

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas



TRABAJO FINAL DE LA MATERIA INTEGRADORA

**" Diseño de un digestor para la
obtención de pulpa celulósica
para papel a partir de fibra
abacá”**

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

Presentado por:

María Daniela Zambrano Mendoza

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2017

Agradecimiento

Le agradezco a mis padres, que me apoyaron incondicionalmente.

A mi Tutor el Mgtr. Raúl Serrano por su confianza, dedicación, apoyo, y sobre todo su amistad.

Al personal de Papelera Nacional S.A. que me permitió realizar mi proyecto integrador dentro de sus instalaciones, en especial al Ing. Danny Granizo y finalmente a mis amigos que nunca dejaron de confiar ni creer en mí.

Dedicatoria

En primer lugar dedico este proyecto a Dios, que me permitió lograr mis objetivos gozando de salud; con la fortaleza suficiente para afrontar las adversidades que se me presentaron en el camino.

A mi madre, Betsy que por su constante motivación y cooperación me ha ayudado a ser la mujer que soy. A mi padre, Juan José, que me dio el mejor ejemplo de lucha y perseverancia para salir adelante. A mi hermana mayor Eloísa que ha sido mi mejor ejemplo de superación y a mi hermana menor Camila, que ha sido mi principal motivo para hacer lo correcto, y a todos y cada uno de los que conforman mi familia que me han ayudado directa o indirectamente durante todo este largo trayecto.

A mis amistades, con quien he compartido buenos y malos momentos dentro y fuera de la universidad, a ellos que nunca han dudado de mí.

A Papelera Nacional S.A. que me brindó siempre el apoyo y los recursos necesarios para poder culminar mi proyecto.

Y por último, a todos los docentes por intervenir en el desarrollo de mi formación profesional.

Daniela Zambrano

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente a:

María Daniela Zambrano Mendoza

Y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

María Daniela Zambrano Mendoza

RESUMEN

El presente trabajo consistió en el diseño de un digestor para la obtención de pulpa celulósica para papel a partir de la fibra abacá. Fibra que por sus buenas características se ha convertido en una verdadera riqueza nacional.

Previo al diseño del equipo se realizó un estudio directo en la fuente, disponibilidad y características de la fibra; aplicando un proceso químico a la fibra y evaluación de las propiedades físico- mecánicas de la pulpa obtenida de acuerdo a métodos Tappi.

La materia prima se obtuvo directo de los principales centros de recolección del país que se encuentran en Santo Domingo y las experimentaciones se realizaron con distintas clases de fibra a diferentes condiciones de operación, luego se preparó la pulpa por un método alcalino con sosa cáustica en un digestor propiamente diseñado y construido de 56 litros con una temperatura máxima de trabajo es de 188 °C y por último se evaluó a la pulpa con diferentes pruebas de calidad, entre ellas la pruebas de batido, de freeness, consistencia, formación de la hoja, número de permanganato, rendimiento y pruebas físicas al papel como peso básico, resistencia a la ruptura, resistencia a la explosión, y resistencia al rasgado.

A partir de los resultados evaluados, se determinaron las dimensiones, condiciones de operación, requerimiento de calor y costos de un digestor industrial batch, discontinuo o por lote estacionario, con un sistema de calentamiento indirecto.

Además de evaluar las ventajas económicas que traería exportar esta pulpa en el Ecuador a partir de esta fibra de abacá.

Palabras clave: métodos Tappi, freeness.

ABSTRACT

The present project is about of the design of a digester for the production of cellulose pulp for paper from abaca fiber. Fiber has become a true national wealth by good characteristics

Before to the design of the equipment, it was carried out a direct study on the source, availability and characteristics of the fiber; applying a chemical process to the fiber and evaluation of the physical-mechanical properties of the pulp obtained according to Tappi methods.

The raw material was obtained directly from the main collection centers of the country, that are in Santo Domingo and the experiments were carried out with different kinds of fiber at different operating conditions, then the pulp was prepared by an alkali method with caustic soda in a Digester was designed and constructed of 56 liters with a maximum temperature of 188 °C and finally it was evaluated to the pulp with different tests, among them the tests of smoothness, freeness, consistency, formation, permanganate number, yield and Physical tests on paper such as basic weight, breaking strength, explosion resistance, and tear strength.

From the results evaluated, the dimensions, operating conditions, heat requirements and costs of a batch, discontinuous or batch industrial digester with an indirect heating system were determined.

In addition to evaluating the economic advantages that would export this pulp in Ecuador from this abaca fiber.

Keywords: *Tappi methods, freeness.*

ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABreviaturas.....	V
sIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3. Marco teórico.....	5
1.3.1. Pulpa y papel.....	5
1.2.3 Abacá.....	6
1.3.2. Procesos para la obtención de pulpa.....	21
1.3.3. Digestores industriales para la obtención de pulpa.....	25
CAPÍTULO 2.....	31
2. METODOLOGÍA.....	32
2.1 Obtención de fibra de abacá.....	32
2.2 Humedad y Longitud.....	33
2.3 Diseño y Construcción del digestor piloto.....	34
2.4 Digestión.....	36
2.5. Condiciones de trabajo.....	36
2.6. Imágenes de digestión de la fibra.....	38
2.7. Evaluación de las pulpas.....	40
2.7.1. Número de Permanganato.....	40
2.7.2. Prueba de batido.....	42
2.7.3. Medición de Freeness en la Pulpa y Consistencia.....	42

2.7.4. Formación de hojas de mano para pruebas físicas	44
2.8. Evaluación a las hojas	46
2.8.1. Peso básico o gramaje	46
2.8.2. Análisis de Rasgado	47
2.8.3. Análisis de Longitud de Ruptura.....	47
2.8.4. Análisis de Resistencia al Estallido (Mullen)	47
CAPÍTULO 3	49
3. RESULTADOS.....	50
3.1. Obtención de fibra de abacá	50
3.2. Humedad y Longitud del atado	50
3.3. Operación del digestor piloto	50
3.4. Evaluación de las pulpas	52
3.5. Evaluación a las hojas	57
3.6. Selección de las condiciones del proceso.....	62
3.7. Consideraciones del dimensionamiento del digestor industrial.....	62
3.7.1. Disponibilidad de fibra en el Ecuador	62
3.7.2. Capacidad del Digestor	65
3.7.3. Selección de material de diseño.....	67
3.8. Dimensiones del equipo.....	67
3.9. Cálculo del espesor de la pared.....	69
3.10. Requerimiento de calor.....	71
3.11. Requerimiento de vapor.....	72
3.12. Requerimiento de Soda y Agua	73
3.13. Análisis de Costos	73
CAPÍTULO 4	77
4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	78
4.1. Conclusiones	78
4.2. Recomendaciones	79
BIBLIOGRAFIA	80
APÉNDICES	83

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
ASME	American Society of Mechanical Engineers
SAE	Society of Automotive Engineers
AISI	American Iron and Steel Institute
FOB	Free On Board
PhilFIDA	Philippine Fiber Industry Development Authority
HWL	Licor blanco caliente
HBL	Licor negro caliente
WL	Licor blanco
EPP	Equipos de Protección Personal
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry
CFS	Standard Freeness Canadian

SIMBOLOGÍA

pH	Potencial de Hidrógeno
g	Gramos
kg	Kilogramo
tm	Tonelada métrica
l	Litros
ml	Mililitro
m	Metro
km	Kilometro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
Ha	Hectárea
ft	Pie
In	Pulgada
Cp	Calor específico
Psi	Libra por pulgada al cuadrado
RPM	Revoluciones por minuto
min	Minuto
Kw	Kilowatt
KJ	Kilojoule
Kcal	Kilocaloría
S	Vapor requerido

N	Normal
SCH	Schedule
Na	Sodio
S	Azufre
O	Oxígeno
H	Hidrógeno

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plantas de abacá	7
Figura 2. Partes de la Planta de abacá	8
Figura 3. Hijuelos de una planta de abacá	9
Figura 4. Deshoje	10
Figura 5. Tuxe	11
Figura 6. Desfibrilador	11
Figura 7. Secado	12
Figura 8. Proceso de cultivo de abacá y extracción de fibra	13
Figura 9. Pacas de 125 kg	14
Figura 10. Usos de Abacá	18
Figura 11. Esquema de la distribución de producción de Abacá en Filipinas	20
Figura 12. Reacciones de la lignina en el pulpado alcalino y Kraft	24
Figura 13. Representación del ciclo del licor en el proceso Kraft	25
Figura 14. Digestor por lotes con calentamiento indirecto	26
Figura 15. Llenado de la viruta del digestor de la hornada	27
Figura 16. Llenado del licor de impregnación	28
Figura 17. Llenado del licor caliente	29
Figura 18. Descarga del licor	30
Figura 19. Fibra de Quinta Clase	32
Figura 20. Fibra de Cuarta Clase	33
Figura 21. Fibra de Tercera Clase	33
Figura 22. Fibra de Segunda Clase	33
Figura 23. Digestor Piloto de Papelera Nacional S.A.	35
Figura 24. Termógrafo imagen centrada en Sp1 y Li1	38
Figura 25. Termógrafo imagen centrada en Li1	39
Figura 26. Termógrafo imagen centrada en Bx1	39
Figura 27. Termógrafo imagen centrada en Bx1	40
Figura 28. Canadian Standard Method	44
Figura 29. Corte de muestras para ensayos en hojas de mano	48

Figura 30. Hoja de mano de Pulpa sin refinar	55
Figura 31. Hoja de mano de 60 g/m ²	55
Figura 32. Longitud de Ruptura vs Freeness	60
Figura 33. Rasgado vs Freeness	61
Figura 34. Mullen vs Freeness	61
Figura 35. Estándar de tamaño de digestor batch de pulpa de papel de Escandinavia	68
Figura 36. Primera corrida en un recipiente a presión	89
Figura 37. Alimentación del digestor	89
Figura 38. Condiciones de operación.....	90
Figura 39. Imágenes tomadas del Termógrafo	90
Figura 40. Descarga del Digestor.....	91
Figura 41. Secado de la pulpa	91
Figura 42. Formación de hoja de la segunda corrida sin refinar	92
Figura 43. Prueba del Número de Permanganato.....	92
Figura 44. Refinación de la Pila Holandesa	93
Figura 45. Formación de las hojas de mano	93
Figura 46. Cortes para pruebas físicas a hojas de mano	94
Figura 47. Primera corrida en Digestor Piloto	94
Figura 48. Pulpa obtenida de la segunda corrida.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de una fibra de abacá.....	15
Tabla 2. Dimensiones de fibra de las pastas de fibra vegetal no maderera y maderera	16
Tabla 3. Exportaciones de fibra de abacá en Ecuador.....	19
Tabla 4. Disponibilidad de la fibra de abacá por sectores.....	21
Tabla 5. Ventajas de digestores batch y continuos.....	30
Tabla 6. Digestión de abacá: Condiciones de trabajo utilizadas en el proceso SODA	37
Tabla 7. Humedad y Longitud del atado	50
Tabla 8. Fibra de abacá: Corridas experimentales de digestión	51
Tabla 9. Prueba de Batido de Corrida # 1	53
Tabla 10. Prueba de Batido de Corrida # 2.....	53
Tabla 11. Prueba de Batido de Corrida # 3.....	53
Tabla 12. Prueba de Batido de Corrida # 4.....	54
Tabla 13. Prueba de Batido de Corrida # 5.....	54
Tabla 14. Prueba de Batido de Corrida # 6.....	54
Tabla 15. Hojas de mano de las corridas.....	56
Tabla 16. Propiedades Físicas de Corrida # 1	57
Tabla 17. Propiedades Físicas de Corrida # 2.....	57
Tabla 18. Propiedades Físicas de Corrida # 3.....	58
Tabla 19. Propiedades Físicas de Corrida # 4.....	58
Tabla 20. Propiedades Físicas de Corrida # 5.....	59
Tabla 21. Propiedades Físicas de Corrida # 6.....	59
Tabla 22. Dimensiones Estándar de Digestores Batch.....	68
Tabla 23. Datos para el espesor del digestor.....	70
Tabla 24. Estimación de la inversión de capital por el equipo.....	75
Tabla 25. Estimación de costos de materia prima, insumos y pulpa.....	76
Tabla 26. Estimación de utilidades.....	76
Tabla 27. Calor específico de algunas fibras vegetales	85

Tabla 28. Composición química, propiedades y aplicaciones de los aceros AISI 316	86
Tabla 29. Propiedades físicas medias de los aceros austeníticos	87
Tabla 30. Propiedades mecánicas a temperatura ambiente	87
Tabla 31. Resistencia a la tracción en MPa a elevadas temperaturas	87

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se han buscado alternativas para mejorar la producción de papel, entre ellas está el abacá; fibra que ha convertido al país en uno de los principales competidores de producción, ya que cuenta con excelentes condiciones geográficas, como calidad de sus tierras y clima, que han favorecido los rendimientos de cultivo de la misma.

Por ende el alcance de este proyecto es diseñar un digestor industrial para obtener pulpa a partir de fibra de abacá, que actualmente tiene una gran aceptación internacional.

El Ecuador es exportador de fibra de abacá, y el presente proyecto busca evaluar la posibilidad de producir pulpa de abacá para exportación; con la finalidad de aumentar el ingreso de divisas para el país, ya que el precio de la fibra es aproximadamente \$ 1300 por tonelada, en tanto que la pulpa a partir de la misma es de \$ 3300 dólares por tonelada. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1989)

Todo este proceso de obtención requiere de recipientes de producción, sistemas de contacto directo o indirecto con calor, así como también cumplir reglamentos de fabricación y de seguridad de equipos o recipientes a presión.

Para un eficiente proceso de pulpado para esta fibra, se requiere una relación de 1:10 fibra: licor blanco, diferentes condiciones de operación como son la temperatura que llegan a 180⁰C y cerca de 10 bar de presión, así mismo el tiempo de digestión y la concentración del licor que varían dependiendo a la clase de fibra que se trate; sin olvidar la aplicación de técnicas de análisis y los equipos necesarios para evaluar las pulpas obtenidos en estos procesos.

1.1 Descripción del problema

Las papeleras que utilizan madera como materia prima, son muy contaminantes, ya que requieren toneladas de árboles para producir una tonelada de papel. Además este tipo de industrias consumen gran cantidad de vapor, energía, agua y químicos, sin olvidar que generan efluentes contaminantes.

A escala mundial, la demanda de madera, pulpa y papel se incrementa apresuradamente, estudios realizados afirman que el consumo de papel ascenderá a 500 millones de toneladas para el año 2025, (Global Industry Analysts - Reportlinker), lo que representa un crecimiento del 1,6% anual. En Ecuador, se produjeron 240000 toneladas de papel y cartón en el año 2015, sin existir mucha variación desde 2011.

Debido a intereses y preferencias ambientales de la sociedad se han realizado constantes campañas en medios de comunicación y redes sociales con el fin de aumentar la tendencia por el consumo de productos orgánicos y amigables con el medio ambiente, con el fin de producir papel a partir de desechos como el bagazo u otras fibras naturales, como es el caso del abacá. (Pro Ecuador, Mercosol, 2015).

El abacá es considerada una de las fibras más fuertes, debido a que es una fibra larga y por ende le da buenas propiedades de fuerza, tenacidad y resistencia al agua, incluso se la compara con fibras sintéticas como el nylon; el abacá es tres veces más fuerte que el algodón y dos veces más fuerte que sisal. Comparada con la fibra maderera, el platanar de abacá queda formado en 2 años mientras que en la madera, como en el caso del pino que es utilizado para papel Kraft demora de 3 a 4 años en crecer, además la cocción de chips de madera demora de 4 a 6 horas mientras que la cocción de abacá requiere un tiempo de 1 hora.

Las características de la fibra de abacá la han convertido en una excelente elección comparada con otras fibras naturales o madereras para la producción de papel; es por esto que la demanda de abacá, particularmente en forma de pulpa, ha aumentado debido a la creciente preocupación por la protección del medio ambiente y la conservación de los bosques, y los procesadores continuarán expandiéndose a medida que la demanda mundial de pulpa de abacá sigue creciendo. (Department of Agriculture Region, 2016)

Los precios de la pulpa de abacá se han reportado ser aproximadamente tres veces mayor en los costos de la fibra en bruto. En la actualidad, el precio de la

fibra en bruto es de \$ 1100 por tonelada. European Main Ports refleja un precio de la pulpa de aproximadamente \$ 3300 por tonelada.

Existen diferencias en el precio de la pulpa, debido a las diferentes calidades de la materia prima de la que se obtiene. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1989). Por lo tanto el valor en cuanto exportación de pulpa es mayor que en fibra, ejemplo de esto está en Filipinas en el 2015 se exportaron 27216 toneladas métricas de fibra con un valor FOB de \$ 25 millones mientras que en pulpa se exportaron 23035 toneladas métricas de pulpa con un valor FOB de \$ 71 millones. (Trademap)

Las exportaciones de Filipinas están incrementando en forma de pulpa más que en la forma de fibra bruta.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un digestor para la obtención de pulpa de celulosa a partir de fibra abacá, con miras a su exportación.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar las variables de operación del proceso de digestión de la fibra de abacá (presión, temperatura, concentración, tiempo) y eficiente en cuanto análisis establecido.
- Realizar ensayos y pruebas físicas, a las pulpas obtenidas para verificar la efectividad del método utilizado.
- Seleccionar las mejores condiciones de operación del proceso que se lleva a cabo para obtener la pulpa.
- Dimensionar el digestor de fibra de abacá, para la obtención de pulpa.

1.3. Marco teórico

1.3.1. Pulpa y papel

La pulpa y el papel están hechos de fibras celulósicas (fibras de árboles) y otros materiales vegetales, aunque algunos materiales sintéticos pueden usarse para mejorar características al producto acabado.

La pulpa es la masa fibrosa que resulta de la molienda de fibra y cocción, que por métodos de blanqueo, dilución en agua, secado y endurecimiento; se obtiene el papel; una hoja o lámina delgada. (Nissan, 1981)

Desde hace mucho tiempo, el papel se ha vuelto esencial e indispensable en nuestra vida, con diferentes finalidades, como el de intercambiar conocimientos e información, y otros usos, como es el caso del dinero, recubrimiento, limpieza, reciclado, etc; por ende su proceso de obtención debe asumir criterios sustentables, desde la obtención de materias primas, procesos industriales, impactos ambientales hasta los parámetros de consumo. (Greenpeace Argentina, 2006)

Se desconoce el origen del papel, sin embargo los primeros en elaborar algo parecido, fueron los egipcios. Luego de esto apareció el pergamino originado en Asia Menor en el siglo II a.C. y elaborado a partir de la planta llamada Papyrus, de la cual proviene la palabra del papel. (Casey, 1992)

La primera fábrica de papel fue hecha en China en el siglo VI. Esta industria creció hasta llegar a Europa en 1085, donde países como Holanda inventaron la pila batidora u holandesa; extendiéndose hasta Inglaterra en 1498 y luego a establecerse firmemente en Alemania en 1678.

En 1839, Anselme Payen, químico francés demostró que con un tratamiento de ácido nítrico se podía aislar una sustancia fibrosa, a la que llamó celulosa; de ahí empezó el estudio de nuevos procesos de deslignificación como el proceso

con soda, sulfito, proceso Kraft (al sulfato), y varios procesos para el blanqueo y refinado. (Escuela Grafica Salesiana, 1980)

Los análisis físico-mecánicos son utilizados con el fin de determinar las propiedades y características físico-químicas que tiene la pulpa.

Varios son los estudios que se han realizado con el propósito de buscar fuentes alternativas que puedan ser utilizadas en la obtención de pulpa, como es el caso del Centro Nacional de Fibras Naturales del Ecuador, centros de educación o hasta industrias papeleras donde han desarrollado investigaciones y proyectos relacionados a la materia prima del papel, aplicando fibras de banano, abacá, totora, guarumo, cabuya y paja de páramo. (Aguilar, Ramírez, & Malagón, 2007)

1.2.3 Abacá

El Abacá, es una planta muy extendida en Filipinas; de donde proviene, Australia y América; es familia del plátano también conocido como Plátano, Banano, Cñamo de Ambonio, Cñamo de Manila, Cñamo de China, etc., la fibra es llamada de la misma forma que la planta.



Figura 1. Plantas de abacá

Fuente: (La Hora, 2016)

Estudios realizados en Ecuador, determinaron que Santo Domingo contaba con el clima y principios biológicos para el cultivo de abacá, y debido a ello, en 1960, la empresa Furukawa se instaló en la provincia, sembrando abacá y ramio (planta textil). Con el tiempo generó una conmoción en el exterior por ser esta fibra de mejor calidad que la de Filipinas.

El Abacá, es una planta herbácea y monocotiledónea, pertenece a la familia de las musáceas (*Musa textil*), de tallo monocárpico, crece hasta los 6 m. de altura. La parte de la planta que provee la fibra, es el tronco; terminando en la formación de hojas rígidas y ovales, compuestas por grupos vasculares, también tiene flores moradas y frutos verdes, que no son comestibles, y contienen semillas, pero infértiles.



Figura 2. Partes de la Planta de abacá

Fuente: (Musa textilis Née (Musaceae))

El clima que favorece el rápido y buen crecimiento y desarrollo de la planta es cálido, de abundantes y periódicas lluvias; y el terreno volcánico, fértil, fresco, y mantilloso, bien cavado y desprovisto de malezas y hierbas.

El Abacá se multiplica por colinos o por hijuelos; en una hectárea pueden plantarse de 1000 a 1500 hijuelos, al ser por colinos se siembran separados de 15 o 20 cm. y a profundidad de 4 cm. e inmediatamente de su siembra se riegan, en caso de que la época de siembra no sea inicio del invierno. Por lo general, el platanar queda formado entre 18 y 24 meses, y luego es tan acelerado su crecimiento que de 2 a 3 meses pueden cortarse los hijuelos.



Figura 3. Hijuelos de una planta de abacá

Fuente: (Hernandez, 2010)

La época de recolección es durante la florescencia, por generar fibra de mejores características.

La obtención del abacá, consiste en primer lugar en el deshoje, eso quiere decir que se despojan del tallo las hojas y las cubiertas exteriores, para luego cortar el tallo, conocido a este procedimiento como tumba del tallo.



Figura 4. Deshoje

Fuente: (Terranovapapers)

A los dos días de cortado el tallo, empieza el proceso de tuxe que consiste en apartar los peciolo y luego seccionar una a una las láminas que conforman el tronco, formando laminas delgadas, al día siguiente se trasladan las láminas en grupos de 3 tallos, desde el platanar donde fueron seccionadas a la maquina desfibriladora para la extracción de la fibra de la laminas del tallo.



Figura 5. Tuxe

Fuente: (La Hora, 2016)



Figura 6. Desfibrilador

Fuente: (Terranovapapers)

Luego se secan las fibras en tendales, y finalmente se forman las pacas, de 125 kilos cada una. (Peña, 2004)



Figura 7. Secado

Fuente: (Terranovapapers)

La figura 8. Representa el resumen esquematizado del proceso de obtención de la planta de abacá y extracción de fibra de abacá.

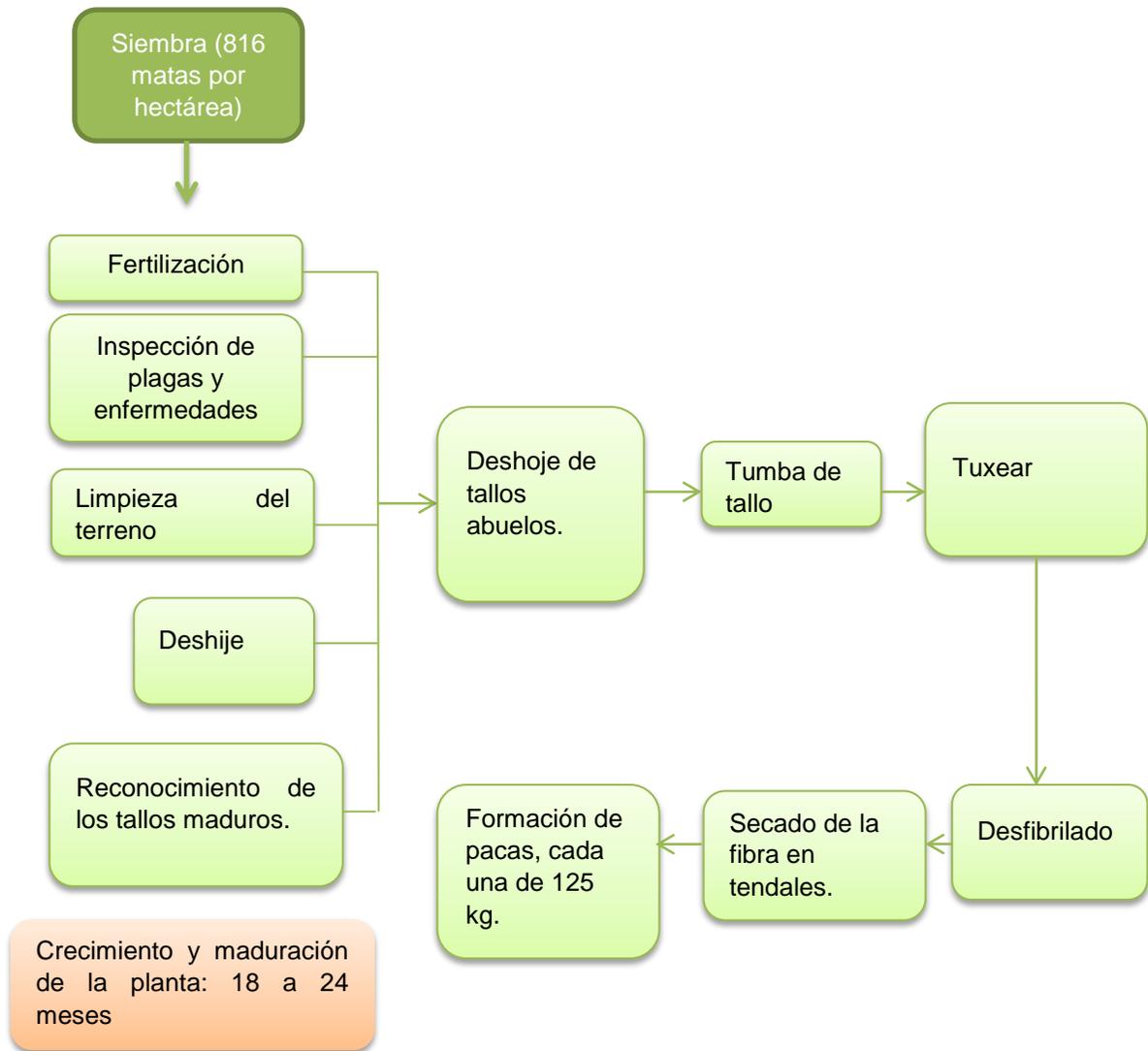


Figura 8. Proceso de cultivo de abacá y extracción de fibra

Elaboración: (Intendencia de Estadísticas, Estudios técnicos y Normas)

En el Ecuador crece en áreas con temperaturas que pueden variar entre 22-28 Cº.



Figura 9. Pacas de 125 kg

Fuente: (Intendencia de Estadísticas, Estudios técnicos y Normas)

El cultivo de abacá es permanente, mientras se corta un tallo para poder sacar la fibra, hay otra planta creciendo, por ello se dice que es un cultivo perenne. (Macías, 2012).

El análisis de una muestra de fibra de Abacá es el siguiente:

Tabla 1. Composición de una fibra de abacá

Componentes	Composición (%)
Ceniza- sustancias minerales	1,02
Agua	11,85
Extracto acuoso	0,97
Grasa y cera	0,63
Celulosa	64,72
Substancias incrustantes y cuerpos pécticos determinados por diferencia	20,81
Total	100,00

Fuente: (Peña, 2004)

1.2.3.1 Longitud de fibra

La fibra de abacá tiene una longitud media de 4 mm a 6 mm; y un diámetro medio de 17 a 24 micrómetros. En relación a la pulpa de madera típica que tiene una longitud de fibra de 2 mm a 3 mm y un diámetro de aproximadamente 40 micras, y se considera fibra larga mayor a 3 mm de longitud. La alta longitud y ancho de fibra demuestran las propiedades características de la pulpa de abacá. (Pulp specialties philippines, INC., 2013)

Diferentes longitudes de fibra son deseables para diferentes propiedades en papel. Por ejemplo, una longitud de fibra más larga es deseable para propiedades de resistencia mecánica en el papel, pero tienden a agruparse y, como resultado, no proporcionan una buena formación. Las fibras más cortas por otro lado proporcionan una excelente formación. (Atchison & J.E., 1989).

Tabla 2. Dimensiones de fibra de las pastas de fibra vegetal no maderera y maderera

Fibra vegetal no maderera	Longitud media (mm)	Diámetro medio (mm)
Abacá	6.0	24
Bagazo	1.0-1.5	20
Bambú	2.7-4	15
Paja de lino	30	20
Jute	2.5	20
Sisal	3	20
Fibra vegetal maderera		
Madera conífera de zona templada	2.7-4.6	32-43
Maderas duras de zona templada	0.7-1.6	20-40
Eucalipto	0.7-1.3	20-30

Fuente: (Atchison & J.E., 1989)

1.2.3.2 Tipos y calidad de la fibra

En el Ecuador existen cuatro clases de calidad de fibra, la fibra de menor calidad la constituyen las láminas más externas que son las más gruesas, cortas y de color oscuro, mientras las más internas al tallo se encuentran las otras fibras que son más largas y claras. La fibra de mejor calidad se encuentra en la parte central y es completamente blanca. (Maldonado, 2000).

De cada planta de abacá se obtiene los siguientes porcentajes de calidad:

- En la fibra de segunda clase el 15%.
- En la fibra de tercera clase el 35%.
- En la fibra de cuarta clase el 30%.
- En la fibra de quinta clase el 20%.

Además de existir clases también existen 2 plantaciones diferentes: la Bungalanon, en los cuales sus cultivos envejecen con rapidez y su rendimiento disminuye aceleradamente después de 10 años de plantada, aun así en el Ecuador tiene más de 30 años y siguen produciendo, y el Tangongon, que son

plantas un poco más gruesas que las de Bungalanon y más resistentes a todo tipo de condiciones climatológicas como por ejemplo la falta de agua y mantienen un buen rendimiento por toda su vida.

1.2.3.3 Usos del abacá

El abacá mayoritariamente se lo utiliza en la industria de papel, utilizando la clase 2 de mejor calidad, entre los cuales los papeles que se forman son: moneda (yenes japoneses), bolsas de té y de café, papel decorativo, papel biblia, papel de arte especial, papel de alta calidad para escritura, hojas de papel hechas a mano.

Las fibras del abacá de otras clases tienen aplicaciones decorativas, artesanales, textiles y muebles e incluso otras potenciales aplicaciones como tableros de fibra, tejas, baldosas, armados de hormigón de fibra y asfalto, bloques, tablas, pelucas.

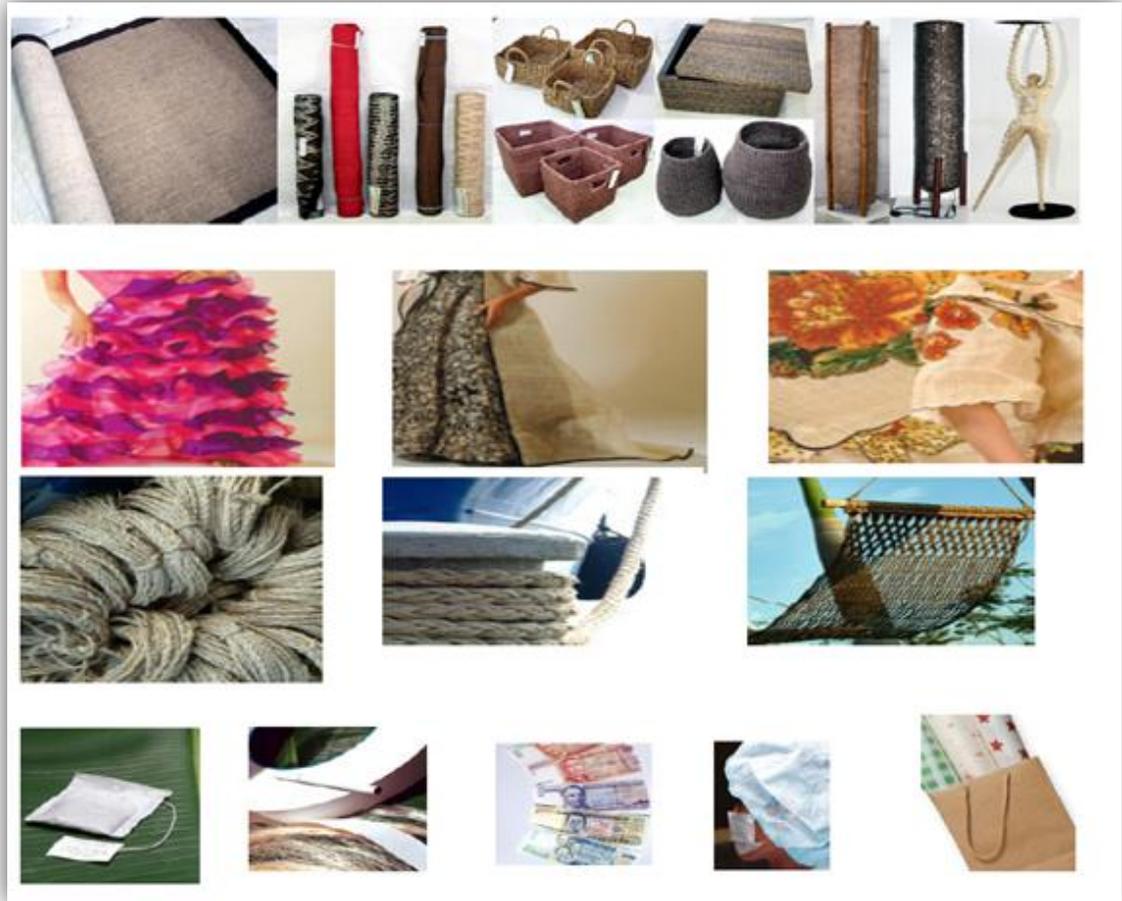


Figura 10. Usos de Abacá

Fuente: (Vijayalakshmi, Neeraja, Kavitha, & Hayavadana, 2014)

Actualmente lo más innovador es en la industria automotriz, donde la fibra de abacá tiene dos usos; como de relleno y como reemplazo de la fibra de vidrio. Además en la electrónica, se busca usar esta fibra en protectores de los móviles y ordenadores.

Y otros artículos que van más allá de la industria papelera, automotriz o electrónica como instrumentos deportivos, paneles de las puertas, marcos de ventanas y envolturas de cosméticos.

1.2.3.4 Producción de fibra de abacá en el Ecuador

La producción mundial de esta fibra natural está concentrada en dos países: Filipinas, con un 83% del total producido y Ecuador, con un 14%.

La producción promedio de Ecuador en el período 2010-2015 fue de 8555.31 toneladas como se detalla en la Tabla 3 y la de Filipinas para el mismo período fue de 65000 toneladas. (Zambrano, 2015).

Tabla 3. Exportaciones de fibra de abacá en Ecuador

Año	Tonelada métrica	Valor FOB (millones de \$)
2010	11065.27	13.13
2011	9664.77	12.91
2012	11066.27	16.99
2013	9118.5	13.54
2014	8267.08	12.99
2015	8555.31	14.76
Promedio	9622.88	14.05

Fuente: (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2016)

Con base en los datos PhilFIDA, el 80,1% del consumo de fibra de abacá se utiliza para elaborar la pulpa de abacá, el 9% para la fabricación de cuerdas, de las cuales todo se exporta, sólo el 0,9% lo consumen procesadores artesanales de fibra de abacá que exportan y salen a la venta local y 10% es clasificado y embalado como fibra de abacá que todo se exporta. (Department of Agriculture Region, 2016)

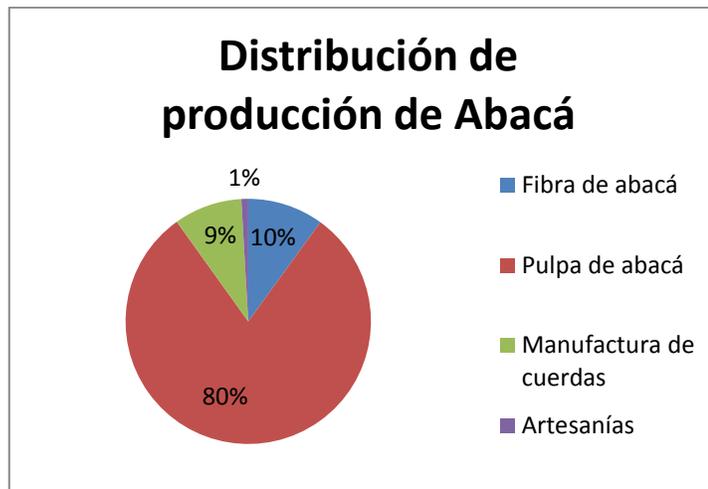


Figura 11. Esquema de la distribución de producción de Abacá en Filipinas

Fuente: (Department of Agriculture Region, 2016)

El abacá es considerado un producto Ecuatoriano de muy buena calidad a diferencia de la fibra de abacá producida en Filipinas y Costa Rica, que son las únicas competencias para Ecuador en la actualidad.

La exportaciones de este producto se da en fibra natural, una vez procesada se emplea en dos campos: la cordelería y en la industria papelera.

El Ecuador no posee tecnología apropiada para industrializar la fibra del abacá por ello esta producción depende en su totalidad del mercado extranjero.

En el Ecuador la producción de Abacá se ha mantenido en las provincias de Esmeraldas, Santo Domingo, Manabí, y Los Ríos, contando con 13986 hectáreas plantadas, con mayor producción en La Concordia con un 39% y Santo Domingo con un 36%.

Tabla 4. Disponibilidad de la fibra de abacá por sectores

Sectores	Hectáreas cosechada	Fibra de abacá T.M.	%
Manabí (Manga del Cura)	20	91	0,57
Santo Domingo de los Tsáchilas	5284	7186	45,09
Los Ríos (Buena Fe, Valencia)	2145	1800	11,30
Esmeraldas (Quinindé y San Lorenzo)	732	2311	14,50
La Concordia	5805	4548	28,54
TOTAL	13986	15936	100

Fuente: III Censo Nacional Agropecuario, 2002

La producción en fibra seca y limpia está alrededor de 1.1% al 2% del peso del tallo. Todo el tallo tiene un peso promedio de 50 a 70 Kilos. Basados en estos datos se calcula una producción anual por hectáreas de 1.1 a 2 toneladas métricas de fibra de abacá. (García, 2007)

1.3.2. Procesos para la obtención de pulpa

El papel se lo obtiene a partir de la pulpa fibrosa por diferentes tratamientos ya sean químicos y/o mecánico que se aplican a las fibras madereras o no madereras que la posean. Cualquiera sea el proceso se considera como método de extracción, debido a que todos estos procesos aíslan la celulosa que a diferencia de las reacciones químicas a la celulosa se la obtiene como producto final, pero también difiere de otros procesos de extracción, en que no elimina selectivamente la celulosa, sino más bien rompe otros componentes que se consideran desde el punto de vista de toda papelera una impureza, quedando como residuo la celulosa.

Entre estas impurezas indeseables se incluyen ligninas, pectinas, resinas, ceras, taninos, materiales vegetales colorantes y compuestos carbohidratos, que varían en composición según la fibra vegetal que se trate.

Entonces la importancia del proceso de extracción, es romper estas impurezas, que durante el lavado será fácil eliminarlas.

Los procesos químicos aplicados, son los causantes de los cambios que ocurren en las propiedades físicas y químicas de la pulpa resultante, aunque provengan de la misma clase de fibra, existen otros factores importantes que inciden en estas propiedades, como la dimensión de la fibra, contenido de lignina, hemicelulosas y celulosa.

Entre menos lignina lleve la pasta, el hinchamiento de la fibra se hace más flexible y mejora la capacidad de formación.

La velocidad del proceso se ve afectada por varios factores: Concentración, pH y composición del licor, contenido de humedad y estructura de la madera, condiciones de humedad, temperatura y presión mantenidas durante el proceso.

Los procesos para la elaboración de pulpa celulósica se pueden considerar en tres grupos principales:

a. *Proceso mecánico*: Toda la materia prima es utilizada, es decir que se incluye tanto la celulosa como la lignina, de tal manera que el rendimiento de las pulpas químicas es aproximadamente la mitad de las pastas mecánica.

La calidad de la pulpa es menor por el hecho de contener todos los productos de la materia prima, y el papel toma un color amarillo por eso se usa principalmente para imprimir diarios o guías telefónicas, papel de periódicos, libros baratos, catálogos, algunos tipos de cartoncillo y sus fibras pueden ser recicladas sólo de tres a cuatro veces en tanto las obtenidas químicamente puede ser reutilizadas entre cinco a diez veces.

b. *Proceso químico*: En estos procesos la pulpa química se obtiene por digestión con productos químicos y se dividen en procesos ácidos y procesos alcalinos. En fin común es que todos ellos disuelven suficientemente lignina de forma que la madera se reduzcan completamente las fibras y emplean sistemas acuosos bajo presión y temperatura, pero los productos químicos que se usan en cada uno de ellos son diferentes.

Las pulpas obtenidas por los procedimientos químicos están formadas por fibras individuales separadas no rotas.

Las pulpas químicas representan casi el 70% de la producción mundial de pulpa y alrededor del 63% de la misma está blanqueada.

El método de sulfito o proceso ácido se tiene como reactivo principal el anhídrido sulfuroso, mientras que en los procesos alcalinos, la única diferencia está en la preparación de la lejía de cocción en donde el proceso Kraft contiene también sulfuro sódico que acelera mucho la velocidad de formación de la pulpa. Todas las fábricas de pasta que trabajan con el proceso alcalino poseen sistemas de recuperación. El periodo de cocción en el proceso Kraft es de 2 a 3 horas y en el de sosa de 4 a 6 horas, ya que la velocidad de reacción en el proceso Kraft es mucho más rápido debido a la presencia del sulfuro sódico. En ambos procesos la temperatura máxima de cocción es de unos 180°C, que se procura analizar tan rápidamente como sea posible, y no se realizan descargas de lejía ni de gas como en el proceso de sulfito y así toda la lejía residual se recupera.

El licor negro (16% de sólidos) se concentra en evaporadores de múltiple efecto hasta 50% y hasta 65% de sólidos en evaporadores de contacto. Se agrega Na_2SO_4 para reponer las pérdidas de azufre y/o sodio del proceso y se envía a la caldera de recuperación.

Los rendimientos en pasta del proceso a la sosa alcanzan generalmente el 45%, mientras que los rendimientos en el proceso Kraft son del 45 o 50% o más. Estos valores dependen de las condiciones en las que se ha llevado la fabricación, que a su vez dependen del fin a que sean destinadas las pulpas.

Para producir pulpas en se recomienda un proceso de hidrólisis antes de la cocción, en la cual las astillas se someten a la acción del vapor para hidrolizar los hidratos de carbono de cadena corta (hemicelulosa), que de esta forma se hidrolizan mucho más rápidamente durante el periodo de cocción.

La reacción producida en este proceso químico es la hidrólisis de los enlaces éter fenólicos que hace que fracciones de la lignina se transformen en solubles.

Las reacciones son rápidas a 150 °C. La delignificación no consume mayormente álcali pero necesita el medio alcalino para producirse.

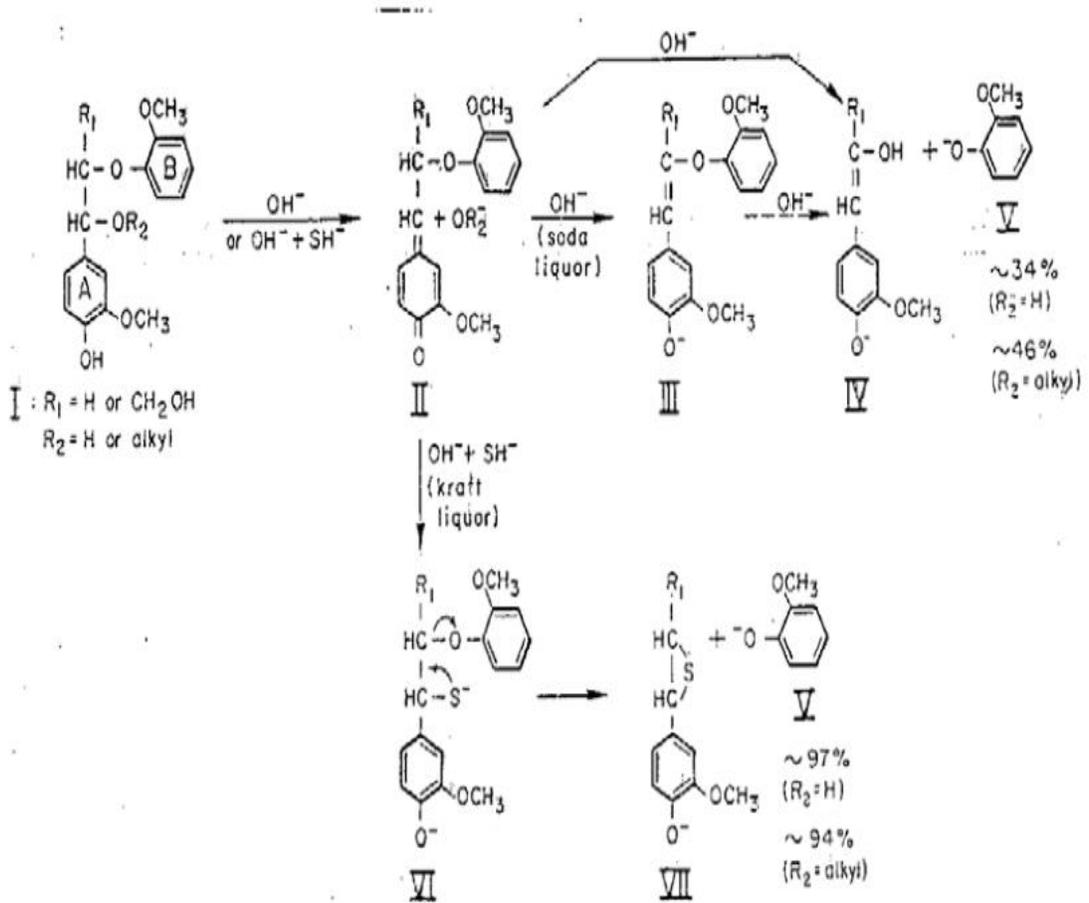


Figura 12. Reacciones de la lignina en el pulpado alcalino y Kraft

Fuente: (Gellerstedt, Lapierre, & Monties, 1989)

La delignificación se da en tres etapas: Inicial, principal y residual.

La inicial se muestra a temperaturas bajas donde puede disolverse del 20 al 25% de la lignina.

La principal a temperaturas superiores a 140 °C cuando la velocidad de delignificación se incrementa notoriamente por la concentración de NaOH, SNa_2 y temperatura y la residual es cuando se reduce la concentración de lignina en la fibra. (Gellerstedt, Lapierre, & Monties, 1989)

1.3.3. Digestores industriales para la obtención de pulpa

El objetivo de la pulpa química es liberar la celulosa de la madera por deslignificación. Esto se consigue tratando las astillas de madera a una temperatura algo elevada, en una solución que contiene los productos químicos de pulpado hasta que se alcanza un cierto grado de deslignificación. El proceso se denomina cocción, pero no es deseable que el licor de cocción hierva y, de este modo, genere vapor. Por esta razón la cocción se realiza en un sistema presurizado que también es una condición para lograr la temperatura necesaria. Después de la cocción, los productos químicos del pulpado se recuperan.

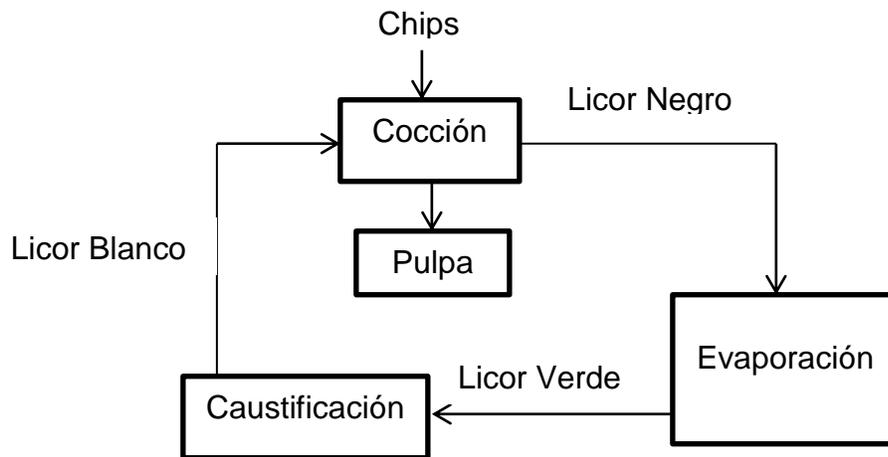


Figura 13. Representación del ciclo del licor en el proceso Kraft

Fuente: (Ek, Gellerstedt, & Henriksson, 2009)

El grado de deslignificación se mide mediante la determinación del número permanganato de la pulpa. El valor del número de permanganato da una estimación del contenido de lignina en la pulpa. Un número de permanganato inferior es igual a menor cantidad de lignina en la pulpa.

El rendimiento total de la cocción se determina como la cantidad de pulpa seca producida en comparación con la cantidad de fibra seca cargada.

La viscosidad de la pulpa puede estar relacionada con el grado de polimerización de los hidratos de carbono y puede utilizarse para monitorizar el grado de degradación de los hidratos de carbono. Cuanto menor es el valor de viscosidad,

más los carbohidratos se han degradado, dando como resultado una longitud de cadena de carbohidrato más corta.

Hay dos procedimientos principales de cocción, por lotes o continuos, utilizando diferentes digestores y equipos, por lo tanto los recipientes son lote o continuos digestores.

1.3.3.1. Digestores de lotes, batch o discontinuo

Se han utilizado varios tipos de recipientes a presión para la cocción por lotes, en forma de cilindro o esféricos, estacionarios o giratorios. El digestor de baño más común en uso, es el cilindro vertical estacionario con un fondo cónico o esférico.

El digestor se llena de chips de madera y licor de cocción, es calentado por un sistema de circulación de licor conectado a un intercambiador de calor. El licor se desplaza a través del centro del digestor y se hace circular por la parte superior e inferior. Cuando se alcanza el grado deseado de deslignificación, la pulpa es descargada al tanque de soplado.

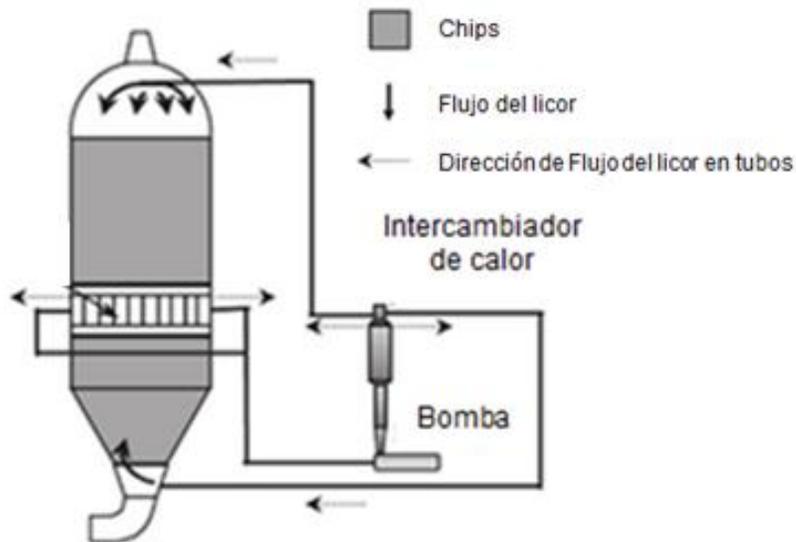


Figura 14. Digestor por lotes con calentamiento indirecto

Fuente: (Ek, Gellerstedt, & Henriksson, 2009)

La cocción por lotes moderna implica una serie de operaciones con miras a obtener una alta calidad de pulpa y eficiencia energética. La idea es reutilizar el licor de cocción gastado, el llamado licor negro, y recuperar sustancias químicas activas útiles y energía inherente al siguiente lote. Las etapas del proceso se describen a continuación.

1. Llenado del chip. En la figura 15, se muestra la saturación con humedad con vapor, dando al flujo de virutas un movimiento circular por lo que las virutas caen con una distribución radial uniforme. Esto mejora la alimentación en un 20%, para que más chips de madera puedan ser almacenados en el digestor en comparación con el relleno natural. Los grados de alimentación normales son 0.5 m^3 de chips/ m^3 de volumen, resultando en $180\text{-}200 \text{ kg/m}^3$ para maderas blandas y $220\text{-}240 \text{ kg/m}^3$ para maderas duras.

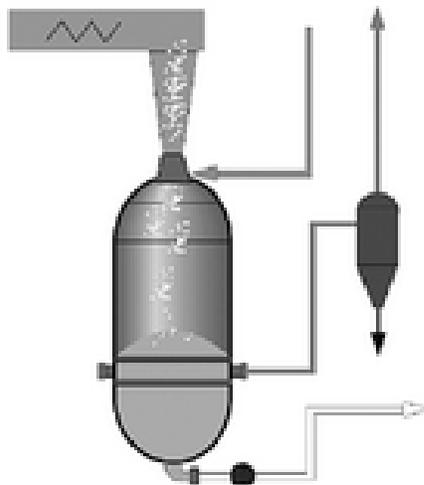


Figura 15. Llenado de la viruta del digestor de la hornada

Fuente: (Ek, Gellerstedt, & Henriksson, 2009)

2. Llenado de licor de impregnación. El llenado de licor negro caliente, licor de impregnación, comienza cuando se ha cargado una cantidad predeterminada de virutas en el digestor. El relleno del chip continúa mientras el licor caliente es bombeado a la parte inferior del digestor, como lo indica la Figura 16. Cuando el llenado de la viruta se termina, el digestor se tapa automáticamente. El digestor

se llena con licor. Con el fin de eliminar el aire restante, el sistema está ligeramente presurizado.

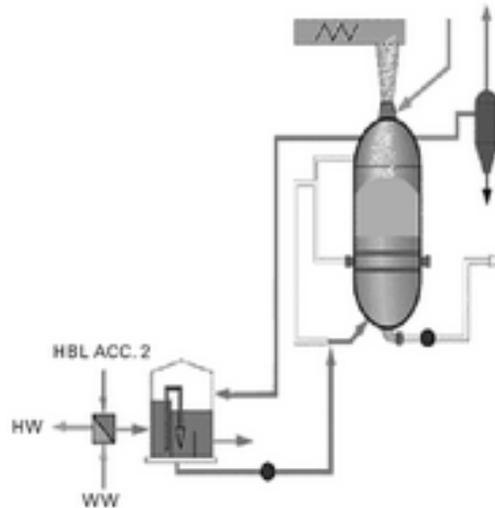


Figura 16. Llenado del licor de impregnación

Fuente: (Ek, Gellerstedt, & Henriksson, 2009)

3. Llenado de licor caliente. Inmediatamente después de la impregnación, se bombea al digestor licor blanco caliente proveniente del intercambiador de calor, causando instantáneamente un desplazamiento del licor de impregnación caliente a través de la parte superior del digestor, como se muestra en la Figura 17. Esto lleva el contenido del digestor a la temperatura de cocción. El licor de impregnación caliente desplazado está en el momento conectado al sistema de recuperación química a través de la planta de evaporación.

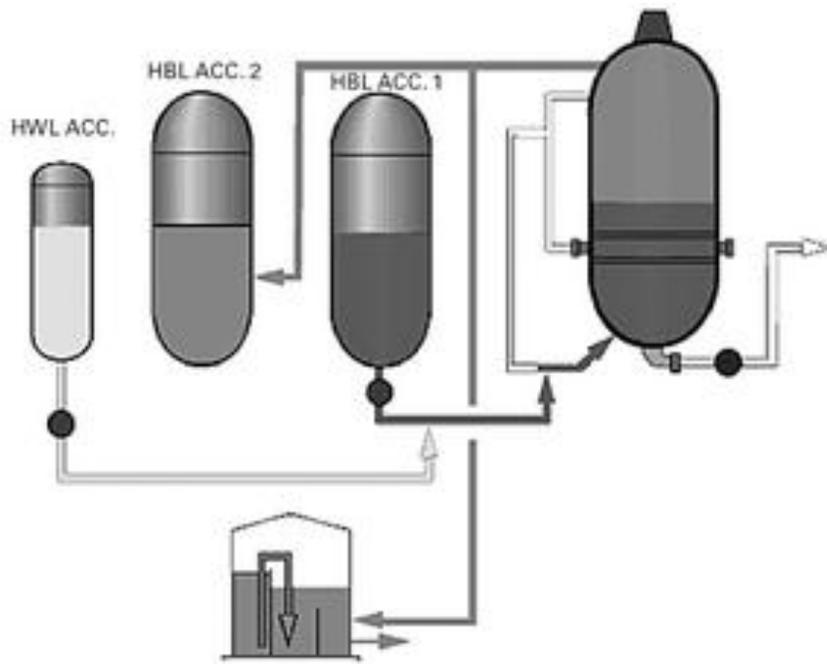


Figura 17. Llenado del licor caliente.

Fuente: (Ek, Gellerstedt, & Henriksson, 2009)

4. Calefacción y digestión. Una alternativa es tener un intercambiador de calor usando vapor indirecto. En cada caso, la circulación se consigue bombeando licor desde el centro del digestor hasta la parte superior e inferior del digestor.

5. Desplazamiento. Cuando se alcanza el grado deseado de deslignificación, se detiene la circulación. El licor negro frío es bombeado hacia el fondo y desplaza a los gases (licor negro caliente) hacia la parte superior del digestor. El desplazamiento llevará la temperatura en el digestor a menos de 100°C, asegurándose de que el proceso de deslignificación se detenga, y evitar que la fase líquida se vaporice y dañe las fibras llenas de líquido. (Ek, Gellerstedt, & Henriksson, 2009)

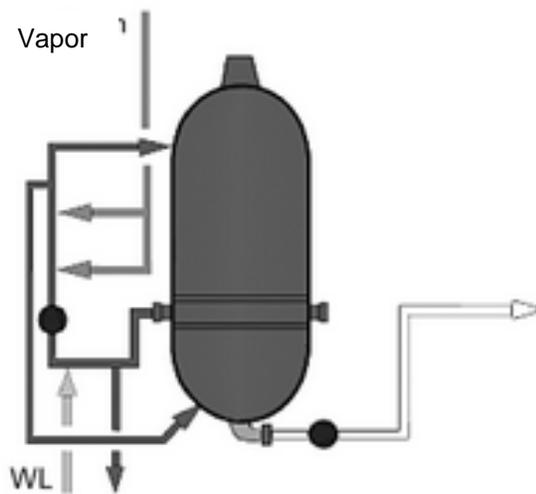


Figura 18. Descarga del licor

Fuente: (Ek, Gellerstedt, & Henriksson, 2009)

6. Descarga de la pulpa. Cuando se alcanza el grado deseado de deslignificación, la pulpa es descargada al tanque de soplado.

Tabla 5. Ventajas de digestores batch y continuos

Digestores Batch	Digestores Continuos
Simplicidad de diseño y operación.	Un 40% menos de consumo de energía que para los digestores discontinuos
Flexibilidad para cambiar entre tipos de fibras y hacerlo rápidamente.	Un poco más de pulpa
Simple adición de otro digestor a la línea.	Sistema menos complejo para la recuperación de gases no condensables - necesario para el control ambiental
Costos de mantenimiento bajos.	Mayores sólidos de licor negro y consecuentes menores costos de evaporación en el ciclo de recuperación química
Producción fiable, más flexible, fácil de arrancar / parar, permitiendo una rápida adaptación a los cambios rápidos entre las diferentes cualidades de la pulpa o madera blanda / madera dura.	Demanda de vapor más uniforme
Una recuperación más eficiente de la trementina.	

Fuente: (Fuller)

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

2.1 Obtención de fibra de abacá

Se obtuvieron 16 Kg de fibra de abacá en un centro de recolección y comercialización de la misma; ubicado en La Concordia, provincia de Santo Domingo. Los atados de la fibra, apropiadamente desfibrilados, de 3.5 a 3.8 m de longitud.

Esta fibra fue sometida a un cortado mecánico, para reducir su tamaño a 4 cm de largo, con la finalidad de mejorar el grado de delignificación y reducir en lo posible los rechazos.

Con respecto al color de cada una de las fibras, entre más clara y blanca es de clase menor, esto se demuestra en la Figura 19 hasta la Figura 22.



Figura 19. Fibra de Quinta Clase

Fuente: Daniela Zambrano, 2016



Figura 20. Fibra de Cuarta Clase

Fuente: Daniela Zambrano, 2016



Figura 21. Fibra de Tercera Clase

Fuente: Daniela Zambrano, 2016



Figura 22. Fibra de Segunda Clase

Fuente: Daniela Zambrano, 2016

2.2 Humedad y Longitud

A todas las muestras de fibras atadas se les determinó la humedad, pesándolas y luego secándolas en una estufa por 2 horas a 105°C.

Mediante referencia bibliográfica se pudo establecer que la longitud fibra es de 4 mm a 6 mm, que equivale a una fibra larga.

Se intentó realizar la determinación de longitud de fibra en el centro de investigaciones de fibras en Argentina, pero no se realizó por falta de tiempo.

2.3 Diseño y Construcción del digestor piloto

Las pruebas experimentales correspondientes a este proceso fueron realizadas en Papelera Nacional S.A., y en razón de que no se contaba con un digestor apropiado se tuvo que realizar la construcción de un reactor cilíndrico vertical, similar a un equipo de una investigación realizada en la Universidad Guayaquil.

El digestor tiene una capacidad de 53 litros y es calentado mediante sistema de vapor directo el cual tiene las siguientes características:

Entrada de Vapor de Media Presión: 13.5 Bar

Válvula de Seguridad de Bronce para vapor saturado calibrado a: 11 Bar.

Con la finalidad de controlar tanto la temperatura como la presión, existe un termómetro y un manómetro respectivamente. Como dispositivo de seguridad tiene una válvula de alivio para casos de sobrepresión.

Está compuesto por un cuerpo de digestor de acero inoxidable SCH 20, válvulas de globo para regular la entrada de vapor, bridas para la alimentación y descarga de fibra y pulpa respectivamente, un embudo que inicialmente se lo construyo con la finalidad de alimentar la soda fría diluida, sin embargo luego fue utilizado para aliviar presión, válvulas de bola para regular el flujo del licor blanco, licor negro frio y licor negro caliente. Además cuenta con un motor de 0.37 KW de potencia y velocidad de salida de 18.1 RPM, cuenta con 6 paletas (aspas), 3 ubicadas a la mitad del cuerpo del digestor y 3 en la parte de arriba del digestor.



Figura 23. Digestor Piloto de Papelera Nacional S.A.

Fuente: Daniela Zambrano, 2016

Equipos y materiales

Digestor

Recipientes de 20 litros

Tamiz # 20

Herramientas

EPP

Reactivos

Soda Caustica

Agua

2.4 Digestión

La materia prima ya cortada y pesada fue previamente saturada en humedad, se tomaron 900 gramos de fibra en bruto en 1800 ml de agua en una hora, con el fin de reducir el volumen de la fibra y poder cocinarla mejor, con una humedad del 50% fue introducida al digestor por la brida de 6”.

Posteriormente la soda diluida se preparó a diferentes concentraciones (10%, 25% y 34%), con una relación de 1:10 fibra: licor, se trabajaron todas las corridas, alimentado por la brida de 6”.

Luego de haber cerrado las bridas y todas las válvulas del digestor, se encendió el agitador y se abrió poco a poco las válvulas de vapor, hasta llegar a mantener la temperatura según la tabla # 6, manipulando todo el tiempo las válvulas de vapor para mantener el flujo constante.

Una vez terminado el tiempo de cocción, se cerraron las válvulas de vapor y se abrió la válvula del embudo, despresurizando el equipo con venteos para desalojar los vapores e incondensables durante la etapa de cocción.

Se continua agitando el contenido del digestor hasta desalojar totalmente los vapor del digestor del mismo y se homogenice bien la pulpa.

Pasada 2 horas hasta que el equipo este completamente frio, se descarga todo el licor, para luego medir su volumen y la pulpa obtenida posteriormente se lava, se tamiza y se seca a 105°C, en la estufa por 24 horas.

Una vez obtenida la pulpa secada, se realizaron los ensayos para refinarla y obtener papel que se explican brevemente a continuación.

2.5. Condiciones de trabajo

Las condiciones de pulpado de la fibra de abacá, fueron establecidas de acuerdo a procesos de similares de obtención de pulpa para papel a partir de fibra y madera, conocido como proceso de la soda caliente.

La preparación de la soda varía según el nivel de delignificación deseado, en la cual se detallan las cantidades de agua y cantidad de NaOH en la tabla 6.

Tabla 6. Digestión de abacá: Condiciones de trabajo utilizadas en el proceso SODA

Corrida #	Clase de Fibra	Peso de fibra		Relación Fibra: Licor	Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)	Concentración de la soda (g/l)	Volumen de agua (ml)	Cantidad de NaOH (g)
		Húmeda (g)	Seca (g)						
1	Quinta	900	600	1:10	160	30	10	5700	60
2	Quinta	900	600	1:10	160	75	25	5700	150
3	Quinta	900	600	1:10	160	60	25	5700	150
4	Cuarta	900	600	1:10	180	45	25	5700	150
5	Tercera	900	600	1:10	170	45	25	5700	150
6	Segunda	900	600	1:10	160	45	34	5700	204

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2016

2.6. Imágenes de digestión de la fibra

La temperatura en el proceso de digestión de la corrida # 1 fue visualizada a través del termógrafo, que indica un mínimo, máximo y promedio del punto asignado, además de un indicador de colores, donde el color rojo o alto nivel significa la mayor temperatura del sistema y azul la más baja temperatura del sistema.

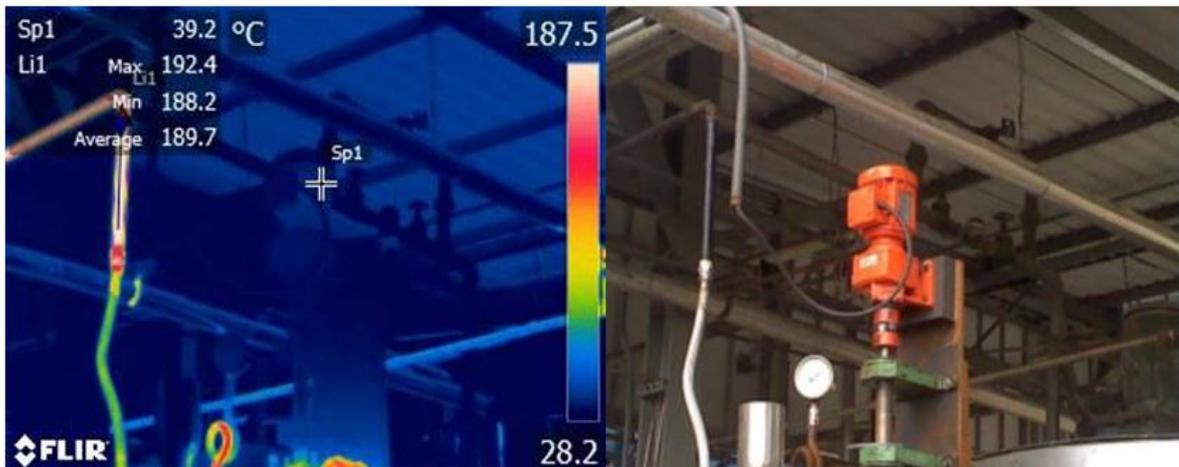


Figura 24. Termógrafo imagen centrada en Sp1 y Li1

Fuente: Daniela Zambrano, 2016

Sp1 Temperatura del Motor

Li1 Temperatura Línea Entrada de Vapor

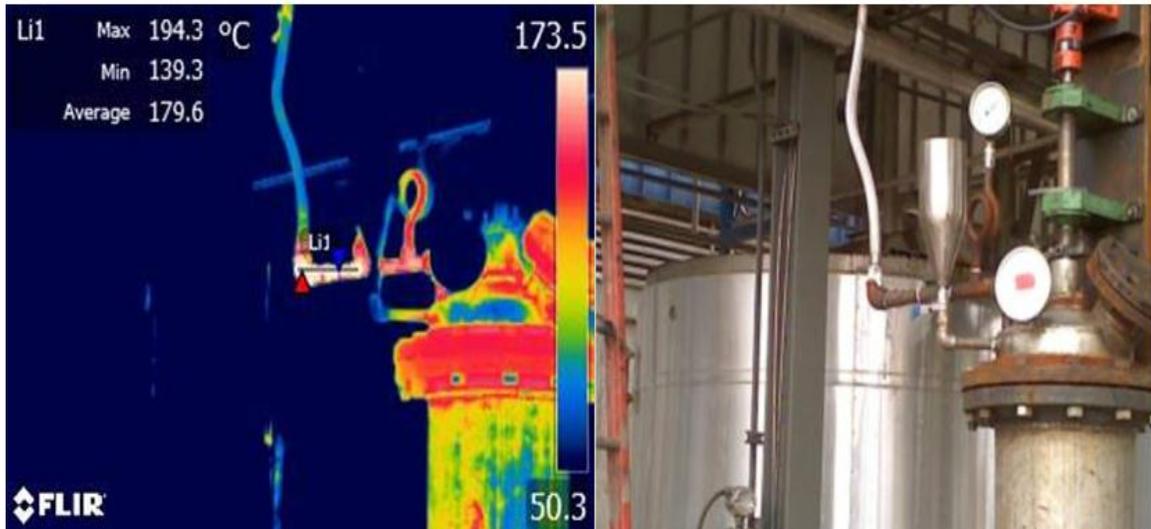


Figura 25. Termógrafo imagen centrada en Li1

Fuente: Daniela Zambrano, 2016

Li1 Entrada de Vapor

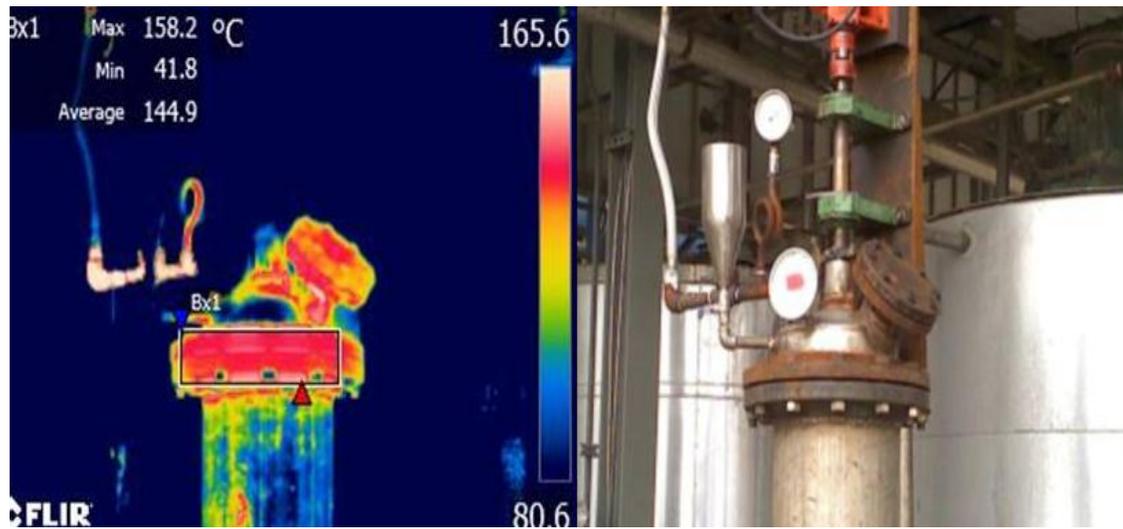


Figura 26. Termógrafo imagen centrada en Bx1

Fuente: Daniela Zambrano, 2016

Bx1 Temperatura en Brida

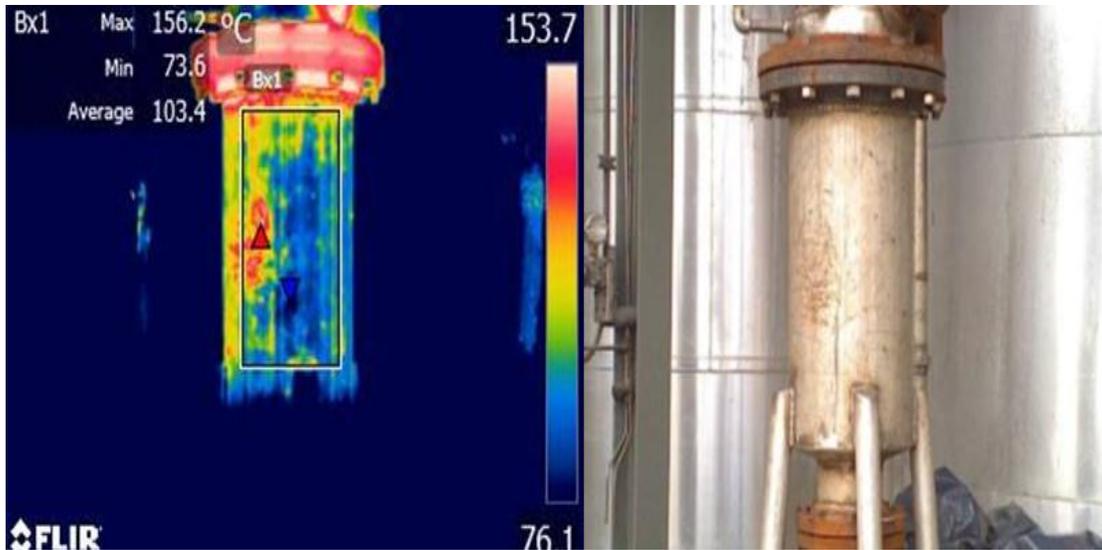


Figura 27. Termógrafo imagen centrada en Bx1

Fuente: Daniela Zambrano, 2016

Bx1 Temperatura de Equipo

2.7. Evaluación de las pulpas

Las pulpas de papel serán evaluadas mediante el análisis de los siguientes ensayos

Ensayos a las pulpas	Número de Permanganato
	Prueba de batido
	Freeness de la Pulpa y consistencia
	Formación de hojas de mano

2.7.1. Número de Permanganato

Determina el grado de cocimiento o blanqueabilidad de una pulpa.

Equipos y materiales:

Licuadaora

Agitador

2 Probetas de 1000 ml

2 Probetas de 100 ml

Recipiente plástico de 2 litros

Estufa

Reactivos:

Almidón

Ácido sulfúrico 4N

Yoduro de Potasio

Permanganato de Potasio 0.1 N

Tiosulfato de Sodio 0.1 N

Procedimiento

1. Pesar 1.1 gr de la muestra seca.
2. Medir 720 ml y 240 ml de agua destilada.
3. Disgregar los 1.1 gr con los 720 ml de agua destilada en la licuadora y por el tiempo de 3 minutos.
4. Medir 60 ml de ácido sulfúrico 4 N y 60 ml de permanganato 0.1 N.
5. Verter la mezcla en un desintegrador, a la vez los 60 ml de ácido sulfúrico y los 60 ml de permanganato.
6. Medir 5 ml de yoduro de potasio.
7. Agregar los 240 ml de agua destilada en el desintegrador.
8. Agitar la solución durante 5 minutos. A los 5 minutos 5 ml de yoduro de potasio.
9. Titulamos con tiosulfato de sodio 0.1 N hasta que la solución tome una coloración amarilla clara.
10. Agregamos almidón que actúa como indicador y la solución toma una coloración azul.

11. Sin rellenar la bureta seguimos titulando con tiosulfato de sodio hasta que desaparezca el color azul.
12. El número de permanganato se obtiene de la relación siguiente:
No. Permanganato = 60 – ml de tiosulfato gastados.

2.7.2. Prueba de batido

Equipos y materiales:

Pila holandesa

Desintegrador

4 Recipientes plásticas de 2 litros

1 Recipiente plástico de medio litro

1 balde de 25 litros

Cronometro

1. Diluir toda la muestra seca en 23 litros de agua a temperatura ambiente en el interior de la Pila Holandesa.
2. Se toman muestras en los siguiente periodos
M1= 15 min, M2=30 min, M3=60 min, M4=90 min
3. En cada una de las muestras se evalúa Freeness en la Pulpa y consistencia.
4. De cada muestra elaborar hojas de mano
5. Con las hojas de mano, realizar ensayos según los procedimientos de la determinación de pruebas físicas en las hojas de mano.

2.7.3. Medición de Freeness en la Pulpa y Consistencia

Determina el grado de refinación de una muestra de pulpa.

Equipos y materiales:

2 Probetas de 1000 ml y una de 100 ml

Canadian Standard

Formador de hojas

Balanza

Estufa

Papel Secante

Procedimiento

1. Medir el 200 cm³ de muestra.
2. Diluir a 1 litro en una probeta graduada.
3. Adicionar a la cámara del Canadian Standard Freeness Tester, es decir al depósito A, ver figura # 28
4. Cerrar la tapa superior (F) y la válvula de paso de aire (G), ver figura # 28.
5. Colocar una probeta (J) en el orificio lateral del embudo, ver figura # 28.
6. Abrir la tapa inferior (D) y la válvula de paso de aire (G) para que drene el agua, ver figura # 28.
7. Recoger el agua drenada (K) y medir el volumen V, ver figura # 28.
8. Cerrar la tapa inferior (D) y abrir la superior (F), ver figura # 28.
9. Transferir el contenido de lo que quedo en del Canadian Standard Freeness Tester al formador de hoja para determinar la consistencia.
10. Filtrar y secar la hoja.
11. Pesar la hoja en la balanza para obtener la consistencia.
12. Con los datos de volumen drenado V, temperatura T y consistencia, proceder a realizar las correcciones a 28°C en la Tabla de la Norma Tappi T227, Freeness of Pulp (Canadian Standard Method), y a 0.3% de consistencia en la Tabla II de la Norma Tappi T227, Freeness of Pulp. (Canadian Standard Method).

En el fondo contiene una malla metálica (C), y una placa (D) que abre y cierra con la placa (E), además de un cono colector (B) y un cierre hermético (H), que también cumple la función de un cono intercambiable y descarga, ver figura # 28.

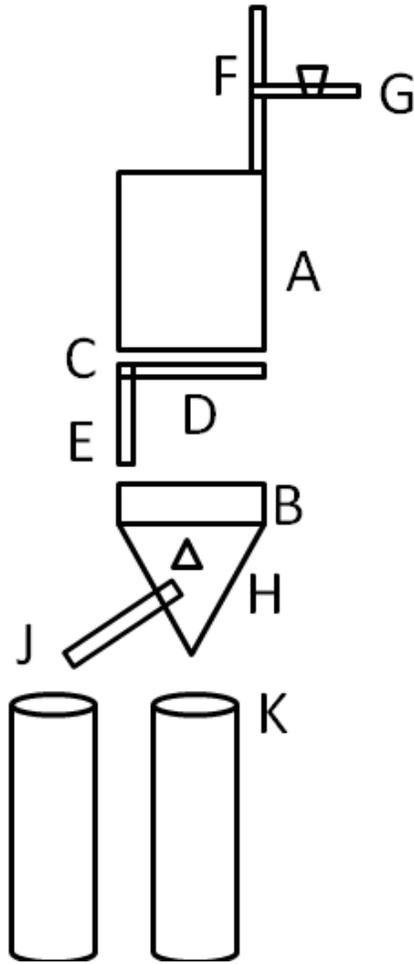


Figura 28. Canadian Standard Method

Fuente: (Papelera Nacional, 2016)

2.7.4. Formación de hojas de mano para pruebas físicas

El gramaje del papel escogido fue de 60 g/m^2 por ser el papel más fino y más parecido a un papel moneda, consistencia que fue corregida del tercer freeness obtenido de la pulpa refinada, por ser el más apropiado e intermedio entre todos los tiempos.

Equipos y materiales:

Equipo formador de hojas

Procedimiento:

1. Llenar con agua el envase de la maquina formadora de hoja.
2. Llenar hasta la mitad con agua, vierta la cantidad de material necesario para una hoja en la maquina formadora de hojas.
3. Agregar agua hasta que la altura sea de unos 350 mm.
4. Abra totalmente el drenaje de la máquina y dejar que el agua de drenaje pase a través de la hoja bajo la succión.
5. Se abre el envase para liberar la succión y se procede asentar la hoja de pulpa formada.
6. Colocar dos papeles secantes sobra la hoja formada asentado sobre estos un plato circular de acero y sobre el un rodillo de acero en el centro del plato. Se desliza el rodillo sin aplicar presión.
7. Levantar las secantes de una manera similar a la de la apertura de la tapa de un libro.
8. Se coloca la hoja sobre un espejo pulido de un lado y otra hoja del otro lado del espejo, y después se cubre con otro papel secante.
9. Posteriormente se prensa de platos con una presión de 4 Bar.
10. Finalmente se retira el prensado y es colocado en un anillo de secado.
11. Se deja que las hojas se sequen completamente, conservando su posición en los anillos, mínimo 24 horas en condiciones de ambiente de laboratorio controladas.
12. Los ensayos de pruebas físicas se realizan una vez concluido el periodo de secado a las mismas condiciones de ambiente controladas. (Norma Tappi T 402). (Papelera Nacional, 2016)

2.8. Evaluación a las hojas

Las hojas de papel serán evaluadas mediante el análisis de los siguientes ensayos:

Ensayos a las hojas	Peso o Gramaje
	Resistencia al Rasgado
	Resistencia a la Ruptura
	Resistencia al Estallido

2.8.1. Peso básico o gramaje

Equipos y materiales:

Balanza

No se considera un ensayo pero es de alta importancia su medición, e inclusive las pruebas físicas dependen de este valor.

Aplicando correcciones a distintas pruebas se puede determinar la cantidad de pulpa necesaria para elaborar un papel de un gramaje en específico.

El peso o gramaje es el peso de la unidad de área del papel, y se determina pesando una hoja de dimensiones conocidas.

Aunque el papel se vende por peso, se usa en unidades de superficie. Lo ideal para toda industria papelera es obtener papel con bajo gramaje, pues de esa manera se obtienen muchos metros cuadrados en tan poco peso, sin embargo al bajar el gramaje se ven afectadas directamente las propiedades físicas del papel, ya que lo vuelve menos resistente y estable.

Procedimiento:

Se pesan las cuatro muestras del papel, se calcula un promedio de ese peso y luego a ese peso se lo multiplica por un factor de 50 para obtener el gramaje requerido.

Se le hacen los cortes respectivos a la hoja según la Figura # 25. Se toman varios datos y se saca un promedio de cada ensayo, para luego ser reportado.

2.8.2. Análisis de Rasgado

Fuerza requerida para rasgar una o más hojas de papel.

2.8.3. Análisis de Longitud de Ruptura

Longitud a la que se rompe una tira de papel por efecto del estiramiento. Obtener el promedio de Longitud de Ruptura "Breaking Length" en Km.

2.8.4. Análisis de Resistencia al Estallido (Mullen)

Resistencia de un papel sometido a presión, hasta que se produzca el estallido.

Se obtiene el valor promedio (PSI) el cual se divide para el peso de la hoja de mano (g/m^2).

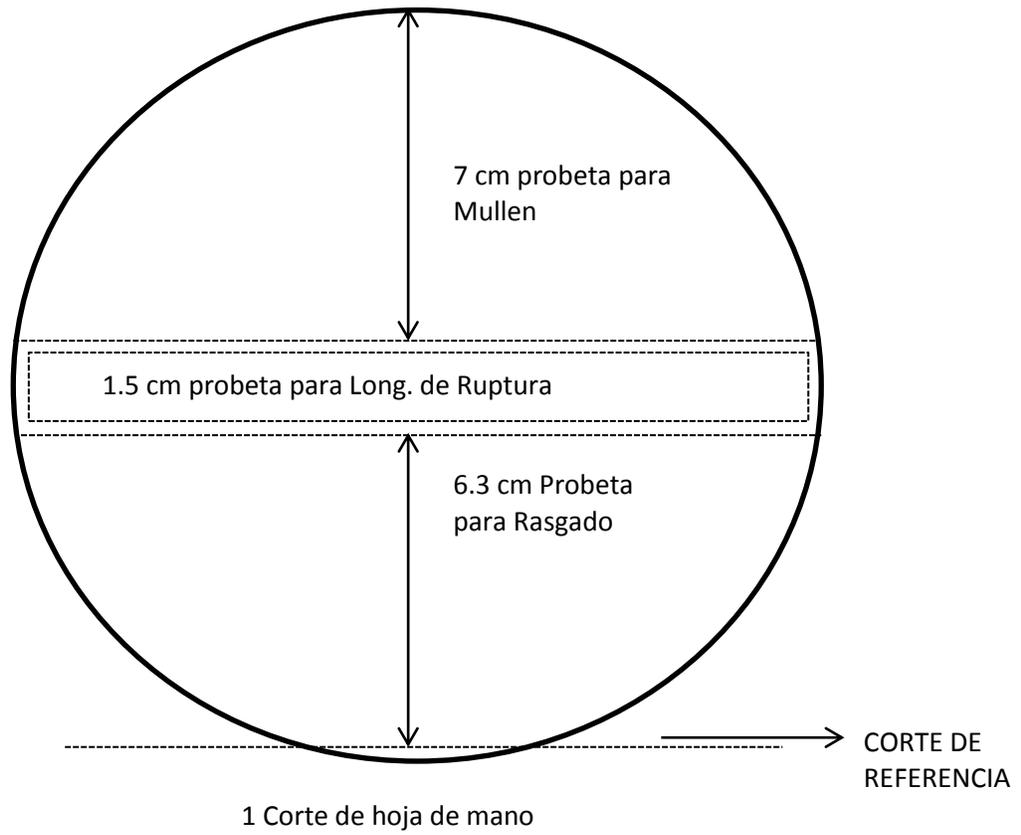


Figura 29. Corte de muestras para ensayos en hojas de mano

Fuente: (Papelera Nacional, 2016)

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

3. RESULTADOS

3.1. Obtención de fibra de abacá

Todas las clases de fibra fueron sometidas a cocción, con diferentes condiciones de operación pero manteniendo la relación 1:10, fibra: licor.

3.2. Humedad y Longitud del atado

Tabla 7. Humedad y Longitud del atado

Clase de Fibra	Humedad (%)	Longitud (m)
Quinta	10.05	3.5
Cuarta	9.79	3.8
Tercera	10.15	3.6
Segunda	10.02	3.5
Promedio:	10.00	3.6

Fuente: Daniela Zambrano, 2017

Los resultados de humedad fueron muy similares en todas las clases de fibras esto debió deberse a varios motivos como no provenir del mismo tallo, o unos permanecieron secándose más tiempo que otras; así mismo la longitud de la fibra no era la misma.

3.3. Operación del digestor piloto

En base a que en el alivio de vapores del digestor, hubo fuga de licor negro caliente, se procedió a girar el embudo, para poder almacenar el mismo, y evitar contacto con él.

En la Tabla # 8 se detallan el número de las corridas experimentales desarrolladas, así como el número de permanganato obtenido de las mismas, indicando la clase de fibra, temperatura, tiempo, concentración de la soda, y el rendimiento en base al peso de fibra seca y peso de pulpa seca.

Tabla 8. Fibra de abacá: Corridas experimentales de digestión

Corrida #	Clase de Fibra	Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)	Concentración de la soda (g/l)	Rendimiento (%)	# de Permanganato	Volumen de licor negro (ml)
1	Quinta	160	30	10	78	54	620
2	Quinta	160	75	25	76	14	600
3	Quinta	160	60	25	72	15	650
4	Cuarta	180	45	25	73	15	630
5	Tercera	170	45	25	71	13	600
6	Segunda	160	45	34	68	16	800

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

En resumen de la Tabla 8, el rendimiento más alto corresponde a la Corrida # 1, con fibra de quinta clase y concentración 10 g/l de NaOH, y el rendimiento más bajo corresponde a la Corrida # 6, con fibra de segunda clase y concentración 34 g/l de NaOH.

Al aumentar el tiempo de cocción se pudo obtener menor número de Permanganato, pero mayor rendimiento, esto demuestra que en las corridas # 2 y # 5 las pulpas quedaron muy cocinadas, y por otra parte en la corrida # 1 quedo muy cruda.

Al elevarse la carga alcalina o concentración de la soda también se obtuvo menor número de permanganato y un menor rendimiento, como es el caso de la corrida # 6.

3.4. Evaluación de las pulpas

A continuación se procederá a evaluar los resultados obtenidos de los batidos de las diferentes pulpas de papel, obtenidas en las corridas experimentales con los ensayos de las pulpas que se describieron anteriormente.

En la Tabla 9 se reportan los resultados se batido de la Corrida #1, en razón que a los 90 minutos no se logró un freeness de 300 ml, fue sometida a un proceso mecánico de refinado de 1 hora más, y las demás corridas si fueron refinadas por un tiempo de 90 minutos. Las demás pruebas, se reportan desde la Tabla 10 hasta la Tabla 14. Los tiempos se mantienen iguales.

Tabla 9. Prueba de Batido de Corrida # 1

Tiempo (min)	Freeness (CFS, ml)	Consistencia
5	781	3.248
30	672	3.450
60	550	4.202
90	427	3.592
120	306	3.590

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

Tabla 10. Prueba de Batido de Corrida # 2

Tiempo (min)	Freeness (CFS, ml)	Consistencia
5	722	3.22
15	696	3.51
30	661	3.80
60	585	3.60
90	435	3.01

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

Tabla 11. Prueba de Batido de Corrida # 3

Tiempo (min)	Freeness (CFS, ml)	Consistencia
5	742	3.261
15	676	3.542
30	604	3.420
60	480	3.280
90	354	3.062

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

Tabla 12. Prueba de Batido de Corrida # 4

Tiempo (min)	Freeness (CFS, ml)	Consistencia
5	733	2.813
15	696	3.534
30	631	3.478
60	462	3.406
90	396	3.601

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

Tabla 13. Prueba de Batido de Corrida # 5

Tiempo (min)	Freeness (CFS, ml)	Consistencia
5	736	4.011
15	697	3.256
30	637	3.528
60	553	4.285
90	454	3.615

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

Tabla 14. Prueba de Batido de Corrida # 6

Tiempo (min)	Freeness (CFS, ml)	Consistencia
5	717	3.298
15	686	3.498
30	595	3.722
60	487	3.000
90	369	3.253

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

La medición del freeness demostró la alta drenabilidad que contiene la fibra abacá, que por ser virgen tuvo que emplearse una técnica de refinación de duración de 1 hora y 30 minutos, esto es tomando el tiempo de refinado para pulpa virgen, para que llegara a un freeness de 300 ml.

En la Figura 30, se muestra la hoja formada con pulpa sin refinar.



Figura 30. Hoja de mano de Pulpa sin refinar

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

En la figura 31, se puede observar la hoja formada con pulpa refinada

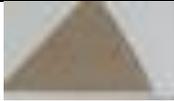


Figura 31. Hoja de mano de 60 g/m²

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

En la Tabla # 15 se tienen las muestras de las hojas de cada corrida, en diferentes tiempos de refinado

Tabla 15. Hojas de mano de las corridas

CORRIDA # 1			
30 minutos	60 minutos	90 minutos	120 minutos
			
CORRIDA # 2			
15 minutos	30 minutos	60 minutos	90 minutos
			
CORRIDA # 3			
15 minutos	30 minutos	60 minutos	90 minutos
			
CORRIDA # 4			
15 minutos	30 minutos	60 minutos	90 minutos
			
CORRIDA # 5			
15 minutos	30 minutos	60 minutos	90 minutos
			
CORRIDA # 6			
15 minutos	30 minutos	60 minutos	90 minutos
			

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

3.5. Evaluación a las hojas

Una vez realizados los cortes respectivos a las hojas de mano se evalúan realizándoles 3 pruebas de resistencia, como son la ruptura, rasgado y mullen o explosión. Los resultados de estas pruebas físicas se encuentran relacionadas al Freeness y tiempo de refinado, como se detalla desde la Tabla 16 a la Tabla 21, las pruebas de índice de longitud de ruptura, índice rasgado e índice de Mullen.

Tabla 16. Propiedades Físicas de Corrida # 1

Tiempo (min)	Freeness (CFS, ml)	Propiedades Físicas		
		Índice de Longitud de Ruptura (Km)	Índice de Rasgado (F)	Índice de Mullen (Psi/g/m ²)
5	550	-	-	-
10	532	7.001	161	0.73
20	485	7.380	149	0.88
30	427	7.855	146	0.89
45	306	8.404	133	1.01

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

Tabla 17. Propiedades Físicas de Corrida # 2

Tiempo (min)	Freeness (CFS, ml)	Propiedades Físicas		
		Índice de Longitud de Ruptura (Km)	Índice de Rasgado (F)	Índice de Mullen (Psi/g/m ²)
5	722	-	-	-
10	696	5.905	562	0.73
20	661	6.811	541	0.83
30	585	7.705	491	0.93
45	535	8.109	479	1.05

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

Tabla 18. Propiedades Físicas de Corrida # 3

Tiempo (min)	Freeness (CFS, ml)	Propiedades Físicas		
		Índice de Longitud de Ruptura (Km)	Índice de Rasgado (F)	Índice de Mullen (Psi/g/m ²)
5	742	-	-	-
15	676	7.219	440	0.86
30	604	8.225	376	0.97
60	480	8.688	306	1.11
90	354	9.674	282	1.20

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

Tabla 19. Propiedades Físicas de Corrida # 4

Tiempo (min)	Freeness (CFS, ml)	Propiedades Físicas		
		Índice de Longitud de Ruptura (Km)	Índice de Rasgado (F)	Índice de Mullen (Psi/g/m ²)
5	733	-	-	-
15	696	4.404	429	0.64
30	631	6.139	423	0.84
60	462	8.669	414	1.23
90	369	9.964	394	1.31

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

Tabla 20. Propiedades Físicas de Corrida # 5

Tiempo (min)	Freeness (CFS, ml)	Propiedades Físicas		
		Índice de Longitud de Ruptura (Km)	Índice de Rasgado (F)	Índice de Mullen (Psi/g/m ²)
5	736	-	-	-
15	697	6.342	630	0.87
30	637	7.494	605	0.96
60	553	9.982	565	1.29
90	454	10.292	456	1.55

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

Tabla 21. Propiedades Físicas de Corrida # 6

Tiempo (min)	Freeness (CFS, ml)	Propiedades Físicas		
		Índice de Longitud de Ruptura (Km)	Índice de Rasgado (F)	Índice de Mullen (Psi/g/m ²)
5	717	-	-	-
15	686	8.804	463	0.98
30	595	9.197	370	1.12
60	487	10.014	338	1.26
90	369	10.609	295	1.30

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

Cabe demostrar que no todas las clases de fibra se comportan igual, ni lucen del mismo color, la fibra de clase 2 es más cara sin embargo necesita de menores condiciones de operación que la fibra de clase 5.

Desde el punto de vista industrial, los papeles con más altas propiedades físicas, en su orden son:

Corrida # 5

Corrida # 2

Corrida # 6

Corrida # 4

Corrida # 3

Con la finalidad de apreciar visualmente la relación existente entre el freeness, el índice de ruptura, el índice de rasgado y el índice se Mullen se han elaborado la Figuras 32, 33, 34 con las curvas respectivas de esta relación para todas las corridas.

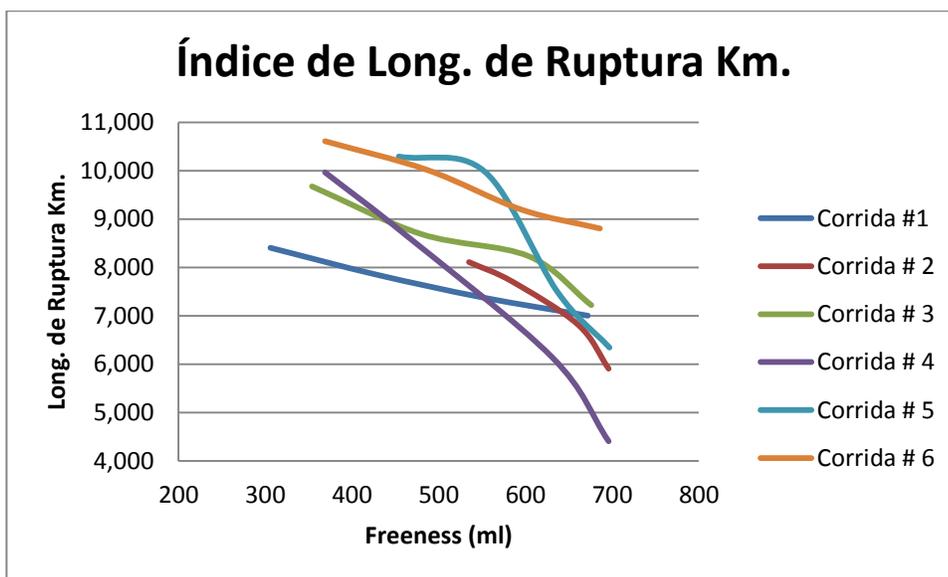


Figura 32. Longitud de Ruptura vs Freeness

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

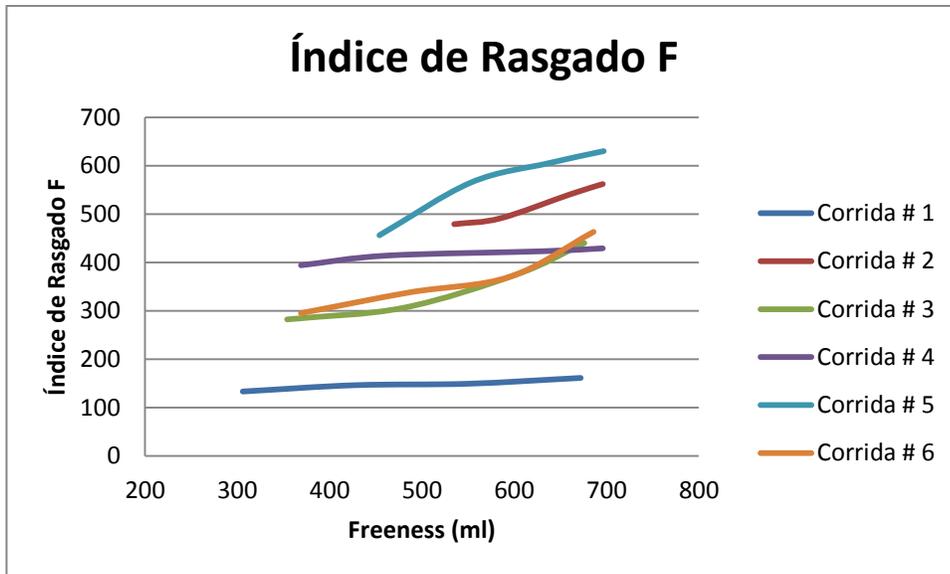


Figura 33. Rasgado vs Freeness

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

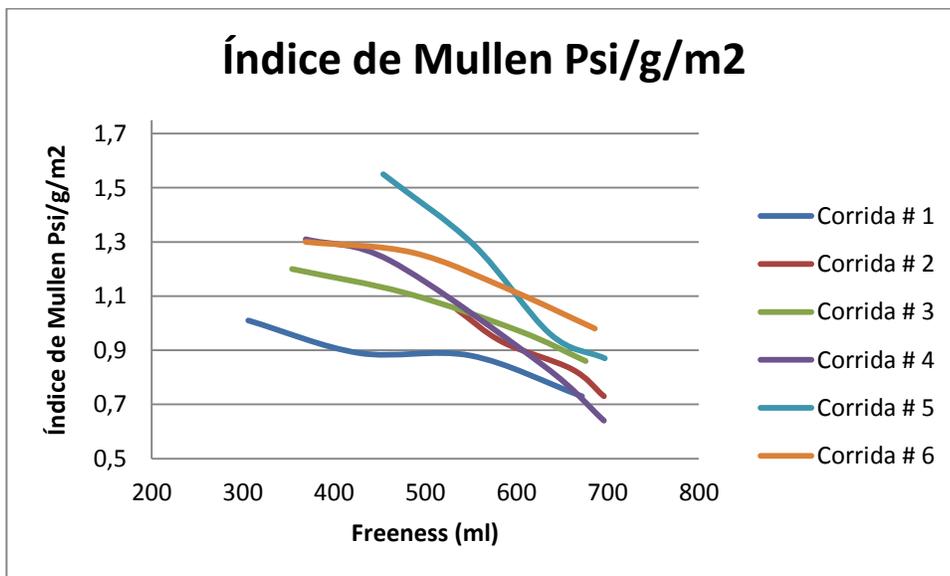


Figura 34. Mullen vs Freeness

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

3.6. Selección de las condiciones del proceso

Las condiciones del proceso se establecieron según el número de permanganato, rendimiento y clase de fibra debido a que los resultados de todas las pruebas físicas se mantuvieron altas, y en este caso como la productividad de fibra comparada con la de Filipinas es mucho menor pero al tener una ventaja de producir fibra más blanca, se seleccionó como base de diseño del digestor industrial a la cocción de la corrida # 2.

3.7. Consideraciones del dimensionamiento del digestor industrial

- Disponibilidad de fibra en el Ecuador.
- Capacidad del Digestor.
- Selección de material de diseño según las condiciones del proceso (presión, temperatura, naturaleza del proceso).

3.7.1. Disponibilidad de fibra en el Ecuador

La fibra de abacá en el Ecuador sólo es producida en ciertos lugares por su clima y terreno óptimo, debido a eso la capacidad del equipo se partió de la disponibilidad de materia prima existente en el país. En base a datos proporcionados por el III Censo Nacional Agropecuario, características de la planta y exportación de fibra se estableció la cantidad de fibra a procesar equivalente a 25 toneladas/ diarias.

Calculo de la disponibilidad potencial de fibra de abacá en el Ecuador, se detalla a continuación para la obtención de pulpa.

Superficie cultivada en el país = 13986 Ha.

de plantas por Ha. (densidad de siembra) = 816

Cosechas anuales = 1.14

Contenido de fibra en el tallo (%) = 2%

Peso promedio de los tallos = 60 Kg = 0.06 toneladas

de plantas = Ha. # de plantas/Ha*

*# de plantas = 13986 * 816 = 11412576*

de tallos disponibles anualmente = # de plantas x cosechas anuales

*# de tallos disponibles anualmente = 11412576 * 1.14 = 13280000*

*Peso de fibra disponible = W * T * S*

Dónde:

W = # de tallos disponibles anualmente

T = Peso promedio de tallos

S = Contenido de fibra por tallo

*Peso de fibra disponible = 13280000 * 0.06 * 0.02 = 15936 toneladas*

Calculo de la disponibilidad de fibra de abacá por sectores

Toneladas Metricas/Hectareas = 15936 TM/13986 Ha = 1.14

Sectores

Manabí (Manga del Cura)	20 Ha.* 1.14 TM/Ha	22.79
Santo Domingo de los	5284 Ha.* 1.14 TM	6020.72
Tsachilas	/Ha	
Los Ríos (Buena Fe,	2145 Ha.* 1.14 TM	2444.07
Valencia)	/Ha	
Esmeraldas (Quinindé y	732 Ha.* 1.14 TM/Ha	834.36
San Lorenzo)		
La Concordia	5805 Ha.* 1.14 TM	6614.36
	/Ha	
TOTAL		15936.00

Promedio de exportaciones = 9622.867 T.M.

Fibra no exportada = Fibra producida – Fibra exportada

Fibra no exportada = 15936 – 9622.867 = 6313 T.M.

Porcentaje de producción de pulpa a partir de fibra no exportada (%) = 50

Producción de pulpa a partir de fibra no exportada

= Fibra no exportada x Porcentaje de producción de pulpa a partir de fibra no exportada

*Producción de pulpa a partir de fibra no exportada = 6313 * 0.50
= 3156.6 T.M.*

Cantidad mínima a procesar fibra húmeda al año

= Exportaciones

+ Producción de pulpa a partir de fibra no exportada

*Cantidad mínima a procesar de fibra húmeda al año = 9622.867 + 3156.6
= 12779.43 T.M.*

*Cantidad mínima a procesar de fibra seca diaria = $\frac{\text{Fibra húmeda}}{(1 + \%)} * \frac{1}{340 \text{ días}}$*

Húmedad = 50%

Cantidad mínima a procesar fibra seca al diarios

*= $\frac{12779.43 \text{ anual}}{(1 + 0.50)} * \frac{1}{340 \text{ días}} = 25.06 \text{ T.M.}$*

de Batch = 4

3.7.2. Capacidad del Digestor

Cantidad mínima a procesar fibra seca por batch = 6.26 T.M.

Volumen del equipo

$$\frac{\text{Relación de sólido}}{\text{licor blanco}} = \frac{1}{10}$$

Cantidad de sólido = 6.26 T.M.

Por lo tanto se requiere un volumen de licor equivalente a 62.64 m³

El volumen del equipo será determinado según el siguiente considerado

$$V_{\text{equipo}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_S$$

Dónde:

$V_1 = \text{Volumen de la carga de licor blanco, relación sólido/licor blanco m}^3$

$V_2 = \text{Volumen de licor de recirculación o impregnación, m}^3$

$V_3 = \text{Volumen equivalente al incremento por dilatación térmica}$

$V_S = \text{Volumen estimado en base a un margen de seguridad del orden del 30\%}$

Determinación de V_1

$$\frac{\text{Relación de sólido}}{\text{licor blanco}} = \frac{1}{10}$$

Carga de la fibra seca al digestor = 6.26 T.M.

$$V_1 = 6.26 \text{ T.M. F.S.} * \frac{62.64 \text{ m}^3 \text{ de licor blanco}}{6.26 \text{ T.M. F.S.}} = 62.4 \text{ m}^3$$

Determinación de V_2

6.26 T.M. Fibra seca desplazan un peso igual de volumen de licor de impregnación por lo tanto

$$6.26 \text{ T.M. de Fibra seca} = 6.26 \text{ m}^3 \text{ licor de impregnación}$$

$$V_2 = 6.26 \text{ m}^3 \text{ licor de impregnación}$$

Determinación de V_3

Tomando como máxima presión de trabajo 145.676 lb/in^2 equivalente a una temperatura de operación de 356 F , tenemos:

Asumiendo que las propiedades del licor blanco corresponden a los del agua.

$$V_1 = 62.6 \text{ m}^3 \text{ licor blanco}$$

V específico del agua líquida a $145.676 \text{ lb/in}^2 = 0.018063 \text{ ft}^3/\text{lb}$

$$\begin{aligned} 62.6 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O} * \frac{1 \text{ T.M.}}{\text{m}^3} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ T.M.}} * \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} * \frac{0.018063 \text{ ft}^3}{\text{lb}} * \frac{0.0283168 \text{ m}^3}{1 \text{ ft}^3} \\ = 70.49 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Entonces el incremento de volumen seria:

$$V_3 = 70.49 - 62.6 = 7.84 \text{ m}^3$$

$$V_3 = 7.84 \text{ m}^3$$

$$\text{Sumando } V_1 + V_2 + V_3 = 59.78 + 8.54 + 1.07 = 76.75 \text{ m}^3$$

Estimación del volumen total del equipo, tomando en cuenta el factor de seguridad del 30%

$$V_s = 0.30 (76.75) = 23.03 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{equipo}} = 76.75 + 23.03 = 100 \text{ m}^3$$

3.7.3. Selección de material de diseño

La pulpa moderna se transporta generalmente en digestores de acero inoxidable.

Se seleccionó acero inoxidable para resistir altas presiones.

Siguiendo el Código ASME, el acero inoxidable S.A.E. 316 o ASTM-A351 CF8M (AISI 316), con la presencia de molibdeno mejora considerablemente la resistencia a la corrosión, a altas presiones o elevadas temperaturas de trabajo.

Este acero se emplea para elementos de maquinarias e instalaciones dedicadas a la industria papelera con buenos resultados en concentraciones de ácidos y bases. (Cia. General de Aceros S.A.)

3.8. Dimensiones del equipo

Las dimensiones del equipo se realizaron de acuerdo a los modelos estándar Batch de Escandinavia, en este caso se seleccionó el equipo en base al volumen de 100 m³.

Tabla 22. Dimensiones Estándar de Digestores Batch

	Volumen [m ³]	A [m]	B [m]	C [m]	D [m]	E [m]	F [m]
1	100	4.5	6.3	15.1	5.3	3.5	2
2	150	5	7.6	17.2	5.8	3.8	2.5
3	200	5.5	8.4	18	6.1	4.1	2.5
4	250	6	8.8	19.5	6.4	4.3	3
5	300	6.5	9	21	6.9	5.1	3
6	350	7	9.1	21.7	7.3	5.3	3.5
7	400	7.5	9	22.8	8.1	5.7	4
8	450	8	9	23.8	8.5	6.3	4
9	500	8	10	24.8	8.5	6.3	4

Fuente: (Ek, Gellerstedt, & Henriksson, 2009)

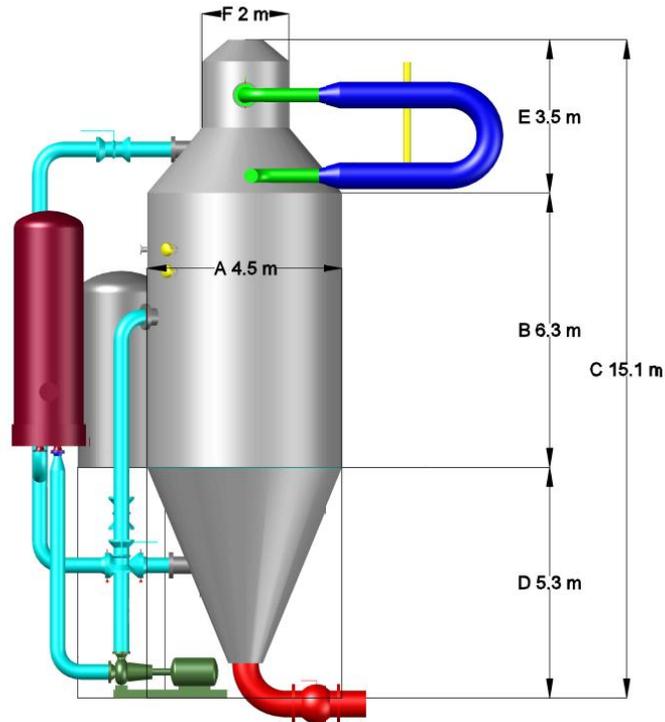


Figura 35. Estándar de tamaño de digestor batch de pulpa de papel de Escandinavia

Fuente: (Ek, Gellerstedt, & Henriksson, 2009)

Relación altura diámetro $\frac{h}{d} = \frac{6.3}{4.5} = 1.4$ (Maccoccia , Prough, Engstrom, & Gullichsen).

3.9. Cálculo del espesor de la pared

El espesor de la pared de recipiente fue calculado con la siguiente formula:

$$t = \frac{P * R}{SE - 0.6 P} + C$$

Dónde:

t = Espesor de pared mínimo requerido, en in

P = Presión de diseño, en psi

S = Esfuerzo admisible del material seleccionado, en psi

R = Radio interno, en in

E = Factor de eficiencia de junta longitudinal

C = Factor de corrosion

A partir de los siguientes datos se determinó el espesor del digestor:

Tabla 23. Datos para el espesor del digestor

$P = 174.8 \text{ psi}$	20% superior a la presión máxima de trabajo
$S = 2417.3 \text{ psi}$	Tabla de resistencia a la tracción en Mpa a elevadas temperaturas con exposiciones cortas, incorporando un factor de seguridad de 3. Por lo tanto, el valor máximo de tensión permisible para un material de resistencia a la tracción es 500 Mpa a 300°C se convertirá en 166.67 Mpa.
$E = 1.0$	1.0 para tubos sin costura; 0.85 para tubería soldada
$C = 0.125$	0 sin corrosión; 0.0625 pulgadas de uso común; 0.125 pulg. Máximo

Fuente: (Engineers Edge, 2000)

$$t = \frac{174.8 * 88.58}{(2417.3 * 1) - (0.6 * 174.8)} + 0,125$$

$$t = 0.77 \text{ in} = 1.95 \text{ cm}$$

Se considera un factor de seguridad del 50% por desgaste de corrosión:

$$t = 1.95 \text{ cm} * 1.50 = 2.93 \text{ cm}$$

Entonces el espesor del acero inoxidable es igual a 3 cm.

El peso del equipo vacío se calcula con la densidad del acero, diámetro interno y diámetro externo donde:

$$\text{Espesor} = 3 \text{ cm}$$

$$\text{Diámetro interno} = 4.50 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro externo} = 4.53 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{acero}} = 7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Y el peso del equipo vacío es la suma del peso del cuerpo y el peso del fondo:

$$\text{Peso del equipo} = \text{Peso de cuerpo} + 2 (\text{Peso del fondo})$$

$$\text{Peso del cuerpo} = \pi * \text{altura} * \left(\left(\frac{D_{ext}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{int}}{2} \right)^2 \right) * \rho_{acero}$$

$$\text{Peso del fondo} = \rho_{acero} * ((0.0809 * (D_{ext})^3) - (0.0809 * (D_{int})^3))$$

$$\text{Peso del cuerpo} = \pi * 6.30 \text{ m} * \left(\left(\frac{4.53 \text{ m}}{2} \right)^2 - \left(\frac{4.50 \text{ m}}{2} \right)^2 \right) * 7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Peso del cuerpo} = 10327.58 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Peso del fondo} = 7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * ((0.0809 * (4.53)^3) - (0.0809 * (4.50)^3))$$

$$\text{Peso del cuerpo} = 1144.07 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Peso del equipo} = 10327.58 + 2(1144.07)$$

$$\text{Peso del equipo} = 12615.72 \text{ kg}$$

(Bellera Vilar, Fernández, Serna Cantero, Doménech, & López, 2010)

3.10. Requerimiento de calor

Para calentar el digestor y su contenido, el requerimiento de vapor es:

Cp al 25% del Hidróxido de sodio

$$C_p(25\% \text{ NaOH}) = (0.25)(C_p \text{ del NaOH}) + (1 - 0.25)(C_p \text{ del agua})$$

$$C_p(25\% \text{ NaOH}) = (0.25) \left(0.35 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \right) + (1 - 0.25) \left(1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \right)$$

$$C_p(25\% \text{ NaOH}) = 0.84 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

Cp de la mezcla

$$C_p \text{ de la mezcla} = C_p \text{ del abaca} + C_p \text{ del NaOH al 25\%}$$

$$C_p \text{ de la mezcla} = 0.32 \frac{\text{cal}}{\text{g } ^\circ\text{C}} + 0.84 \frac{\text{cal}}{\text{g } ^\circ\text{C}}$$

$$C_p \text{ de la mezcla} = 1.16 \frac{\text{cal}}{\text{g } ^\circ\text{C}}$$

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q = (6.26 \text{ T.M.} + 62.64 \text{ T.M.}) * \left(1.16 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ T.M.}} \right) (180 - 27) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 12228372 \frac{\text{Kcal}}{\text{batch}} = 12228.372 \frac{\text{cal}}{\text{batch}} \text{ (Calor Ideal)}$$

3.11. Requerimiento de vapor

La cantidad de vapor requerido (S) se calcula por la Entalpia que es igual a 2777.82 kJ/kg (Table A.2-9 Steam Table) (Geankoplis, 1978)

$$S = \frac{12228372 \frac{\text{Kcal}}{\text{batch}}}{2777.82 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}}$$

$$S = 4402.14 \frac{\text{Kg}}{\text{batch}}$$

(Pamantasan ng Lungsod ng Maynila)

La cantidad de vapor realmente transferido se determina por la eficiencia o pérdida de calor durante la cocción, por una referencia bibliográfica se determinó que la pérdida de calor es del 6%.

$$\text{Calor real} = 12228372 + (0.06 * 12228372) = 12962074 \frac{\text{Kcal}}{\text{batch}}$$

(Kramer, Masanet, Xu, & Worrell, 2009)

La cantidad de vapor real se calcula:

$$S_{real} = \frac{12962074}{2777.82} = 4666.28 \frac{Kg}{batch}$$

3.12. Requerimiento de Soda y Agua

Si el volumen de licor blanco es de 62.4 m³ por cada batch, y 25 g/l de concentración de soda entonces:

$$62400 \text{ l} * 25 \frac{g \text{ NaOH}}{l} * \frac{1 \text{ Kg NaOH}}{1000 \text{ g}} = 1560 \frac{Kg}{batch}$$

Como la fibra tiene cierta cantidad de agua, la misma debe ser descontada del volumen total de licor.

$$V_n = V_L - \frac{FH(X)}{\rho}$$

$V_n = \text{Volumen necesario de agua, ml}$

$V_L = \text{Volumen de licor, ml}$

$FH = \text{Fibra humeda, g}$

$X = \% \text{ humedad de FH}$

$\rho = \text{densidad del agua } 1,0 \text{ ton/m}^3$

$$V_n = 62.4 \text{ m}^3 - \frac{9.39 (0.5)}{1}$$

$$V_{agua} = 57.705 \frac{\text{m}^3}{batch}$$

3.13. Análisis de Costos

Una vez sabido el diámetro y altura del digestor en “EQUIPMENT COSTS”, 5th edición, Peters, Timmerhaus, & West se pudo estimar el precio del equipo de acero inoxidable dando como resultado \$ 564357.

La estimación de la inversión de capital por la adquisición, montaje e instalación del equipo se encuentra detallada en la Tabla 24, en la cual se desglosa los diferentes costos, que dan un total de \$2579000.

Debido a que el valor estimado del digestor es en base a costos en los Estados Unidos, se multiplica por un factor de localización, que por ser Brasil el país más cercano a Ecuador, se selecciona su factor de localización que corresponde a 1.14. (Peters, Timmerhaus, & West, 2002)

$$\textit{Inversion real estimada del digestor} = 1.14 * \$2579000$$

$$\textit{Inversion real estimada del digestor} = \$2940060$$

De tal manera que el costo total de la inversión es de \$2940060.

Por último, para tener una idea de los egresos por la operación del digestor, considerando el precio de compra de las materias primas e insumos detallados en la Tabla 5, así como los ingresos generados por la exportación de la pulpa, que se reportan en la Tabla 26, se establece que el tiempo de recuperación de la inversión es de 4.32 meses.

Tabla 24. Estimación de la inversión de capital por el equipo

Digestor Batch	Fracción de los equipos entregados [Planta de tratamiento de fluidos y sólidos]	Valor calculado en millones de \$
Equipo comprado, E'		0,565
Entrega, fracción de E'	0,10	0,057
Subtotal: equipo entregado		0,622
Instalación de equipos comprados	0,39	0,242
Instrumentación y controles (instalado)	0,26	0,162
Tuberías (instaladas)	0,31	0,193
Sistemas eléctricos (instalados)	0,10	0,062
Edificios (incluyendo servicios)	0,18	0,112
Mejoras en el suelo	0,10	0,062
Instalaciones de servicio (instaladas)	0,55	0,342
Total de costos directos	1,89	1,796
Costos Indirectos		
Ingeniería y Supervisión	0,32	0,199
Gastos de construcción	0,34	0,211
Gastos legales	0,04	0,025
Honorario del contratista	0,19	0,118
Contingencia	0,37	0,230
Total de costos indirectos	1,26	0,783
Inversión estimada del digestor		2,579

Fuente: (Peters, Timmerhaus, & West, 2002)

Tabla 25. Estimación de costos de materia prima, insumos y pulpa

	Rendimiento de pulpa		76%	
	# Batch		4	
Descripción:	TM/Batch	TM/ diarias	Precio/Ton	\$/ día
Materia Prima e Insumos				
Abacá	6.26	25.04	1300	32552.00
Vapor	4.67	18.67	7.1	132.52
Soda	1.56	6.24	843.6	5264.06
Agua	57.71	230.82	2.8	663.82
Total	70.19	280.77	2153.50	38594.41
Pulpa				
Pulpa	4.76	19.03	3300	62800,32

Elaborado por: Daniela Zambrano, 2017

Tabla 26. Estimación de utilidades

Días que opera al año		340	
		\$/ día	\$/ año
Estimación de Ingresos por venta de pulpa/año		62800.3	21352108.8
Estimación de Gastos por venta de pulpa/año		38594.4	13122260.0
Utilidad:			8229848.8

Elaborado Por: Daniela Zambrano, 2017

Tiempo de recuperación de la inversión

Costo de la inversión \$ 2940060

$$\text{Tiempo de recuperación de la inversión del digestor} = \frac{2940060}{8229848.8}$$

$$\text{Tiempo de recuperación de la inversión del digestor} = 0.36 \text{ años.}$$

CAPÍTULO 4

DISCUSION Y CONCLUSIONES

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Conclusiones

- De acuerdo a las corridas experimentales realizadas, las mejores condiciones de pulpado, se obtuvieron a una temperatura de 160°C, presión 5.16 bar con un tiempo de cocción de 75 minutos y 25 g/l de concentración de soda cáustica.
- El mayor rendimiento de pulpa correspondió a la corrida experimental # 1, esto es 78%. Sin embargo tuvo un alto valor del índice de permanganato.
- Considerando la calidad y propiedades de la pulpa, la mejor corrida, es la #5, trabajando a 170°C, presión 6.91 bar, con un rendimiento del 71% y relación 1:10.
- Es importante señalar, que la fibra con la que se obtuvieron los mejores resultados es de la clase quinta.
- Tomando como referencia la disponibilidad de fibra de abacá, que actualmente se exporta, se estableció que la planta de pulpado trabajará 340 días al año, y está en capacidad de procesar diariamente 25 toneladas de fibra de abacá, con una producción diaria de 19,06 toneladas.
- Para el diseño del equipo, se trabajó con el libro *“Pulping Chemistry and Technology”*.
- Considerando las condiciones de operación relación 1:10, disponibilidad de la fibra, volumen de licor de impregnación, margen de seguridad, volumen equivalente al incremento por dilatación térmica se llegó a establecer que el tamaño del digestor era 100 m³.
- El diseño del digestor escogido fue batch por la baja disponibilidad de fibra de abacá en el país; vertical, ya que la mayoría de digestores industriales construidos son de esa forma; con un sistema de

calentamiento indirecto y con recirculación del licor para reducir el impacto ambiental.

- De acuerdo al balance de energía efectuado en el digestor, el requerimiento de vapor considerando con una pérdida del 6%, fue de 4.67 Toneladas por batch.
- El consumo anual estimado de soda es de 2121.6 toneladas, así mismo el anual de agua es de 80607.2 toneladas al año.
- La selección del material de construcción se lo hizo en base a lo descrito en la bibliografía especializada, que recomienda acero inoxidable 316.
- El cálculo del espesor se lo realizo según el ASME para recipientes a presión, determinándose un espesor de 3 cm y un peso de 12.6 toneladas del digestor.
- El costo del equipo estimado para el año 2015 es de \$ 564357 y el costo total de su montaje es de \$ 2579000, pero corregido por su factor de localización de 1.4, el valor de la inversión del digestor es de \$ 2940060 para el Ecuador.
- El tiempo de recuperación de la inversión es de aproximadamente 4.32 meses.

4.2. Recomendaciones

- Difundir los resultados de esta investigación a las universidades e institutos técnicos del país, como CORPEI, Instituto que promueve las exportaciones e inversiones del país.
- Hacer conocer los resultados de esta investigación a las empresas exportadoras de fibra de abacá e industrias papeleras para evaluar la posibilidad de instalar una planta de pulpa de abacá, en el país.
- Promover en el país el proyecto de construcción de una planta de pulpa de abacá.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, S., Ramírez, J., & Malagón, O. (2007). Silvio Aguilar, JoExtracción de fibras no leñosas: cabuya (*furcraea andina* trel.) y banano (*musa paradisiaca* l.) para estandarizar un proceso tecnológico destinado a la elaboración de pulpa y papel. . *Iberoamericana de Polímeros*, 90.
- Atchison, & J.E. (1989). Data on nonwood plant fibers. En Atchison, & J.E., *Pulp and Paper Manufacture* (págs. 5-16). Atlanta: Ed. M. J. Kocurek.
- Bellera Vilar, C., Fernández, E., Serna Cantero, A., Doménech, E., & López, L. R. (2010). *Proyecto Final de la Carrera de Ingeniería Química*. Barcelona: Escola de Enginyeria.
- Casey, J. (1992). *Pulpa y papel Química y tecnología química*. Mexico: Limusa S.A.
- Cia. General de Aceros S.A. (s.f.). *Aceros Inoxidables Austeníticos*. Bogota.
- Department of Agriculture Region. (s.f.). *Abacá value chain analysis*. Filipinas.
- Ek, M., Gellerstedt, G., & Henriksson, G. (2009). *Pulping Chemistry and Technology*. Sweden: KTH- Royal Institute of Technology. .
- Engineers Edge. (2000). *Pressure Vessel design, Formula and Calculators*. Recuperado el 12 de Enero de 2017, de Pressure Vessel design, Formula and Calculators: http://www.engineersedge.com/pressure_vessels_menu.shtml
- Escuela Grafica Salesiana. (1980). *El papel: historia, su fabricación, su uso*. Barcelona: Sarria.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1989). Pulp. En F. a. Nations, *Impact of Changing Technological and Economic Factors on Markets for Natural Industrial Fibres, Case studies on jute, kenaf, sisal and abaca* (pág. 50). Rome.
- Fuller. (s.f.). *Kraft pulping. New developments in an old technology*. . Washington.
- García, J. (2007). *Fibras Papeleras*. Barcelona: UPC.
- Geankoplis. (1978). Table A.2-9 Steam Table. En Geankoplis, *Transport Processes and Unit Operations* (pág. 857). Boston: Allyn and Bacon, Inc.
- Gellerstedt, G., Lapierre, C., & Monties , B. (1989). *Pulping chemistry*. Atlanta: Tappi press, Atlanta (Etats-Unis).

- Greenpeace Argentina. (2006). *El Futuro de la Producción de Celulosa y las técnicas de producción más favorables para el medio ambiente*. Buenos Aires.
- Hernandez. (12 de Febrero de 2010). *El cultivo de abaca*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2016, de El cultivo de abaca:
<http://fibrasdeuraba.blogspot.com/2010/02/el-cultivo-de-abaca.html>
- Intendencia de Estadísticas, Estudios técnicos y Normas. (s.f.). *Boletín Trimestral II. Una mirada del sector cooperativo desde su interior*. Quito.
- Kramer, K., Masanet, E., Xu, T., & Worrell, E. (2009). *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Pulp and Paper Industry*. Bekerley: U.S. Environmental Protection Agency.
- La Hora. (6 de Noviembre de 2016). Noticias SANTO DOMINGO. Proceso para obtener la fibra de abacá. *La Hora*.
- Macías, C. (12 de Junio de 2012). *El Agrónomo Orgánico*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2016, de El Agrónomo Orgánico:
<http://elagronomoorganico.blogspot.com/>
- Maldonado. (2000). *Situación actual de la producción y comercialización de abacá en Ecuador*. Ibarra.
- Marcoccia , B., Prough, J., Engstrom, J., & Gullichsen, J. (s.f.). Principle of batch cooking. En B. Marcoccia, J. Prough, J. Engstrom, & J. Gullichsen, *Chemical Pulping* (págs. A60-A67).
- Menachem, L., & Pearce, E. (1998). Electrical Properties. En L. Menachem, & E. M. Pearce, *Handbook of Fiber Chemistry* (págs. 547-553). New York: Marcel Dekker, INC.
- Ministerio de Agricultura, Ganaderia, Acuacultura y Pesca. (s.f.). *Banco Central del Ecuador*. Recuperado el 16 de Octubre de 2016, de Banco Central del Ecuador:
<http://sinagap.agricultura.gob.ec/index.php/importaciones-y-exportaciones-bce>
- Musa textilis Née (Musaceae)*. (s.f.). Recuperado el 4 de Enero de 2017, de *Musa textilis Née (Musaceae)*:
http://www.plantasyhongos.es/herbarium/htm/Musa_textilis.htm
- Nissan. (1981). Paper. En Nissan, *Wood: structure and properties* (pág. 335). Pensilvania: University Park,PA.
- Niza, G., & Farías, J. (1985). *Diseño y construcción de un digestor para la obtención de pulpas celulósicas*. Guayaquil.
- Pamantasan ng Lungsod ng Maynila. (s.f.). *Kraft Pulping of Pineapple Leaves and Sawdust for the Production of Corrugated Board*.

- Papelera Nacional. (2016). *Pruebas a la Pulpa y al Papel*. Marcelino Maridueñas.
- Peña, S. (2004). Salvador Peña. Sistema de Cultivo y forma de cosecharlo.- Industrialización de sus productos. *Revista de agricultura: El Abacá. Estudio Botánico Somero.*, 119-130.
- Peters, M., Timmerhaus, K., & West, R. (2002). Equipment Costs. En M. S. Peters, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. Colorado.
- Pro Ecuador, Mercosol. (Junio de 2015). *Oportunidad de Inversion: Fabricación del papel ecológico*. Quito.
- Pulp specialties philippines, INC. (2013). *The Abaca Fiber and Pulp*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2016, de The Abaca Fiber and Pulp: <http://pulpspecialties.weebly.com/abaca-fiber-and-pulp.html>
- Terranovapapers . (s.f.). *El abacá*. Recuperado el 4 de Enero de 2017, de El abacá: <http://terranovapapers.com/es/el-abaca/#>
- Trademap*. (s.f.). Recuperado el 16 de Octubre de 2016, de Trademap: www.trademap.org
- Vijayalakshmi, K., Neeraja, C., Kavitha, A., & Hayavadana, J. (2014). *Abaca Fibre*. Telegana: Vol.2, Issue 9.
- Young, & Raymond. (1997). Processing of Agro-Based Resources into Pulp and Paper. En Young, & Raymond, *Paper and Composites from Agro-Based Resources* (págs. 137-245). New York: Lewis.
- Zambrano, D. (2015). *La organización logística para la exportación de fibra de abacá por la empresa Furukawa plantaciones*. Guayaquil.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Tablas

ANEXO I

Tabla de especificación de fibra de abacá

Tabla 27. Calor específico de algunas fibras vegetales

Fibra	Calor específico (cal/g °C)
Algodón	0.292
Sisal	0.295
Abacá	0.317
Jute	0.324
Lino	0.322

Fuente: (Menachem & Pearce, 1998)

ANEXO II

Tablas de especificaciones del acero inoxidable

Tabla 28. Composición química, propiedades y aplicaciones de los aceros AISI 316

Grados	Composición Química							Aplicaciones
	C	Cr	Ni	Mo	O	Mn	Cl	
AISI 316	<0.08	16.0-18.5	10-14.0	2.0-3.0	0.03	<2.0	<0.03	Procesos en donde las condiciones del medio (líquido o gases) son químicamente más agresivos (presencia de cloruros, ácidos, etc). Fabricación de equipos para la industria textil, papelera, petroquímica farmacéutica.

Fuente: (Cia. General de Aceros S.A.)

Tabla 29. Propiedades físicas medias de los aceros austeníticos

Densidad, Kg/m ³	7900
Módulo de Elasticidad, Gpa	193
Módulo de Poisson	0.26
Calor específico, J/ kg °C	500

Fuente: (Cia. General de Aceros S.A.)

Tabla 30. Propiedades mecánicas a temperatura ambiente

Grado	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de Fluencia (MPa)	Elongación (% en 50 mm)
AISI 316	485	170	40

Fuente: (Cia. General de Aceros S.A.)

Tabla 31. Resistencia a la tracción en MPa a elevadas temperaturas

Grado	Temperatura (°C)				
	100	300	500	700	900
316	540	500	450	320	120

Fuente: (Cia. General de Aceros S.A.)

APÉNDICE B

Fotografías

ANEXO III

Corridas experimentales



Figura 36. Primera corrida en un recipiente a presión

Fuente: Daniela Zambrano, 2016



Figura 37. Alimentación del digestor

Fuente: Daniela Zambrano, 2016

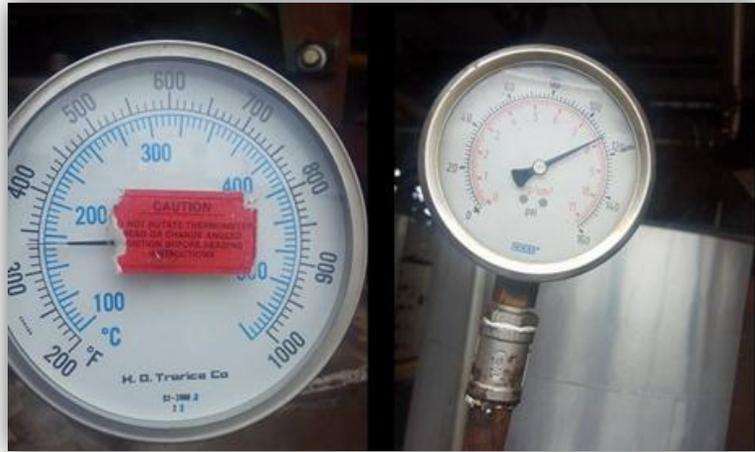


Figura 38. Condiciones de operación

Fuente: Daniela Zambrano, 2016



Figura 39. Imágenes tomadas del Termógrafo

Fuente: Daniela Zambrano, 2016



Figura 40. Descarga del Digestor

Fuente: Daniela Zambrano, 2016



Figura 41. Secado de la pulpa

Fuente: Daniela Zambrano, 2016



Figura 42. Formación de hoja de la segunda corrida sin refinar

Fuente: Daniela Zambrano, 2017



Figura 43. Prueba del Número de Permanganato

Fuente: Daniela Zambrano, 2017



Figura 44. Refinación de la Pila Holandesa

Fuente: Daniela Zambrano, 2017



Figura 45. Formación de las hojas de mano

Fuente: Daniela Zambrano, 2017



Figura 46. Cortes para pruebas físicas a hojas de mano

Fuente: Daniela Zambrano, 2017



Figura 47. Primera corrida en Digestor Piloto

Fuente: Daniela Zambrano, 2017



Figura 48. Pulpa obtenida de la segunda corrida

Fuente: Daniela Zambrano, 2017

APÉNDICE C

Preparación del licor

ANEXO IV

Como la fibra tiene cierta cantidad de agua, la misma debe ser descontada del volumen total de licor.

$$V_n = V_L - \frac{FH (X)}{P}$$

$V_n =$ Volumen necesario de agua, ml

$V_L =$ Volumen de licor, ml

$FH =$ Fibra humeda, g

$X =$ % humedad de FH

$P =$ densidad del agua 1,0 g/ml

Se realizaron las corridas con abacá que tenían un porcentaje de humedad del 10%, y de igual manera de determino la fibra seca a utilizar en un ejemplo a continuación

$$FH = FS + \% H (FS)$$

$FS =$ Fibra seca, g

$$FH = 600 + \frac{50}{100} (600) = 900 \text{ g}$$

$$V_L = \frac{600}{1:10}$$

$$V_L = 6000 \text{ ml}$$

$$V_n = 6000 - \frac{900 (0,5)}{1}$$

$$V_n = 5700 \text{ ml}$$

APÉNDICE D

Corrección de Freeness y gramaje de hojas de mano

ANEXO V

Corrección de Freeness y gramaje de hojas de mano

$$\text{Consistencia} = 3.601 \text{ g}$$

$$\text{Freeness} = 360 \text{ CFS}$$

En la TABLE II. FREENESS CORRECTIONS TO 0.30% CONSISTENCY, corregir el valor lo que da como resultado una adición de 38 entonces:

$$360 + 38 = 398$$

En la TABLE I FREENESS CORRECTIONS TO 20°C, corregir el valor con los datos siguientes.

$$\text{Freeness} = 398 \text{ CFS (Valor Actual)}$$

$$\text{Temperatura} = 28 \text{ °C}$$

Entonces:

$$398 - 37 = 361 \text{ (Valor Corregido)}$$

Corrección de gramaje para análisis de hojas

Si requiero hojas de 60 g/m², entonces se divide para un factor de 50 para saber la consistencia

$$\frac{60}{50} = 1.2 \text{ g}$$

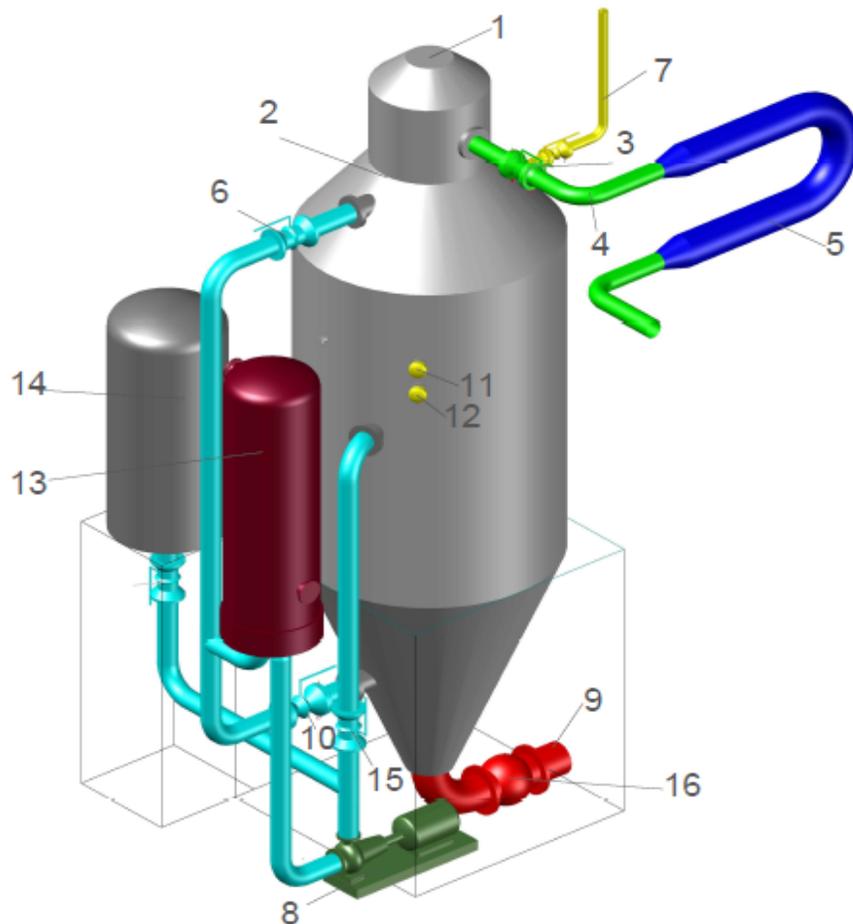
Por consiguiente si 200 cm² formaron una hoja de 3.5 g de consistencia, calculamos cuantos es necesario para obtener una consistencia de 1.2 g

$$200x \frac{1.2}{3.5} = 68.57 \text{ cm}^3$$

Entonces se necesitaran 69 cm^3 de pulpa para verter en el formador de hojas.

APÉNDICE E

Planos Esquemáticos



1. Cubierta de Digestor
2. Cuello Superior
3. Válvula automática
4. Codo Soldado
5. Refrigerador de Gas de Alivio
6. Válvula automática
7. Accesorio de Alivio Lateral
8. Bomba de Circulación
9. Tubería Inferior
10. Válvula automática
11. Termómetro
12. Manómetro
13. Intercambiador de Calor
14. Tanque de Almacenamiento
15. Válvula automática
16. Válvula automática



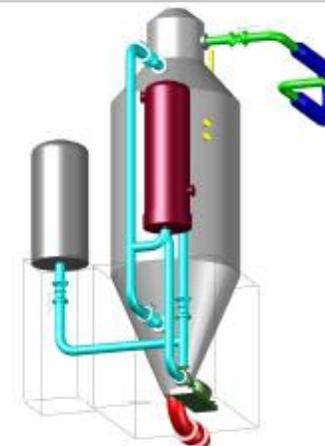
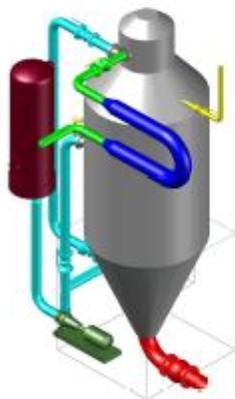
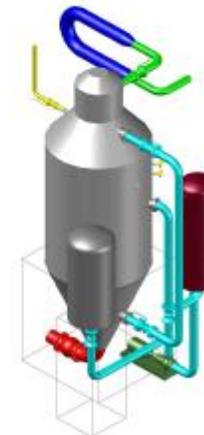
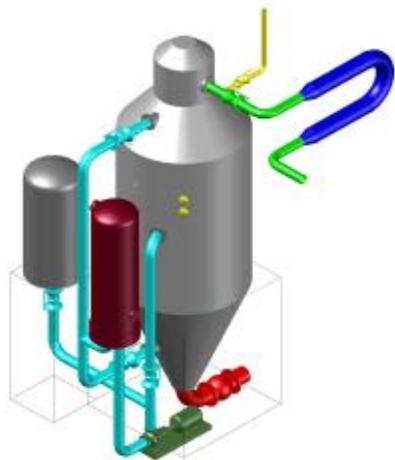
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DEL LITORAL - ESPOL

NOMBRE: DANIELA ZAMBRANO M.

FECHA: 20/02/2017

TUTOR: ING. RAÚL SERRANO

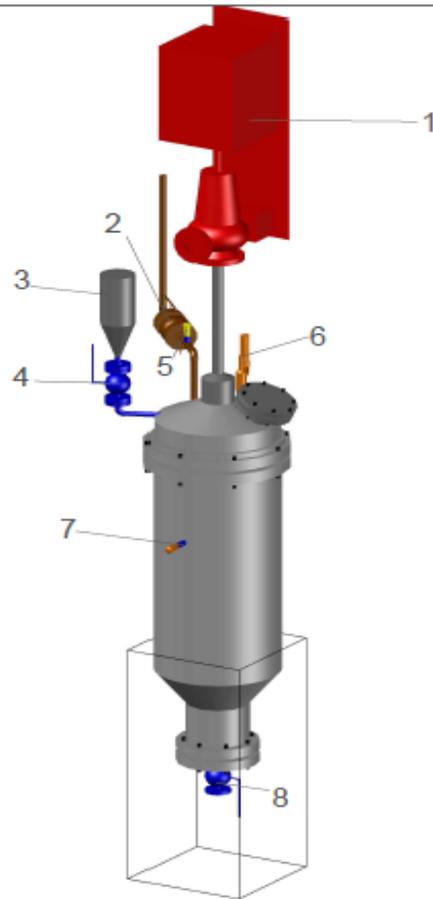
CONTENIDO: Digestor Batch Con Sistema de
Calentamiento Indirecto



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DEL LITORAL - ESPOL

NOMBRE: DANIELA ZAMBRANO M.
FECHA: 20/02/2017
TUTOR: ING. RAÚL SERRANO

CONTENIDO: VISTAS DE UN DIGESTOR CON
SISTEMA DE CALENTAMIENTO INDIRECTO



1. Motor de Agitador
2. Válvula Manual
3. Embudo
4. Válvula Manual
5. Manómetro
6. Válvula de Alivio
7. Termómetro
8. Válvula Manual



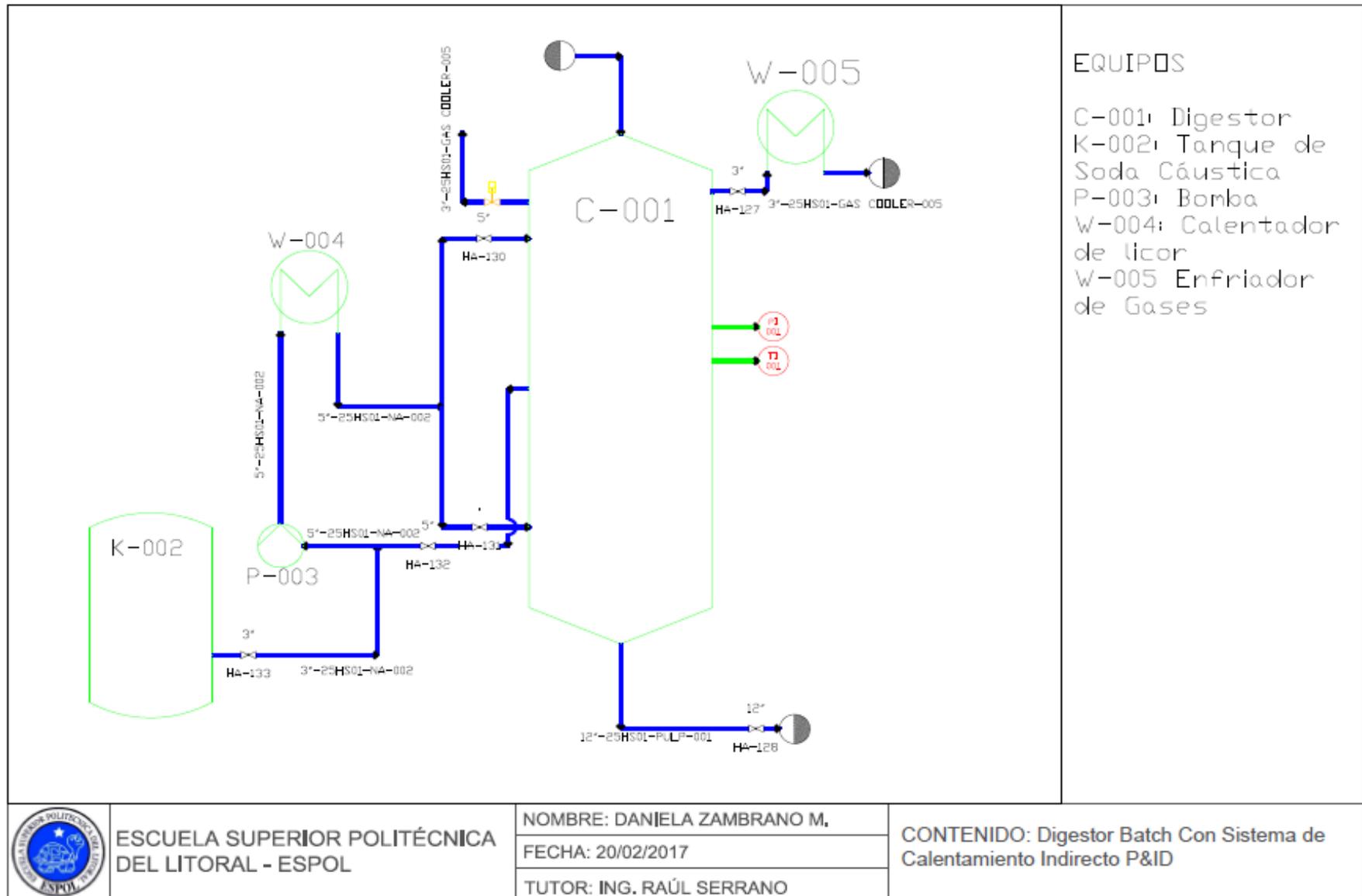
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DEL LITORAL - ESPOL

NOMBRE: DANIELA ZAMBRANO M.

FECHA: 20/02/2017

TUTOR: ING. RAÚL SERRANO

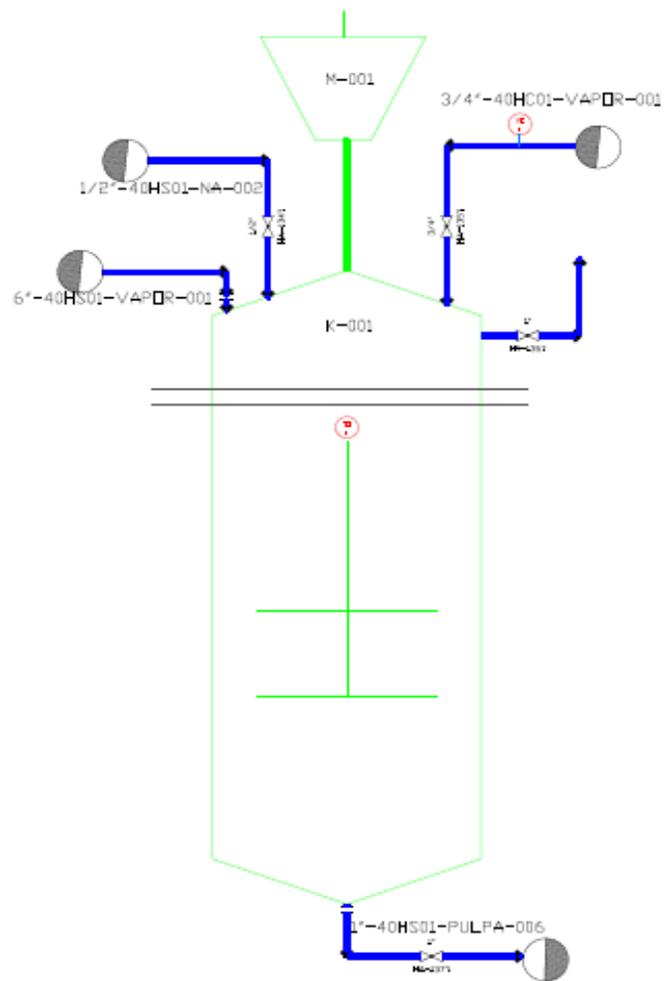
CONTENIDO: Digestor Batch Con Sistema de
Calentamiento Directo



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DEL LITORAL - ESPOL

NOMBRE: DANIELA ZAMBRANO M,
FECHA: 20/02/2017
TUTOR: ING. RAÚL SERRANO

CONTENIDO: Digestor Batch Con Sistema de Calentamiento Indirecto P&ID



EQUIPOS

- M-001 MOTOR DE AGITADOR
- K-001 DIGESTOR



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DEL LITORAL - ESPOL

NOMBRE: DANIELA ZAMBRANO M.
FECHA: 20/02/2017
TUTOR: ING. RAÚL SERRANO

CONTENIDO: Digestor Batch Con Sistema de
Calentamiento Directo - P&ID