079
200	15.54	1.1565	0.1274	850.65	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	6.4323
210	19.06	1.1726	0.1044	895.53	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	6.3585
220	23.18	1.1900	0.08619	940.87	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	6.2861
230	27.95	1.2088	0.07158	986.74	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	6.2146
240	33.44	1.2291	0.05976	1033.2	2604.0	1037.3	1766.5	2803.8	2.7015	6.1437
250	39.73	1.2512	0.05013	1080.4	2602.4	1085.4	1716.2	2801.5	2.7927	6.0730
260	46.88	1.2755	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.6	2.8838	6.0019
270	54.99	1.3023	0.03564	1177.4	2593.7	1184.5	1605.2	2789.7	2.9751	5.9301
280	64.12	1.3321	0.03017	1227.5	2586.1	1236.0	1543.6	2779.6	3.0668	5.8571
290	74.36	1.3656	0.02557	1278.9	2576.0	1289.1	1477.1	2766.2	3.1594	5.7821
300	85.81	1.4036	0.02167	1332.0	2563.0	1344.0	1404.9	2749.0	3.2534	5.7045
320	112.7	1.4988	0.01549	1444.6	2525.5	1461.5	1238.6	2700.1	3.4480	5.5362
340	145.9	1.6379	0.01080	1570.3	2464.6	1594.2	1027.9	2622.0	3.6594	5.3357

**ANEXO B: PROPIEDADES BIOMÉTRICAS – CLASIFICACIÓN TIPO DE PAPEL**

<b>CLASIFICACIÓN DE ESPESOR DE PARED DE FIBRAS</b>		<b>CLASIFICACIÓN DE FIBRAS SEGÚN SU LONGITUD</b>	
<b>Clasificación</b>	<b>Rango (um)</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Rango (um)</b>
<i>Extremadamente Delgada</i>	1,50	<i>Extremadamente corta</i>	< 1000
<i>Muy delgada</i>	1,50-2,00	<i>Moderadamente corta</i>	1000-1200
<i>Moderadamente delgada</i>	2,00-3,00	<i>Mediana</i>	1200-1300
<i>Mediana</i>	3,00-4,00	<i>Moderadamente larga</i>	1650-1800
<i>Moderadamente gruesa</i>	4,00-5,00	<i>Muy larga</i>	1800-2000
<i>Muy gruesa</i>	5,00-7,00	<i>Extremadamente larga</i>	>2000
<i>Extremadamente gruesa</i>	7,00		
<b>CLASIFICACIÓN POR DIÁMETRO DE FIBRAS</b>		<b>CLASIFICACIÓN DE FIBRAS DE ACUERDO AL ÍNDICE DE AFIELTRAMIENTO</b>	
<i>Extremadamente fina</i>	< 10	<i>Muy poco fieltrante</i>	<30
<i>Muy Fina</i>	10-12	<i>Poco fieltrante</i>	30-50
<i>Moderadamente fina</i>	12-14	<i>Fieltrante</i>	50-70
<i>Mediana</i>	14-19	<i>Muy Fieltrante</i>	70-100
<i>Moderadamente ancha</i>	19-21	<i>Extremadamente Fieltrante</i>	>100
<i>Muy Ancha</i>	21-26		
<i>Extremadamente ancha</i>	> 26		
<b>CLASIFICACIÓN DE FIBRAS DE ACUERDO AL ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD</b>		<b>CLASIFICACIÓN DE FIBRAS DE ACUERDO AL ÍNDICE DE RUNKEL</b>	
<i>No flexible</i>	<20	<i>Excelente papel</i>	<0,25
<i>Poco flexible</i>	20-50	<i>Muy buen papel</i>	0,25-0,50
<i>Flexible</i>	50-80	<i>Buen papel</i>	0,50-1,00
<i>Muy flexible</i>	80-100	<i>Regular papel</i>	1,00-2,00
<i>Extremadamente Flexible</i>	>100	<i>No sirve para papel</i>	>2,00

## ANEXO C: ANÁLISIS QUÍMICO DE LICOR NEGRO



Contáctanos: 0998580374 - 032924417  
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 27 de noviembre del 2019

Análisis solicitado por: Sr. Juan Valdivieso

Tipo de muestras: Aguas residuales de la industria de papel

Localidad: Riobamba

#### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Métodos de análisis	Resultados
Conductividad	mSiemens/cm	2510-B	44.60
pH	-	4500-H'-B	13.41
Turbiedad	NTU	2130-B	2.480.0
Alcalinidad	g/L	2320-B	33.0
Demanda Química de Oxígeno	g/L	5220-C	96.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/L	5218-B	49.6
Sólidos Suspendedos	g/L	2540-D	6.78
Sólidos Disueltos	g/L	2540-C	29.00
Sólidos Totales	g/L	2540-B	47.14

\*Métodos Normalizados: APHA, AWWA, WPCF

Observaciones:

Atentamente:

Dra. Gina Alvarez R.

RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



**ANEXO D: NORMA NTE INEN 1423:2013. PAPELES Y CARTONES. DETERMINACIÓN DE BLANCURA**



Quito - Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 1423:2013**  
**Primera revisión**

---

**PAPELES Y CARTONES. DETERMINACIÓN DE LA BLANCURA**

**Primera edición**

PAPER AND BOARD. DETERMINATION OF WHITENESS.

First edition

---

DESCRIPCIÓN: Tecnología del papel, Papel, cartón, determinación blancura.

QJ 07.01-327

CDU: 679.617-535-041

ICS: 85.080

**ANEXO E: NORMA NTE INEN-ISO 536:2013. PAPELES Y CARTÓN. DETERMINACIÓN DEL GRAMAJE**



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

---

DESCRIPCIÓN: Papel, cartón, determinación, gramoje.  
ICS: 85.090

**ANEXO F: NORMA NTE INEN-ISO1974:2013. PAPELES. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL RASGADO – MÉTODO DE ELMENDORF.**



Quito - Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA    NTE INEN-ISO 1974:2013**

---

NÚMERO DE REFERENCIA ISO 1974:2012 (E)

**PAPEL - DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL RASGADO - MÉTODO DE ELMENDORF**

**Cuarta Edición**

PAPER - DETERMINATION OF TEARING RESISTANCE - ELMENDORF METHOD

Fourth Edition

---

DESCRIPTORES: Papel, método elmendorf, resistencia al rasgado.  
ICS: 85.060

**ANEXO G: 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

---

DESCRIPCIÓN: Papel, cartón, método, espesor.  
CDU: 675.620.1  
QL: 07.01-303  
ICS: 85.090

## T 236 om-99

TENTATIVE STANDARD - 1960  
OFFICIAL STANDARD - 1976  
CLASSICAL METHOD - 1985  
CORRECTION - 1983  
OFFICIAL METHOD - 1999  
© 1999 TAPPI

The information and data contained in this document was prepared by a technical committee of the Association. The committee and the Association assume no liability or responsibility in connection with the use of such information or data, including but not limited to any liability under patent, copyright, or trade secret laws. The user is responsible for determining that this document is the most recent edition published.

### CAUTION:

This method may require the use, disposal, or both, of chemicals which may present serious health hazards to humans. Procedures for the handling of such substances are set forth on Material Safety Data Sheets which must be developed by all manufacturers and importers of potentially hazardous chemicals and maintained by all distributors of potentially hazardous chemicals. Prior to the use of this test method, the user should determine whether any of the chemicals to be used or disposed of are potentially hazardous and, if so, must follow strictly the procedures specified by both the manufacturer, as well as local, state, and federal authorities for safe use and disposal of these chemicals.

## Kappa number of pulp

### 1. Scope and significance

This method applies to the determination of the relative hardness, bleachability, or degree of delignification of pulp. It may be used for all types and grades of chemical and semichemical, unbleached and scrubbleached pulps obtained in yields under 60%. This method may also be used for pulps obtained in yields up to 70%, provided the pulp has been well screened. See also Additional Information 10.5.

### 2. Definition

The kappa number is the volume (in milliliters) of 0.1N potassium permanganate solution consumed by one gram of moisture-free pulp under the conditions specified in this method. The results are corrected to 50% consumption of the permanganate added.

### 3. Apparatus

- 3.1 *Agitator*, of propeller type, made of glass or other noncorrosive material (a plastic or glass-covered magnetic stirrer may be used instead).
- 3.2 *Disintegration apparatus*, of wet, high-speed type, which disintegrates the pulp completely with a minimum of damage to the fibers. Avoid disintegrators that may contaminate the sample with grease.
- 3.3 *Constant temperature bath*, capable of maintaining a constant temperature of  $25.0 \pm 0.2^\circ\text{C}$  in the reaction vessel.
- 3.4 *Reaction beaker*, 2000-ml., glass or porcelain.
- 3.5 *Pipets*, two 100-ml. automatic pipets are especially convenient when a large number of determinations are to be made.
- 3.6 *Buret*, 50-ml., graduated to 0.1 ml. A 52-ml. buret will be found more convenient for titrating the reaction mixture in the blank test.
- 3.7 *Other apparatus*: a Büchner funnel and filter flask to dewater three to four grams of pulp; stopwatch or clock; 1000-ml. and a 25- or 50-ml. graduated cylinder; 250-ml. beaker.

**ANEXO I: CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICO DEL OLOTE DE MAÍZ**

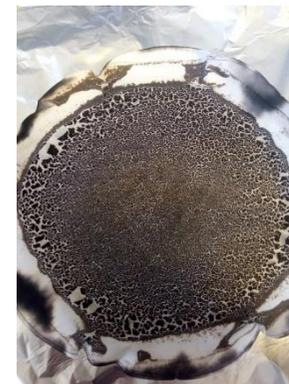
a)



b)



c)



NOTA	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p align="center"><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p align="center">Valdivieso Juan</p>	Caracterización fisicoquímica de la materia prima		
<p>a) Determinación humedad y ceniza</p> <p>b) Celulosa del olole de maíz</p> <p>c) Lignina del olole de maíz</p>	<p><input type="checkbox"/>rtificado                      <input type="checkbox"/> aprobar</p> <p><input type="checkbox"/>robado                         <input type="checkbox"/>a eliminar</p> <p><input type="checkbox"/>r calificar                      <input type="checkbox"/>r información</p>		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	---	2019-12-10

## ANEXO J: CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA PULPA DE OLOTE DE MAÍZ

d)



e)



f)



NOTA	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  Valdivieso Juan	Caracterización fisicoquímica de la pulpa de olole de maíz		
d) Rendimiento de pulpa de diferentes tratamientos.  e) Determinación de Número de kappa  f) Determinación de Lignina	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> aprobar <input type="checkbox"/> robado <input type="checkbox"/> a eliminar <input type="checkbox"/> calificar <input type="checkbox"/> r información		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			2	---	2019-12-10

**ANEXO K: MUESTRAS DE PAPEL DEL TRATAMIENTO M**

g)



h)

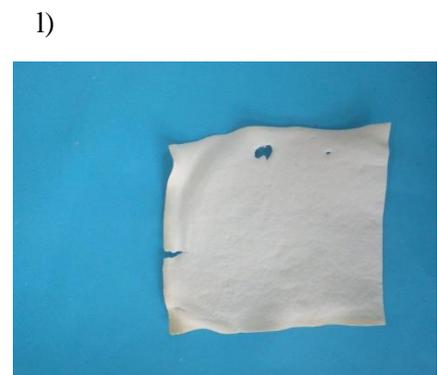
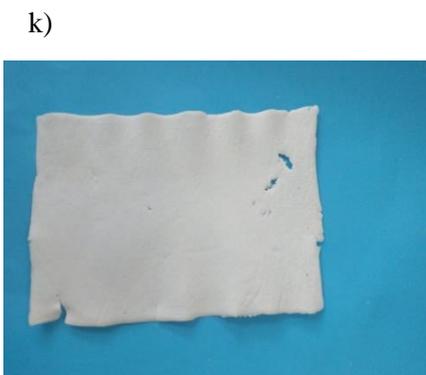
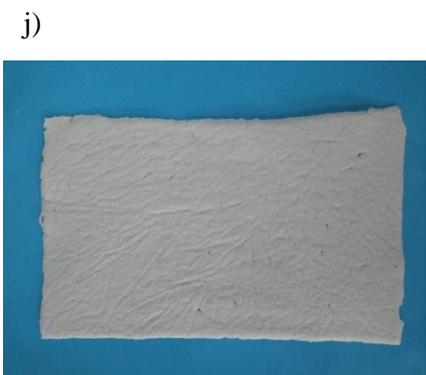


i)



NOTA	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p align="center"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>                      ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA                       Valdivieso Juan                 </p>	Muestras de papel del tratamiento m		
g) Papel m1 (30%NaOH-2horas) h) Papel m2 (30%NaOH-3horas) i) Papel m3(30%NaOH-4horas)	<input checked="" type="checkbox"/> rtificado <input type="checkbox"/> aprobar <input type="checkbox"/> robado <input type="checkbox"/> a eliminar <input type="checkbox"/> r calificar <input type="checkbox"/> r información		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			3	---	2019-12-10

**ANEXO L: MUESTRAS DE PAPEL DEL TRATAMIENTO P**



NOTA	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  Valdivieso Juan	Muestras de papel del tratamiento p		
j) Papel p1 (40%NaOH-2horas) k) Papel p2 (40%NaOH-3horas) l) Papel p3 (40%NaOH-4horas)	<input type="checkbox"/> rtificado <input type="checkbox"/> aprobar <input type="checkbox"/> robado <input type="checkbox"/> a eliminar <input type="checkbox"/> r calificar <input type="checkbox"/> r información		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			4	---	2019-12-10

**ANEXO M: PRUEBAS DE CALIDAD DE LÁMINAS DE PAPEL**

m)



o)



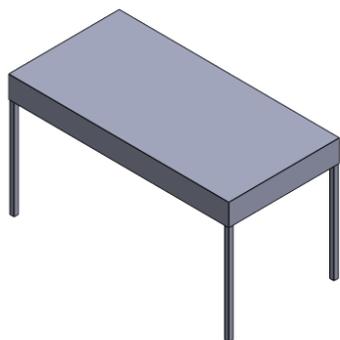
p)



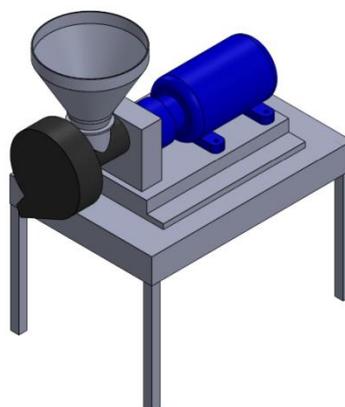
NOTA	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p align="center"><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p align="center">Valdivieso Juan</p>	Pruebas de calidad de láminas de papel		
<p>m) Medición blancura del papel</p> <p>n) Medición del calibre</p> <p>o) Medición resistencia al rasgado</p>	<p><input type="checkbox"/> titificado                      <input type="checkbox"/> aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> robado                            <input type="checkbox"/> a eliminar</p> <p><input type="checkbox"/> calificar                           <input type="checkbox"/> r información</p>		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			5	---	2019-12-10

ANEXO N: DISEÑO DE EQUIPOS 1

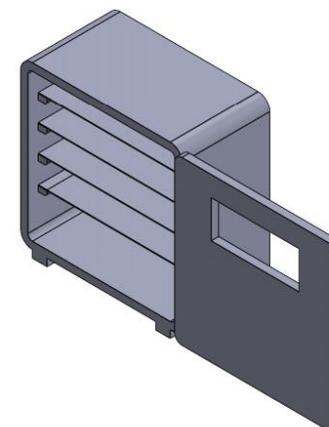
q)



r)



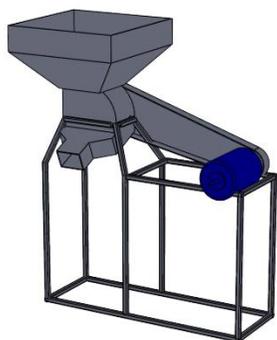
s)



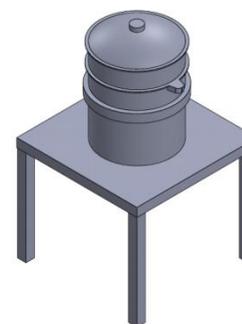
NOTA	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  Valdivieso Juan	Diseño de Equipos 1		
q) Mesa de lavado r) Picadora s) Estufa de secado	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> aprobar <input type="checkbox"/> robado <input type="checkbox"/> a eliminar <input type="checkbox"/> calificar <input type="checkbox"/> información		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			6	---	2019-12-10

ANEXO O: DISEÑO DE EQUIPOS 2

t)

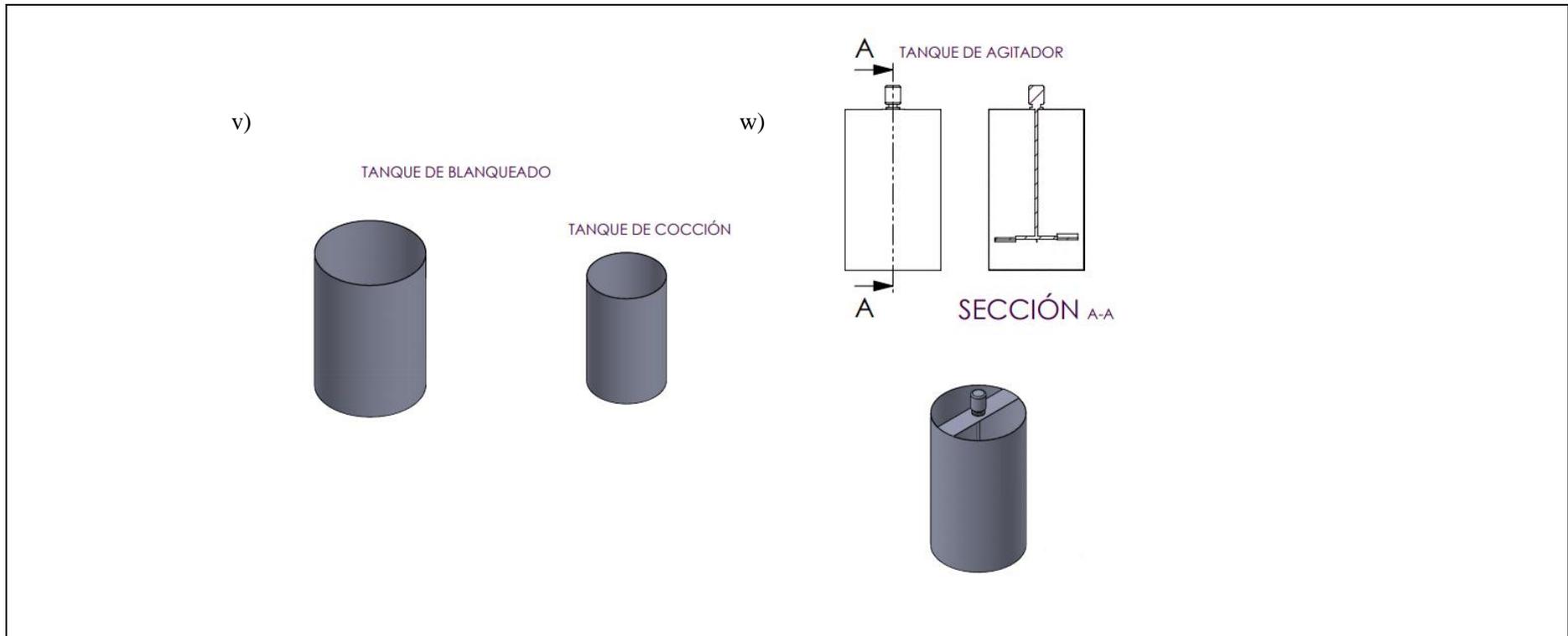


u)



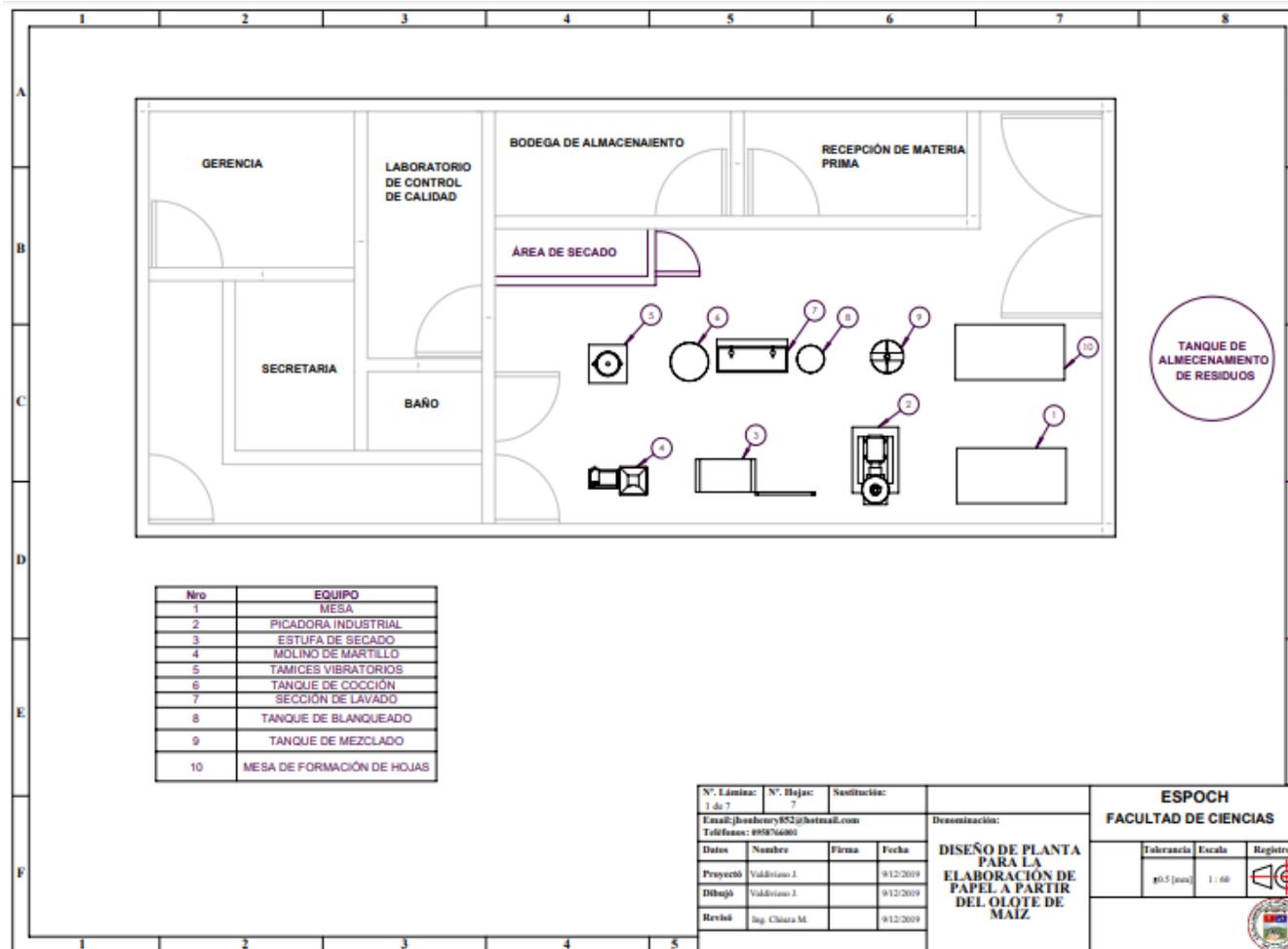
NOTA	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  Valdivieso Juan	Diseño de Equipos 2		
t) Molino de martillos u) Tamices vibratorios	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> aprobar <input type="checkbox"/> robado <input type="checkbox"/> a eliminar <input type="checkbox"/> calificar <input type="checkbox"/> r información		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			7	---	2019-12-10

**ANEXO P: DISEÑO DE EQUIPOS 3**



NOTA	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  Valdivieso Juan	Diseño de Equipos 3		
v) Tanque de blanqueado y de cocción.  w) Tanque de agitación	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> aprobar <input type="checkbox"/> robado <input type="checkbox"/> a eliminar <input type="checkbox"/> calificar <input type="checkbox"/> r información		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			8	---	2019-12-10

# ANEXO Q: DISTRIBUCIÓN DE PLANTA



Nro	EQUIPO
1	MESA
2	PICADORA INDUSTRIAL
3	ESTUFA DE SECADO
4	MOLINO DE MARTILLO
5	TAMICES VIBRATORIOS
6	TANQUE DE COCCIÓN
7	SECCIÓN DE LAVADO
8	TANQUE DE BLANQUEADO
9	TANQUE DE MEZCLADO
10	MESA DE FORMACIÓN DE HOJAS

N.º Lámina: 1 de 7	N.º Hojas: 7	Sustitución:	
Email: jbonhenry852@hotmail.com		Teléfono: 995276698	
Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyecto	Valdiviano J.		9/12/2009
Diseño	Valdiviano J.		9/12/2009
Revisó	Ing. Chirra M.		9/12/2009
<b>DISEÑO DE PLANTA PARA LA ELABORACIÓN DE PAPEL A PARTIR DEL OLOTTE DE MAÍZ</b>			

**ESPOCH  
FACULTAD DE CIENCIAS**

Tolerancia	Escala	Registro
±0.5 [mm]	1 : 60	



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA**  
**EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**  
**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS**  
**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 18 / 02 / 2020

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Juan Enrique Valdivieso Valdivieso
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Químico
<b>f. Analista de bibliotecas responsable:</b>