



Universidad Michoacana de San Nicolás de  
Hidalgo



División de estudios de Posgrado de la  
Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera

Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera

**Diseño de una planta piloto para fabricación de papel para la  
Facultad de Ciencias y Tecnología de la Madera de la Universidad  
Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**

## **TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍA DE LA MADERA

Presenta:

Jaime Gregorio Gómez Talavera

Director de tesis:

Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones

Morelia, Michoacán agosto de 2019

## RESUMEN

Ante la necesidad de obtener información sobre el desarrollo de un proceso, surge la experimentación en una Planta Piloto, la cual es la técnica por excelencia para el diseño de un proceso productivo.

De sobra se conoce que el papel proviene de la madera, pero al mismo tiempo se tiene la certeza de que el bosque ha sido explotado irracionalmente por lo que las nuevas propuestas de fabricación y la reutilización y el reciclaje del papel son cada vez más necesarias.

Para la construcción de cualquier planta piloto, lo primero es el diseño y ese es el fin del presente trabajo de tesis el cual se encuentra dividido en 4 secciones: la primera es a) la evaluación y cuantificación de material fibroso disponible en ciudad universitaria para de esa forma elaborar una base de cálculo. La segunda sección corresponde b) al diseño y/o selección del equipo de preparación de pastas con lo cual se va transformando la fibra virgen o el papel reciclado y a la vez se da un desarrollo a la fibra para fabricar un producto de calidad. En la tercera sección c) del proyecto de diseño en donde propone la maquina formadora de papel que incluye mesa, prensas, secadores, calandra y enrollador, todos ellos con una investigación previa y una selección y diseño acorde a la base de cálculo. A la vez, en esta sección contempla el equipo periférico de trabajo y el equipo de instrumentación para el aseguramiento de la calidad. Por último, la cuarta sección d) enuncia las características de cada equipo y su costo.

Se considera que, con los datos vertidos en este trabajo, se podrá realizar la construcción de la planta piloto para la fabricación de papel en la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Madera (FITECMA).

**Palabras clave:** Planta Piloto, Papel, Madera, Equipo, Maquina Formadora.

## **ABSTRACT**

Given the need to obtain information on the development of a process, experimentation arises in a Pilot Plant, which is the technique par excellence for the design of a productive process.

It is well known that paper comes from wood, but at the same time it is certain that the forest has been irrationally exploited so that new proposals for manufacturing and reuse and recycling of paper are increasingly necessary.

For the construction of any pilot plant, the first is the design and that is the end of this thesis work which is divided into 4 sections: the first is a) the evaluation and quantification of fibrous material available in the university city for That way elaborate a calculation basis. The second section corresponds b) to the design and / or selection of the pasta preparation equipment, with which the virgin fiber or the recycled paper is being transformed and at the same time the fiber is developed to manufacture a quality product. In the third section c) of the design project where he proposes the paper forming machine that includes table, presses, dryers, calender and reel, all of them with a previous investigation and a selection and design according to the calculation base. At the same time, this section includes peripheral work equipment and instrumentation equipment for quality assurance. Finally, the fourth section d) states the characteristics of each equipment and its cost.

It is considered that, with the data provided in this work, the construction of the pilot plant for papermaking in the Faculty of Wood Science and Technology (FITECMA) may be carried out.

Keywords: Pilot Plant, Paper, Wood, Equipment, Forming Machine.

## INDICE

RESUMEN.....	2
INTRODUCCIÓN.....	9
ANTECEDENTES .....	13
OBJETIVO GENERAL.....	22
OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	22
HIPOTESIS .....	23
JUSTIFICACION.....	24
MARCO TEORICO.....	27
CAPITULO I RECOLECCIÓN DEL PAPEL .....	33
<b>SOLICITUD FORMAL A LAS DEPENDENCIAS DE LA UMSNH PARA SU APOYO EN LA RECOLECCION DE MATERIAL FIBROSO.....</b>	<b>33</b>
<b>COLOCAR CONTENEDORES EN LAS DEPENDENCIAS Y EXPLICAR SU FUNCIONAMIENTO.....</b>	<b>35</b>
<b>RECOLECCION, CLASIFICACION Y CUANTIFICACION DEL MATERIAL OBTENIDO.....</b>	<b>37</b>
<b>INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA DEL MATERIAL, COSTO Y QUE SE PUEDE FABRICAR CON LO RECICLADO. ....</b>	<b>42</b>
<b>DEFINICION DE MATERIA PRIMA A UTILIZAR .....</b>	<b>46</b>
<b>DEFINICIÓN DE LA BASE DE CÁLCULO. ....</b>	<b>47</b>
CAPITULO II METODOLOGIA.....	51
<b>BALANCE DE MATERIA EN LA PREPARACIÓN DE LA PASTA. ....</b>	<b>51</b>
<b>BALANCE HIDRAULICO.....</b>	<b>61</b>
<b>ADITIVOS QUIMICOS SE VAN A UTILIZAR .....</b>	<b>62</b>
<b>SELECCIÓN Y/O DISEÑO DE LA CAJA DE ENTRADA.....</b>	<b>65</b>
<b>RELACION ENTRE VELOCIDAD Y EL CHORRO DE LA TELA.....</b>	<b>66</b>
<b>SISTEMA DE PENSADO.....</b>	<b>75</b>
<b>INVESTIGACION EN EL MERCADO DEL EQUIPO PERIFERICO TALES COMO BOMBAS, VALVULAS, ETC.....</b>	<b>102</b>
<b>EQUIPOS DE INSTRUMENTACION PARA MONITOREO Y/O CONTROL DE PROCESO.....</b>	<b>116</b>
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	124

PROCESAR INFORMACION Y OBTENER LOS RESULTADOS DEL ACOPIO.....	124
CONCLUSIONES.....	170
RECOMENDACIONES.....	172
BIBLIOGRAFÍA.....	174
ANEXOS.....	177

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Proceso evolutivo de la fabricación del papel .....	13
Figura 2 Planta Piloto del Departamento de Madera Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara (Fuente propia 2017).....	17
Figura 3 Planta Piloto del Departamento de Madera Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara (Fuente propia 2017).....	17
Figura 4 Maquina diseñada por Robert en 1799 (Coll, 1962).....	21
Figura 5 Presencia en la República Mexicana de la empresa BIOPAPPEL. (biopappel. 2010. Diagrama de ubicación, bio-pappel. [Imagen]. Recuperado de <a href="http://www.biopappel.com/es/nuestra-compania/presencia-geografica">http://www.biopappel.com/es/nuestra-compania/presencia-geografica</a> ) .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 6 Pila Holandesa (Fuente propia).....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 7 Desintegrador y aparato Schopper Riegler.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 8 Muestra de contenedor entregado a las diferentes dependencias de Ciudad Universitaria. ....	35
Figura 9 Contenedor funcionando en la oficina de Vinculación y Desarrollo. (Fuente propia).....	35
Figura 10 Llegando al centro de acopio. (Fuente Propia) .....	38
Figura 11 Recolección en el edificio de Rectoría. (Fuente Propia).....	38
Figura 12 Tipos de material fibroso en el papel (Fuente propia). ....	40
Figura 13 Cuantificación de material. (Fuente Propia) .....	42
Figura 14 Hidrapulper.....	53
Figura 15 Depuradores ciclónicos. ....	54
Figura 16 Tanque de mezcla.....	54
Figura 17 Sistema de prensado .....	56
Figura 18 Batería de secadores. ....	57
Figura 19 Chorro de entrada .....	69
Figura 20 Caja abierta .....	69
Figura 21 Caja cerrada de 3 estratos .....	69
Figura 22 Caja de entrada (torras papel S.A., 2008).....	70
Figura 23 Calandra con apoyos .....	97
Figura 24 Calandras especiales .....	99
Figura 25 Supercalandrado .....	99
Figura 26 Válvula de compuerta.....	105
Figura 27 Válvula de mariposa.....	105
Figura 28 Válvula automática .....	105
Figura 29 Válvula de globo.....	105
Figura 30 Agitador de Hélice .....	107
Figura 31 Agitador de aspás .....	107

Figura 32 Turbina .....	108
Figura 33 Tanque con agitador .....	114
Figura 34 Bomba de vacío. ....	115
Figura 35 Sistema tipo para un regulador de consistencia.....	117
Figura 36 Medidor de nivel con sensor de radar. ....	118
Figura 37 Indicadores de alarma de peso .....	119
Figura 38 Transmisor de presiones.....	119
Figura 39 Termómetro.....	120
Figura 40 PH metro .....	120
Figura 41 Medidor de humedad .....	121
Figura 42 Receptor de barreras de microondas .....	121
Figura 43 Manómetro lleno de glicerina .....	122
Figura 44 Caudalímetro ultrasónico .....	122
. Figura 45 Termómetro de bulbo y bourdon .....	123
Figura 46 Tacómetro óptico.....	123
Figura 47 Diagrama base para la operación de la planta piloto .....	129
Figura 48 Diagrama de balance de materi .....	130
Figura 49 Diagrama de balance .....	131
Figura 50 Caja de entrada.....	138
Figura 51 sección húmeda mesa Fourdrinier .....	139
Figura 52 Prensa principal.....	141
Figura 53 Desarrollo de fieltro de prensa .....	142
Figura 54 Batería de secadores lado servicio .....	150
Figura 55 Batería de secadores lado trasmisión .....	150
Figura 56 Calandra.....	155
Figura 57 Enrollador.....	157
Figura 58 Tambor de enrollador .....	158
Figura 59 Propuesta de enrollador .....	159
Figura 60 Distribución de la planta en el área designada.....	160

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Universidades con Programas de Celulosa y Papel.....	18
Tabla 2 Asignaturas de Celulosa y Papel en el Departamento de Madera Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara (DMCyPucei-udeg) .....	19
Tabla 3 Asignaturas de Celulosa y Papel en la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera de la UMSNH (Madera,2018) .....	20
Tabla 4 Contenedores entregados. ....	36
Tabla 5 Grosor del papel clasificado por Manuel Tamayo 2012.....	49
Tabla 6 Equipo y función de las partes de la planta de elaboración del papel. ....	52
Tabla 7 Aplicaciones del agua en la fabricación de papel (E.S., 2005).....	61
Tabla 8 resultados del acopio en ciudad universitaria. ....	124
Tabla 9 Costo de equipo de preparación de pastas .....	162
Tabla 10 Costo de mesa de formación y seccion húmeda.....	163
Tabla 11 Costo de sistema de prensado .....	164
Tabla 12 Costo de sistema de secado .....	165
Tabla 13 Costo de calandrado .....	166
Tabla 14 Costo del enrollador .....	167
Tabla 15 Costo de instalación eléctrica.....	168
Tabla 16 Resumen total de costo.....	169

## INTRODUCCIÓN

Con el avance de la Tecnología y el uso del Internet, se llegó a pensar que el uso del papel se daría en forma descendente. Sin embargo, en la mayoría de los tipos de papel que se fabrican, ha ido aumentando en forma progresiva su consumo. Ciertamente existen calidades como es el papel periódico sí ha disminuido su producción (muchos diarios han cerrado sus puertas), sin embargo la producción de impresos de calidad ha dejado de ser un privilegio; el consumo de papel sigue aumentando y la industria papelera demandada por mercados nuevos y exigida por los antiguos, debe tener la capacidad productiva para proveer estas crecientes necesidades (Rios, 2017).

El papel reciclado, al ser un producto sustituto de la pulpa virgen, disminuye la tala de árboles para la fabricación del papel. Por otro lado, en cuanto a beneficios económicos, evita el gran consumo de energía y agua que la generación de pulpa a partir de madera requiere.

En México, la Industria de la celulosa y papel cuenta con 75 empresas que producen anualmente 750,000 toneladas de celulosa y aproximadamente 2 millones de toneladas de papel (A:C., 2016)

Muchos productos son de papel, no solamente el periódico y existen diferentes tipos, para empaque, escritura e impresión, sanitarios, etc. Se emplea también como material aislante, por general en la fabricación de cables y transformadores.

El valor del mercado del sector papelero y sus productos derivados es de \$10,300 millones de dólares anuales esto equivale al 7.1% del PIB manufacturero o al 4.7% del PIB industrial. En México solo se produce el 70% de lo que se consume por lo que el 30% restante es necesario importarlo (A:C., 2016)

La industria genera 64,000 empleos directos y 235,000 indirectos, de allí su importancia.

Con estos datos, es comprensible que esta industria tenga requerimientos de personal calificado. Gran parte de éste se forma dentro de las plantas, pero existe

también la opción de los programas académicos de algunas universidades que cubren los aspectos iniciales para que pueda haber un desarrollo en esas fábricas. Uno de esos programas se lleva a cabo en la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo y uno de los aspectos clave de este proyecto es aumentar el alcance del plan actual para generar personal cada vez más capacitado.

En este proyecto también se hará énfasis en el uso de residuos de fibra reciclada para la fabricación de papel. Incluso parte de su contenido se refiere a la capacidad de captación de este material dentro de las dependencias de Ciudad Universitaria.

Actualmente, en la fabricación de papel se utiliza el 80% de material reciclado y solo el 20% lo conforma celulosa virgen. Esto es aprovechando que la fibra celulósica que forma el papel tiene la característica de poder reciclarse hasta 7 veces (torras papel s.a., 2008). Aquí se generan grandes ahorros en metálico, en agua y energía, aparte de preservar el recurso maderable independientemente de que los rellenos sanitarios no se saturan tan rápidamente. El conocimiento de la capacidad de captación de papel en ciudad universitaria podrá apoyar al diseño de la planta piloto dando una idea precisa de la materia prima con que se podrá contar.

Para poder contabilizar el volumen de material fibroso que se puede recolectar en ciudad universitaria se elaboró un programa el cual incluyó personal y equipo de recolección como contenedores, bolsas, básculas, área de selección etc.

Ya dentro del programa se inició con la determinación de base de cálculo, balances de materia y energía a la vez que en función de estos resultados se pudo llegar al diseño de equipo de preparación de pasta, lo cual dio pie directamente al diseño de la maquina formadora.

Este trabajo está enfocado no solo al diseño de la planta piloto, sino también a su factibilidad de construcción, para lo cual se ha solicitado a las autoridades de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera un espacio dentro de sus

laboratorios en el cual pueda ser instalada la Planta atendiendo a las especificaciones mencionadas en este proyecto.

De igual forma, este proyecto es la base que permitirá el desarrollo de trabajos subsecuentes que están relacionados con la fabricación de papel. En todas las plantas papeleras se tiene al principio el problema de los efluentes o aguas residuales, esto para evitar la contaminación, aspecto que se evitaría si se diseña y construye una máquina de hacer cartón utilizando esa agua residual y fibras de menor calidad. Este equipo sería poco sofisticado y por ende económico, pero a la vez se obtendría un producto comercializable. Se ha comprobado que es posible trabajar este equipo sin la necesidad de derramar agua al exterior (talavera, 1992).

También está desde el punto de vista tecnológico que por ningún motivo se puede hacer a un lado. Para esto se puede instalar un sistema de control distribuido en todo el proceso de fabricación de la planta y con esto lograr una automatización de la misma.

El proyecto es un diseño de tipo industrial, ya que concibe y proyecta objetos de producción para el uso humano.

En estos días, es muy importante el aspecto económico de cualquier programa, proyecto o actividad y el presente no es la excepción.

Otra forma de obtener la planta piloto sería manufacturar el equipo con alguna empresa que se especializa en estos casos, pero el costo se elevaría al doble de lo que se proyecta eso sin contar con el problema del flete y la instalación.

El proyecto no especifica que forzosamente se tenga que utilizar todo el material nuevo. Claro que en el costo que se reporta en este proyecto se considera que el equipo es nuevo, sin embargo, se puede reducir en más del 50% si se utiliza material usado, pero en buen estado lo que hace el proyecto mucho más factible de realizar.

La intención de este proyecto es aportar las herramientas al desarrollo de más proyectos. Por ejemplo, ya en operación la Planta, se pueden realizar los siguientes proyectos:

Optimización de la calidad y producción instalada.

Diversificar los productos fabricados

Diseño de Planta alterna para la utilización del agua residual fabricando cartón.

Automatización del equipo por medio del sistema de control distribuido.

Esos proyectos bien podrán ser desarrollados por alumnos de la FITECMA, con lo que se puede cerrar el ciclo del presente trabajo.

## ANTECEDENTES

La historia del papel en México data del año 500 d.C. cuando los Mayas y los Aztecas inventaron y perfeccionaron un proceso para la fabricación de un prototipo de papel a base de corteza de higuera, la cual era ablandada a golpes para después ser tratada con agua y cal, que removían la savia para después formar hojas que dejaban secar al aire (TAPPI, 2007).

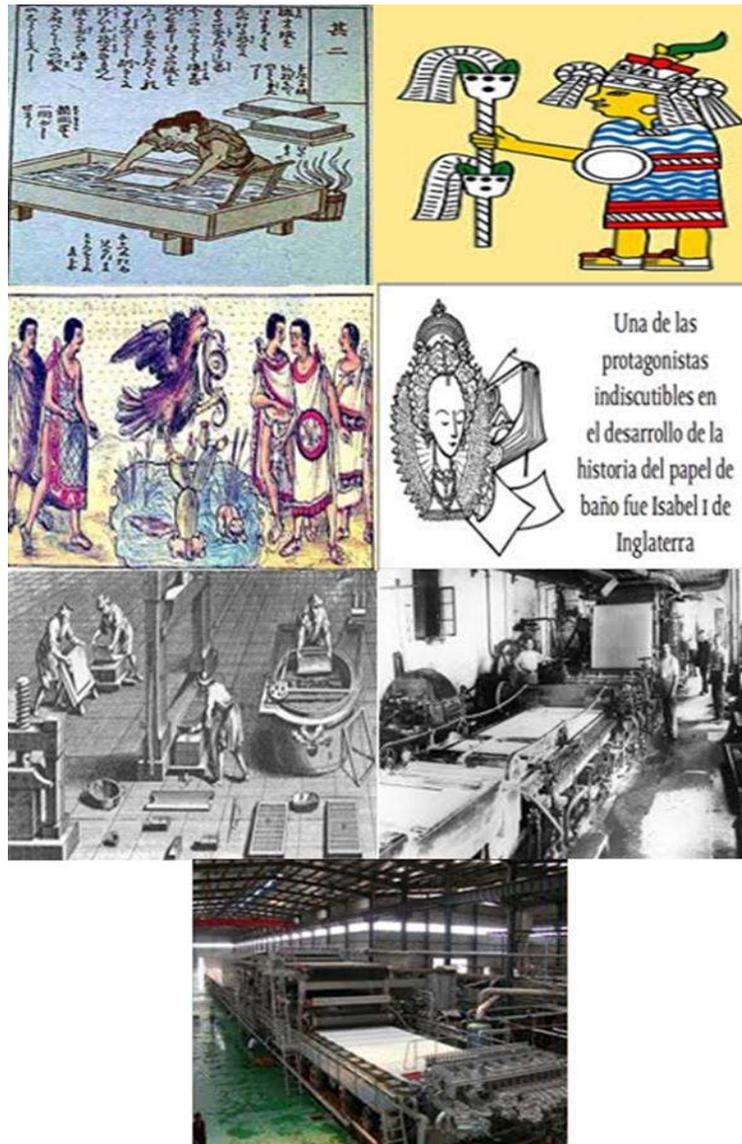


Figura 1. Proceso evolutivo de la fabricación del papel

En la figura1, se observa un proceso evolutivo de la fabricación del papel, desde los chinos (100 d.C.) hasta el siglo XIX en que la fabricación ya se hizo continúa debido a que hasta entonces el papel solo se fabricaba por lotes en forma de hojas o láminas. A partir de entonces se ha dado un enorme desarrollo a esta industria a tal grado que ya las máquinas de fabricación son altamente automatizadas (E.S., 2005).

La fabricación de la celulosa y del papel México se remontan alrededor del año 500 D.C. en que los mayas inventaron, y posteriormente los aztecas mejoraron, su proceso a base de corteza de higuera. Dentro de este proceso la corteza era ablandada a base de golpes y posteriormente tratada con agua y cal para remover la sabia, formando hojas sobre tablas planas que dejaban secar al aire, para después desprenderlas y emplearlas como papel. El primer molino para fabricar papel en nuestro país y en América, data de fines del siglo XVI recién terminada la conquista de México, como queda constatado por hallazgos recientemente efectuados en la población de Culhuacan, en la Cd. de México (Villanueva-Alonso, 2018).

La primera planta de fabricación de celulosa y papel dentro del concepto moderno, se establece a finales del siglo pasado en San Rafael, Estado de México.

En México, se ha fabricado celulosa como materia prima para la fabricación de papel, con materiales, tales como: paja de trigo, de avena y de arroz: fuste de coco: copetes de piña: bagazo de caña y de mezcal: desperdicios de henequén, de lino, de lechuguilla: borra de algodón: yuca y otras palmas: maderas; bambú; desperdicios de papel y de cartón, etc.

En la actualidad se fabrica papel a partir de madera, de bagazo de caña y de desperdicio de papel y de cartón, quedando en desuso el resto de los materiales mencionados por razones económicas, de calidad y de disponibilidad (Papel, 2015).

Este desarrollo lleva consigo la necesidad de contar con personal altamente capacitado tanto para su diseño, como para su construcción, instalación y manejo.

En el país en realidad son pocas las instituciones que dentro de su programa de estudios manejan esa línea de aprendizaje. A continuación, se mencionan algunas.

La Universidad de Chapingo que dentro de la Unidad Académica de División de Ciencias Forestales y para el Programa Educativo de la carrera de Ingeniero Forestal Industrial, llevan la asignatura de “Celulosa y Papel” cuyo objetivo es que el Ingeniero aplique los conocimientos y técnicas de industrialización de la madera para transformarla en productos de pulpas y papeles capacitándolos en planeación, organización, ejecución y supervisión de las actividades de transformación de madera en tales productos (Villanueva-Alonso, 2018).

La Universidad Nacional Autónoma de México, en la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán y dentro del Plan de Estudios de la carrera de Ingeniero Químico tienen la asignatura de “Celulosa y Papel” con duración de un semestre y cuyo objetivo general es conocer las propiedades y características de la materia prima empleada para la obtención de pulpas celulósicas y adquirir los conocimientos básicos para la comprensión de los diversos procesos de obtención de la pulpa empleada para la fabricación de papel. Mostrar diferentes procesos de elaboración de papel y cartón de la industria papelera de México ([www.cuautitlan.unam.mx](http://www.cuautitlan.unam.mx) 2017).

La Universidad de Guadalajara en su Facultad de Ciencias Químicas, dentro de su programa para la carrera de Ingeniero Químico Industrial, imparte materias como Celulosa durante el cuarto año y aparte da un semestre con la asignatura de Papel, con lo cual crea bases para que el egresado pueda desarrollarse dentro de la industria de la Celulosa y el papel ([www.udeg.mx](http://www.udeg.mx)).

La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, se encuentra la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera donde se capacita al alumno en base a un conjunto de conocimientos de la madera, sus derivados y otros materiales para desarrollar actividades de transformación, administración e investigación para su aprovechamiento integral (Madera, 2018).

Dentro del Plan de estudios de esta Facultad, los primeros semestres se cursa un tronco común, derivándose en 5º semestre en dos terminales: una con orientación en Tecnología Físico-mecánica de la Madera y otra con orientación en Tecnología Química de la Madera y es precisamente en esta rama donde entran las asignaturas tales como:

Tecnología y calidad de la pulpa

Reciclado de mermas y reciclado de pulpa

Fabricación y calidad de papel

Productos químicos de la Celulosa

Además, se maneja una estancia de 480 h. en la industria para ir ampliando el panorama de conocimientos de cada alumno.

Asignaturas que dan un contexto bastante amplio acerca de la fabricación de papel. Esto se ha visto reflejado en el gran número de egresados que han prestado sus servicios y ampliado sus conocimientos en las diferentes plantas papeleras del país (Madera, 2018).

Dentro de las Plantas Pilotos para fabricación de papel en el país, tenemos solamente la diseñada por el Ingeniero alemán Karl Agustin Grellmann en lo que antiguamente era el Instituto de Madera, Celulosa y Papel dependiente de la Universidad de Guadalajara, actualmente el Departamento de Madera Celulosa y Papel del cual es director el Dr. Antonio Silva egresado de la FITECMA. El Ing. Grellman aparte del diseño, construyó en los talleres de la misma institución la Planta piloto y se apoyó en personal altamente capacitado como el Dr. San Juan y el Dr. Turrado, aparte del Ingeniero Bruno Becerra para la operación de la Planta, donde se han realizado investigaciones para la fabricación de diferentes calidades de papel incluyendo fibra celulósica mezclada con fibra de vidrio (Fuente: DMCyPucei-udeg).

Actualmente cuentan ya con 2 máquinas formadoras y una serie de equipo de preparación de pastas con el fin de no solo hacer investigación, sino capacitar a

los alumnos que se tienen en los niveles de maestría y doctorado que se imparten en dicho departamento.



Figura 1 Planta Piloto del Departamento de Madera Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara (Fuente propia 2017).



Figura 2 Planta Piloto del Departamento de Madera Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara (Fuente propia 2017).

Tabla 1 Universidades con Programas de Celulosa y Papel

INSTITUCION	UNIDAD	PROGRAMA	ASIGNATURA	DURACION
U. DE CHAPINGO	CIENCIAS FORESTALES	INGENIERO INDUSTRIAL FORESTAL	CELULOSA Y PAPEL	2 SEMESTRES
U. DE GUADALAJARA	CIENCIA QUIMICAS	INGENIERO QUIMICO INDUSTRIAL	CELULOSA PAPEL	2 SEMESTRES 1 SEMESTRE
UNAM	FACULTAD ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN	INGENIERO QUIMICO	CELULOSA Y PAPEL	1 SEMESTRE
U. VERACRUZANA	CAMPUS CORDOBA	TECNICO CELULOSA PAPEL	CELULOSA Y PAPEL	4 SEMESTRES

Tabla 2 Asignaturas de Celulosa y Papel en el Departamento de Madera Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara (DMCyPucei-udeg)

<b>UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA</b> <b>DEPARTAMENTO DE MADERA, CELULOSA Y PAPEL</b>	
<b>MAESTRIA EN CIENCIAS EN PRODUCTOS FORESTALES</b>	
ASIGNATURA	DURACION
ESTRUCTURA ANATOMICA DE MATERIALES FIBROSOS	60 HS
PROCESOS DE BLANQUEO	60 HS
PROCESO DE PULPEO ALTO RENDIMIENTO	60 HS
PULPEO QUIMICO	60 HS
QUIMICA DEL PAPEL	40 HS
RECICLADO DEL PAPEL	60 HS
RECUBRIMIENTO Y SUPERCALANDRADO	40 HS
SECADO Y ACABADO DEL PAPEL	60 HS
SISTEMA DE PASTAS Y FORMACION DEL PAPEL	60 HS
TEMAS SELECTOS DE CELULOS Y PAPEL	40 HS

Tabla 3 Asignaturas de Celulosa y Papel en la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera de la UMSNH (Madera,2018)

INSTITUCION	UNIDAD	PROGRAMA	ASIGNATURA	DURACION
UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO	FACULTAD DE INGENIERIA EN TECNOLOGIA DE LA MADERA	INGENIERO EN TECNOLOGIA DE LA MADERA	TECNOLOGIA Y CALIDAD DE LA PULPA	1 SEMESTRE
			RECICLADO DE MERMAS Y	1 SEMESTRE
			RECICLADO DE PULPA	
			FABRICACION Y CALIDAD DE PAPEL	1 SEMESTRE
			PRODUCTOS QUIMICOS DE LA CELULOSA	1 SEMESTRE
			RECICLADO DEL PAPEL	1 SEMESTRE
			TECNOLOGIA DEL PAPEL	1 SEMESTRE
			ESTANCIA DE 480 HS EN LA INDUSTRIA	

Aunque durante los últimos 200 años han sido diseñadas un gran número de diferentes máquinas de papel, la operación de formación de la hoja de papel ha estado enmarcada en dos sistemas básicos: el formador de tipo plano o Fourdrinier y el formador de tipo cilíndrico. La máquina Fourdrinier o formador plano, fue inventado por Louis Robert en 1799 en Francia (figura 10). La misma fue posteriormente desarrollada por B Donkin, L. Didot y J. Gamble. Los hermanos Fourdrinier, Henry y Searly se interesaron por la patente en 1804 y promovieron su uso comercial en Inglaterra. Esta ha sido adaptada a un amplio rango de papeles fino y cartones ligeros (ma Carmen dominguez, 2017).

El segundo sistema fue desarrollado en 1809 por J. Dickinson, también en Inglaterra y es conocido como formador cilíndrico, y se utiliza fundamentalmente en la fabricación de papeles multicapas, tisú, papeles especiales y cartones multicapas.

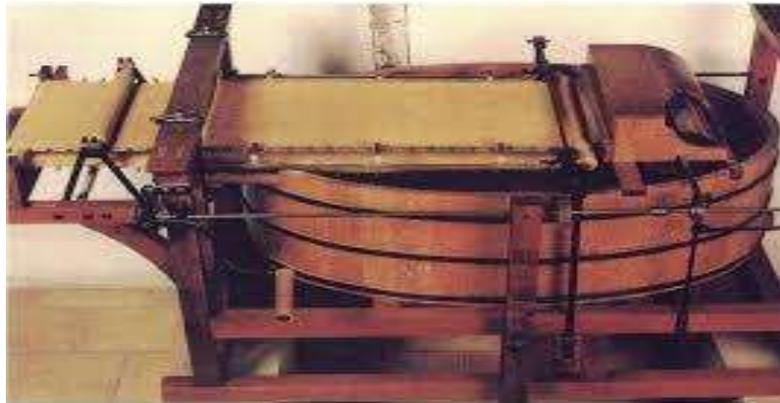


Figura 3 Maquina diseñada por Robert en 1799 (Coll, 1962)

## **OBJETIVO GENERAL**

Realizar el diseño de una Planta Piloto para la Fabricación de Papel para instalarse en la FITECMA.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Definir los diferentes tipos de materias primas que se utilizarán para el proceso de fabricación en función a lo recolectado en las dependencias ubicadas en Ciudad Universitaria.
- Seleccionar equipos para el sistema de pastas, agua, aditivos que se van a comprar y equipos que se van a construir.
- Diseñar y/o seleccionar la sección de caja de entrada y formador, sección húmeda, prensado, secado, calandrado, enrollador.
- Seleccionar el equipo periférico tales como bombas, válvulas, equipo de vacío, equipo de instrumentación para monitoreo y/o control de proceso en capacidades y características definidas en el diseño.
- Trasladar el diseño de diagramas de tubería e instrumentación al área contemplada en los laboratorios de la FITECMA.

## **HIPOTESIS**

Es posible realizar el diseño de una Planta Piloto para Fabricación de Papel a instalarse en la Facultad de Ingenieros en Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

## JUSTIFICACION

Debido a las innumerables aplicaciones del papel, su demanda en el mercado ha aumentado en forma progresiva, para estar más documentados en este concepto, se pueden analizar algunas cifras de la Industria Nacional de la Celulosa y del Papel, la cual tiene presencia en 20 estados de la república contando con 58 plantas y una capacidad instalada de fabricación de papel de 5.8 millones de toneladas anuales (CNICP, 2014). Esto da por resultado un consumo aparente de papel de 7 millones de toneladas lo cual en el mercado nacional tiene un valor de \$10,300 mdd por año, generando un gran número de empleos directos aparte del gran impacto social que se tiene en el empleo indirecto como es el caso de la recolección y reciclaje de papel y cartón de desperdicio, el cual como todos sabemos comienza en los propios hogares y solamente en el 2010 generó 4.8 millones de toneladas de residuos de fibra de papel y cartón (CNICP; 2012).

Continuando con los datos informativos, se tiene que en el periodo 2003-2012, la industria del papel aportó el 2% del PIB manufacturero dando por sentado que su desempeño es más favorable que el registrado por la industria manufacturera, aparte que las empresas que conforman la industria del papel dieron empleo a 101,195 personas que representa el 2.2% de la industria manufacturera (INEGI, 2012). Por si fuera poco, las remuneraciones que se pagan a los trabajadores en la industria del papel son superiores a las que pagan en promedio en las industrias manufactureras (INEGI, 2012). (Rios, 2017)

Se consideran los puntos anteriores básicos en la justificación ya que al ser la industria papelera una opción en auge definitivamente seguirá necesitando personal capacitado y el fin del diseño de la Planta Piloto es tener la base para su construcción y con ello la capacitación temprana de los estudiantes que decidan desarrollar los conocimientos adquiridos en las aulas en este ramo de la manufactura. Con esto se respondería a la pregunta de que para qué es importante el presente proyecto.

Dentro de la problemática a resolver con este diseño se pueden mencionar dos aspectos importantes:

1.- Los alumnos de la Facultad de Ingeniería en tecnología de la Madera tendrían una base para construir la Planta Piloto cuando tengan esa inquietud y se les presente la oportunidad.

2.- En los laboratorios de la Facultad existen equipos de apoyo para la fabricación de papel como es un desfibrador, una Pila Holandesa, un aparato Schoper Riegler y un Canadian Estándar Freness tester para el control del desarrollo de la fibra antes de meterla a máquina formadora. Aunque se están utilizando estos equipos para la capacitación y el conocimiento de los alumnos, con el diseño y construcción de la Planta, serán mucho más eficientes e importantes.

Por otro lado, se sabe del aparato administrativo de UMSNH, el cual consume toneladas de papel y sin embargo, ese papel se va al reciclaje externo en forma total y absolutamente indiscriminada. Es ahí donde el diseño de esta planta piloto al darnos la base para una posible instalación en la FITECMA, es de capital importancia ya que se puede decir que la materia prima primordial es cautiva. Solo será necesario hacer un estudio de consumo o mejor dicho de cuanto papel es posible acopiar para reprocesarlo.

En función a la cantidad y calidad de lo que es posible juntar de material para reciclaje, se podrá conocer los diferentes tipos de papel que se podrán fabricar y el volumen mismo de ellos.

De todos los aspectos antes mencionados, se considera como prioritario el impacto en la formación académica de los alumnos de la FITECMA que será determinante para obtener una opción más en su desarrollo profesional.



## MARCO TEORICO

Comenzaremos con la determinación de los tipos de materias primas que se van a revisar, su costo, su facilidad de captación, nivel de degradación en caso de tratarse de fibras celulósicas, factibilidad de uso, etc. En nuestro caso, nuestro proyecto se ve favorecido por la presencia en Morelia de una planta productora de celulosa a partir de madera lo cual facilita en gran medida el acopio de fibra virgen a un costo que puede ser más que accesible.

En cuanto a fibra reciclada, se cuenta con contactos en los diferentes centros de acopio que separan los diferentes tipos de material como el archivo blanco, archivo 80-20, revista, periódico, etc.

Sin embargo, este trabajo abarcará la forma de aprovechar el papel que se desecha dentro de la UMSNH para lo cual se implantarán estrategias de acopio en función al volumen que se manejara en el diseño.

La primer estrategia será entregar a la dirección de las dependencias universitarias tanto a las que se encuentran en la Ciudad Universitaria como a las que tienen sus labores fuera de ella, pequeños contenedores en los que se podrán depositar todos los papeles desechados y periódicamente se pasaran a recoger, clasificar y pesar llevando un control lo más exacto posible de cada calidad de material para reciclar con el fin de tener una encuesta veraz que nos dé la pauta a seguir y de esa forma ir definiendo la capacidad de la Planta Piloto.

Definitivamente el diseño de la Planta va dirigido a una posible instalación dentro de los laboratorios de la FITECMA, por lo que se harán los estudios necesarios para definir su mejor ubicación, todo esto en función al área requerida la cual quedará delimitada en este proyecto. Una vez realizado esta actividad, lo primero es la solicitud a las autoridades de la facultad con el fin de obtener su autorización para en base a esa área, realizar el trabajo de posicionamiento de todos y cada uno de los equipos necesarios para integrar la Planta.

Aun así, este proyecto puede ser aprovechado por alguna otra institución que así lo requiera o inclusive alguna planta productora donde tengan necesidad de conocer el resultado de diferentes tipos de materia prima que no estén usando en forma corriente y les sea necesario saber el comportamiento de estas materias primas antes de correr una prueba de campo.

Por lo pronto, la prioridad se dará a la FITECMA y después se verá la posibilidad de expandir o habilitar este proyecto en alguna otra parte.

En un proyecto de este tipo, la pregunta viene sola: ¿Cuál será la capacidad de la Planta Piloto? Una de las limitantes es definitivamente el espacio con que se cuente o el espacio que se determine. La razón es que se manejarán depósitos o tanques para stock de la pasta y estos pueden ser de cualquier dimensión. Pero en este caso, estamos hablando de una Planta Piloto o sea un equipo de laboratorio por lo que tampoco podemos utilizar áreas muy grandes.

Otro factor para determinar la capacidad es realmente la maquina formadora, cuya producción va en función de la siguiente ecuación:

$$\text{PRODUCCIÓN} = (\text{PESO BASE}) (\text{ANCHO MAQUINA}) (\text{VELOCIDAD}) (\text{TIEMPO})$$

Dónde:

**PESO BASE:** Conocido también como gramaje, es el peso de la hoja por 1 m<sup>2</sup>. Por ejemplo, una hoja de papel bond de cualquier libreta de escritura, peso 58 gr/m<sup>2</sup>, mientras que el cartón utilizado para empaque de cerveza peso de 550 a 600 gr/m<sup>2</sup>. El peso base siempre estará dado en gramos/metro cuadrado.

**ANCHO MAQUINA:** Es el ancho de la hoja de papel en sí y estará fijado en metros.

**VELOCIDAD:** Es la velocidad a la cual correrá la maquina exponiéndose siempre en metros/ minuto.

**TIEMPO:** Es el tiempo que se quiera medir la producción. Debe darse en minutos para obtener un resultado veraz.

Pasando la formula a unidades:

$$\text{GRAMOS} = (\text{GRAMOS}/\text{M}^2)(\text{METROS})(\text{METROS} / \text{MINUTO})(\text{MINUTOS})$$

De esta forma se eliminan los metros y los minutos, por lo que quedan gramos los cuales pueden ya transformarse fácilmente a kilogramos.

El diseño de la maquina nos dará la velocidad a la que correrá y el ancho de la hoja por lo que podemos calcular cual será el stock de pasta necesario para evitar paros por falta de pasta y de igual forma la capacidad del equipo periférico como bombas, válvulas, instrumentación, etc.

Por lo tanto, nuestro diseño se abocará a una producción lo más continuo posible tomando en cuenta que se trata de un laboratorio, aun así, se considerarán los cálculos necesarios para lograr que esta planta trabaje de tal forma que su producción llegue al tope de su capacidad instalada.

Una vez determinada la capacidad, podremos iniciar con nuestro balance tanto de materia prima como de energía y agua. En el caso de la materia prima, nos dará pie primero a conocer la cantidad de material fibroso que debemos adquirir en las diferentes formas que habíamos anotado en la introducción, pero no solo de material fibroso, sino de los aditivos químicos y de las cargas minerales que se podrán adicionar, esto con el fin de tener siempre en existencia un inventario confiable que nos dejará trabajar sin la preocupación de que haya algún paro de maquina por falta de algún material o peor aún, que no se logre la calidad deseada por el hecho de que la formulación necesaria no está completa.

Dentro del balance de material fibroso, se tomarán en cuenta las mermas durante el proceso, tales como son los finos que se perderán en el agua, los refiles de mesa de formación, etc., con la finalidad de tener la idea más o menos exacta del material que vamos a necesitar desde el inicio aparte del stock de inventario mínimo que debemos tener siempre.

Se presentan también otros dos balances muy importantes que no podemos dejar de tomar en cuenta, el balance de energía y el balance hidráulico. Hablando

primero del balance de energía, este será determinado primero por el número de motores eléctricos que se utilizarán desde el hidrapulper hasta la maquina formadora, pero no solo el numero sino también la capacidad de cada motor ya que ésta variará en función al equipo al que se le haya designado. No es lo mismo el motor para una bomba centrífuga de 3" al motor del hidrapulper o del refinador. De igual forma se hará un estudio de la capacidad que tengan los interruptores que alimentan el área a la que se vaya a destinar para ver si es necesario hacer alguna modificación o la capacidad instalada es suficiente. También es necesario calcular la capacidad que se pondrá a los equipos de protección de cada motor con el fin de proteger no solo al equipo, sino a toda la instalación, para lo cual se tomará en cuenta el calibre del cableado adecuado y protegido ya que se trabajará en un ambiente de humedad muy alta y debemos evitar todos los riesgos.

El otro balance importante es el que se refiere al agua a utilizar. Para esto debemos tomar en cuenta lo siguiente:

Cuánta agua vamos a necesitar para producir un kg de papel

Cuánta agua se va a ir al drenaje

Calidad del agua que se va a drenaje

Como vamos a reciclar el agua

¿Se puede llegar a cerrar el circuito y no tirar nada de agua?

¿En caso de tirar agua, cuanto fibra perderíamos?

¿Se puede tratar el agua antes de tirarla al drenaje?

Dentro de nuestro proyecto se trabajará en esos aspectos, aunque lo ideal es el no tirar nada de agua, pero eso solo lo darán los resultados de los cálculos realizados a la vez que posiblemente se necesite otra formadora de papel de mucha menos calidad para utilizar el agua que se va a drenaje.

Está claro que ahora debemos de hablar sobre los equipos que se van a utilizar en este diseño, sobre todo en preparación de las fibras celulósicas para que éstas

puedan conformar un papel de calidad aceptable. El diseño debe constar de un hidrapulper o molino, equipo de limpieza de la fibra y equipo de refinación de la fibra los cuales deberán dar los resultados esperados ya que en nuestro caso se va a trabajar con equipos ya hechos y probados en su capacidad tanto de volumen como de calidad. Como se vio anteriormente, la base del proyecto es la capacidad que vamos a tener, ya que ésta dará la pauta a seguir para la elección de los diferentes equipos ya que no es conveniente tener equipos muy sobrados, pero tampoco debemos tener equipos que no den el flujo o calidad necesarios.

Se considera que la parte medular de la Planta Piloto será la maquina formadora, la cual lleva integrada la mesa de formación, el secado por prensas, el secado por transmisión de calor y el acabado o terminado por medio de una o dos calandras. Aunque estas partes van unidas en una misma estructura, su movimiento será independiente solamente muy bien sincronizado para lograr que la hoja de papel no sufra roturas en su trayecto.

La mesa de formación será como la patentada por los Hnos. Fourdrinier en 1807 y el principio se basa en que la pasta de pulpa de madera diluida en agua es depositada sobre una tela que puede ser metálica o plástica sin fin con movimiento horizontal permitiendo que las fibras se intercalaran una con otra a la vez que se escurre el agua, después de este proceso el papel pasa por una serie de prensas para extraer más agua y el papel resultante se seca sobre rodillos calentados para finalmente llegar al acabado en una calandra que es una serie de rodillos de alto pulido y que le dan el acabado final antes de ser enrollado. (Libby, 1968)

En este paso se tendrán que calcular la capacidad como vimos anteriormente, así como los sistemas de vacío para extraer el agua, los sistemas de presión en las prensas y la forma como se van a calentar los rodillos secadores, aparte de que cada sección lleva su sistema de transmisión con el fin de acoplar perfectamente el movimiento de las tres para una operación óptima.

Poco se ha hablado del equipo periférico que se necesitará para la operación de los equipos de preparación de pasta. Nos referimos a las bombas, válvulas, equipos de vacío y equipos de instrumentación para control de estos equipos adicionales, pero esto se hará siempre en función como ya se ha mencionado, a la capacidad que se requiera o que se tenga en la maquina formadora y a la de los equipos de limpieza y refinación que se vayan a instalar. Hay condiciones básicas en estos equipos como por ejemplo que las bombas serán centrífugas y de impulsor semiabierto, las válvulas pueden ser de compuerta o de globo, mientras que los equipos de medición serán en función al flujo que se vaya a trabajar. (Coll, 1962)

Ya se había hecho hincapié en que el diseño de la Planta Piloto en su esencia va dirigido a instalarla en la FITECMA, por lo que es necesario solicitar a las autoridades y ponerse de acuerdo acerca del área disponible donde se podría montar y eso se hará tomando en cuenta que su capacidad debe ir acorde a una Planta Piloto para Laboratorio, pero se considera un área de mínimo 70 mts<sup>2</sup> para de ahí partir con la elaboración de los planos y la misma interpretación de éstos.

## **CAPITULO I RECOLECCIÓN DEL PAPEL**

### **SOLICITUD FORMAL A LAS DEPENDENCIAS DE LA UMSNH PARA SU APOYO EN LA RECOLECCION DE MATERIAL FIBROSO**

El primer paso dentro del proyecto de diseño de la Planta Piloto es como en todo, saber el tipo de materia prima que se va a utilizar. En los procesos productivos se manejan siempre tres factores básicos, capital, materia prima y mano de obra. Por el momento se avocará al aspecto de la materia prima, costo y facilidad de obtención. Para este caso, se cuenta con una zona de obtención bastante basta como lo es todas las dependencias ubicadas en ciudad universitaria, en la forma de aprovechar todo el material fibroso que se deseché en cada una de las oficinas y en los edificios de tales dependencias. Para lograr que estas dependencias otorguen todo el material que desechan fue necesario crear una estrategia en la cual el comienzo sería dar a conocer el proyecto en toda ciudad universitaria con la presentación de una solicitud formal por parte de la dirección de la FITECMA. Se solicitó al Dr. José Gpe Rutiaga Q. la expedición de esta solicitud para la cual se recibió el total apoyo ya que aparte se había dado a conocer verbalmente el proyecto a la mayoría de los directores obteniendo una respuesta siempre afirmativa.

Esta solicitud se entregó en las direcciones o coordinaciones de las dependencias de C.U. requiriendo a su vez una copia sellada de recibido. En la mayoría de los casos la respuesta positiva fue inmediata, pero en otros, los menos afortunadamente, se nos solicitó regresar por la copia hasta que el titular diera su visto bueno y se procediera a la entrega de la copia sellada.

En la siguiente página, se muestra un ejemplo de los términos en que esta solicitud fue elaborada y el sello de recibido.



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO  
Cuna de héroes, cénit de pasados

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA

**DIRECCIÓN**

Edificio "D", planta alta Tel. 3 22 35 00 Ext. 3056 Y 3057  
Ciudad Universitaria Morelia, Michoacán.



**INGENIERIA**

Oficio No. 326/2018

**DR. MEDARDO SERNA GONZÁLEZ**  
RECTOR DE LA UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO.  
P R E S E N T E.

Por este conducto, me permito presentar al alumno del 3er. Semestre del Programa de Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera, **Ing. Jaime Gregorio Gómez Talavera**, quien tiene como proyecto de tesis "Diseño de una planta piloto para fabricación de papel, para instalarse en la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera de la UMSNH" con la asesoría de su servidor Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones; a la vez solicitarle su apoyo ya que se pretende reciclar el papel de desecho que se genera en todas las instalaciones de la Universidad Michoacana y solicitamos nos permita dejar contenedores en las diferentes áreas de sus oficinas, a fin de recabar todo el papel que se vaya a desechar. Se pasará periódicamente a recoger dicho material, en un periodo de prueba de 3 meses.

Agradezco de antemano su invaluable apoyo y aprovecho para hacerle llegar un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**

Morelia, Mich., a 26 de abril de 2018.

**DR. JOSÉ GUADALUPE RUTIAGA QUIÑONES**  
DIRECTOR.



**FACULTAD DE INGENIERIA  
EN TECNOLOGIA DE LA MADERA**

JGRQ/ychr



## COLOCAR CONTENEDORES EN LAS DEPENDENCIAS Y EXPLICAR SU FUNCIONAMIENTO.

Ya con la solicitud aprobada, se procedió a colocar los contenedores en lugares estratégicos dentro de las oficinas pidiendo al personal que labora en ese lugar que lo tuvieran abierto el mayor tiempo posible para facilitar el movimiento de depósito de todo el material que fueran a desechar. Solo en algunos casos se tuvo que buscar el lugar, ya que las personas conocen el movimiento de trabajo y saben dónde es más fácil que se pueda colocar el contenedor para evitar movimientos inútiles que, como se sabe, provocarían que el material fuera colocado en otro lado incluyendo el basurero donde se mezclaría con plásticos, desechables, comida, etc. con lo cual se contaminaría y en algunos casos se degradaría hasta perder la posibilidad de reciclarse.

Salvo sus excepciones, que nunca faltan, el proyecto tuvo una muy buena acogida y todo el personal ofreció su apoyo para que todo el material fibroso de su dependencia que se fuera a tirar, mejor lo colocarían en los contenedores primero para su cuantificación, clasificación y posterior reciclaje.

Se encontró que en todas las oficinas ya existían contenedores del PAI (Plan Ambiental Institucional) por lo que se explicó que en realidad ese programa es de una empresa privada que solo acopia el material fibroso, lo empaca y lo vende a las plantas procesadoras con lo cual la UMSNH no tiene absolutamente nada que ver y por ende ningún beneficio ni siquiera a futuro. Dándose a conocer lo anterior obviamente todos apoyaron el proyecto de la FITECMA y se comprometieron a apoyarlo. En la siguiente página se muestra la imagen de un contenedor y otras de contenedores ya colocados.



Figura 4 Muestra de contenedor entregado a las diferentes dependencias de Ciudad Universitaria.



Figura 5 Contenedor fuera de oficina de Vinculación y D

Tabla 4 Contenedores entregados.

<i>LISTADO DE CONTENEDORES ENTREGADOS</i>					
<i>Contenedor</i>	<i>Dependencia</i>	<i>Fecha de entrega</i>	<i>Contenedor</i>	<i>Dependencia</i>	<i>Fecha de entrega</i>
1	<i>Fitecma</i>	<i>14/03/2018</i>	17	<i>ingenieria quimica</i>	<i>20/03/2018</i>
2	<i>Biologia</i>	<i>14/04/2018</i>	18	<i>economia</i>	<i>20/03/2018</i>
3	<i>ing. Civil</i>	<i>14/03/2018</i>	19	<i>fisico-matematicas</i>	<i>20/03/2018</i>
4	<i>Arquitectura</i>	<i>15/03/2018</i>	20	<i>historia</i>	<i>20/03/2018</i>
5	<i>coordinacion de bachillerato</i>	<i>15/03/2018</i>	21	<i>filosofia</i>	<i>20/03/2018</i>
6	<i>vinculacion y desarrollo</i>	<i>15/03/2018</i>	22	<i>rectoria</i>	<i>21/03/2018</i>
7	<i>secretaria general</i>	<i>16/03/2018</i>	23	<i>inv. metalurgicas</i>	<i>21/03/2018</i>
8	<i>secretaria auxiliar</i>	<i>16/03/2018</i>	24	<i>bellas artes</i>	<i>21/03/2018</i>
9	<i>secretaria academica</i>	<i>16/03/2018</i>	25	<i>archivo</i>	<i>21/03/2018</i>
10	<i>direccion de personal</i>	<i>16/03/2018</i>	26	<i>invs. historicas</i>	<i>21/03/2018</i>
11	<i>Contraloria</i>	<i>16/03/2018</i>	27	<i>posgrado</i>	<i>22/03/2018</i>
12	<i>abogada general</i>	<i>16/03/2018</i>	28	<i>posgrado ing. civil</i>	<i>22/03/2018</i>
13	<i>secretaria administrativa</i>	<i>16/03/2018</i>	29	<i>direccion servs. escolares</i>	<i>22/03/2018</i>
14	<i>ingenieria electrica</i>	<i>19/03/2018</i>	30	<i>posgrado ing. electrica</i>	<i>22/03/2018</i>
15	<i>ingenieria mecanica</i>	<i>19/03/2018</i>	31	<i>idiomas</i>	<i>24/03/2018</i>
16	<i>Contaduria</i>	<i>19/03/2018</i>	32	<i>servicio social</i>	<i>24/03/2018</i>

## **RECOLECCION, CLASIFICACION Y CUANTIFICACION DEL MATERIAL OBTENIDO.**

**RECOLECCIÓN.** - Ya estando los contenedores en sus respectivas oficinas, se programó la recolección en forma semanal para lo cual se adquirieron bolsas de plástico de .90 X 1.00 m. iguales a las utilizadas para recolectar la basura doméstica, se les colocó a cada una una etiqueta con el nombre de la dependencia para que el material no se mezclara con el de otra dependencia y poder así llevar un control por cada contenedor. De esa forma cada semana se procedía a vaciar el contenedor en su bolsa correspondiente y se dejaba en su lugar para recoger lo que se recolectaba en la semana.

Como apoyo para eficientar estas acciones, la dirección nombro a dos personas primero del sexto semestre de licenciatura de esta misma carrera, teniendo como estímulo el hecho de acreditar cabalmente su Servicio Social, sin embargo, estas dos personas al principio pudieron apoyar, pero después tuvieron que cumplir con compromisos de otras actividades por lo que ya no fue posible contar con su ayuda. Se procedió a invitar a otras dos personas del nivel de licenciatura, ahora del 4 semestre, y mientras sus actividades académicas lo permitieron trabajaron en forma aceptable, pero conforme avanzó el semestre y la presión académica se hizo más fuerte, les fue imposible dedicar un poco de tiempo a esta actividad por lo que se prescindió de uno de ellos y el otro quedó pendiente su trabajo para cuando regresara a actividades, esto debido a que por la aceptación que ha tenido el proyecto, consideramos alargarlo algunos meses más e incluso hacerlo permanente cuando la Planta Piloto inicie sus actividades.

Las siguientes imágenes muestran cómo se hacía la recolección semanal:



Figura 7 Recolección en el edificio de Rectoría. (Fuente Propia)

Figura 6 Llegando al centro de acopio. (Fuente Propia)

**CLASIFICACIÓN.** - La clasificación del material recolectado se dio en función a los siguientes aspectos:

1.- CALIDAD DE LA FIBRA. - Por ser material para reciclar, es preciso acotar que entre mayor sea la calidad del producto que se desea obtener, mayor debe ser la calidad de la materia prima. Por el costo de blanqueo y por la calidad del papel, es obvio que el material blanco, archivo blanco o papel blanco, (se le conoce en esas formas), es el de mejor calidad para realizar nuevas fabricaciones, tan es así, que se puede adicionar fibra blanca a las fabricaciones de caple, cartón, revista, etc., pero no se puede mezclar fibra de ninguno de estos tipos cuando se está fabricando papel blanco. Por otro lado tenemos el contenido de aditivos químicos que se le añaden al papel blanco los cuales le dan características que aumentan resistencias al papel en fabricación que ningún otro material fibroso reciclado le daría a excepción del llamado “tetra pack” el cual es ampliamente conocido por su uso en alimentos líquidos pero difícilmente re colectable en C.U. por dos factores: uno, su consumo es mínimo, dos, no se deposita en los contenedores que se dispusieron para tal efecto, sino en los botes de basura lo que revuelve y degrada la fibra.

Por el lado económico, siguiendo la cultura del reciclaje, al separar los materiales se pueden ofertar o vender a diferente precio ya que se puede obtener material sin contaminar. Ejemplo, si tratamos 100 kgs de fibra blanca, pero tratamos de venderla con partes de archivo de color, pedazos de cartón, o cualquier otra cosa que, aunque fuera fibra no fuera de color blanco, el precio de compra bajaba sensiblemente incluso hasta un 30 % de lo que se pudiera obtener en caso de que el material fuera completamente limpio.

2.-COSTO DEL MATERIAL. - Como vimos en el párrafo pasado, los costos varían mucho en cuanto a su precio en función al consumo para el que fue producido. Siempre tendrá más valor el papel blanco o archivo blanco como se le conoce en el medio. Se había comentado que el papel blanco bien puede mezclarse con cartón o con otro material e incluso le dará mejores características de resistencias, pero en la mayoría de los casos el producto en sí no requiere tener grandes especificaciones por lo que sería ilógico meter materia prima cara si el producto en sí no va a ser tan caro.

3.-FACILIDAD DE REPROCESARLO. - Con esto se refiere a que, ya estando el material clasificado, en una fabricación se puede realizar la FORMULACION, que no es sino otra cosa de la mezcla de diferentes fibras para lograr un producto de determinadas características, de esa forma, al estar el material bien clasificado se pueden manejar porcentajes a la hora de efectuar la hidratación y pulpeo del mismo. Ejem: 50% archivo color, 5% archivo blanco, 30 % folder 15 % periódico, podemos obtener una fibra de 400-500 g/ mt<sup>2</sup> de una calidad más que aceptable que puede ser incluso utilizada para los cartones de cerveza o para las plantillas de los zapatos.

Las siguientes imágenes mostrarán los diferentes tipos de fibra en los que se clasificó el material recolectado, la forma en que se está separando y como se acomoda para facilitar su manejo.

**CLASIFICACIÓN DE MATERIAL FIBROSO**



Figura 8 Tipos de material fibroso en el papel (Fuente propia).





Figura 9 Cuantificación de material. (Fuente Propia)

## **INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA DEL MATERIAL, COSTO Y QUE SE PUEDE FABRICAR CON LO RECICLADO.**

Las clases de papel se distinguen entre sí por:

materias primas empleadas.

estructura de la superficie.

naturaleza de la superficie.

acabado.

gramaje.

uso o aplicación.

La introducción de las nuevas tecnologías ha contribuido significativamente a una reducción del consumo de papel. **PARA SALVAR LOS BOSQUES.** Una tonelada de papel reciclado salva la vida de 17 árboles adultos.

**PARA AHORRAR ENERGÍA.** Requiere un 60% menos de energía fabricar papel a partir de pulpa reciclada que de celulosa virgen.

**PARA AHORRAR AGUA.** Una tonelada de papel reciclado ahorra más de 30.000 litros de agua.

PARA REDUCIR LA SOBRECARGA DE BASURA. Cada tonelada de papel nuevo ocupa casi 2 metros cúbicos de relleno sanitario. Los basurales crecen a un ritmo considerablemente menor desde que se recicla el papel.

PARA AHORRAR DINERO. El productor reduce su costo de fibra en un 25%, por lo que el consumidor deberá pagar menos por artículos fabricados con papel reciclado. (torras papepl s.a., 2008)

La mayoría del papel es reciclable, pero existen excepciones, como:

- Papel vegetal (papel cebolla)
- Papel sanitario usado: papel higiénico, papel toalla, servilletas y pañuelos.
- Papel y cartón recubiertos con sustancias impermeables a la humedad (parafina, láminas plásticas o metálicas, silicona, etc.).
- Papel sucio, engrasado o contaminado con productos químicos. Son muchos los tipos de papel que se hacen total o parcialmente con fibras provenientes de desechos de papel. Por ejemplo:
  - Papel para imprenta.
  - Papel para embalajes ligeros, para envolver, y bolsas de papel.
  - Papel para cajas y embalajes pesados (como cartón corrugado y otros tipos de cartón).
  - Papel para fines sanitarios (como papel higiénico, tanto popular como de alta calidad, y eventualmente ciertos tipos de toalla Nova, servilletas, pañuelos y telas de papel). (torras papepl s.a., 2008)

El reciclado de papel, tiene por norma general producir de nuevo papel, llamado papel reciclado. Para obtenerlo, se consigue bien por papel molido, que es el que se obtiene de trozos y recortes de papel provenientes de manufacturas de papel, de papel pre-consumo o bien de papel post-consumo, que se obtiene principalmente de revistas, periódicos y todo tipo de documentos que se suele tirar.

Desde hace una década, la calidad del papel reciclado es prácticamente idéntica a la del papel virgen de manera que puede tener los mismos usos que el normal.

Todo ello ha hecho que cada vez sean más los proveedores de materiales de papelería y oficina, como Staples, que ya apuestan por vender papel reciclado junto al normal, llegando incluso a otorgarle más protagonismo en sus catálogos. (Urbina, 2006)

Para este proyecto, se tomará en cuenta que el costo del papel recolectado es mínimo, por lo que se analizará el costo de papel en el mercado actual en Morelia Mich.

Por ejemplo, el papel que se llamó archivo blanco tiene un costo puesto en planta de entre \$6.00 y \$7.00. Sin embargo, este precio implica volúmenes altos de mínimo 100 tons. al mes, por lo que solo los recicladores más o menos grandes pueden surtir y obtener ese precio. Estos recicladores manejan precios de menudeo y en su mayoría actualmente lo están comprando a \$1.00 el kilogramo, pero esto es porque el volumen que le venden es bajo. Como puede observarse, en el material reciclado el precio de mayoreo en lugar de ser menor aumenta, esto es debido a que las plantas prefieren pagar más caro el material y asegurar sus inventarios a tener que pasar por el problema de parar la máquina de papel por falta de materia prima.

El reciclado de papel es muy importante para preservar el medio ambiente, puesto que se evita el talado de árboles y la contaminación que se genera con los blanqueadores.

Pero no todo tipo de papel se puede reciclar y es importante saber seleccionarlos. No son papeles reciclables: papel de autocopiado, papel térmico para fax, cartones de bebidas, papel encerado o parafinado, papel higiénico y sanitario. (E.S., 2005)

En el caso de otros materiales, a partir del mes de noviembre pasado hubo un desplome de precios debido a que se cerraron las exportaciones, con lo cual las plantas dejaron de exportar, se inventariaron tanto en producto como en materia prima y dejaron de comprar o compran a precios muy bajos, a tal grado que el cartón está máximo \$1.10 el kg. El archivo de color, la revista, folder y libro están

a \$ 1.00 mientras que el periódico lo máximo a que se puede vender es a \$.60 el kilogramo.

El papel fabricado a partir de productos como el maíz puede ser reciclado. Esta es una forma relativamente nueva de crear papel que se asemeja a la espuma de poli estireno. En lugar de utilizar espuma de poli estireno no reciclable, por lo general, se puede utilizar los envases de papel a base de maíz.

Lo anterior son algunos elementos que se pueden reciclar como lo son también los contenedores de comida china, los cuales también pueden ser reciclados, siempre y cuando se retiren sus compuestos de metal.

Si no se puede reciclar un cierto tipo de papel, tenga en cuenta que tal vez se podrá reutilizar. El papel fotográfico utilizado en las impresoras se puede utilizar para imprimir más de una imagen. Además, las escuelas suelen buscar suministros de papel adicional para proyectos de arte. Es importante que la escuela sepa si el papel utilizará puede ser reciclado, ya que los restos suelen acabar en la basura.

Se puede fomentar un mayor uso de papel que se pueden reciclar al tratar de comprar sólo los elementos reciclados o reciclables.

De igual manera, el papel puede ser reciclado por grandes empresas industriales, y cuando es así, a menudo se minimiza el uso de papel nuevo y se tiene una menos afectación con el medio ambiente.

Hay empresas que responden bien a las peticiones de los consumidores para el uso de papel reciclable. Este ha sido el caso de muchas compañías de alimentos, como Starbucks, que ahora cuentan con tazas de papel reciclable. Dado el gran número de personas que frecuentan este negocio, la elección de la compañía para el uso de papel reciclable ha demostrado ser popular y responsable. (Mendes, 2014)

## DEFINICION DE MATERIA PRIMA A UTILIZAR

Una vez obtenidos los resultados de la recolección de material fibroso y ya que se observó la enorme diferencia entre el archivo blanco y los demás materiales, sería lógico pensar que se utilizará este tipo de fibra. Sin embargo, se debe considerar que se está construyendo una máquina y que de hecho se arrancará por lo que no se tiene ningún antecedente de su funcionamiento ni operación. Por cuestiones de costo es recomendable utilizar primero los materiales que sean más baratos para efecto de pruebas de arranque ya que es muy probable que las primeras producciones no den la calidad necesaria, pero serán de invaluable utilidad a la hora de hacer ajustes y movimientos tanto al equipo de preparación de pastas como a la maquina formadora.

Pero no por el costo la decisión se va a inclinar por el papel periódico, (el más barato), ya que la calidad de esta fibra es la menor y por lo tanto será difícil siquiera producir algo ya que esta fibra es muy corta, en algunos casos degradada y definitivamente al formar la hoja (si es que se logra), sus características no serán para nada las deseables, principalmente por su baja resistencia.

Para esto, se deberá iniciar con una FORMULACION, que como se había determinado, es una mezcla de diferentes materiales con el fin de lograr una calidad aceptable. Se tomará en cuenta el largo de la fibra, el cual será determinado por el grado de refinación n el aparato de la CANADIAN ESTÁNDAR FREENESS TESTER, que se encuentra en el laboratorio de la FITECMA.

Esta formulación deberá llevar al menos un 10% de periódico, 10% de revista, 20% de folder, 20% de archivo de color y 40% de cartón. Con esto se obtendrá una mezcla "rica" a la vez que resistente a las pruebas tanto en la central de pastas como en la maquina formadora.

Conforme avancen las pruebas, se bajarán en forma gradual y notoria los porcentajes de periódico, revista, archivo de color y se aumentará el % de cartón para comenzar a hacer un papel "médium" que se maneja a 110 gr/mt<sup>2</sup>, o un papel "estrassa" o de envoltura que anda alrededor de los 80 gr/mt<sup>2</sup>.

Como se mencionó al principio, esto es para ajustes de todo el equipo contando que estos materiales fibrosos son más baratos y pueden incluso desecharse en un momento dado si llegaron ya a un punto de degradación en el cual ya el papel pierda mucha resistencia.

Después de haber “controlado” la máquina, se puede pensar en hacer el cambio a fabricación de papel blanco comenzando por calidades únicamente aceptables para ciertos usos, por ejemplo, un papel que pueda ser utilizado para secarse las manos en los sanitarios de Ciudad Universitaria, o también un papel de envoltura o algunos artículos, para ir ascendiendo hasta llegar a los papeles de impresión. Es obvio que esto llevará un tiempo razonable, pero se asegura una producción continua y un aprendizaje tanto de los operadores como de los alumnos que es a ellos a quienes más beneficiará el proyecto.

#### **DEFINICIÓN DE LA BASE DE CÁLCULO.**

Uno de los factores principales a determinar en el diseño de la Planta Piloto es su capacidad de producción. Para esto, es necesario calcular algunos datos en cuanto a la estructura de la maquina formadora y determinar algunas de las condiciones de trabajo de la misma, las cuales nos darán por resultado predecir la capacidad que tendrá el equipo. Para determinar la capacidad de una máquina de papel se tienen que tomar en cuenta las siguientes condiciones:

Ancho útil de la maquina formadora

Peso base o gramaje que se va a fabricar

Velocidad de la maquina

Tiempo de trabajo

El modelo matemático quedaría así:

Producción en Kilogramos = (ancho) (gramaje) (velocidad) (tiempo)

Las unidades se manejarían:

Ancho en metros

Gramaje en Kg/m<sup>2</sup>

Velocidad en m/min

Tiempo en minutos

De tal forma que quedaría:

Producción en kilogramos= (m) (Kg/m<sup>2</sup>) (m/min) (min)

Pasando los datos al proyecto:

***Producción en kilogramos = (0.30 m) (0.075 kg/m<sup>2</sup>) (30 m/min) (60 min)***

***Quedan 40.5 Kg/hr.***

Antes de aclarar porque se usan esos parámetros, es necesario hacer mención que el ancho de la hoja y en este caso el tiempo no van a variar. Las variables serían el peso base y la velocidad, las cuales van en función de una serie de factores de los cuales se hará un desglose para inclusive manejar rangos dentro de los cuales se utilizarán estas variables.

Veamos porque se eligen esas condiciones para el proyecto:

Ancho de la hoja: 0.3 m. Útiles.

Aunque la variedad de papeles que se fabrican es muy amplia, dentro de los tipos de papel que más se utilizan, la gran mayoría no excede los 28 cm. de ancho. Por ejemplo, hablando de los papeles que se utilizan para secado de manos en los sanitarios públicos, los mismos despachadores tienen una medida estándar para un ancho de 27 cm, pero pueden manejar medidas menores sin problema. (torras papepl s.a., 2008) Estamos mencionando despachadores marca KIMBERLY, TORK, GUSTAMAR, PELVET, ABASTO, etc. que son las marcas comerciales en estos casos. Pero este ejemplo es solo cuando se decida producir papel para ese fin. En caso de producir papel bond para escritura, tenemos que tanto el tamaño carta, como los tamaños A4, Oficio, Legal, miden 21.5 cm. de ancho y el tabloide mide 28 cm, o sea que en esa máquina se podrán fabricar esos tipos con ese ancho de la hoja.

Sin embargo, nosotros estamos dando 30 cm lo cual se justifica ya que la orilla del papel en la maquina no es ni con mucho lo recto y bien recortado que se necesita, por lo que esos tipos de papel deberán llevarse a una bobinadora donde se le darán las medidas finales del ancho y un enrollado más eficiente. Se ha visto que el mayor ancho que se necesitará es de 28 cm, por lo que aún podemos recortar 1 cm de cada lado para dar la medida y la calidad necesaria a nuestro papel. A este recorte de 1 cm se le conoce como REFILE y es material que se regresa a reproceso por lo que en ninguna forma se desperdicia.

Gramaje o peso base: 50 A 90 g/m<sup>2</sup>

Es comprensible que el papel entre más peso tenga mayor será su calibre o grosor. En este caso veamos la tabla que nos indica los gramajes de papeles, papeles medios y papeles gruesos:

Tabla 5 Grosor del papel clasificado por Manuel Tamayo 2012

Papel fino <sup>2</sup>	52-59 g/m <sup>2</sup> (14-15 lb. Bond)
Papel normal 1	60-74 g/m <sup>2</sup> (16-20 lb. Bond)
Papel normal 2	75-81 g/m <sup>2</sup> (20-34 lb. Bond)
Gruoso medio	82-105 g/m <sup>2</sup> (20-28 lb. Bond)
Papel grueso 1	106-169 g/m <sup>2</sup> (28 lb. Bond-90 lb. Index)
Papel grueso 2	170-220 g/m <sup>2</sup> (65-80 lb. Cover)
Papel grueso 3	221-256 g/m <sup>2</sup> (80 lb. Cover-140 lb. Index)
Papel grueso 4	257-300 g/m <sup>2</sup> (140 lb. Index-110 lb. Cover)

Como vemos, los parámetros que se establecen para la planta piloto corresponden a papel normal 1 y 2 aunque también abarcan lo del papel fino. Definitivamente si es posible fabricar papeles más gruesos con esa máquina, pero se va a trabajar en función a la capacidad del secado que se maneje.

Son muchos factores los que influyen dentro del secado del papel, desde el tipo de fibra, peso base, velocidad de la máquina, temperatura de los cilindros secadores y muchos otros que se analizarán cuando se exponga lo del tren de secado, pero para el inicio de cálculo y en función a la tabla anterior vamos a iniciar con el peso

base del papel normal, aunque es preciso aclarar que ya en funciones la maquina puede producir papeles más gruesos.

Por otro lado, tenemos la formación de la hoja que nos indica que podemos obtener un mejor entrelazamiento de las fibras con ese gramaje y lograr que la hoja se forme completamente y tenga ciertas características de resistencia necesarias para poder lograr el producto terminado.

Velocidad: 20 a 40 m/min.

En la industria, las velocidades de las maquinas van desde 30 hasta más de 1000 m/min lo que nos da una idea de lo amplio de este rango.

Para el caso de la Planta Piloto se decidió comenzar desde las velocidades bajas ya que es una planta nueva que también servirá para proyectos de investigación y sabemos que en un arranque siempre es necesario hacer ajustes hasta lograr primero una calidad aceptable y después podemos elevar la producción gradualmente en función al comportamiento del equipo.

De antemano se puede decir que los factores que más tienen injerencia en la velocidad son la formación y el secado. Primero que se logre una buena formación y después que la temperatura de los secadores sea la necesaria para lograr que el papel salga con un 5% de humedad. Claro que es lógico pensar que un papel más delgado pueda secarse más fácilmente y eso haga que la velocidad pueda aumentarse por lo que también el peso base del papel forma parte importante de los factores a analizar para poder hacer alguna variación en la velocidad.

## **CAPITULO II METODOLOGIA**

### **BALANCE DE MATERIA EN LA PREPARACIÓN DE LA PASTA.**

Para entender este balance es necesario exponer que el material a reciclar, o sea la fibra celulósica es post-consumo, esto es, es material que tuvo un uso y una utilidad, pero a su vez contiene contaminantes que es necesario separar para poder obtener un producto final de calidad aceptable por un lado y por otro no dañar el equipo con estos contaminantes.

Se trabajará teniendo como unidades kilogramos, tanto de materia prima como de contaminantes al igual que el agua en la cual tomaremos como referencia que un kg es igual a un litro.

Los materiales a analizar serán, por lo tanto, fibra celulósica, contaminantes, aditivos químicos, cargas minerales y agua. De igual modo, se tomará como base de cálculo la obtenida en el estudio, o sea 40 kg de papel por hora.

Los cálculos de los balances en todas las áreas llevan seguimiento con lo que se obtendrá un resultado lo más exacto posible. Se refiere a que la salida en uno de los procesos es igual a las entradas en el proceso siguiente y ya con eso nos dará el resultado llegando a la base de cálculo elegida.

Para el presente proyecto se estarán considerando los balances de materia en cada uno de los equipos por los que será procesada la materia prima, de tal forma que al final se hará todo en conjunto para el seguimiento de la línea de producción.

Antes de entrar de lleno al balance de materia, se describen los equipos y su etapa de proceso con el fin de determinar sus variables y su justificación para lo cual se preparó la siguiente tabla:

Tabla 6 Equipo y función de las partes de la planta de elaboración del papel.

<b>Equipo</b>	<b>Variable</b>	<b>Justificación</b>
Hidrapulper	Consistencia	Necesita de adición de agua para llevarlo a una cuenta de 3 a 4 % para lograr una buena hidratación, desfibrado y limpieza.
	Nivel de impurezas	Es importante para esta planta que la fibra no pase de un 10% de impurezas
	Tiempo de pulpeo	Se manejará de 15 a 30 minutos en función al tipo de material fibroso que se esté trabajando.
Depurador	Nivel de impurezas	Elimina todos los objetos de mayor peso específico de la fibra celulósica.
Tanque de mezcla	Agitación	Mantiene la dilución en forma homogénea y propicia la adecuada dispersión de las cargas minerales y los aditivos químicos.
refinador	Grado de refinación	Este equipo da el desarrollo a la fibra para lograr la calidad deseada.
	Consistencia	Este equipo da el desarrollo a la fibra para lograr trabajo del refinador.
Caja de entrada	consistencia	Para una buena formación, la cuenta debe ser de 0.8 a 1 % por lo que se adiciona agua antes de entrar.
Mesa de formación	Consistencia en foils	Aquí se comienza a separar el agua de la fibra hasta llegar a un 3%, pierde también fibra y aditivos.
	Consistencia en cajas de vacío	Después de las cajas de vacío, el papel ya tiene un 12 % de consistencia. Sigue perdiendo agua y fibra.
	Consistencia en formador	A partir de aquí ya no pierde fibra sino solo agua. La cuenta de salida es del 25 %.
Prensa	% de humedad	Va a variar en función a la presión ejercida. Debe salir el papel con un 50% de humedad.
	Presión	Varía en función al material de la prensa, velocidad y absorción de las vestiduras
Secadores	% de humedad	Entra a secadores con 50 % de humedad y sale con solo 5%.
	Temperatura	La zona de contacto varía de 35 a 85° C

Para ampliar la comprensión tanto de la tabla anterior como del diagrama por bloques que veremos a continuación, se describen las funciones de los diferentes equipos.

**HIDRAPULPER.** Es un recipiente cilíndrico o cuadrado, con una hélice en su parte inferior en el que se mezclan los ingredientes básicos para la fabricación de papel, esto es, fibra celulósica virgen o papel reciclado, con lo que se crea una pasta de papel. Por lo tanto, se añade la fibra y se debe deshacer y mezclar con el

agua adecuadamente para conseguir una mezcla estable. Este primer proceso de producción debe realizarse de manera precisa y controlada sobre todo en su relación agua-fibra. En caso de utilizar material reciclado, es común que contenga muchas impurezas más pesadas o más ligeras que la fibra como son los plásticos, es por eso que lo recomendable es llevar la pasta a un 3 % de consistencia para lograr que los plásticos se separen de las fibras y queden dentro del hidrapulper al tiempo de descargarlo, ya que normalmente poseen un filtro en forma de coladera donde quedan todas estas impurezas. El tiempo de pulpeo es variable en función al tipo de fibra ya que, si se recicla papel con resistencia a la humedad, tardará más que si fuera papel periódico o pasta mecánica.



**DEPURADOR CICLONICO.** Este tipo de depuradores eliminan las partículas más pesadas. Consiste en un cono de metal o material plástico y tiene una salida superior para el material aceptado y una boquilla en la parte inferior para los rechazos.

La pasta es alimentada a una presión determinada creando una especie de torbellino y, por efecto de la fuerza centrífuga de rotación de la pasta, las partículas más pesadas, o sea las impurezas, van hacia la pared, resbalando a una boquilla interior y produciéndose lo que se llama “rechazo”. Las partículas más ligeras quedan en la parte central para salir finalmente por la parte superior a una presión siempre menor que la de entrada.



Figura 11 Depuradores ciclónicos.

**TANQUE DE MEZCLA.** Es un recipiente con agitación en el cual solo se mezclan las cargas minerales y los aditivos químicos de forma homogénea con el fin de lograr una pasta con la cual se pueda producir un papel de calidad determinada y en nuestro balance solo debe tener el ingreso de los productos mencionados sin pérdida de materia.



Figura 12 Tanque de mezcla.

### **MESA DE FORMACIÓN.**

Es el elemento más importante. Es el lugar donde la pasta en suspensión se convierte en papel.

Aunque hay varios tipos, la más extendida es la máquina de mesa plana, derivada de la primera máquina inventada por Fourdrinier en tiempos de Napoleón.

Consta de varios elementos, se citan los más importantes por orden de utilización y la utilidad que desempeñan.

#### **Cabeza de máquina**

Se encarga de expulsar la pasta de papel en una fina capa sobre la tela de la máquina de papel.

Básicamente es una caja alargada, en cuyo interior circula la pasta. En su extremo inferior, tiene una abertura en su largo por donde sale la película de pasta. El

ancho de esta abertura se controla con unos labios, que al aumentar su distancia entre sí dejan caer más o menos cantidad. Controlando la salida de pasta de los labios se obtienen distintas propiedades de la hoja formada.

Al salir de los labios, cae directamente en la tela de máquina, ésta en su inicio, se le da un movimiento horizontal para mitigar un sentido de la fibra pronunciado.

Al caer las fibras tienden a colocarse en una posición paralela al movimiento de la tela, si no se elimina en parte, el papel tendrá una serie de características no adecuadas, como menor estabilidad dimensional (al humedecerse el papel, la celulosa se hincha, si todas las fibras van en el mismo sentido, se hincharán más en sentido longitudinal que en el transversal), mayor desgarró (fibras menos unidas).

Un experimento sencillo para descubrir el sentido de la fibra: tomar una hoja de periódico (tienen el sentido muy marcado), desgarrarla (sin tijeras, usar las manos), primero en el sentido de las letras impresas y después en el contrario, puede verse que en un sentido sale una línea casi recta, mientras que en el otro es complicado conseguir.

En otros papeles de gran calidad esta diferencia es casi imperceptible, se han de realizar ensayos más complicados (rigidez, por ejemplo).

#### Tela

Es una malla muy fina donde se coloca la pasta de papel y comienza el desgote y secado.

La primera parte del secado es por gravedad, el agua cae atravesando la tela y las fibras quedan retenidas en la parte superior.

Después, el exceso de agua no desgota por sí sola, por lo que hay que ayudarla con varios elementos.

#### Foils

Unas piezas, generalmente de plástico, que se colocan en la parte inferior de la tela. Tienen un ligero ángulo de descenso que al contacto con la malla generan un cierto vacío.

#### Vacuumfoils

Lo mismo que los foils, pero además absorben el agua mediante bombas de vacío.

## Dandy

Un gran rodillo hueco, cuyo exterior está recubierto de una malla. Se coloca en la parte superior de la tela en contacto directo con el papel. Mediante presión y, en algunos casos bombas de vacío, exprime el agua.

Además, puede tener una serie de dibujos en relieve, que al presionar sobre el papel húmedo crea las marcas al agua. Es posible ver marcas de agua si se coloca, por ejemplo, un billete de banco al trasluz.

Al eliminar el agua en su mayor parte, el papel comienza a tener consistencia y se coloca en la sección de prensas y secadores.

**SISTEMA DE PRENSADO.** La hoja de papel, al salir de la mesa de formación tiene una consistencia del 25 %, al salir de la sección de prensado su consistencia será del 50 %. En este proceso, la hoja es transportada a través de unos rodillos que la presionan hasta extraerle el 50 % del agua con que entra, y a la vez, le dan al papel una serie de características y condiciones que favorecen su calidad.

Las funciones principales de la sección de prensado son :

Extracción de la mayor cantidad de agua posible, uniformemente a lo ancho de toda la hoja de papel.

Altos niveles de eficiencia y maquinabilidad, dando mayor resistencia a la hoja en la sección de prensas.

Ahorro energético en la siguiente sección de secado.

Maximizar la calidad de la hoja suministrando una lisura superficial al papel sin reducir su calibre en exceso y asegurando una igualdad de caras.



Figura 13 Sistema de prensado

BATERIA DE SECADORES. La siguiente etapa es la sección de secado, donde el papel pasa sobre una serie de cilindros calentados con vapor, y se elimina el agua hasta quedar a solo un 5 % de humedad del papel. Solo ahora, después de la sección de secado en la que se ha eliminado casi toda la humedad, se puede usar el término papel en su verdadero sentido. Cuando el papel sale del secador previo, a menudo ya este estucado. Esto significa que se ha aplicado una fina película de un producto, normalmente almidón, para garantizar una mayor resistencia y aptitud para la impresión. Antes de que el papel este completamente listo y enrollado en pope rell, a menudo se calandra, se prensa entre cilindros, donde se aplica presión y la fricción necesaria para lograr la suavidad de la superficie y el espesor final deseados (Casey, 1991).



Figura 14 Bateria de secado

## BALANCE DE ENERGIA

ENERGIA: Es la capacidad de la materia para producir trabajo, pudiendo adoptar distintas formas, todas ellas interconvertibles directa o indirectamente unas en otras. (Himmelblau, 2007)

El balance de energía al igual que el balance de materia es una derivación matemática de la “Ley de la conservación de la energía” (Primera Ley de la Termodinámica), es decir, “La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma”. El balance de energía es un principio físico fundamental al igual que la conservación de la masa, que es aplicado para determinar las cantidades de energía que es intercambiada y acumulada dentro de un sistema. (cita)

El balance de energía es similar al de materia y se expresa:

(Acumulación de energía dentro del sistema) = (Transferencia de energía al sistema)—(Transferencia de energía fuera del sistema)—(Consumo de energía dentro del sistema)

**ACUMULACION= ENTRADA—SALIDA—CONSUMO.**

**SISTEMA** . - Se refiere a cualquier parte del proceso o equipo sobre el cual se establecen los Balances de Materia y energía, se define circundándolo por una frontera, esta frontera no necesariamente tiene que coincidir con las paredes de un recipiente, la frontera debe fijar claramente entre el sistema y su entorno.

Un sistema puede ser cerrado o abierto, con flujo o sin flujo. (cita)

La energía total de un sistema corresponde a la sumatoria de tres tipos de energía:

- 1.- Energía cinética. - energía debido al movimiento traslacional del sistema considerado como un todo, respecto a una referencia o a la rotación del sistema alrededor de un eje.
- 2.- Energía potencial. - energía debida a la posición del sistema en un campo potencial (gravitatorio o electromagnético).

3.- Energía interna. - toda energía que posea un sistema que no sea cinética o potencial, tal como la energía debida al movimiento relativo de las moléculas respecto al centro de masa del sistema o energía debida a la vibración de las moléculas o la energía producto de las interacciones electromagnéticas de las moléculas o interacciones entre los átomos. (cita)

Las dos formas de energía en tránsito son calor y trabajo.

Calor. - energía que fluye como resultado de una diferencia de temperatura entre el sistema y sus alrededores. La dirección de este flujo es siempre de la mayor temperatura a la menor temperatura. Por convección, el calor es positivo cuando la transferencia es desde los alrededores al sistema.

Trabajo. - energía que fluye como consecuencia de cualquier fuerza impulsora diferente a un gradiente de temperatura, tal como una fuerza, una diferencia de voltaje, etc. Por ejemplo, si un gas en un cilindro en su expansión mueve un pistón venciendo una fuerza que restringe el movimiento, este gas efectúa un trabajo sobre el pistón.

La unidad más común para la energía es el joule y su conversión a otras unidades de energía es:

$$1 \text{ Joule} = 10^7 \text{ ergios} = 0.23901 \text{ cal} = 0.7376 \text{ ft-lb}_f = 9.486 \cdot 10^{-4} \text{ BTU} = 2.778 \cdot 10^{-7} \text{ kW.h}$$

Cálculo de energía cinética:

La energía cinética de un objeto de masa  $m$  que se mueve a una velocidad  $v$  relativa a la superficie de la tierra es:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

Si expresamos la masa en kg y la velocidad en m/s, la energía estará en Joules, J.

Cálculo de energía potencial:

La energía potencial gravitacional de un objeto de masa  $m$  es:

$$E_p = mgh$$

Donde  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $h$  la altura del objeto por encima de un plano de referencia en el cual se definió arbitrariamente.

De esa forma, la Primera Ley de la Termodinámica queda:

$$\Delta U + \Delta E_c + \Delta E_p = Q + W$$

Donde  $U$  es la energía interna,  $E_c$  es la energía cinética,  $E_p$  es la energía potencial,  $Q$  el calor transferido al sistema y  $W$  el trabajo realizado por los alrededores sobre el sistema.

Para ver el tipo de balance que hay que realizar en cada equipo de la planta, se sabe que un sistema será cerrado o abierto según la masa pueda o no atravesar los límites del mismo durante el periodo de tiempo en que se plantea el balance de energía. Por definición un proceso Batch o por lotes como el del hidrapulper es cerrado mientras que un proceso continuo como el depurador de alta consistencia o el refinador son abiertos.

## BALANCE HIDRAULICO

En la fabricación de papel y cartón, el principal empleo del agua lo constituye su uso como medio de dispersión y transporte de las materias primas fibrosas y de los aditivos, a través de las etapas del proceso de producción, que van desde el pulpeo hasta la formación (Bresh, 1972). El agua se utiliza también como fluido de intercambio de calor, para el sello de los sistemas de vacío, para la producción de vapor, como agente lubricante, etc. En la siguiente tabla se resumen los principales usos del agua en esta industria papelera:

Tabla 7 Aplicaciones del agua en la fabricación de papel (E.S., 2005)

USOS	FUNCION	EJEMPLOS
Agua de proceso, dilución, ajuste de consistencia, preparación de aditivos.	Transporte.	Transporte de aditivos, fibras, cargas, etc.
Agua para rociadores y toberas	Mojado	Mojado de tela de formación
Lubricante	Rodillo de cabeza de retorno de la tela, tensor	
Conductor, corte, desbarbe	Recorte de los laterales de la banda de papel. Limpieza de la tela de formación, del fieltro	
	Dilución	Caja de alimentación
Enfriamiento	Rodillo guía, parte superior, partes mecánicas	Sellos de bombas centrífugas
Antiespumante	Células de flotación, cajas de alimentación	Plantas de destintado
Agua de refrigeramiento de maquinas	Enfriamiento	Condensadores
Agua de calderas	Producción de vapor	Cilindros secadores
Agua de sellos	Cajas de vacío, bombas, etc.	
Agua de limpieza	Transporte	Limpieza de la máquina
Tuberías		

En el presente proyecto se determinará el agua utilizada para el proceso tanto de dispersión y dilución de la fibra, los aditivos químicos y la limpieza en maquina formadora, tomando en cuenta que el agua de sellos de la bomba de vacío utilizará el agua clara, al igual que el agua de elutriación del depurador de alta consistencia.

### **ADITIVOS QUIMICOS SE VAN A UTILIZAR**

Durante la fabricación de papel es esencial conferirle propiedades y características que le sean adecuadas y de gran utilidad para su destino final: papel de escritura, papel para revista, servilletas, etc. Normalmente en la fabricación de papel, no es suficiente con utilizar diferentes tipos o mezclas de fibras vegetales para conseguir distintos productos de las condiciones que se necesitan. Por eso, según sea el tipo de papel que se pretenda obtener, se deben de añadir a las fibras una serie de productos no fibrosos para modificar sus características y con ello, hacerlos propios para su utilización.

Se muestran a continuación una lista de productos minerales o químicos de los más utilizados en la industria del papel:

**CARGAS.** - Las cargas se utilizan como relleno en los espacios entre fibras, con el fin de mejorar algunas propiedades del papel, como la opacidad y la blancura; además aumentar la calidad de la impresión al mejorar la superficie. Sin embargo, su utilización también tiene desventajas, ya que produce una disminución de las resistencias mecánicas del papel, al disminuir las uniones entre fibras, lo que hace que haya un límite en las formulaciones. Las cargas más utilizadas son: Caolín, Carbonato de calcio, Talco, Sulfato de calcio.

**PIGMENTOS.** - Se utilizan para mejorar determinadas propiedades del papel. Se utilizan especialmente en la superficie del papel, mediante una operación llamada estucado. Los pigmentos más utilizados son: Caolín, Carbonato de calcio y Dióxido de Titanio.

COLORANTES. - Se utilizan para conseguir un papel con un color determinado.

AGENTES DE BLANQUEO OPTICO. -Son unos compuestos que contienen la propiedad de emitir una luminosidad azulada cuando están en presencia de la luz ultravioleta, siendo ópticamente más blancos.

RESINAS PARA DAR RESISTENCIA EN HUMEDO. - Estas resinas desarrollan esa propiedad gracias a la formación de enlaces químicos entre resina y fibra, ya que la resina mantiene recubierta la fibra.

LIGANTES. - Son productos que se añaden en la operación de estucado, con el fin de que los pigmentos queden unidos entre sí y, a su vez, queden fijados a la superficie del papel. A dichos ligantes los podemos dividir en dos grandes grupos: Naturales (como los almidones, caseínas, proteínas, etc.) y Sintéticos (como los copolímeros de estireno, butadieno, esterres acrílicos, acetato de vinilo, acrilonitrilo, etc).

PRODUCTOS DE ENCOLADO SUPERFICIAL. Se utilizan para otorgar resistencia a la penetración de los líquidos en el papel.

#### ADITIVOS

Coligantes. - Mejoran las propiedades reológicas aumentando la retención de agua de la pintura para encapar.

Antiespumantes. -Su función es eliminar o impedir a formación de la espuma que se suele producir en diferentes puntos de la máquina de papel, ya que dicha espuma disminuye la calidad de papel y ocasiona rupturas y defectos.

Dispersantes. - Mantienen los pigmentos en suspensión.

Microbicidas. -Se utilizan para evitar la formación de colonias de bacterias u otros microorganismos que se adhieren a las paredes de tintas o circuitos, fieltros y demás elementos de la máquina.

Agentes de retención. - Los químicos retentivos se usan para mejorar la fijación de diferentes aditivos, finos, (trozos de fibra), y cargas, evitando que estos se vayan por el agua clara de desgote en la mesa de fabricación (quiminet, 2015).

DESGOTE. - Capacidad de eliminación de agua en la sección de formación y prensas.

Solo en el Tissue el desgote es rápido. (Espiridion, 2010)

#### UN DESGOTE EXCESIVO PROVOCA

Porosidad alta

Pinholes

Formación pobre

Reduce la eficiencia de las cajas de succión

Reduce la resistencia.

## SELECCIÓN Y/O DISEÑO DE LA CAJA DE ENTRADA

La función básica de una caja es verter un flujo de pasta de sección circular para fabricar el papel con una consistencia determinada en un flujo rectangular con una velocidad uniforme y dirección hacia adelante y a través de la maquina mientras se obtiene la dispersión de las fibras.

Su diseño incorpora elementos para asegurar la uniforme distribución del flujo, evitar la floculación y la presencia de burbujas de aire.

El labio de salida es ajustable, permitiendo variar el caudal y el ángulo de incidencia.

Todas sus superficies anteriores están en pulido espejo para evitar cualquier adherencia.

La velocidad de salida de la pasta de la caja de entrada al formador se obtiene con la altura de la pasta dentro de la caja. (Espiridion, 2010)

Tipos de caja de entrada:

ABIERTAS. - la velocidad de salida la determina la altura del nivel del líquido.

DE COLCHON DE AIRE. - La velocidad de salida se regula con la presión del colchón de aire.

HIDRAULICA. - Están totalmente llenas de líquido, son más pequeñas y más económicas. Necesitan un dispositivo exterior para atenuar las pulsaciones.

ELEMENTOS DE LA CAJA. -

Distribuidor\_ - Su misión es transformar un flujo de forma circular en otro de forma rectangular que cubra todo lo ancho de la máquina.

Tipos:

Flujo divergente o en "T"s

Entrada lateral. - este es prácticamente el único empleado en la actualidad.

Cuerpo Central. - Su función es homogeneizar longitudinal y transversalmente el flujo de pasta manteniendo las fibras en suspensión y evitando la formación de floculos. Para ello hay diferentes soluciones como el generador de turbulencia (banco d tubos d turbulencia) o los rodillos rectificadores perforados.

Labios de salida. - Los labios aceleran el flujo a la velocidad de la tela y controlan las condiciones de apertura y ángulo de impacto de la tela.

Agitador. - Homogeniza el flujo y evita la formación de agregados de fibras.

La función básica de la caja de entrada es enviar la suspensión de fibras y cargas uniformemente a través de una ancha tela en movimiento de tal forma que sea posible controlar la dispersión de fibras, la turbulencia, la velocidad de la pasta, la geometría del chorro y la alineación de las fibras. (Espiridion, 2010)

## RELACION ENTRE VELOCIDAD Y EL CHORRO DE LA TELA

Para que haya una adecuada operación, la velocidad del chorro debe adecuarse a la velocidad del formador.

La velocidad de salida del chorro de la caja distribuidora se obtiene con la altura de la pasta de la caja distribuidora.

La velocidad del flujo proveniente de la caja distribuidora, está directamente relacionada con la altura de carga detrás de la regla y esta a su vez por la altura de la pasta.

La presión en la caja determina la velocidad de salida del chorro del labio, de acuerdo con la ecuación de Bernouilli. (Espiridion 2010).

$$V = \sqrt{2gh}$$

(Madera, 2018)Donde:

V= velocidad del chorro m/s

H= altura del liquido

G= aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

### Impacto del chorro sobre la tela. -

Veremos ahora otros aspectos del flujo de la pasta a través de la caja de distribución. Los remolinos en el flujo de la caja que se aproximan a la regla son un problema muy serio. La turbulencia a pequeña escala lógicamente es necesaria para mantener la dispersión de fibras de la pasta cuando esta es entregada a la tela. Pero los remolinos en gran escala resultaran en turbulencia del chorro que sale de la regla. Estos defectos en el flujo de la regla son acentuados en la tela y aparecen como imperfecciones en la formación de la hoja. Los lomos errantes son generalmente causados por efectos de las olas hacia atrás de la misma caja. Los lomos fijos posiblemente resulten en la regla misma cuando la pasta fluye alrededor de una curva o recodo acusa una estabilidad que causa remolinos.

La rápida aceleración de la pasta cuando pasa a través de la regla ayuda a romper las redes o floculos de la pasta, las cuales se ha formado en regiones relativamente calmadas de la misma caja. Muchas reglas están equipadas con un punto agudo para introducir turbulencia a fina escala en el punto de descarga lo cual ayuda a romper la floculación. Esto es importante para la formación del papel con una distribución uniforme de fibras.

La aceleración también contribuye al alineamiento de fibras en la hoja en sentido de que la pasta acelerada tiende a rodar las fibras en la dirección de la máquina.

Los labios dela regla pueden ajustarse de manera que la trayectoria o ángulo de ataque del chorro de tela pueda cambiarse. Nos referimos al caso donde el chorro es dirigido contra la tela como una formación por presión.

Los desarrollos más recientes de caja de entrada son los llamados "headbox" tipo de boquilla en que la pasta llena completamente su interior. En el caso de esta caja de tipo de boquilla o hidráulica la pasta fluye a través de una entrada y luego a través de un banco de tubos los cuales van de una sección transversal pequeña acelerando así la pasta y rompiendo las redes de floculos que se hayan formado en ella antes de entrar a la caja.

El banco de tubos es seguido por una cámara de apaciguamiento la cual permite que se empareje las diferencias de velocidad y desuniformidad. Luego la pasta fluye a través de una platina perforada dentro de canales delgados entre elementos flexibles los cuales dirigen la pasta a la regla. (Espiridion, 2010)

#### Control del peso base. -

Para el control del peso base en la entrada a la maquina es necesario tomar en cuenta los siguientes factores:

Variación de la consistencia

Variación del flujo

Tamaño de la fibra constante (Freeness sin variaciones)

Variación de consistencia. - Recordando que la consistencia es la cantidad, en unidad de peso, de fibra seca que se encuentra en un volumen determinado de pulpa o suspensión fibrosa y está dado en porcentaje, es obvio que al variar ésta el peso base de la hoja de papel variará ya que, si aumenta la consistencia, aumentará el peso ya que será más fibra por metro cuadrado. Por el contrario, si baja, será menos fibra por lo que el papel saldrá más delgado. Para controlar este factor existen los sistemas de control de consistencia, los cuales van detectando la consistencia de la pasta del proceso mediante un sensor que es el que está en contacto con el proceso y es sensible a la variación, por lo cual produce una salida que es función de ésta. La parte que se encarga de convertir esta señal en otra variable de características deseadas es el traductor y preserva la información entregada por el sensor.

En pocas palabras, si el regulador de consistencia detecta alguna variación, ésta se transmite a una válvula de una tubería de agua de dilución que se encuentra en la succión de la bomba de pasta y en función de lo indicado abre o cierra según los informes recibidos.

Variación de flujo. - Este se da cuando la bomba tiene algún detalle que impida su trabajo en forma normal, tales como algún balero en mal estado, variación en el

impulsor o alguna unión con la tubería no esté bien sellada ocasionando succión de aire. En general no es muy común. No así las tapazones de los orificios de la caja de entrada, lo que ocasiona que la hoja no salga con un perfil constante y eso afecta no solo el peso, sino la calidad del producto.

Variación en el tamaño de la fibra.- Como hemos visto anteriormente, el tamaño y las condiciones de la fibra se dan en la refinación, si nosotros tenemos una refinación constante, por ese motivo el peso base no variará, pero si la fibra es más grande, el área que se cubrirá por metro cuadrado con esa fibra será de menor peso, caso contrario que si la fibra es más corta, en la misma unidad de área la cantidad de fibra seca en peso será mayor, por lo cual es de suma importancia mantener un grado de refinación constante aparte de que eso obviamente redundaría en alteración de las características del producto (Espirdion, 2010).

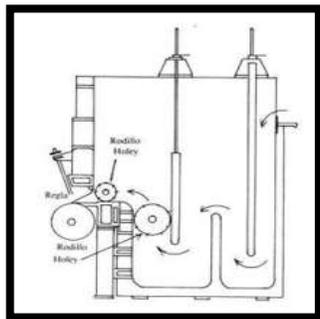


Figura 15 Caja abierta

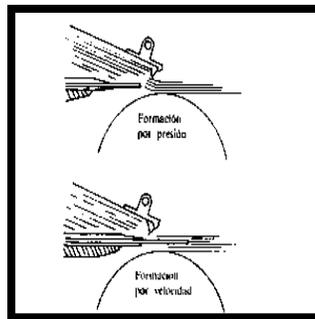


Figura 16 Chorro de entrada

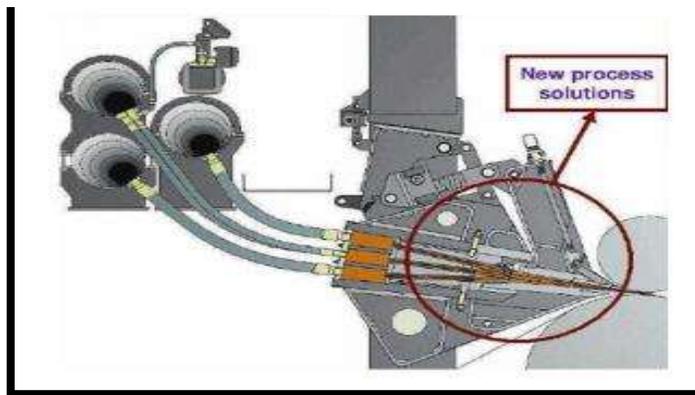


Figura 17 Caja cerrada de 3 estratos



Figura 18 Caja de entrada (torras papel S.A., 2008)

## **SELECCION Y/O DISEÑO DE LA MESA DE FORMACION**

Para poder determinar el tipo de formador que se va a utilizar, se debe saber que cualquier sistema de formación debe tender a satisfacer unos objetivos de calidad y economía.

Entre los objetivos de calidad cabe destacar:

Distribución uniforme de las fibras en el plano de la hoja y su espesor.

Orientación controlada de las fibras.

Superficie uniforme del papel.

Entre los objetivos económicos se tendrá:

Eliminación de la mayor cantidad de agua.

Superficie ocupada por el formador limitada.

Control preciso de las condiciones de operación. (torras papepl s.a., 2008)

Para el presente proyecto se optó por la máquina de mesa plana o mesa Fourdrinier principalmente por la versatilidad de este tipo de formadora en cuanto a su variación de velocidad, ya que es posible trabajarla a velocidades muy bajas sin que por esto haya mayores contratiempos.

Por otro lado, es el tipo de formador que mejor se adapta a las características de aprendizaje por la facilidad de formación y pocos detalles en cuanto a presiones de flujo a la salida de la caja de entrada, consistencias, facilidad en el desgote o drenado, facilidad de recuperación del agua drenada, etc. Si se revisa el costo, se puede comprobar que incluso es la opción más viable para construirla. Se verá a continuación las partes principales que conforman esta mesa de formación:

TELA. - Es una cinta sin fin de malla de materiales sintéticos (antes era metálica) sobre la que se forma la hoja.

En la mesa plana, está dispuesta horizontalmente entre dos rodillos, contando con una serie de elementos para conseguir una buena formación de la hoja,

mantenerla tensa y procurar la mejor eliminación del agua, o sea, el desgote o drenado.

Los requisitos de la tela son:

Estabilidad

Alargamiento mínimo

Resistencia a la abrasión

Resistencia a la contaminación

Resistencia a los ataques químicos

Bajo volumen Vacío—para menor arrastre de agua

Buen desgote

Buena retención

Ausencia de marcas y Lisura

Buena duración (REVILLA, 2008).

MARMOL. - Es una plataforma que se coloca justamente detrás del rodillo de pecho para evitar un excesivo desgote en los primeros momentos.

El posicionamiento es delicado, puesto que si está muy alto habrá mayor rozamiento con la tela y desgaste de la misma, y si no guarda un buen paralelismo puede actuar como un “foil” eliminando gran cantidad de agua y perturbando la formación. Algunos tipos de mármol están formados por listones perpendiculares al sentido marcha, y otros (“forming box”) son del tipo caja húmeda, pudiéndose hacer un pequeño desgote.

FOILS. -Los foils de desgotaje son, de hecho, unos listones de secciones rectangular, en general de polímero de alto peso molecular; algunas veces, al menos para las máquinas rápidas, llevan un recubrimiento de cerámica.

El borde delantero que tiene un ángulo agudo, tiene como misión atraer el agua en suspensión que está debajo de la tela a fin de eliminarla. Detrás del listón, el talón forma un ángulo  $\alpha$  con la tela, que puede variar (según la velocidad de la máquina, la cantidad de agua que hay que eliminar, el tipo de papel, etc.), entre 0 y 4°. Este ángulo realiza una aspiración debida al vacío que se produce debajo de la tela con su movimiento. El agua de la hoja se desplaza desde arriba debajo de la tela, y se elimina al encontrarse con el borde delantero del “foil” siguiente.

Ventajas de los foils:

Mayor retención

Mejor distribución de finos

Mejor doble cara

Mayor opacidad

**RODILLOS DESGOTADORES.** - Las telas de máquinas antiguas eran soportadas por rodillos desgotadores, que cumplían la única misión de mantener plana la tela. Al incrementarse la velocidad de la tela se comprobó que en los rodillos también aparecía un considerable efecto de succión.

Los rodillos desgotadores son unos cilindros metálicos huecos, a veces recubiertos, que giran arrastrados por la tela y sirven para mantener a ésta en posición, a la vez que crean una depresión debajo de la tela. La depresión es generada por la formación de una cuña de agua entre la tela y el rodillo, en la parte posterior de éste, por lo que, de acuerdo con la teoría de la filtración, se tendrá entre la superficie libre de la suspensión fibrosa (a presión atmosférica) y la superficie inferior de la tela una presión motriz de filtración que originará el desgote de la hoja en formación.

**CAJAS DE VACIO.** - Situadas debajo de la tela, producen una succión localizada, para ayudar a la eliminación del agua.

Suelen instalarse dos grupos de cajas.

La intensidad del vacío se va incrementando a medida que se van alejando de la cabeza de la máquina. Estos elementos realizan el desgote mediante una ligera depresión obtenida por columna barométrica y conexión eventual a una fuente de vacío, por lo que las cajas aspirantes húmedas son unos órganos de formación en los que, contrariamente a los rodillos desgotadores y “foils”, el desgote es independiente de la velocidad de la máquina; diferenciándose de las cajas aspirantes clásicas, en que no son órganos de escurrido, pues durante su funcionamiento aún existe continuidad de la fase líquida en el manto fibroso (están ubicadas antes de la línea seca). Debido a continuidad de la fase líquida, las entradas de aire son débiles, por lo que son suficientes órganos de bajo caudal para eliminarlo.

**RODILLO ASPIRANTE.** -El RODILLO aspirante es un cilindro hueco, de superficie perforada, en cuyo interior se encuentran alojadas una o dos cajas aspirantes y que colocado al final de la mesa de fabricación cumple un doble cometido: la eliminación del agua residual y la conducción de la tela. Ambos efectos son debidos a la aspiración que ejercen sobre la tela, a través de los agujeros de la camisa, las cajas aspirantes interiores, lográndose evitar deslizamientos entre la tela y el cilindro, a la vez que se obtiene un notable aumento en la sequedad de la hoja, que pasa de un 10 ÷ 18 % (salida de cajas aspirantes) al 18 ÷ 25 % (2)

Al pasar los agujeros de la camisa desde una zona sometida a depresión a la presión atmosférica, existe una rápida entrada de aire a ellos, lo que se traduce en un silbido característico. Para paliarlo se instalan, a la salida de las cajas, unos silenciadores que permiten una entrada gradual de aire en los agujeros; con el mismo fin la distribución de los agujeros se hace de manera tal que el número de ellos que pasa por el punto crítico sea uniforme en el tiempo. El mecanismo de extracción de agua es similar al de las cajas aspirantes, aplicándose un vacío que puede llegar desde los 6,5 a los 8,5 Mca. (Revilla,2008).

## SISTEMA DE PRENSADO

### PROCESO DE PRENSADO DE PAPEL

Proceso de prensado. - Después de la formación del papel, que es donde se adquieren las principales características de calidad, el proceso siguiente es en gran parte el desgote y secado de la hoja. A nuestro punto de vista, en todas las fábricas de papel el triunfo o el fracaso está en la capacidad de secar el papel en la mejor y más rápida forma posible. El prensado es una fase del secado donde solo se puede aumentar mediante presión mecánica ejercida en dirección perpendicular a la superficie de la hoja. En la sección de prensa la tira de papel pasa entre varios rodillos de presiones determinadas. El agua que así se elimina del papel es absorbida mediante fieltros de los “nips” de prensado, para después ser evacuada. (zimmermann, 2009)

La operación de prensado puede ser considerada como una extensión del proceso de eliminación de agua comenzada en el formador y, de hecho, la búsqueda de una mayor sequedad a la entrada a secadores es uno de los principales objetivos de las plantas.

La eliminación del agua de la hoja húmeda (material poroso y compresible) durante el prensado se realiza al entrar ésta, conjuntamente con un fieltro (también material poroso, compresible y húmedo), entre las superficies indeformables y convergentes de la prensa (zona de prensado—nip), lo que hace que se origine una saturación del material poroso y la correspondiente aparición de un gradiente de presión hidráulica. Para la realización práctica de la compresión se ejerce fuerza externa, fácilmente medible, y a partir de ésta elaboramos una serie de conceptos. El primero, la carga lineal ( $c_1$ ) se obtiene dividiendo dicha fuerza por la longitud de la banda en sentido transversal. Más difícil es la obtención de la presión en cada punto de la zona de prensado, que en el caso de prensas cilíndricas puede asimilarse, de manera teórica simplificada, a una ley senoidal o parabólica, por lo que la presión queda:

$$P_{\max} = \pi \cdot P_{\text{med}} / 2 \text{ (ley senoidal)}$$

$$P_{\max} = 3 \cdot P_{\text{med}} / 2 \text{ (ley parabólica)}$$

Siendo que la presión media igual a la carga lineal dividida por la anchura de la zona de prensado ( $2b$ ) :

$P_{med} = c/2b$  (Freitas, 2000).

Importancia del proceso de prensado. –

Como se ha visto, la función principal del prensado consiste en extraer el agua de la hoja de papel pero también favorece en otras características como:

Lisura

Rigidez

Opacidad

Calibre o espesor de la hoja.

Por lo tanto, es básico este proceso en cualquier fabricación de papel. (Davenport, 1992)

Paso de la hoja del formador a prensas. –

La hoja de papel, al salir de la mesa de formación. Y entrar a la sección de prensas, tiene una consistencia aproximada del 20%, es decir, contiene aproximadamente un 80% de agua. Al final de la operación quedará, aproximadamente, con un 60% de agua. En este proceso, la hoja es transportada a través de unos rodillos que la presionan, las cuales logran extraer el 20 % de agua y a la vez, le dan al papel unas condiciones superficiales y de resistencia favorables para su posterior utilización.

Rodillos para prensas. - Tipos de prensas. -

Cilindro de presión. - El cilindro de presión está constituido por un material duro, como el granito, o de una camisa de acero revestida con un componente duro de elastómeros tales como Stonite, de 0 a 5 P&J, 12, 15 mm y una carga lineal máxima 80 kg/cm para pastas con fibras largas y poco contenido de cargas. La stonite es menos lisa que el granito y puede producir dificultades en el despegue de la hoja;

- Microrok de 0 a 3 P&J y carga lineal máxima 120 kg/cm, para pastas de fibras cortas con cargas y papeles finos, salvo papel de fumar y condensador. El microrok da menos repelado que la stonite;
- Peeler de 20 a 60 P&J y carga lineal de 50 kg/cm, para pastas de fibras largas poco cargadas (papel de fumar y soporte de carbón);

- Black Velvet: de 30 a 50 P&J mismo empleo que el tipo Peeler, pero dando menos repelado sobre papeles “kraft”;

- StoRoc de 0 a 5 P&J, empleado para pasta mecánica e papelote. La limpieza de los cilindros de presión se realiza mediante rasquetas oscilantes. Cuando el recubrimiento es duro las rasquetas son de acero inoxidable. El ángulo de la rasqueta con la tangente en el punto de contacto es de 25° y la carga lineal de aplicación de 80 a 100 g/cm (no debe exceder de 360 g/cm). Para revestimientos más blandos se utilizan rasquetas de materiales estratificados. El ángulo de ataque debe ser inferior a 20° y la carga lineal del orden de 80 g/cm. (Davenport, 1992)

Prensas aspirantes, - El cilindro portador es análogo a un aspirante y equipado con una caja aspirante en la zona de prensado. Las perforaciones de la camisa del cilindro portador sirven como alveolos para permitir la evacuación del agua y para reducir la distancia de recorrido por el agua en una relación de 1/3 a ¼. El vacío tiene como misión esencial:

- Eliminar el aire entre la hoja y el fieltro;
- Mantener el agua en estado de neblina en los alveolos;
- Evitar el remojado del fieltro mientras esté en la zona de presión;
- Compensar parcialmente la presión hidráulica aparecida en el fieltro.

La potencia tomada por la bomba de vacío es relativamente importante, puesto que los alveolos de la prensa deben ser vaciados de aire permanentemente. En el caso del dispositivo “air bleed” esta potencia es acrecentada por los caudales de aire que atraviesan el fieltro antes y después de la zona de presión. La camisa del cilindro aspirante es metálica, revestida de caucho y perforada por agujeros dispuestos según una espiral de paso pequeño. El diámetro de las perforaciones varía entre 3 a 5 mm y la fracción de vacío de 24 a 29 % en la primera prensa y 11 a 22 % en las otras. La distancia máxima entre cualquier punto de la superficie y la periferia de una perforación es del orden de 4 mm. Las camisas metálicas son de bronce centrifugado cuando la carga lineal no sobrepasa los 50 kg/cm y si la superficie abierta es inferior al 20 %. (zimmermann, 2009)

Cuando las cargas lineales son más elevadas o la superficie abierta es superior al 20 %, la camisa es de acero inoxidable. El revestimiento de caucho tiene un espesor de unos 2,5 cm y su dureza varía de 30 a 35 P&J. Puede soportar las cargas lineales hasta 80 kg/cm. Las desviaciones de dureza no deben exceder de

2,5 P&J ( $\approx$  1 Shore). El cajón aspirante, análogo al de un cilindro aspirante, es de 12 a 25 cm y los vacíos aplicados están comprendidos entre 380 y 600 mm de Hg.

Los cilindros de las prensas aspirantes, como los cilindros aspirantes de la mesa plana son, a menudo, generadores de ruidos a elevadas frecuencias. Desde hace algún tiempo existe gran preocupación por este problema dentro del marco de mejora del medio ambiente. Este ruido puede ser reducido adoptando una disposición de las perforaciones tal que las vibraciones del aire al penetrar en las perforaciones se destruyan en la dirección perpendicular al eje de la máquina, en la cual se encuentra el personal. La segunda medida que puede ser tomada consiste en emplear juntas entre el cajón de vacío y la camisa limitando la velocidad de la penetración del aire en las perforaciones, mientras que ello sea posible de conjugar con las funciones del cilindro. (Freitas, 2000)

Prensado con doble fieltro. - En el caso de hojas controladas por el flujo es lógico inclinarse por esta técnica que aumenta la superficie receptora y acorta la distancia que debe recorrer el agua, además de permitir el incremento de la carga lineal sin riesgo de aplastamiento. La carga lineal es elevada (puede alcanzar los 250 kN/m) empleándose recubrimientos blandos (dureza total de unos 18 P&J), lo que se manifiesta en una ampliación de la zona de prensado. Se han reportado ganancias del 2 ÷ 4 % e incluso superiores en reformas en las que se incorporan dobles fieltros.

Prensas de agujeros ciegos. - ("BlindDrilledPress") En este tipo de prensa el cilindro portador está recubierto de un revestimiento de 25 mm de caucho, perforado con agujeros ciegos de desigual profundidad. Los valores siguientes pueden ser considerados como característicos:

- dureza del revestimiento 18 P&J (de 0 a 30 P&J);
- superficie abierta, 20 %;
- diámetro de los agujeros, 2,5 mm;
- profundidad de los agujeros, 9,5 a 12,5 mm;
- distancia media de un punto de la superficie a las perforaciones, 0,8 mm.

Este tipo de prensa ha sido utilizada hace mucho tiempo como prensa caliente o como prensa compresora sobre cilindro friccionador, pero no ha sido hasta hace algunos años comparada a las prensas ranuradas. Este tipo de prensa no necesita cilindro portador particularmente duro, lo que permite guardar una zona de presión relativamente ancha, interesante para los papeles de gramaje alto (papel para ondular, por ejemplo). La capacidad de los alveolos llega a ser cinco veces mayor que las ranuras de una prensa ranurada clásica, lo que permite rectificar varias

veces la prensa antes de rehacer el revestimiento. El agua se extrae de las perforaciones con una simple rasqueta cuando la velocidad es inferior a 300 m/min. La fuerza centrífuga realiza la extracción de los agujeros.

Por debajo de los 200 m/min conviene facilitar la extracción por un chorro de aire a gran velocidad, a razón de 5 m<sup>3</sup> /min y por metro de anchura bajo una presión de un metro de columna de agua. Dichos rodillos han sido utilizados también con éxito en máquinas de papel prensa con toma automática delante de un cilindro aspirante que permite extraer así el agua a través del fieltro tomador, (70 l/min periódico a 600 m/min carga lineal).

Prensa ranurada. - En este tipo de prensa los alveolos están constituidos por ranuras hechas en el cilindro portador. La patente inicial (Venta Nip Beloit) menciona las dimensiones siguientes:

- anchura, de 0,01 a 0,03 pulgadas, o sea, 0,25 a 0,75 mm;
- profundidad, 10 veces la anchura; • distancia entre las ranuras, de 3 a 20 veces la anchura; Las características más corrientes son:
- anchura de las ranuras, 0,5 mm;
- Profundidad de las ranuras, 2,5 mm;
- número de ranuras por pulgada, 8.

(talavera, 1992) Los volúmenes de recepción así definidos corresponden a capacidad de extracción del orden de 400 g/m<sup>2</sup>. Prácticamente, teniendo en cuenta la colmatación de las ranuras y el agua no eliminada se puede considerar una capacidad de extracción del orden de 200 g/m<sup>2</sup>. Las ranuras en los revestimientos de caucho no pueden alcanzar dimensiones superiores sin que el revestimiento no esté sometido a esfuerzos demasiado importantes.

El aumento de la anchura de las ranuras conduce, por otra parte, a un aumento de la longitud de las superficies llenas (ranuras de 1 mm sobre Aqua Mate 3 a 7 P&J anchura de las superficies llenas, 4 mm) lo que hace aparecer, muy a menudo, un marcado comparable en su principio al "Shadow Marking".

Estos revestimientos de caucho resultan frágiles, aunque hayan sido realizados progresos importantes. Cada ratificación reduce el volumen de recepción del agua y prácticamente después de dos rectificaciones las ranuras deben ser rehechas. La deformación de las ranuras en la zona de presión conduce a menudo a un desgaste rápido de los fieltros. El bombeo de los cilindros debe ser, también,

cuidadosamente determinado para evitar una deformación de las ranuras. Para paliar estos inconvenientes de las prensas ranuradas, revestidas de caucho se han desarrollado recientemente prensas de contactos duros.

El rodillo de presión está constituido, por ejemplo, por un rodillo de granito y el rodillo motor, de bombeo variable, está revestido en acero inoxidable. Al no ser deformables las ranuras, se puede aumentar el volumen de recepción. Un rodillo recubierto de caucho en el cual las ranuras sean de 0,5 mm de ancho y estén separadas entre sí, 2,7 mm, tendrá una superficie abierta del 18 %, mientras que un rodillo duro con ranuras de 1 mm de ancho y distanciadas 2 mm tienen una superficie abierta del 30 %. La sequedad de la hoja y el perfil de sequedad son netamente mejoradas, las rectificaciones y el recauchutado no son necesarios, y las ranuras se mantienen más fácilmente limpias. (Freitas, 2000)

¿Qué ocurre en el nip de una prensa?

Para explicar este punto, dividiremos el proceso de prensado en tres fases:

Fase 1 La hoja y el fieltro entran en la zona de presión donde la presión crece desde el comienzo del “nip” hasta su posición media. Al no estar las estructuras porosas húmedas saturadas, la presión total está equilibrada únicamente por la reacción de las matrices sólidas. El aire es eliminado progresivamente de la hoja y del fieltro. La transferencia del agua entre la hoja y el fieltro no puede ser producto más que de un arrastre por el aire y resulta prácticamente nula. Siendo la hoja más compresible que el fieltro y más húmeda, alcanzará rápidamente la saturación

Fase 2. Al estar la hoja, ahora, saturada, aparece una presión hidráulica que provoca un flujo del agua de la hoja hacia el fieltro. La presión en la fase líquida es máxima sobre la superficie del cilindro de presión, mientras que la presión soportada por la matriz fibrosa sólida es máxima en la interface hoja-fieltro. La permeabilidad de la estructura porosa está reducida a la interface hoja-fieltro, lo que puede ser un factor importante de limitación del prensado con pastas refinadas u hojas gruesas. Cuando el aporte de agua de la hoja hacia el fieltro es suficiente, el fieltro se satura a su vez y aparece una presión hidráulica en el fieltro provocando un flujo hacia la estructura alveolar dispuesta bajo el fieltro. Esta presión permanece débil al tener el fieltro una permeabilidad elevada en relación a la hoja. Al ser la estructura alveolar, prácticamente incompresible la presión de la agua es nula a condición de que la capacidad de los alveolos sea suficiente. Cuando la presión total soportada por la estructura fibrosa describe, así como la presión de la fase fluida, la presión soportada por la fase sólida continúa creciendo. El flujo del agua de la hoja hacia el fieltro se prosigue por que subsiste

una presión en el fluido. En un momento, la presión de la fase líquida se anula, la fase sólida soporta la totalidad de la presión aplicada, la hoja tiene grosor mínimo y la sequedad máxima.

Fase 2. El papel y el fieltro se descomprimen. Hay absorción de aire por el fieltro y la hoja, pero, también, remojado de la hoja por el fieltro. En efecto, la estructura capilar de la hoja es más fina que la del fieltro, que, por otra parte, se descomprime más rápidamente y se produce un transporte de agua por capilaridad del fieltro hacia la hoja. En el momento de la separación del fieltro y de la hoja la rotura de la película de agua presente entre las dos estructuras aumentará aun ligeramente la humedad de la hoja. El remojado de la hoja es esencialmente un fenómeno de superficie extremadamente rápido (duración inferior a 0,5 ms). Es independiente del tiempo y del gramaje. Este remojado puede alcanzar 35 g/m<sup>2</sup> lo que, para papeles de débil gramaje, es de una gran importancia. El remojado disminuye generalmente cuando el tiempo de servicio del fieltro aumenta (Freitas, 2000).

Humedad de la hoja a la salida de la prensa.

La operación de prensado debe considerarse como una extensión del proceso de remoción del agua que tiene en su inicio en la sección de formación. La práctica nos muestra una gran economía cuando se maximiza el desagüe de la hoja en la etapa del prensado comparada con la etapa del secado. Haciendo un estimativo del costo de desagüe relativo, podemos considerar que en la formación es de un 10%, en el prensado un 12% y en el secado un 78%, del costo total. Por eso siempre se busca aumentar la eficiencia del prensado, tanto en el desagüe absoluto, como en la uniformidad del perfil transversal.

Según lo revisado anteriormente el papel sale de la formadora con un 80% de agua y al salir de prensas baja a 50-55% con lo cual el papel se considera hecho y solo falta secarlo a un 5-8% de humedad (zimmermann, 2009) .

## **SISTEMA DE SECADO**

Después del prensado, el papel tiene aún un 50% de humedad la cual debe eliminarse por evaporación. La forma más común es el secado por contacto con cilindros calentados a vapor. Así la energía calorífica se transmite mediante el contacto directo entre la pared exterior del cilindro secador y la superficie del papel.

Los objetivos del secado por evaporación se pueden resumir de en los siguientes puntos:

- 1.- Remover el agua de la hoja de papel hasta el valor final deseado de humedad.
- 2.- Remover el agua al más bajo costo posible.
- 3.- Lograr un perfil uniforme de secado a lo ancho de la hoja.
- 4.- Remover el agua sin deteriorar las propiedades de la hoja.
- 5.- Contribuir al “encolado” del papel durante el secado.

(campos, 2009)

El cálculo de la tasa de evaporación es el primer paso para el análisis de la sección de secado. Esta tasa de evaporación es conocida como curva TAPPI de tasa de secado.

La T.S. se define como la cantidad de agua evaporada por hora por el área de la superficie de secado. La superficie de secado se define como la longitud de la circunferencia total de los cilindros por el ancho del papel.

$$\text{Tasa de Secado} = \text{Kg/h/mt}^2$$

Poner aquí la gráfica de las tasas de secado

(international, 2016)

Tipos de agua en el papel antes del secado:

Agua embebida: es aquella que esta ocupando los huecos del papel.

Se encuentra en una 20-30%

Es fácil de eliminar.

Agua capilar: es aquella que proviene de la refinación.

Se encuentra ocupando las zonas amorfas de las fibras

Se encuentra ocupando el 6-8%. Más difícil de eliminar.

Agua coloidal: Es la que está formando parte de los compuestos químicos.  
(Hidratos de carbono)

Su contenido es de 0 a 6%.

No se elimina en los secadores.

(torras papepl s.a., 2008)

En la operación de secado se produce:

Una transformación de energía

Una transformación de masa

La efectividad de la evaporación del agua depende de:

La Temperatura

La calidad del aire ambiental

La circulación del aire en secadores (Grant J. , 1976)

Una forma de expresar el contenido de agua es en kilogramos de agua por kilogramos de fibra base seca. Si entra a secadores con un 65 % de humedad y un 35 % de fibra, entonces es  $65/35 = 1.857$

El agua que sale es el 5% por lo que se define como  $5/95 = .053$ .

La evaporación por kg de fibra seca es  $1.857 - .053 = 1.804$

Puesto que hay .95 kg de fibra seca por cada kg de papel secado, la evaporación por kg de papel secado es  $1.804 \times .95 = 1.71$ .

En ecuación sería:

% de fibra que sale - 1 = Kg de agua por kg de papel secado.

% de fibra que entra

Para los números anteriores:  $95/35 - 1 = 1.71$

Otra ecuación es:

% de humedad que entra - % humedad que sale

100-% de humedad que entra

Sustituyendo:

$$65-5/35 = 1.71 \text{ (libby, 1982)}$$

La operación de secado es la más costosa dentro de la fabricación de papel. Por eso es necesario tener una serie de cuidados para reducir su costo al máximo. (international, 2016)

**MECANISMOS DE SECADO.** La transmisión de calor empleado para calentar la hoja en la operación de secado se produce principalmente en 2 formas:

Por **CONDUCCION**: se realiza a través del cuerpo. (Molécula a molécula).

Por **CONVECCION**: Es la forma de propagarse el calor en los fluidos, (líquidos y gases). Los fluidos al calentarse tienen menos densidad que cuando están fríos, por lo que tienden a subir.

Si cogemos una barra de metal con la mano y calentamos el otro extremo, el calor avanza a través de la barra hasta que notamos el calor por el extremo por el cual lo estamos agarrando. En este caso el calor se transmite por “conducción”.

Cuando ponemos la calefacción en casa, el aire se calienta, por lo que sube hasta la parte más alta de la habitación desplazando hacia abajo el aire frío. El aire frío se va calentando del mismo modo hasta que se iguala todo el aire en la habitación. Estamos ante una transferencia por “convección.”

Basándose en los distintos métodos de transmisión de calor, existe una amplia variedad de equipos para secado del papel:

Secado por aire a través. Mediante el paso de aire caliente a través de la estructura porosa del papel. Se utiliza en papel Tissue, papel de toallas, papel de filtro.

Secado con cilindro Yankee. Mediante contacto del papel sobre un cilindro de grandes dimensiones calentado por vapor. Se utiliza en papel carbón, papel glassine, papel fino de envoltura.

Secado por chorro de aire. Mediante el choque de un chorro de aire caliente sobre la cara del papel. Se utiliza para secar los revestimientos de algunos tipos de papel.

Secado infrarrojo. Se utiliza para el secado de los recubrimientos y para el pre secado del papel. Es muy empleado en los papeles estucados.

Secado con cilindros calentados. Es el método general empleado en cualquier tipo de papel. Consiste en una serie de cilindros calentados generalmente por vapor. El papel queda en contacto con los cilindros superiores por una cara y por los cilindros inferiores por la otra, permitiendo el secado por ambas caras. Se pueden usar telas para mejorar el contacto del papel con la superficie de los cilindros secadores. (torras papepl s.a., 2008).

Debido a los códigos de presión ASTM, la presión del vapor está limitada a 160 psig o aproximadamente 190°C. La resistencia a la transferencia de calor del vapor de condensación del cilindro secador al papel, incluye la capa de condensado, la escala, el armazón de metal y el coeficiente de contacto entre la carcasa y el papel. De estos datos, el coeficiente de contacto es el más crítico. Diferentes estudios han informado que el coeficiente de contacto representa del 35 al 75 % de la resistencia total de transferencia de calor. Debido a estas resistencias a la transferencia de calor, la temperatura superficial máxima es de aproximadamente 150°C. Por la importancia del coeficiente de contacto papel-carcasa para la transferencia de calor, la mayoría de los estudios experimentales sobre el secado de papel se han centrado en la cuantificación de este parámetro. Estos estudios se pueden dividir en ensayos de máquina, dinámicos, estudios de laboratorio y estudios de laboratorio estáticos. (TAPPI, 2007)

El secado es un proceso importante en que la aplicación de calor para evaporar la humedad final de la hoja es necesario para formación de ligaduras que mantienen junta la hoja. Como se había comentado, algunas de las propiedades de papel son muy influenciadas en una gran extensión por lo que sucede en la sección de secadores.

La transferencia de calor involucra el flujo de energía térmica desde un lugar de alta temperatura a otro de temperatura más baja. La diferencia de temperatura entre las dos localidades es la fuerza conductora para la transferencia de calor. En la transferencia de masa, se trata con el flujo de masa o moléculas de una localidad de alta concentración a una localidad de concentración o potencial químico más bajo.

Como se sabe, el papel es un medio higroscópico, por lo que es un material que recogerá agua de la atmosfera si se da el caso. La cantidad de agua dentro de la hoja estará en equilibrio dependiendo de la humedad del aire que la rodea. Es decir, si se seca la hoja más allá del punto de equilibrio, la hoja recogerá agua de nuevo de la atmosfera por un periodo de tiempo.

La relación para la transferencia de masa de vapor de agua lejos de la superficie de una hoja de papel hacia el aire que la rodea, puede representarse por la ecuación:

$$N = mA\Delta P$$

Donde N= la tasa de transferencia de masa libre de agua eliminada

m= es el coeficiente de transferencia de masa, similar a los coeficientes de transferencia de calor. O sea, es un coeficiente empírico.

A= es el área de contacto entre la superficie del papel y el aire.

$\Delta P$ = es la fuerza conductora para el flujo de moléculas de agua.

En este caso es igual a la presión de vapor de agua en la superficie de la hoja menos la presión parcial de del agua en el aire que la rodea. (E.S., 2005)

En la industria de la fabricación del papel, para lograr el calentamiento de los cilindros secadores se ha utilizado siempre el vapor, principalmente por razones de costo. Aunado a esta fuente calorífica es común ver el sistema apoyado por rayos infrarrojos distribuidos en paneles con el fin de hacer más eficiente el tiempo de secado. Tanto en la fabricación del papel o del cartón, el secado es el parámetro crítico para la costeabilidad del producto. Algunas plantas implementan

ciertas estrategias con el fin de optimizar y acelerar el secado, tales como alargar la mesa de fabricación, uso de retentivos más eficaces, prensado que absorba más agua, etc. Todo con el fin de darle más velocidad a la máquina y de esa forma aumentar la producción.

Sin embargo, para el este proyecto no sería costeable el uso de vapor, ya que implica una caldera que a su vez es alimentada con algún hidrocarburo o en su defecto gas, pero en cantidades grandes que ciertamente producirían el vapor necesario para el equipo del proyecto, pero a su vez quedaría un excedente muy grande, por lo que sería necesario construir una caldera pequeña que obviamente incrementaría mucho el costo tanto de construcción como de mantenimiento.

Para resolver esta disyuntiva, se optó por generar el calor a fuego directo por medio de quemadores de gas que van dentro de cada cilindro y son regulados por medio de válvulas con el fin de obtener el calor necesario para el sacado de cada tipo de papel.

De igual forma, se detallará el sistema de transmisión de movimiento el cual será por medio de engranes acoplados dos de ellos a un piñón de ataque que tendrá su tracción a través de un reductor. Para esto, se ha definido que la sección de secadores se dividirá en dos subsecciones con el fin de aligerar el esfuerzo del reductor de ataque y dividir la fuerza necesaria para mover todos los cilindros secadores.

Por lo anterior, en este capítulo definiremos:

NÚMERO Y CONDICIONES DE SECADORES

OBTENCION Y TRANSMISION DE CALOR

TRANSMISION DE MOVIMIENTO

SISTEMAS AUXILIARES DEL SECADO

NÚMERO Y CONDICIONES DE SECADORES.

Se puede pensar que entre más secadores tuviera la batería, mayor será la eficiencia del secado y de igual forma se podría aumentar la velocidad para obtener una mayor producción. Ciertamente pero la limitante principal es el costo. No solo el costo del material, la instalación y el área, sino el costo que representa el calentar cada secador. En el caso de este proyecto, se había comentado que el calor sería obtenido por medio de quemadores de gas que abarcaran todo el ancho del cilindro por lo que se tendría un consumo de gas extra si se instalan secadores a discreción.

La velocidad también es un factor importante a la hora de definir el número de secadores ya que siempre se tendrá como base la capacidad de drenado de la tela y la capacidad de prensado. Se comentaron los porcentajes de humedad a los cuales debe estar la hoja de papel al salir de cada una de estas zonas, pero al aumentar la velocidad sería necesario aumentar la capacidad de drenado con lo cual se provocaría una formación inferior en la calidad.

El secador a utilizar será del calibre más delgado posible, se está hablando de una cedula 10 o máximo 20. La razón es sencilla, siendo una planta piloto que se utilizará al inicio en forma intermitente, lo más recomendable es que el espesor sea delgado para que rápidamente se caliente la superficie del secador, aunque al final de la sesión se enfríe rápidamente lo cual carecerá de efecto ya que la máquina se detendrá. Se había mencionado un ancho de la hoja de 30 cms por lo cual consideramos un ancho de los secadores de 34 cms con el fin de no perder calor en áreas que no se utilizarán y por lo mismo un diámetro de 6 a 8 pulgadas.

Los secadores se colocan en dos filas, una superior y otra inferior con el fin de que durante el trayecto la hoja de papel obtenga un secado por los dos lados y de esa forma sea más eficiente y uniforme el retiro de la humedad del mismo.

El número de secadores calculado para este proyecto es de 10 en función a los cálculos que se analizarán en los párrafos siguientes, pero siempre tomando en cuenta el gramaje, la velocidad y los equipos que se adicionen para mejorar el secado de la hoja de papel.

## OBTENCION Y TRANSMISION DE CALOR.

**TRANSFERENCIA DE CALOR** La transferencia de energía en forma de calor es comúnmente utilizada en procesos químicos e industriales. Esta suele ser fundamental en diversas operaciones unitarias, tales como el secado de madera o papel, destilación del alcohol, evaporación entre otros. El flujo de calor se verifica debido a la fuerza impulsora de una diferencia de temperaturas, por la cual el calor fluye desde la región de alta temperatura a la de temperatura más baja. (Hougen, 1982). La transferencia de calor se puede desarrollar por medio de uno o más mecanismos de transmisión de calor: conducción, convección o radiación.

**Conducción:** Se refiere a la transferencia de calor por interacciones moleculares en el material, como por ejemplo por medio de paredes o intercambiadores de calor, el congelamiento del suelo durante el invierno, etc.

**Convección:** Este tipo de transferencia implica transporte de calor a través de una fase y el mezclado de elementos macroscópicos calientes y fríos de un fluido. Asimismo, puede involucrar que dicha transmisión de calor se realice entre un sólido y un fluido. Dentro de este tipo de transferencia es importante también considerar que existe un factor conductivo el cual se asocia directamente en el coeficiente de convección ( $h$ ). Algunos ejemplos que demuestran dicho fenómeno son la pérdida de calor de un radiador y el enfriamiento de una taza de café caliente.

**Radiación:** mediante este mecanismo se transfiere energía calórica por medio de ondas electromagnéticas, y a diferencia de la conducción y convección, este no necesita de un medio para transmitirse. Debido a la forma de su onda, este tipo de transferencia se rige bajo el mismo comportamiento que la luz, siendo un claro ejemplo el transporte de calor desde el Sol a la Tierra.

Particularmente en el proceso de secado de papel se utilizan dos de estos fenómenos para remover agua de la hoja de papel, la conducción a través de los cilindros secadores y la convección mediante la inyección de aire calentado por medio del quemador de gas.

CONDUCCIÓN La transferencia de calor por conducción obedece a la ley de Fourier para la conducción de calor en fluidos y sólidos.

$$\frac{q_x}{A} = -k \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Donde  $q_x$  corresponde a la velocidad de transferencia de calor en dirección  $x$  en [W]

$A$  es el área de la sección transversal normal a la dirección del flujo calorífico en [m<sup>2</sup>]

$k$  es el coeficiente de conductividad térmica en [W/m K]

$T$  la temperatura en [K]

$x$  corresponde a la distancia en [m]

La conductividad térmica es la propiedad física de cualquier material que mide la capacidad de conducción de calor a través del mismo (Hougen, 1982). Dicha característica queda definida por la misma ecuación de Fourier y junto a procedimientos experimentales se logra obtener las conductividades para diversos materiales. Por lo general los gases tienen bajos valores de conductividad térmica, mientras que los líquidos presentan valores intermedios y los sólidos (dependiendo de su naturaleza conductora) más altos.

La conductividad térmica de los sólidos homogéneos varía según la naturaleza del material; por ejemplo, aquellos que tienen características metálicas, como el cobre o aluminio tienen valores elevados mientras aquellos que de característica aislante y no metálicos presentan bajas conductividades.

En el caso de este proyecto, la conducción se presenta en los secadores, los cuales son cilindros de acero los cuales son huecos.

En el interior de cada cilindro existe aire caliente a alta temperatura, mientras que en su superficie externa se transporta la lámina de papel a temperatura ambiente, verificándose la conducción a través de la pared del cilindro. Para este caso particular se aplica la ley de Fourier, pero es necesario considerar una

aproximación logarítmica para describir el área, ya que el flujo calórico va desde el centro del cilindro hacia la superficie externa (a través del manto del cilindro) y a medida que este avanza el área de propagación de calor varía ya que el radio va aumentando al llegar a la superficie externa; por ende, una aproximación lineal del área no será la más representativa. Se propone, entonces una representación logarítmica,  $A_{ml}$ .

Considerando que el calor fluye desde el centro del cilindro hacia la superficie, se puede definir la siguiente expresión, con el fin de ejemplificar el fenómeno que ocurre en el cilindro.

Se define el flujo de calor,  $q$ , entre los radios,  $r_1$  y  $r_2$ :

$$q = k A_{ml} \frac{T_1 - T_2}{r_2 - r_1}$$

En la ecuación anterior,  $q$  corresponde a la velocidad de transferencia en [W]

$k$  es el coeficiente de conductividad térmica en [W/m K]

$A_{ml}$  se refiere al área con media logarítmica en [m<sup>2</sup>]

$T_1$  es la temperatura en la superficie de radio menor ( $r_1$ ) en [K]

$T_2$  es la temperatura en la superficie de radio mayor ( $r_2$ ) en [K]

$r_1$  corresponde al radio interior del cilindro en [m]

$r_2$  es el radio exterior del cilindro en [m]

$A_{ml}$  (Área con media logarítmica) se detalla por la siguiente fórmula:

$$A_{ml} = \frac{2 \pi L (r_2 - r_1)}{\ln r_2 / r_1}$$

Con  $r_1$  refiriéndose al radio interior

$r_2$  al radio exterior

$L$  al largo del cilindro, todos en [m].

**CONVECCIÓN** La velocidad de transferencia de calor mediante convección, queda definida por la siguiente ecuación:

$$q = h A (T_w - T_f)$$

Donde q corresponde a la velocidad de transferencia de calor en [W]

h es el coeficiente convectivo de transferencia de calor en [W/m<sup>2</sup> K]

A se refiere al área en [m<sup>2</sup>]

T<sub>w</sub> es la temperatura en la superficie del sólido en [K]

T<sub>f</sub> corresponde a temperatura promedio del fluido en [K].

Esta ecuación describe tanto la convección natural como forzada. La primera se determina por el movimiento del fluido debido a la variación de densidades, mientras que la segunda se define como la transferencia de calor realizada por diferencias de presión por medio de una bomba, ventilador, etc.

El tipo de flujo, laminar o turbulento, influye directamente en el valor del coeficiente de convección, ya que la mayor parte de la resistencia a la transferencia de calor está localizada en la película cercana a la pared (Kehnech, 1970)

**COMBINACIÓN DE CONVECCIÓN Y CONDUCCIÓN** En diversos procesos comúnmente ocurren ambas formas de transferencia de calor, por conducción y convección; generalmente no se conocen todos los datos límites sobre todo los intermedios como temperaturas y radios de las diferentes capas, pero se sabe que ambos lados de las superficies sólidas están en contacto con un fluido. Esto se ve reflejado claramente en los intercambiadores de calor donde se desea transferir calor desde un fluido dentro de una tubería al del exterior o viceversa; dicha situación queda ejemplificada por la siguiente figura donde se ilustra el calor, “q”, fluyendo desde el exterior hacia el interior del cilindro.

La transferencia de calor total por combinación de conducción y convección en distintos materiales suele expresarse en términos de un coeficiente de transferencia de calor global U.

Por lo tanto, la transferencia de calor queda así:

$$q = U A \Delta T$$

Donde q se refiere a la velocidad de transferencia de calor en W

U es el coeficiente global de transferencia de calor en  $W/m^2K$

A es el área de transferencia en  $m^2$

$\Delta T$  corresponde a la diferencia de temperatura en K

#### TRANSMISION DE MOVIMIENTO.

El movimiento de la batería de secadores se hará por medio de engranes los cuales serán activados por un piñón de ataque el cual saldrá de un reductor acoplado a una polea que será la que sea accionada por medio de una banda conectada a la flecha motriz. Gráficamente será más fácil describir este movimiento el cual no es para nada sofisticado, dentro del cual se verá que es lo ideal para el trabajo de la batería.

Se había comentado que los cilindros sería lo más delgado posible únicamente para resistir la tensión que se genere por la misma hoja de papel y para agilizar su calentamiento. Aun así, mover diez cilindros con un solo piñón de ataque implicaría una mayor fuerza en el movimiento de torsión, por lo que se optó por dividir la batería de los secadores en dos secciones, aunque esto implique la instalación de otro reductor, otro piñón de ataque y siempre el cuidado de coordinación entre la velocidad de cada una de las secciones para evitar rupturas por alta tensión en la hoja o que se pierda el contacto entre el papel y el cilindro por falta de "tiro".

Lo normal sería que los rodamientos de los cilindros fueran baleros con chumaceras, pero el calor cercano normalmente hace que la grada de los

rodamientos se seque y consuma haciendo que frenen las bolas o los cilindros del balero con lo cual al final salgan botados. Previendo esto se decide colocar cojinetes de bronce en cada rodamiento con un sistema de lubricación ya sea por engrasado o por goteo de aceite. Definitivamente esto es más duradero, eficaz y económico.

#### SISTEMAS AUXILIARES EN EL SECADO.

Tela o lona para secadores. - Las telas secadoras vienen evolucionando a lo largo de los años. Su estructura con hilos de monofilamento y diseño de capa simple y doble dominan las aplicaciones de la sección de secado. Estructuras con hilos de monofilamento retorcido son poco utilizados debido a la dificultad de limpieza. A su vez, se usan más los hilos con forma cilíndrica y rectangular, pues reducen el riesgo de acumulación de material contaminante. Este proceso ocurre debido a la reducción de los puntos de cruce en la estructura de la tela secadora. El material predominante en la fabricación de las telas secadoras es el poliéster, pero también se están utilizando otros materiales para minimizar los contaminantes. Un ejemplo es el PTFE, que se lo puede poner en los monofilamentos durante el proceso de extrusión del hilo. El conocimiento de la composición de la tela secadora es esencial para prevenir la contaminación y establecer un programa de limpieza exitoso. Se usan diferentes estructuras y diferentes densidades de hilos para la obtención de permeabilidad, que puede variar según la aplicación en la sección de secado. La tabla 1 indica las propiedades de las telas secadoras: se observa que, cuanto menor es la permeabilidad, mayor es la dificultad de limpieza, principalmente cuando la estructura de la tela secadora tiene capa triple e hilos de monofilamento retorcido.

En la sección de secado, las telas secadoras están proyectadas para alcanzar la máxima vida sin afectar la producción y la calidad del papel. Un requisito fundamental es mantener la permeabilidad a lo largo de la vida útil. Por eso, el conocimiento acerca de la composición de la materia prima, los aditivos aplicados, las propiedades de los contaminantes, la estructura de la tela secadora y los

métodos de limpieza son fundamentales para alcanzar ese objetivo. A continuación, están las principales consecuencias de la obstrucción de las telas secadoras:

El material contaminante retarda la velocidad del secado y puede afectar la calidad del papel.

Afecta la transferencia de calor y la eliminación de humedad de aire del bolsillo.

Puede provocar variación de humedad en el sentido transversal de la máquina y fajas húmedas en la hoja de papel.

Provoca adherencia de papel y rupturas en la hoja.

Los materiales contaminantes se pueden transferir a la hoja y provocar problemas de calidad en la superficie del papel dependiendo del material empleado.

Otro sistema auxiliar muy importante es la extracción de vapor que se forma al extraer el agua de la hoja de papel. Para esto se utilizan extractores de aire que son simplemente ventiladores los cuales deben estar regulados con el fin de extraer únicamente la cantidad de vapor que pudiera ser perjudicial a la hoja si llegara a condensarse.

Para el caso del proyecto, un solo extractor bastará y por otro lado no elevará en forma significativa el costo, pero si será un buen auxiliar en el secado del papel.

## **CALANDRADO**

Dependiendo del propósito para el que se va utilizar cada tipo de papel, su superficie debe tener ciertas propiedades. Especialmente suavidad y brillo. Estas propiedades se adquieren en la calandra. Las calandras son máquinas con hasta 15 rodillos dispuestos uno encima del otro, que se ejecutan juntos bajo presión.

Cuando el papel pasa por estos puntos de contacto, queda expuesto a fuerzas mecánicas y térmicas que le dan las propiedades de superficie requeridas.

Las calandras se subdividen en dos tipos principales: calandras que consisten exclusivamente en rodillos duros. A este tipo se le llama calandras de máquina. Y también están las calandras que vienen equipadas con rodillos elásticos alternativos duros y recubiertos de plástico. (Voith, 2014)

Las características principales en las cuales interviene el calandrado y que van a tener influencia en las posteriores utilidades del papel son:

LISURA. - (Algunos le llaman suavidad), es un aspecto muy importante a la hora de imprimir sobre el papel y uno de los objetivos fundamentales del calandrado. Cuanto mayor sea la lisura, mayor será el brillo y la absorción de tintas.

ESPESOR. - Con el calandrado, disminuye el espesor del papel, a la vez que le da uniformidad en todo lo ancho de la hoja. El espesor se mide con calibradores de alta precisión. (Rivas., 2015).

### **TIPOS DE CALANDRADO.**

El acabado del papel, como es sabido, no siempre es el mismo. Cada cliente marca el acabado requerido dependiendo del uso que le vaya a dar al producto final.

Los objetivos primordiales del calandrado son homogeneizar el espesor y dar uniformidad a la superficie del papel para conseguir una correcta absorción de tintas; no siempre se necesita aumentar el brillo, porque aumentándolo disminuyen otras características como la blancura y la opacidad. Por otro lado, un brillo en el papel impreso causa dificultad a la hora de leerlo.

Según el tipo de acabado obtenido con el calandrado se distinguen tres tipos de calandrado:

Calandrado semimate. Se llama así a cualquier técnica de calandrado usada para producir una superficie lisa, con aumento mínimo de brillo. Se utiliza una calandra con menos rodillos, (normalmente 4).

Calandrado de brillo. En este caso, el papel pasa a través de una serie de zonas prensadas formadas por un rodillo relativamente blando y un rodillo liso, de acero rectificad, a alta temperatura.

Calandrado de alto brillo. Es para papeles y cartoncillos utilizados en trabajos de publicidad, edición y embalaje.

Se había comentado que, durante el calandrado, el papel pasa por una serie de rodillos colocados verticalmente que efectúan una presión sobre el papel en el punto de contacto. Esta presión es debido a dos factores:

El propio peso de los rodillos.

Una carga adicional sobre el cilindro superior producida por un cilindro hidráulico.

Por lo tanto, regulando la presión del cilindro hidráulico se consigue controlar la presión que los rodillos ejercen sobre el papel siempre que sea necesario.

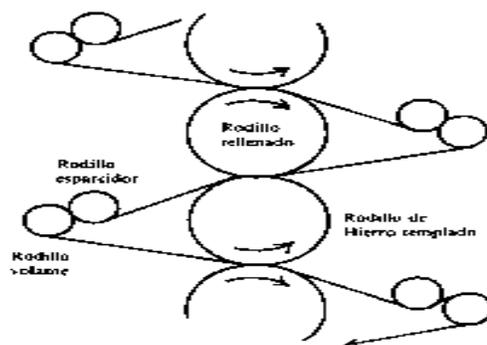


Figura 19 Calandra con apoyos

La presión actúa comprimiendo el papel entre los rodillos y esto hace que se obtenga una lisura y una densidad uniforme en todo lo ancho del papel.

**Características ópticas.** Aparte de las características primordiales que se mencionaron como lisura y espesor, existen una serie de características que se observan en función de la luz a que esté sometido. Se mencionarán 4:

Color. Cuando la luz se refleja sobre el papel nosotros recibimos radiaciones. Si el papel solo refleja radiaciones de un determinado color (absorbe las demás), nosotros veremos el papel de ese mismo color.

Blancura. Cuando el papel refleja todas las radiaciones (colores), en la misma proporción, nosotros lo apreciaremos color blanco. Los pigmentos y aditivos favorecen la blancura.

Opacidad. Depende de la cantidad de luz que atraviesa el papel. Un papel que deja atravesar poca cantidad de luz se dice que tiene elevada opacidad.

Brillo. Depende de la cantidad de luz que refleja el papel. Cuanto mayor sea la cantidad de luz reflejada (caso de una superficie lisa), mayor será el brillo de la superficie. (torras papepl s.a., 2008)

Ahora se verán los tipos de calandras.

#### **Calandras duras. -**

Se prensa la hoja entre dos o más rodillos duros.

Principios. -

Densifica la hoja por presión.

Copia la superficie de los rodillos a la hoja.

Ventajas. -

Costo eficiente.

Influencia efectiva sobre el perfil de espesor.

Desventajas. -

En papeles con formación no uniforme, los floculos pueden transformarse en manchas oscuras o absorber las tintas de impresión de manera desigual.

Transmisión de vibración de un rodillo al siguiente causando ondas en la superficie de los rodillos. Estas marcas causan más vibración, ruidos y variación de espesor en dirección máquina.

### **Calandras blandas. -**

Una calandra blanda tiene al menos un rodillo blando en los dos últimos rodillos.

Generalmente unos de los rodillos tienen una cubierta blanda y el otro rodillo es un rodillo duro calentado, similar a los rodillos de las calandras duras.

### **DEFECTOS EN EL PAPEL PRODUCIDOS EN EL CALANDRADO**

Zonas en el papel con mayor espesor.

Zonas en el papel con mayor humedad.

Arrugas en el papel. (por problemas de tensión)

Roturas. (Puntos débiles en el papel,)

Perdida de características en los rodillos con revestimiento.

Oxidación y marcas en los rodillos metálicos (Rivas., 2015).



Figura 21 Supercalandrado



Figura 20 Calandras especiales

Después de analizar los objetivos y utilidades de las calandras, se manejará también el aspecto del satinado. El satinado es dar brillo y lisura al papel, pero en la calandra también se pueden añadir desde agua pura, hasta una solución con ceras y colorantes con el fin de darle al producto un acabado diferente o de acuerdo a la solicitud del cliente.

Esto se puede hacer colocando una charola en el penúltimo rodillo (tomando en cuenta que el rodillo No. 1 es el rodillo “padre” o rodillo motriz, o sea, el de abajo). En esta charola se va agregando la solución y la misma rotación del rodillo hará que la solución se adhiera al papel. Se podría pensar que esto afectaría la humedad, pero los rodillos al girar y por el contacto con el mismo papel, tienen una temperatura muy alta lo que hace que en el transcurso del recorrido del papel por los demás rodillos, éste quedará igual de seco que como entro a la calandra.

Cabe señalar que esto funciona con calandras de 6 a más rodillos, ya que sí es necesario que obtenga el secado solicitado.

En la industria del cartón de alto calibre, (se habla de un gramaje de 2 o 3 kg/m<sup>2</sup>), es normal que se use una calandra de dos rodillos solamente. Este equipo le dará al cartón propiedades extras como la flexibilidad por un lado y por otro, ajustará el calibre para el uso que sea destinado. Este tipo de cartón es muy utilizado en la industria del zapato, tanto como forro, como para empaque. (talavera, 1992)

En las calandras, el rodillo inferior es normalmente más ancho que los otros rodillos y debe tener un coronamiento para compensar la flexión.

El coronamiento significa que el rodillo a lo largo no tiene el mismo diámetro, sino que es más grueso de la parte central que de las orillas. Esto es comprensible para asegurar que la presión sea pareja a todo lo ancho de la hoja, debido a que los puntos donde se ejerce presión al rodillo es en los extremos, por lo tanto faltará apoyo en el centro y es por eso que se requiere que el diámetro en el centro del rodillo sea mayor.

Se comentó que la función principal de la calandra es dar al papel una mejor lisura y un mejor espesor. Aun así, estas características van en función de:

Numero de pasos (nips).

presión total y máxima aplicada.

Velocidad a que atraviesa a cada paso.

Humedad de la hoja entrante a la calandra.

Temperatura durante el calandrado.

La reducción del espesor de la hoja y la lisura alcanzada durante el alisado están interrelacionados, y son ambos función de la presión en la zona de prensado, tiempo de retención, y número de zonas de prensado. La presión de la zona de prensado y el tiempo de retención son, por este orden, dependientes del diámetro del rodillo y de cantidad de carga. Generalmente, hay una posibilidad limitada de control independiente de espesor y lisura; sin embargo, se sabe que las mayores temperaturas tienen un efecto algo desproporcionado en la lisura. (E.S., 2005).

La temperatura es una importante variable en el alisado, y la mayoría de las modernas calandras utilizan uno o dos rodillos con temperatura controlada. Hasta hace poco, el método principal de calentamiento del rodillo utilizaba vapor aplicado a través de una perforación central. Este método tiene limitaciones respecto al nivel y uniformidad de calentamiento. Los diseños modernos utilizan agua caliente a través de una configuración de taladrado más sofisticada. Para controlar o perfil de la hoja se puede suministrar aire de enfriamiento a uno o dos rodillos de la calandra mediante un repartidor de chorros regulados individualmente a lo ancho de la máquina. El aire frío disipa el calor producido por el rozamiento en las zonas más altas de los rodillos; estas zonas se contraen ligeramente produciendo un contorno del rodillo más uniforme. Algunas calandras también utilizan chorros de aire caliente o zapatas de rozamiento aplicados externamente para expandir las zonas más bajas. (voith, 2014)

## **INVESTIGACION EN EL MERCADO DEL EQUIPO PERIFERICO TALES COMO BOMBAS, VALVULAS, ETC.**

Durante el proyecto se ha indicado el tipo de equipos necesarios para el desarrollo de las fibras celulósicas con la finalidad de obtener un producto el cual se denomina papel o cartón. De igual forma se ha hecho hincapié en que la preparación de la pasta se genera en un medio acuoso lo cual le da la calidad de fluido a la pasta. Para transportar la pasta de un equipo a otro siempre será necesario utilizar un equipo de bombeo de acuerdo a las necesidades de cada planta. Normalmente se manejan bombas de impulsor semiabierto ya que la consistencia de la fibra en el medio acuoso puede variar según sea necesario y en función a las características de fabricación de cada equipo. Paralelamente a las bombas centrífugas, están también las bombas de vacío, y en este párrafo se mencionarán también las características necesarias. Obviamente se necesitarán tuberías tanto de succión, de descarga e incluso de retorno y en este espacio veremos cual se ajusta más al proyecto. Aparte de las bombas y de la tubería se requieren válvulas antes y después de las bombas, esto es , en la succión y en la descarga para controlar el flujo que se maneja y de igual forma por si es necesario alguna reparación en la bomba, alguna tapazon o cualquier otro detalle que implique la revisión interna de la bomba sin que se tenga el problema de que el flujo de pasta impida la revisión o se tenga que tirar la misma pasta, que, aunque se pueda volver a utilizar, siempre será tiempo perdido.

Por lo anterior, se verán las características necesarias de

**Bombas centrífugas. Equipos de bombeo.**

**Válvulas**

**Bombas de vacío**

**Agitadores.**

**EQUIPOS DE BOMBEO.**

Dentro del balance de materia se especificó una producción de 40Kg/h de papel con un contenido de humedad del 5%. Pero desde que se empieza con el desfibrado se maneja una consistencia del 3%. Ejemplo: si nosotros manejamos 100 kgs de solución, 97 van a ser de agua y solo 3 de fibra base seca. Haciendo números tendremos un flujo de 1,400 lts de pasta al 3% por hora, esto reduce a 24 lts/min.

Este flujo es el mínimo que se puede tener para continuar con el proceso, es decir, es la base.

En los equipos de bombeo se manejan normalmente galones/min, por lo que, al hacer la conversión, se tendrán 6.3 gal/min como base para elegir los equipos necesarios. No puede ser menor.

Antes de continuar, cabe aclarar que en todos los casos se trata de bombas centrífugas, de las cuales solo se elegirá el tipo de impulsor que se adapte a las necesidades.

Para el manejo de este tipo de fluido, el ideal es el impulsor semi-abierto o de caudal radial, el cual funciona moviendo el fluido fuera de la bomba en una forma radial o "perpendicular" al eje de la misma. Este diseño crea un nivel alto de presión en relación al caudal.

**IMPULSORES SEMIABIERTOS.** - Los impulsores con una sola pared lateral, que siempre es la posterior, se emplean con cierta frecuencia, destacando las bombas de flujo mixto y todas las axiales. El desgaste del impulsor es proporcional a la velocidad relativa del líquido y no es radialmente uniforme, sino algo mayor en la periferia; cuando el juego lateral se hace grande por el desgaste, hay que cambiar el impulsor. Para el servicio con líquidos abrasivos algunas veces se disponen placas laterales de desgaste de fácil intercambio, construidas con materiales especiales como el acero inoxidable que tiene mayor dureza, que no resulta costoso, ya que la carcasa de la bomba sigue siendo de fundición. La escasa tolerancia lateral del impulsor hace que una posible desviación del eje pueda tener graves consecuencias, al igual que las dilataciones o contracciones anormales,

que en esta situación tienen mucha mayor importancia que en los impulsores cerrados.

Ya teniendo el caudal requerido y el tipo de impulsor, se puede hacer la investigación en el mercado para revisar costos y facilidades de adquisición.

Por cuestiones prácticas, no es recomendable, utilizar motobombas, esto es, bomba con motor integrado. Lo recomendable es siempre adquirir un motor aparte y acoplarlo a la bomba con transmisión flexible, ya sean bandas, copleparaflex, etc. Inmediatamente se presenta el cuestionamiento de la capacidad de motor que se va a poner para activar la bomba.

Dentro del cálculo para la capacidad del motor, se cuenta con la siguiente ecuación:

$$\text{Potencia (HP)} = \text{Presión (PSI)} \times \text{Caudal (GPM)} / 1714$$

$$\text{Potencia (HP)} = \text{Presión (Bar)} \times \text{Caudal (Lts/min)} / 450$$

Para el proyecto tenemos definido 10 GPM y la presión de entrada al depurador centrífugo será de 2000 PSI, por lo que solo se sustituirán los valores en la ecuación quedando de la sig. forma:

$$\text{Potencia (HP)} = 1000 \times 10 / 1714$$

$$\text{Potencia (HP)} = 5.8$$

No hay motores de 5.8 HP por lo que lo recomendable tanto por seguridad del equipo como una visión a futuro, se manejará un motor de 7.5 HP. Pero de igual forma para el arranque y por cuestiones económicas se podrán elegir motores de 5 HP.

VALVULAS. - En la industria de la fabricación de papel, se utilizan 3 tipos de válvulas primordialmente, las válvulas de compuerta, de mariposa y de globo. Esto es para los casos en los que la válvula es manual. Para el ejemplo de válvulas automáticas, normalmente se utilizan las válvulas de compuerta. A continuación, se da una figura de cada uno de estos tipos de válvula:



Figura 22 Válvula de compuerta



Figura 23 Válvula de mariposa



En esa lista, las funciones generales de la válvula son sólo guías del uso más adecuado o más común de determinado tipo de construcción. A menudo hay más de un tipo de construcción apto para una función específica.

Las características principales y los usos más comunes de los diversos tipos de válvulas de globo de bloqueo o cierre son: Válvula automática: Pérdida mínima al fluido de la tubería. Se utiliza totalmente abierta o cerrada. Accionamiento poco frecuente.

Válvulas de macho: Cierre hermético. Deben estar abiertas o cerradas del todo.

Válvulas de bola: No hay obstrucción al flujo. Se utilizan para líquidos viscosos y pastas aguadas. Cierre positivo. Se utiliza totalmente abierta o cerrada.

Válvulas de mariposa: Su uso principal es para cierre y estrangulación de grandes volúmenes de gases y líquidos a baja presión. Su diseño de disco abierto, rectilíneo, evita cualquier acumulación de sólidos; la caída de presión es muy pequeña.

Las características principales y los usos más comunes para diversos tipos de válvulas para servicio de estrangulación son: Válvulas de globo: Son para uso poco frecuente. Cierre positivo. El asiento suele estar paralelo con el sentido del flujo; produce resistencia y caída de presión considerables.

Válvulas de aguja: Estas válvulas son, básicamente, válvulas de globo que tienen un macho cónico similar a una aguja, que ajusta con precisión en su asiento. Se puede tener estrangulación exacta de volúmenes pequeños que el orificio formado entre el macho cónico y el asiento cónico se puede variar a intervalos pequeños y precisos.

Válvulas en Y: Las válvulas en Y son válvulas de globo que permiten el paso rectilíneo y sin obstrucción igual que las válvulas de compuerta. La ventaja es una menor caída de presión en esta válvula que en la de globo convencional.

Válvulas de ángulo: Son, en esencia, iguales que las válvulas de globo. La diferencia principal es que el flujo del fluido en la válvula de ángulo hace un giro de 90 grados.

Válvulas de mariposa: Su uso principal es para cierre y estrangulación de grandes volúmenes de gases y líquidos a baja presión (desde 150 psig hasta el vacío). Su diseño de disco abierto, rectilíneo evita acumulación de sólidos no adherentes y produce poca caída de presión.

## **AGITADORES. -**

La elección del tipo de **agitador industrial** depende de las propiedades del fluido que queremos mezclar. En las siguientes figuras se pueden analizar las variedades que ofrecen los fabricantes en sus tres tipos:

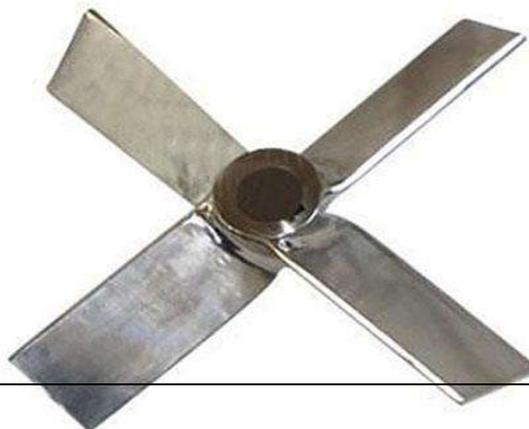
### **Hélices**



Para tanques muy grandes para homogeneizar y favorecer el cambio de calor.

Figura 26 Agitador de Hélice

Figura 27 Agitador de aspas



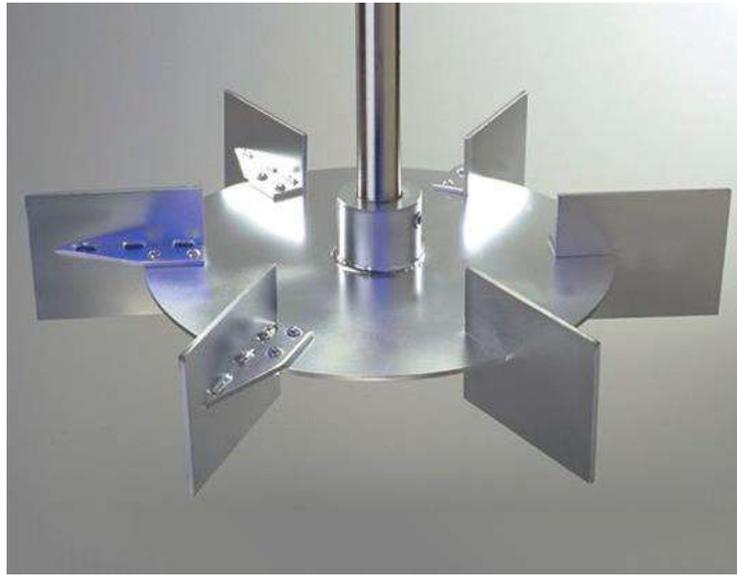


Figura 28 Turbina

### **Diseños de Agitadores Industriales**

La elección adecuada de un **agitador industrial** depende de la aplicación, la velocidad de producción, el tipo de flujo que se genere en el material mezclado y las diferentes viscosidades que se manejen en la producción. Puedes elegir:

#### **Agitadores Verticales**

Para acoplarse en la parte superior de un depósito. Pueden montarse motores neumáticos, hidráulicos o eléctricos.

#### **Agitadores Laterales u Horizontales**

Tienen brida para entrada lateral y en el fondo del depósito. Para mezclas y procesos de mantenimiento de los productos.

#### **Grandes Agitadores**

Para instalarse en depósitos de gran capacidad

### **Agitador de Sólidos**

Para facilitar la carga de los sólidos en el depósito, a través de una doble tapa abatible para la entrada de sólidos.

### **Agitador de Laboratorio**

Se usa para ensayos y fabricación de muestras de producto.

### **Agitadores en Línea**

Para producir emulsiones perfectas a gran escala (líquido-líquido) y dispersiones (líquido-sólido) sin grumos.

Para la agitación de la pasta en los tanques se elegirá el sistema de agitadores verticales, los cuales mediante un sistema mecánico o simplemente por su forma de acoplamiento son fácilmente ajustables e incluso se pueden desacoplar para cualquier revisión o reparación de los tanques.

### **BOMBAS DE VACIO. -**

La bomba de vacío es un equipo mecánico diseñado para extraer gases o líquidos del interior de recipientes o sistemas, mediante el trasiego de los gases / fluidos que contienen. Este flujo genera una diferencia de presión medida en relación a la presión atmosférica o con referencia a un punto de trabajo concreto. Esto nos permite mantener presiones menores a la atmosférica en aplicaciones que lo requieren.

¿Cómo funcionan las bombas de vacío?

En la actualidad existen una gran variedad de equipos de vacío que utilizan diferentes tipos de funcionamiento. Dependiendo de las condiciones ambientales y la aplicación en las que se vayan a utilizar, sobresalen los siguientes 3 tipos de bombas de vacío:

1 bombas de vacío sin aceite

La arquitectura interna del rotor, paletas móviles y camisa generan unas cámaras que van modificando su tamaño en función de la posición.

La presión dentro de la cámara aumentará cuando disminuya el volumen de la misma ya que la cantidad de gas en su interior no varía. De la misma forma, disminuirá cuando la cámara se expanda generando vacío o presión negativa.

Consiguen niveles de vacío de hasta 100 mbar absolutos y de presión hasta 2 bar relativo. Los caudales van desde 2m<sup>3</sup>/h a 500m<sup>3</sup>/h.

#### 2 bombas de vacío con aceite

El sistema de funcionamiento es el mismo que el de las bombas de vacío sin aceite, pero utilizan el aceite para conseguir mayor estanqueidad en las cámaras y, con ello, mayores niveles de diferencia de presión. Esta tipología de equipo de vacío puede alcanzar niveles de vacío de hasta 0.5 mbar

#### 3 bombas combinadas de canal lateral

Están compuestas por una turbina con aspas inclinadas dentro de un canal cerrado por donde fluye el gas. La fuerza centrífuga generada en el giro provoca la diferencia de presión entre la zona distal y la interna del canal.

Con este sistema se consiguen mayores caudales de trabajo que en las bombas de paletas, pero menor nivel de vacío o presión. Alcanzan caudales hasta 1050m<sup>3</sup>/h y niveles de vacío hasta -550 mbar relativo y de presión hasta 660 mbar relativo.

Existen otros sistemas de vacío como los equipos lobulares, el anillo líquido, de pistones y otras que se utilizan en algunas aplicaciones específicas.

Para explicar cómo funciona una bomba de vacío debemos tener en cuenta algunos principios físicos fundamentales como:

La ecuación del gas ideal en un sistema cerrado:  $P \times V = \text{Constante}$ .

Si la masa del aire de un recipiente no varía, el volumen que este ocupa es inversamente proporcional a la presión que se ejerce en dicho recipiente.

$$\text{Ejemplo: } \quad V_1 = 1 \text{ m}^3 \quad \quad \quad V_2 = 0,5 \text{ m}^3$$

$$p_1 = 1000 \text{ mbar} \quad \quad p_2 = 2000 \text{ mbar}$$

La ecuación del gas ideal en un sistema abierto:  $P \times Q = m \times R \times T$

Cuando la masa de aire que pasa por un tubo no varía, el caudal depende de la velocidad del fluido.

$p$  – presión Pa

$Q$  – caudal  $m^3/h$

$m$  – masa kg

$R$  – specific gas constant J / kg K

$T$  – temperatura K

Las bombas de vacío industriales utilizan estos principios básicos para generar, a través del trasiego de gases, diferencias de presión de entrada y salida.

En síntesis, como hemos visto en la descripción de los equipos de vacío habituales, utilizamos elementos mecánicos para modificar el volumen de las cámaras que contienen el gas o para comprimirlo hacia el exterior de un canal mediante la fuerza centrífuga. Del mismo modo, utilizamos sistemas de rotación que garantizan el trabajo en continuo de manera uniforme evitando pulsaciones de bombeo.

En las máquinas papeleras, de cartón, secadoras de celulosa y en las formadoras de hojas húmedas el vacío se usa ampliamente, en cajas de vacío en la tela formadora, rodillos de succión de la tela y las prensas, rodillo pick up, cajas de vacío para acondicionamiento de fieltros y fábricas, sistema de vapor y condensado, etc,. Las potencias de las bombas de vacío, expresadas en Kw, llegan a diez veces la producción de la máquina en toneladas diaria, y equivalen a 176 KWH/ton. Constituyen uno de los grandes consumidores de energía de la máquina. Las presiones de vacío van de 0,5 mca en las cajas húmedas hasta 7 mca en los rodillos de succión de la tela y las prensas.

Se analizarán ahora unos cuestionamientos importantes para conocer el vacío y su influencia en la fabricación de papel:

¿Para qué sirve el vacío?

El vacío se utiliza para la separación del agua de la mezcla fibra-agua con la que se alimenta la máquina de papel.

El término “vacío no existe, se trata de un “diferencial de presión”. La bomba de vacío no hace vacío, succiona aire comprimiéndolo. El equipo de vacío no puede corregir los errores de ingeniería y diseño.

¿Cómo se separa el agua?

Agua 99.7%, fibra .03% en la sección de formación. Esto es, para la maquina fourdrinier, durante todo el recorrido que lleva la fibra en la tela de formación, desde el rodillo de pecho hasta el rodillo de retorno.

Después de este breve análisis de los equipos que se van a cotizar en el mercado, es necesario hacer un resumen final de las características que deben tener estos equipos:

**EQUIPO DE BOMBEO. -**

En el proyecto se tienen contempladas 9 bombas centrifugas de las siguientes condiciones:

Caudal: 10 GPM

Diámetro 2 Pulgadas en tubería de descarga

Motor 5 HP.

Impulsor Semiabierto

Costo por unidad: \$3465.00 en promedio.

Se maneja un costo promedio después de haber hecho la cotización pertinente en las 10 marcas de mayor prestigio en México, tales como

Evans Honda

Bymisa Sthil

SuperKouler

Q-pumpsPoulen

Siemens

Husqvarna

Aparte de hacer la revisión en el mercado libre dando por resultado el precio mencionado.

VALVULAS. -Primero es definir cuantas válvulas y cuantos tipos se van a utilizar:

Para manejo de pasta:

12 válvulas de compuerta manuales de 2 pulgadas

Para manejo de agua de proceso manual:

10 válvulas de globo de 2 pulgadas.

Para control de consistencia:

4 válvulas de compuerta automáticas de 1.5 pulgadas

Para control de vacío:

2 válvulas generales de 2 ½ pulgadas.

4 válvulas de compuerta de 1 ½ pulgadas

Costos Unitarios:

Válvula de compuerta manual 2 “.	\$1,323.00
Válvula de globo manual 2 “	\$ 815.00
Válvula de compuerta automática 2”	\$1,847.00
Válvula de 2 ½ “ de compuerta	\$1,589.00
Válvula de compuerta de 1 ½”	\$1,043.00

Dando un total de:

\$43,302.00

sin tomar en cuenta acoplamiento ni conexiones en los casos de las válvulas automáticas. Eso se verá en el siguiente tema que es el de instrumentación.

## AGITADORES.

En el caso de agitadores el costo es más bien elevado por lo que se opta por adaptar un motor con una flecha, una propela de hélice o de oreja de ratón acoplados la flecha al motor y en la base del motor un riel de acero soldado a los bordes del tanque.

Esto daría un costo de \$2,500.00 en función al costo del maquinado de los coples, pero no variaría más de \$200.00.

Si comparamos con el costo de los agitadores en el mercado que es mínimo \$7,500.00 se obtendría un ahorro significativo y aprovechable para la instalación del equipo eléctrico tal como es el conjunto de arrancadores, relevadores, interruptores y cableado.

Se debe tomar en cuenta que son 3 los agitadores que se requieren por lo que el ahorro se hace mucho más importante.

La imagen del tanque con su agitador se muestra a continuación:



Figura 29 Tanque con agitador

## BOMBAS DE VACIO.

Para esto no hay más que la marca Nash en cuanto a calidad, precio y facilidad de adquisición.

Para el caudal de vacío que se necesita y la intensidad de ese vacío se necesita una bomba de capacidad más bien pequeña en comparación con una planta industrial por lo que el precio fluctúa entre \$7,000 y \$10,000 siendo precio de lista.



Figura 30 Bomba de vacío.

Cabe señalar que los precios anteriores se refieren a equipos nuevos, pero no siempre se cuenta con los recursos necesarios por lo que esto implica buscar otra posibilidad de adquisición, los equipos de medio uso.

Salvo en las recubiertas de los rodillos de prensas y en los rodillos de máquina que pueden ser ahulados, todo el demás equipo puede ser adquirido ya con un pre-consumo.

Existen empresas tanto mexicanas como extranjeras que manejan todo el equipo de fabricación de papel nuevo o usado según las posibilidades del comprador. Por ejemplo, en Morelia está el bazar industrial sito en la colonia El Realito donde se manejan bombas, reductores, válvulas, etc., a buen precio y en condiciones de trabajo que garantizan una buena eficiencia. Claro que siempre es garantía obtener un producto o equipo nuevo, pero como se había mencionado, en la actualidad es un poco difícil el aspecto económico.

Si es equipo un poco más sofisticado o especializado en la fabricación de papel, hay empresas extranjeras que tienen absolutamente todo el equipo necesario como son:

GLOBAL EQUIPMENT INTERNATIONAL, LLC

MARIN INTERNATIONAL S.A. DE C.V.

Grupo ABSA Industrial S.A. DE C.V.

Representaciones, Procesos e Ingeniería S.A.

## PAPERMILL SURPLUS

Esta última es la empresa con la que se ha tenido mayor contacto vía correo, con lo que continuamente se reciben sus nuevas ofertas en equipos para la fabricación de papel. La mayoría usados, pero también se pueden obtener equipos nuevos.

## **EQUIPOS DE INSTRUMENTACION PARA MONITOREO Y/O CONTROL DE PROCESO.**

En todos los procesos, es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes, tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, el pH, la conductividad, la velocidad, la humedad, etc. Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas que las que el propio operador podría realizar. En pocas palabras la instrumentación se encarga de mantener funcionando el proceso de manera óptima a través de elementos que sirven para medir, convertir, transmitir, controlar o registrar las variables.

Para el proyecto, se hará una revisión de los aparatos de instrumentación que se deben usar como básicos dentro de los equipos que hemos estado describiendo. Esto es, se mencionarán los aparatos que se utilizarán en el Hidrapulper, el Depurador de Alta Consistencia, el Refinador, los Tanques de Almacenamiento, la Caja de Entrada a Maquina, la Mesa de Formación, Prensas, Secadores, Calandra y al final el Enrollador.

**HIDRAPULPER.** - La principal variable a controlar para este equipo es la relación fibra / agua, o sea, la consistencia. Para esto, es necesario determinar una de las formas más usuales de efectuar esta operación mediante un regulador de consistencia. Para el Hidrapulper, se puede colocar un regulador dentro de la tina el cual vaya midiendo esta relación agua/fibra. Este regulador dará directamente el % de fibra que hay dentro de la solución y de esa forma se puede controlar.

Para medir el nivel se utilizará un transmisor, y para medir el peso de la fibra, se utiliza un CONVEYOR, que es una banda con células de carga para ir pesando la

fibra antes de echarla al equipo y de esa forma saber exactamente cuántos kilos se han adicionado, se llevan al nivel ajustado y con eso se tiene la seguridad de obtener una consistencia deseada.

En la fig. No.35 Veremos el funcionamiento de un regulador de consistencia para la fibra ya desarrollada:

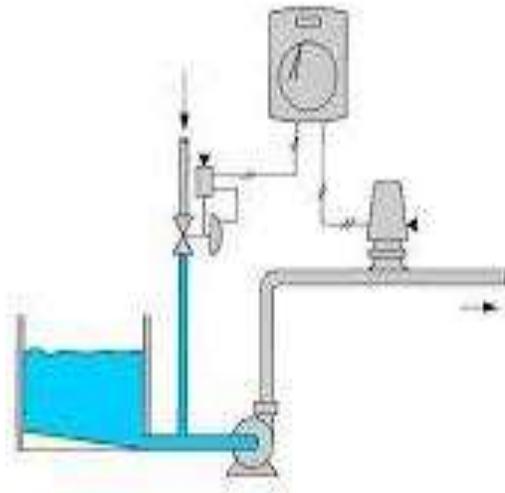


Figura 31 Sistema tipo para un regulador de consistencia

Este sistema de regulador de consistencia es el que se usará en todo el proceso para controlar la relación fibra-agua, con la variable de su rango. Esto es, que para el hidrapulper podemos manejar un rango “grosso” o amplio, ejem, del 3 al 8% mientras que para la caja de entrada se manejará solo un .5% de rango ya que se requiere de un control más fino.

Para el proyecto se considera suficiente el control de la consistencia en la descarga del hidrapulper, pero también existen los medidores de nivel y de temperatura dentro de la pasta.

En los siguientes párrafos, se mencionarán los instrumentos más comunes utilizados en la fabricación de papel los cuales se mencionarán describiendo sus funciones con el fin de mostrar su importancia, a la vez que se determinan las

variables más comunes en el proceso de elaboración del papel y la forma en que se aplican para apoyar al operador en la medición, regulación, observación, transformación de una variable dada en el proceso de producción.

#### MEDIDOR DE NIVEL CON SENSOR DE RADAR.

El sensor radar emite pulsos de microonda cortos en dirección al sólido, que se reflejan al mismo tiempo. El tiempo transcurrido es la medición del nivel.

Estos sensores tienen la ventaja sobre los sensores en el visible e infrarrojo, ya que los sensores de radar no se ven afectados por las condiciones atmosféricas.



Figura 32 Medidor de nivel con sensor de radar.

#### INDICADORES DE ALARMA DE PESO.

Se activan cuando el peso en un recipiente alcanza un valor en particular o desciende a algún otro valor.

Los indicadores de alarma toman una entrada analógica desde algún transductor (posiblemente a través de un acondicionador de señal) y la transforman en una señal de tipo ON-OFF para algún indicador.



Figura 33 Indicadores de alarma de peso

### TRANSMISOR DE PRESIONES.

Se utiliza un transmisor de presión con sello separador para medición de presión y nivel de sólidos y a alta temperatura.

Ventajas: No se ve afectado por la generación de espuma y elementos instalados en el tanque. Alta resistencia química gracias a los materiales de fabricación disponibles para la membrana. Gran variedad de conexiones a proceso. Temperatura del producto hasta 400 °C.

Trabaja en un rango de medida de -1 a 400 Bar.



Figura 34 Transmisor de presiones

### MEDIDOR DE TEMPERATURA.

Un termómetro de radiación es un instrumento capaz de medir la temperatura de un cuerpo a partir de la radiación que emite. Para ello se basa en la teoría cuántica de la radiación de cuerpo negro.

La característica principal de estos instrumentos es que no necesitan estar en contacto directo con la fuente de calor cuya temperatura se desea medir.



Figura 35 Termómetro

## MEDICION DE PH.

Permite medir el PH de una sustancia hasta 14.

El valor PH es la unidad de medida que indica la concentración de iones de hidrógeno contenidos en una disolución.

El valor se indica como logaritmo negativo de base 10.



Figura 36 PH metro

## MEDIDOR DE HUMEDAD

Se usa un higrómetro.

Medidor de humedad con pantalla grande.

Medición mediante IR.

Medición de humedad a distancia de 39 “, ( 1 mt).

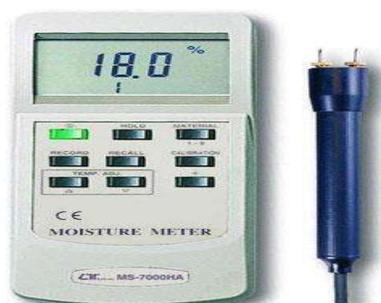


Figura 37 Medidor de humedad

### RECEPTOR DE BARRERAS DE MICROONDAS

Detecta sin contacto la altura de carga de la cinta transportadora. Por tanto, se detectaría un posible atasco garantizando así un funcionamiento automático.

Detección de sólidos.

El sistema de medición consiste en un receptor y su respectivo emisor. La señal emitida es focalizada por una antena y emitida al receptor. Si existe producto en el camino, la señal emitida se ve absorbida. Esta absorción es medida por el receptor y convertida en una orden de conmutación.



Figura 38 Receptor de barreras de microondas

### MANOMETRO LLENO DE GLICERINA.

Con caja de acero inoxidable, diseñado para ser instalado en ambientes donde existan agentes corrosivos, gran cantidad de polvo, vibración excesiva o la presión de la línea tenga severa pulsación o golpes de ariete causados por cambios bruscos de presión en fluidos corrosivos que no ataquen al broce, como bombas, prensas, plantas cementeras, etc.



Figura 39 Manómetro lleno de glicerina

## CAUDALIMETRO ULTRASONICO

No ocasiona perdida de carga.

No tiene partes moviles.

No influye en el diametro de la tubería, ni en su costo, ni en su rendimiento.

Ideal para la medición de materiales toxicos o peligrosos.

Salida lineal del caudal.

Su rango de medición es muy amplio.

En tuberías de gran diametro es el mas económico, y en ciertos casos, el único.

Su instalación es muy simple y económica.

Mide, calcula e indica Velocidad, Caudal y Volumen Total. No intrusivo, mide el tiempo que tarda ultrasonido en atravesar el fluido a medir.

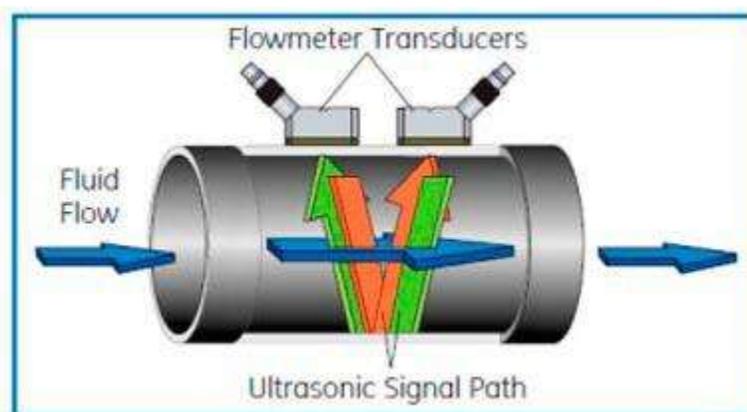
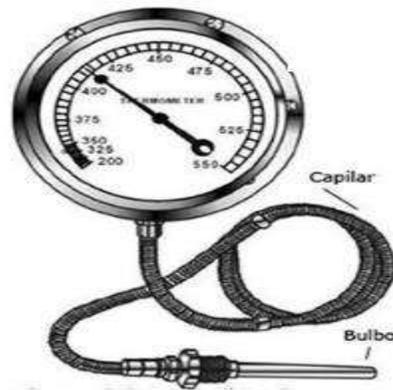


Figura 40 Caudalímetro ultrasónico

## TERMOMETRO DE BULBO Y BOURDON

Los termómetros de bulbo y bourdon compensan la influencia de la temperatura ambiente sobre el volumen del líquido en el bourdon (espiral) mediante una segunda espiral de acción inversa de manera que ambas se compensan. El capilar debe ser compensado en caso de 5 capilares largos (más de 5 ms. como referencia).



. Figura 41 Termómetro de bulbo y bourdon

## TACOMETRO OPTICO

Mide con precisión la velocidad rotatoria (RPM) usando un haz de luz visible, puede ser usado a una distancia de hasta 8 mts en un elemento rotatorio.



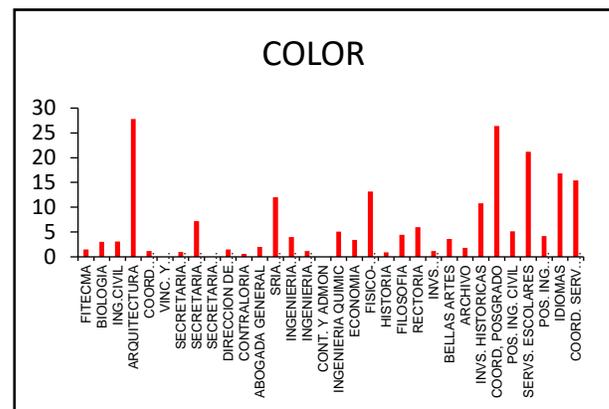
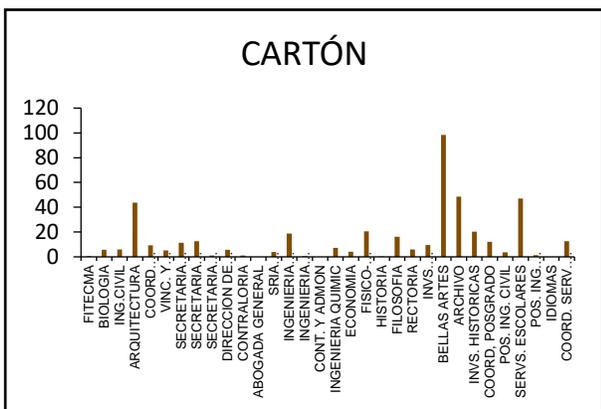
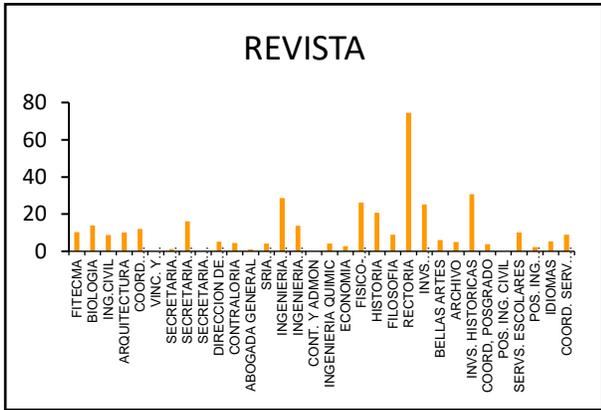
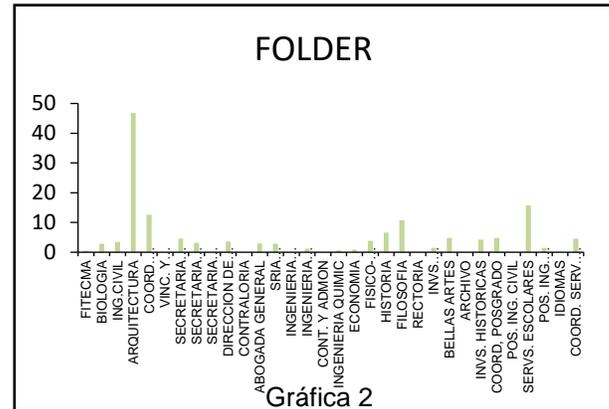
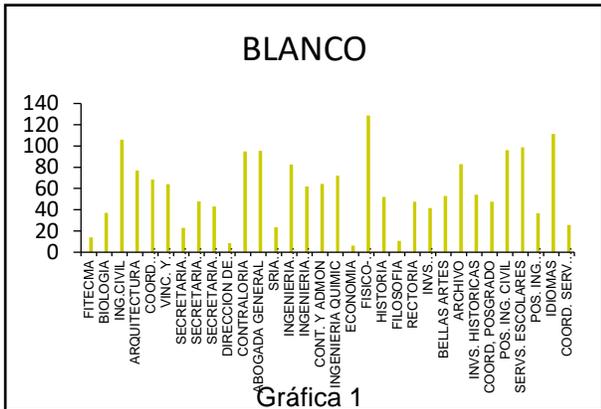
Figura 42 Tacómetro óptico

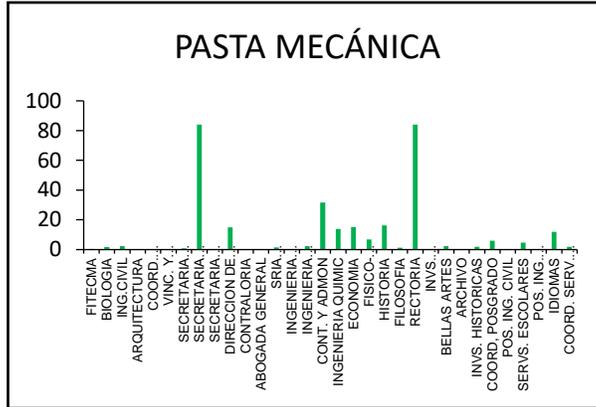
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### PROCESAR INFORMACION Y OBTENER LOS RESULTADOS DEL ACOPIO.

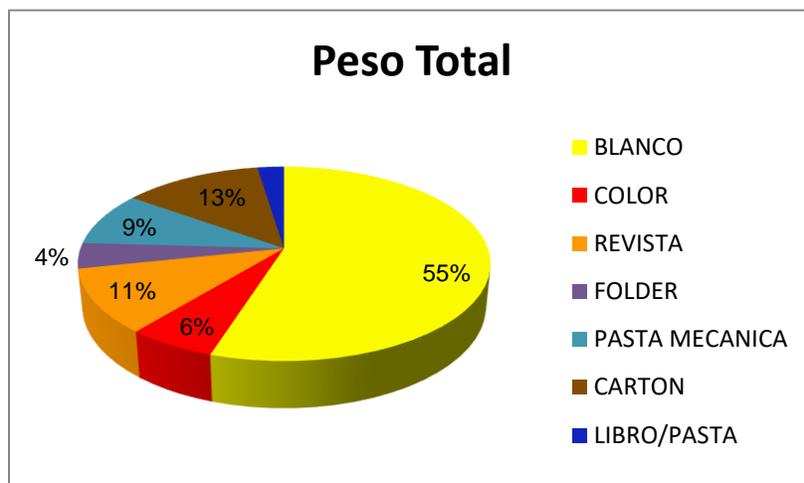
Tabla 8 resultados del acopio en ciudad universitaria.

DEPENDENCIA	BLANCO	COLOR	REVISTA	FOLDER	PASTA MECANICA	CARTON	LIBRO C/PASTA	TOTALES
FITECMA	13.95	1.5	10.35	0.54	0.45	0.45	0.3	27.54
BIOLOGIA	37.2	3	13.86	2.85	1.65	5.61	1.05	65.22
I.CIVIL	105.9	3.09	8.85	3.45	2.4	5.85	0	129.54
ARQUITECTURA	76.92	27.8	10.2	46.8	0	43.58	0	205.3
COORD. BACHILLERATO	68.4	1.2	12	12.6	0	9.4	37.8	141.4
VINC. Y DESARROLLO	64	0	0	0	0	5.18	0	69.18
SECRETARIA GENERAL	23	1	1.2	4.6	0.8	11.4	0.4	42.4
SECRETARIA AUXILIAR	47.8	7.2	16.2	3.2	84.1	12.6	0	171.1
SECRETARIA ACADEMICA	42.9	0	0	0	0	1.2	5.7	49.8
DIRECCION DE PERSONAL	8.52	1.5	5.1	3.6	15	5.7	0	39.42
CONTRALORIA	95	0.6	4.5	0	0	1	0	101.1
ABOGADA GENERAL	95.5	2	1	3	0	0	0	101.5
SRIA ADMINISTRATIVA	23.6	12	4.1	2.85	1.45	3.8	1.65	49.45
INGENIERIA ELECTRICA	82.5	4	28.7	0	0	18.75	0	133.95
INGENIERIA MECANICA	62	1.2	13.8	1.2	2.4	0.6	0	81.2
CONT. Y ADMON	64.3	0	0	0	31.6	0	0	95.9
INGENIERIA QUIMICA	72	5.1	4.15	0.6	13.8	7.2	0	102.85
ECONOMIA	6.2	3.4	2.8	0.85	15.2	4.2	0	32.65
FISICO-MATEMATICAS	128.6	13.2	26.2	3.8	6.75	20.5	1.2	200.25
HISTORIA	52	0.9	20.7	6.6	16.2	0.42	0	96.82
FILOSOFIA	10.8	4.45	9	10.8	1.2	16.2	0	52.45
RECTORIA	47.4	6	74.4	0	84	6	12.05	229.85
INVS. METALURGICAS	41.4	1.2	25.2	1.45	0	9.6	0	78.85
BELLAS ARTES	52.8	3.6	6	4.8	2.4	98.4	0	168
ARCHIVO	82.8	1.8	4.95	0	0	48.6	0	138.15
INVS. HISTORICAS	54	10.8	30.6	4.2	1.8	20.4	4.8	126.6
COORD. POSGRADO	47.4	26.4	3.75	4.8	6	12	0	100.35
POS. ING. CIVIL	96	5.12	0	0	0	3.6	0	104.72
SERVS. ESCOLARES	98.7	21.2	10.2	15.7	4.7	47	0	197.5
POS. ING. ELECTRICA	36.8	4.2	2.25	1.5	0.2	1.45	17.85	64.25
IDIOMAS	111.37	16.8	5.4	0	12	0	0	145.57
COORD. SERV. SOCIAL	25.7	15.4	8.9	4.6	1.8	12.6	0	69
<b>TOTALES</b>	<b>1875.46</b>	<b>205.66</b>	<b>364.36</b>	<b>144.39</b>	<b>305.9</b>	<b>433.29</b>	<b>82.8</b>	<b>3411.86</b>

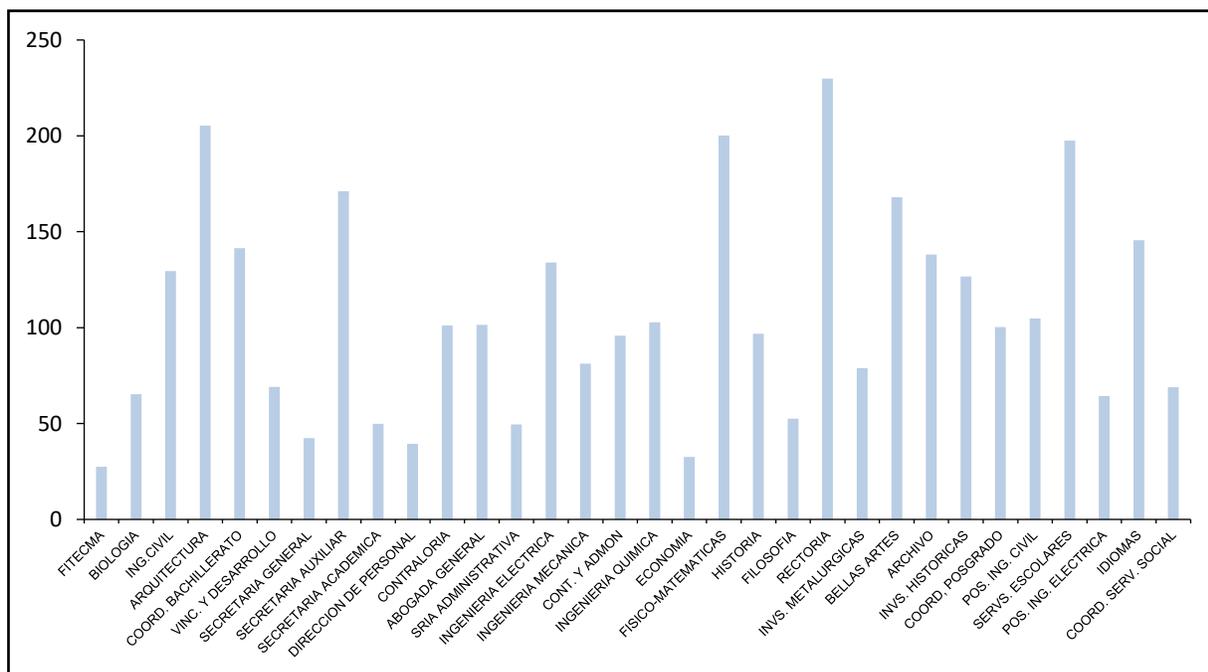




Gráfica 7

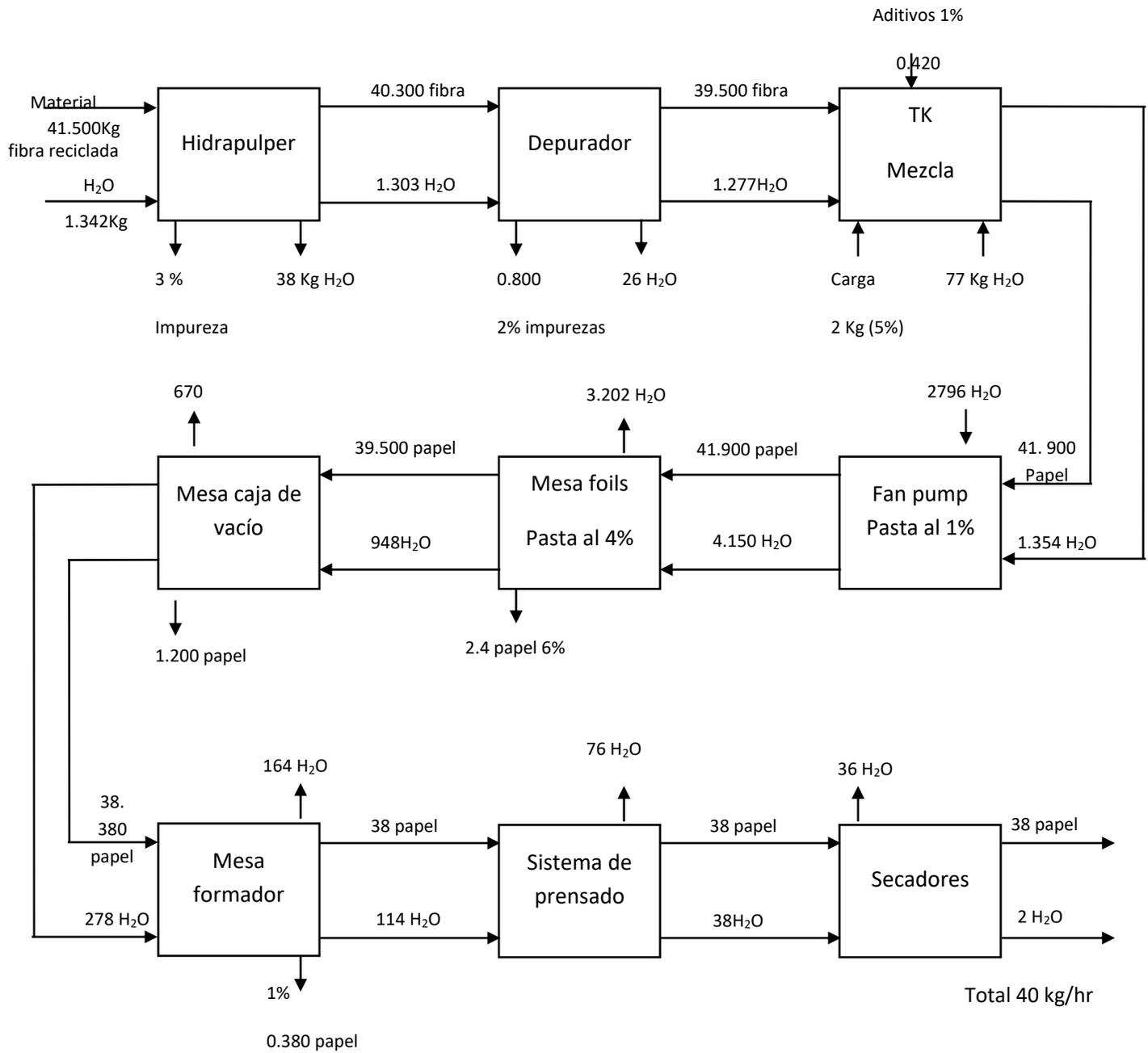


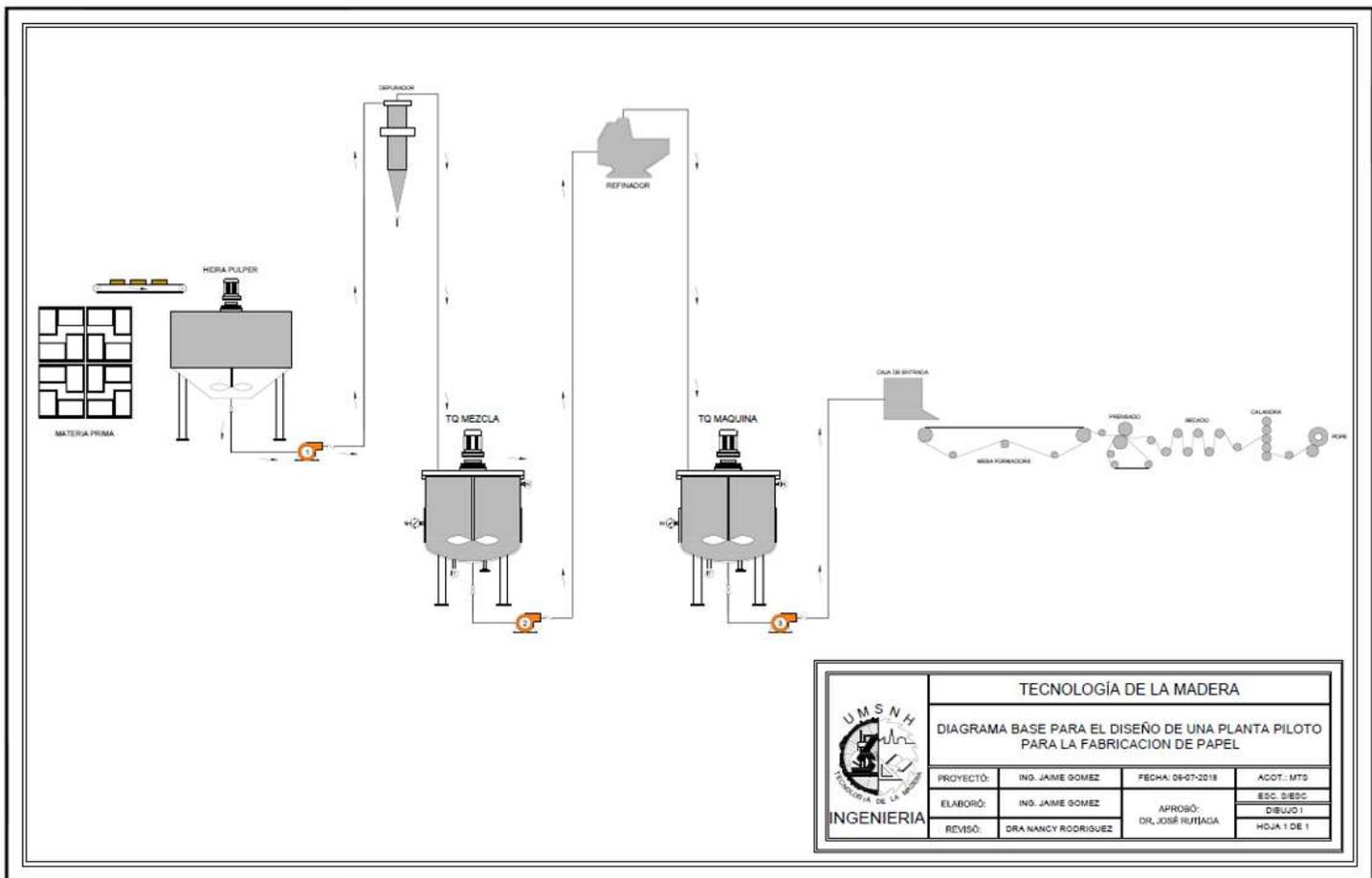
Gráfica 8



Gráfica 9

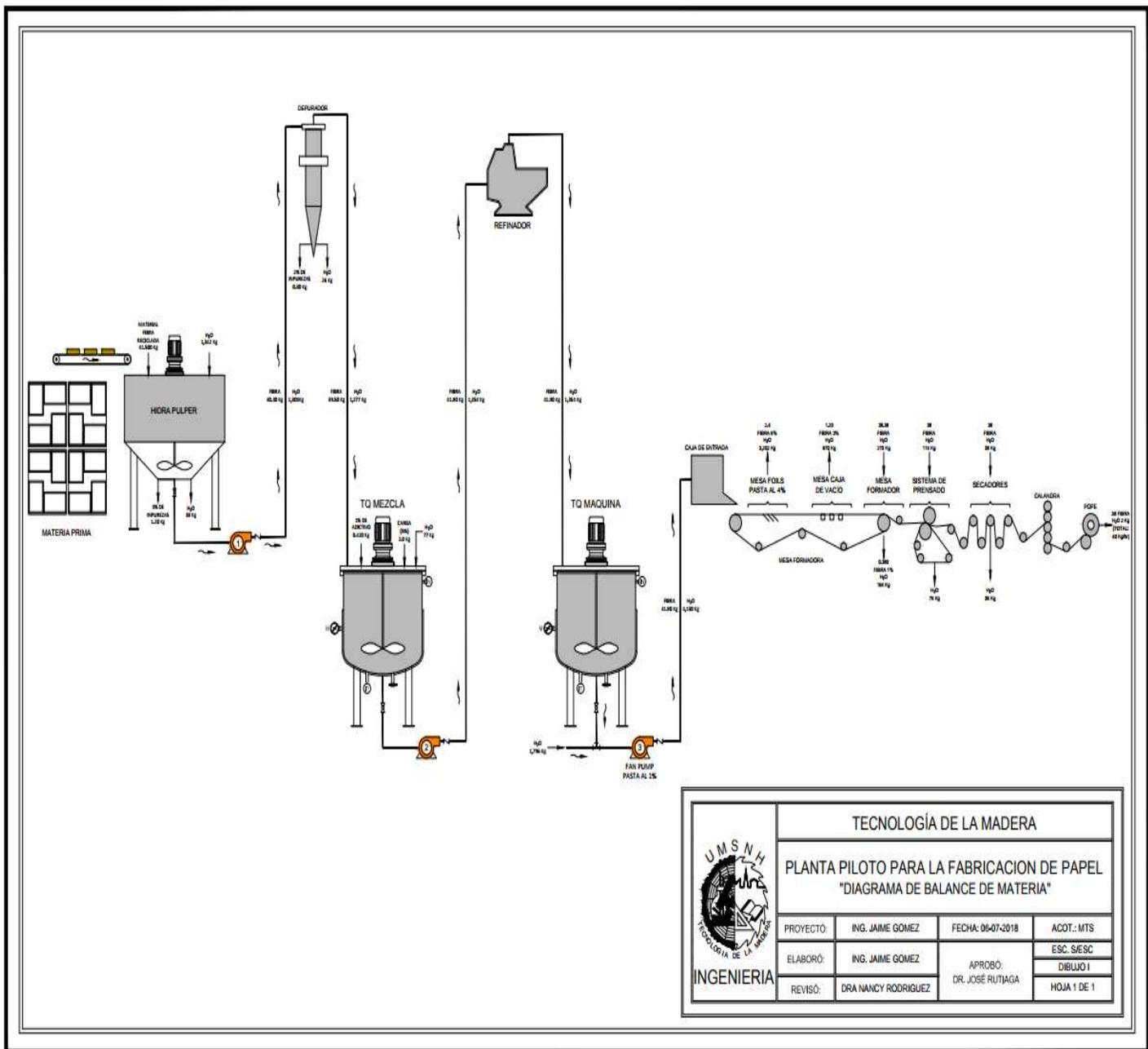
## Balance de materia por bloques para una planta piloto





TECNOLOGÍA DE LA MADERA			
DIAGRAMA BASE PARA EL DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA FABRICACION DE PAPEL			
PROYECTÓ:	ING. JAIMÉ GÓMEZ	FECHA: 06-07-2018	ACOT.: MTS
ELABORÓ:	ING. JAIMÉ GÓMEZ	APROBÓ:	ESC. SIBSC
REVISÓ:	DRA. NANCY RODRIGUEZ	DR. JOSÉ RUIJAGA	DIBUJO 1
			HOJA 1 DE 1

Figura 43 Diagrama base para la operación de la planta piloto



	<b>TECNOLOGÍA DE LA MADERA</b>		
	<b>PLANTA PILOTO PARA LA FABRICACION DE PAPEL</b>		
	<b>"DIAGRAMA DE BALANCE DE MATERIA"</b>		
	PROYECTO:	ING. JAIMÉ GÓMEZ	FECHA: 06-07-2018
ELABORÓ:	ING. JAIMÉ GÓMEZ	APROBÓ:	ESC. S/ESC
REVISÓ:	DRA. NANCY RODRÍGUEZ	DR. JOSÉ RUTIAGA	DIBUJO 1
			HOJA 1 DE 1

Figura 44 Diagrama de balance de materia

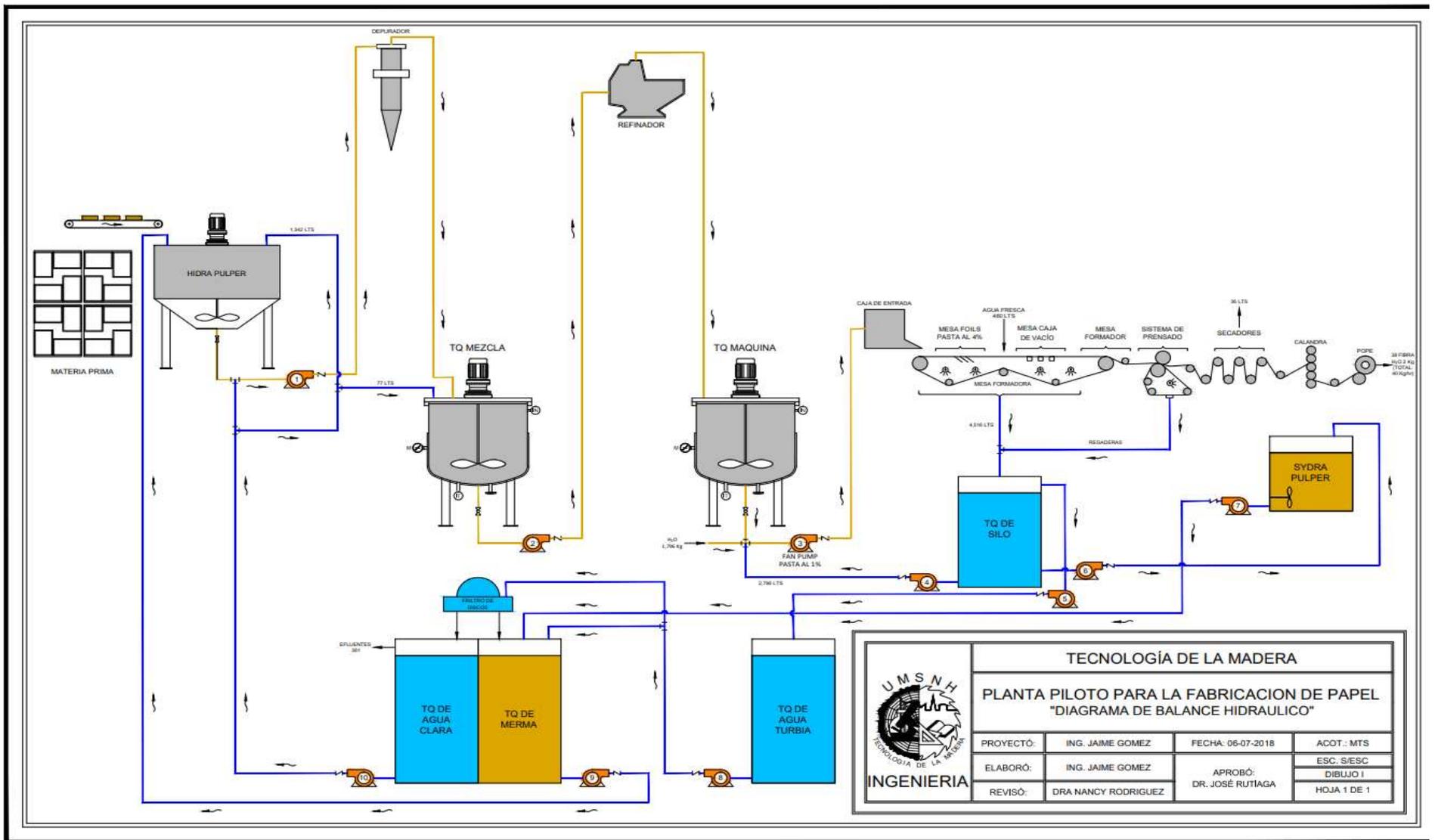


Figura 45 Diagrama de balance



Se realizó una investigación de mercado primero en diferentes plantas para saber qué tipo de productos están usando y su objetivo. Asimismo, se investigó proveedores y los nombres de los productos que manejan. En algunos casos, al contactar al proveedor si accedió a dar el costo de sus productos, pero la gran mayoría evitó dar esa información salvo que se tratara de una empresa papelera, por lo que se recurrió a personas que estaban laborando y que pudieran aportar los datos que a continuación se muestran:

### ESTUDIO DE MERCADO DE ADITIVOS PARA PAPEL

#### CARGAS MINERALES

PRODUCTO	PROVEEDOR	COSTO/KG	CONSUMO
CAOLIN	TEMISA	\$1.60	60KG/TON
	C.M. SAN JUAN	\$1.35	55KG/TON
CaCO <sub>3</sub>	TEMISA	\$1.95	50KG/TON
	C.M. SAN JUAN	\$2.20	55KG/TON
	MINERALES ROSET	\$1.90	50KG/TON
TALCO	TEMISA	\$2.05	50KG/TON
	MINIRALLS ROSLI	\$2.15	45KG/TON
	LORDA Y ROIG	\$2.15	45KG/TON

#### BLANQUEADORES

PRODUCTO	PROVEEDOR	COSTO/KG	CONSUMO
RC HCL	RC+Q	US\$.72	.5KG/TON
BL PAP	CHEM LOGIS	US\$.84	.6KG/TON
BL-105	CHEMICAL ADDITIVES	US\$.90	.5KG/TON

#### PIGMENTOS

PRODUCTO	PROVEEDOR	COSTO/KG	CONSUMO
BLANCO P7PAPEL	BASF	US\$1.05	.100KG/TON
	SILVER COLOR	US\$1.10	.100KG/TON
TiO <sub>2</sub>	BASF	US\$1.20	.100KG/TON
	SILVER COLOR	US\$1.10	.100KG/TON

**PRODUCTOS PARA ENCOLADO SUPERFICIAL**

PRODUCTO	PROVEEDOR	COSTO/KG	CONSUMO
ALMIDON OXIDADO	BAY SIZE	US\$.70	.200KG/TON
ALMIDON OXIDADO	RC+Q	US\$.75	.250KG/TON
ALMIDON OXIDADO	CIBA GEIGI	US\$.72	.220KG/TON
ALMIDON OXIDADO	INGREDION	US\$.65	.200KG/TON

**PRODUCTOS PARA ENCOLADO INTERNO**

PRODUCTO	PROVEEDOR	COSTO/KG	CONSUMO
AKD	CIBA GEIGI	US\$1.15	12-15KG/TON
AKD	RC+Q	US\$1.20	12-15KG/TON
AKD	PROPEL	US\$1.25	12-15/TON
ASA	CIBA GEIGI	US\$1.43	12-15KG/TON
ASA	RC+Q	US\$1.38	12-15KG/TON
ASA	PROPEL	US\$1.49	12-15KG/TON

## ADITIVOS

### COLIGANTES

PRODUCTO	PROVEEDOR	COSTO/KG	CONSUMO
DIETILEN-GLICOL	PC+Q	US\$.85	.100KG/TON
DOP	POCHTECA	US\$.90	.100KG/TON
DIETILEN-GLICOL	PROPAQUIMN TQ	US\$.90	.100KG/TON

### ANTIESPUMANTES

PRODUCTO	PROVEEDOR	COSTO/KG	CONSUMO
ESP-100	RC+Q	US\$1.025	.050KG/TON
BA-510	BASICOS Y COLORANTES	US\$1.00	.050KG/TON
AN-235	APQ	US\$1.08	.050KG/TON

## DISPERSANTES

PRODUCTO	PROVEEDOR	COSTO/KG	CONSUMO
DISPERSE	RC+Q	US\$.98	.050KG/TON
BUSPERSE	BASICOS Y COLORANTES	US\$1.00	.050KG/TON
DI-200	APQ	US\$1.05	.050KG/TON

## MICROBICIDAS

PRODUCTO	PROVEEDOR	COSTO/KG	CONSUMO
B-1080	BUCKMAN	US\$2.80	.200KG/TON
FU-300	OLARTE	US\$2.45	.200KG/TON
BIO-010	QUIMICA SAGAL	US\$2.30	.200KG/TON

## **DISEÑO DE CAJA DE ENTRADA**

Para este proyecto se eligió la caja de entrada abierta principalmente por la razón de que se manejarán velocidades bastante bajas al principio, pero en caso de ir aumentando la velocidad y que el flujo o velocidad del chorro no sean suficientes siempre se podrá tapar la caja convirtiéndose en caja cerrada y se le administrará un chorro de aire para formar la almohada que permita incrementar la presión interna y con esto la velocidad de salida del chorro por los labios. De igual forma, se facilitará bastante el control de adición de los aditivos químicos como retentivos y floculantes.

Hay dos variaciones en cuanto a una caja abierta normal y estas son: la regla wing, el agitador y el difusor.

**REGLA WING.** - Aunque el perfil de gramaje a lo ancho de la hoja se puede controlar con la apertura del labio de la caja, se puede asegurar un perfil parejo con las reglas wing, las cuales tienen la característica de que pueden subir o bajar el flujo en ambos lados de la caja y con esto normalizar que el gramaje sea el mismo a lo ancho de la hoja.

**AGITADOR.** - Su principal acción es la de homogeneizar la suspensión para que el perfil de la hoja sea parejo, pero también es de gran utilidad para evitar floculaciones provocadas primero por la gravedad y por la acción de los agentes de retención.

**DIFUSOR.** - Como su nombre lo dice, dispersa la suspensión evitando la formación temprana de grumos o como se le conoce en el medio, la formación de "bolas de pasta". Esto hace que la formación sea más homogénea.

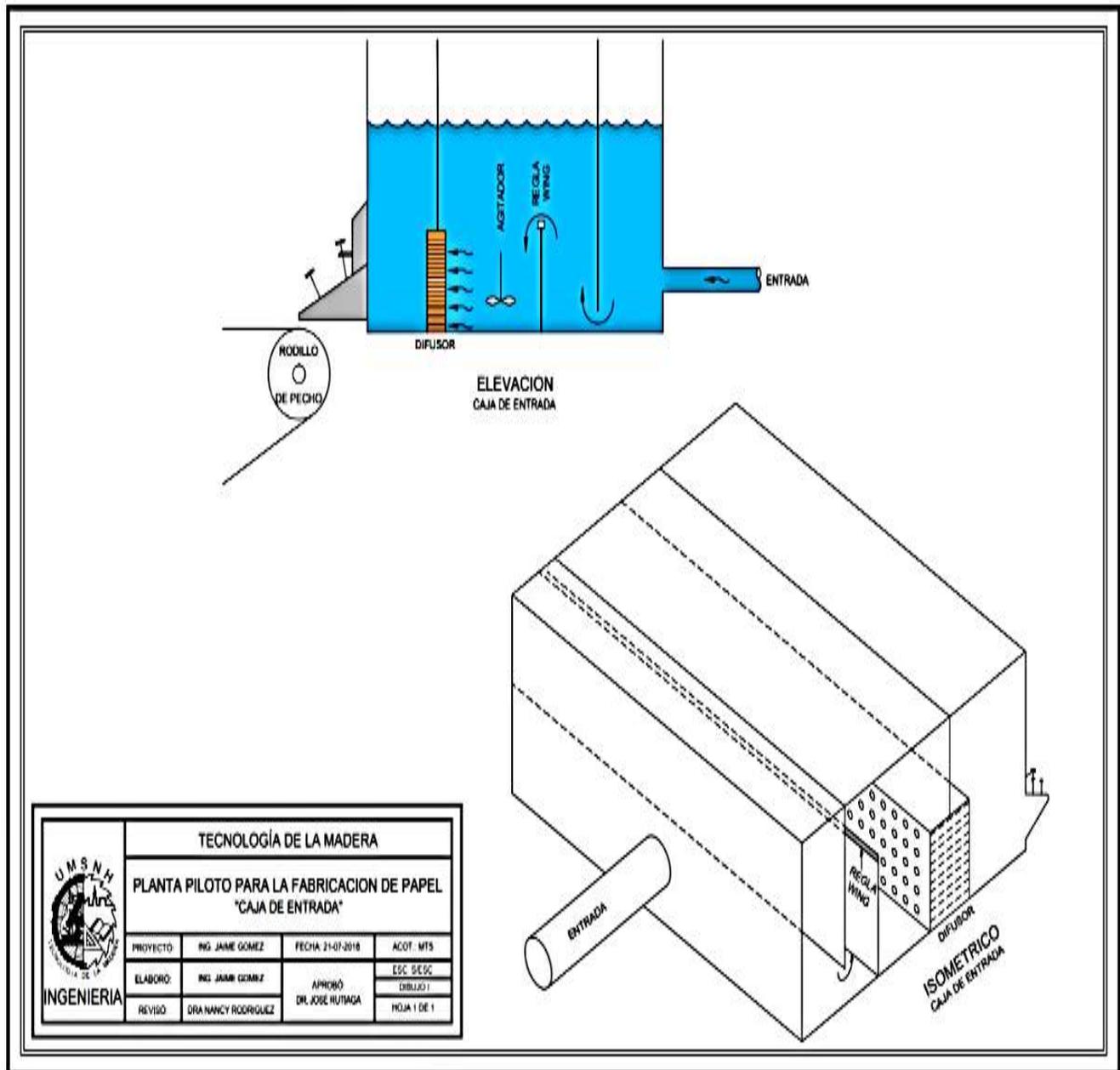


Fig. No. 50 diseño de caja de entrada.

SELECCIÓN DE MESA DE FORMACIÓN

SECCIÓN HÚMEDA

MESA FOURDRINIER

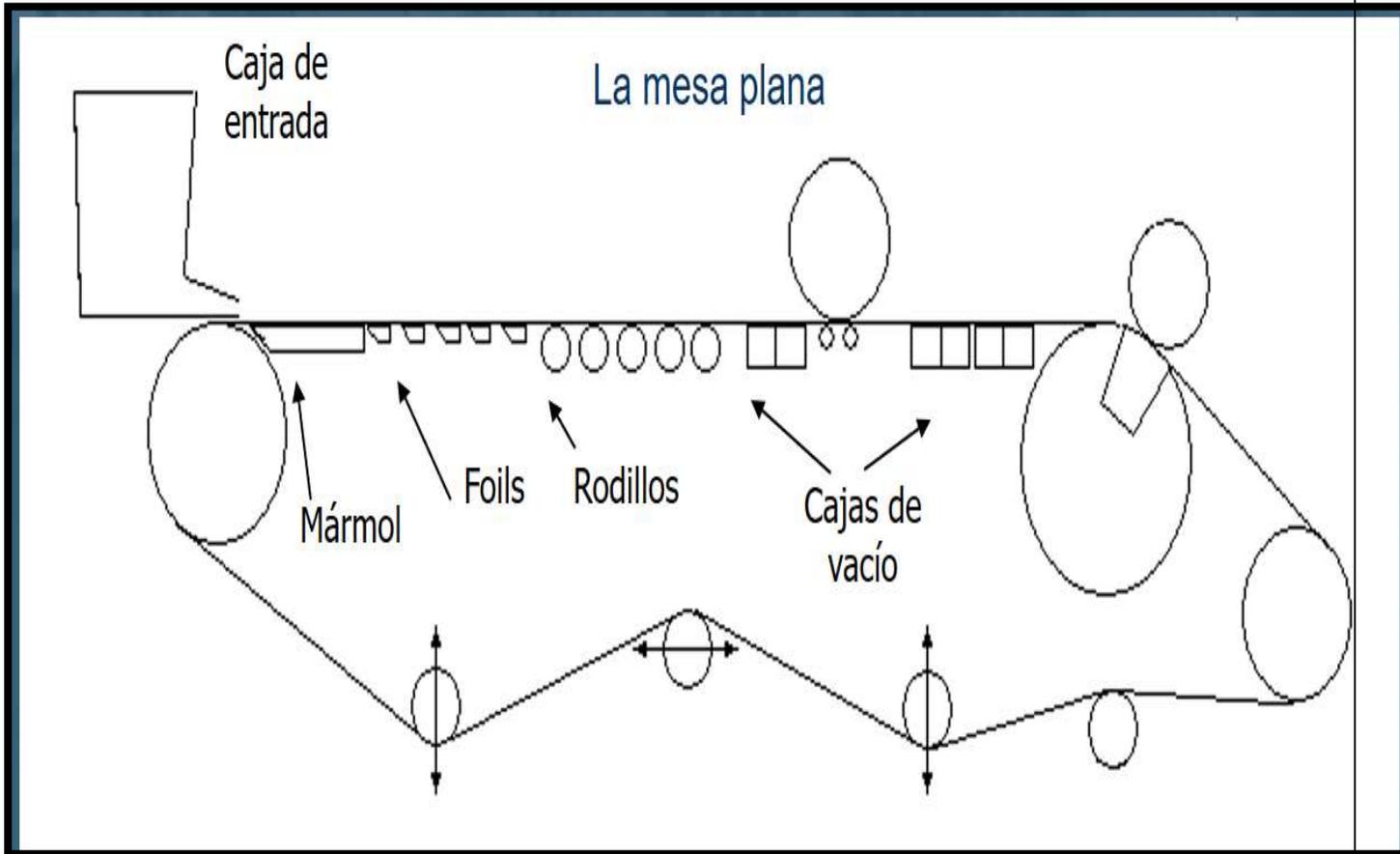


Figura 47 sección húmeda mesa Fourdrinier

## **DISEÑO Y/O SELECCIÓN DEL SISTEMA DE PRENSADO**

Para el presente proyecto se ha optado por colocar dos prensas en serie con las mismas características siendo la una variación la presión ejercida sobre la película de papel.

Las condiciones de la prensa son principalmente el diámetro y recubrimiento de cada rodillo. Se ha manejado siempre un ancho útil de 30 cms or lo que el ancho de los rodillos será de 33 cms para dar margen al fieltro (que siempre tendrá movimiento transversal) y al mismo movimiento de la guía de papel.

El diámetro de los rodillos será de 2 pulgadas, pero lo importante en este caso es la cubierta y el sistema de presión que se aplique.

La cubierta será de un espesor de 5 mm y estará compuesta por elastómeros de caucho y poliuretano, materiales altamente resistentes y que darán una dureza de 93° Shore, que es la unidad de medida en durezas de rodillos. Este material se considera el ideal para la Prensa porque aparte de ser de extrema durabilidad, tiene poca deformación y mucha resistencia, con lo cual se evita que con el tiempo produzca marcas a la hoja de papel. Claro que no es perene, pero su resistencia es la mayor en el mercado accesible.

El sistema de presión se dará en cada extremo del rodillo superior por medio de un pistón neumático con un rango de presión de hasta 50 Kg/cm en carga lineal.

Esta presión es controlada por medio de válvulas de flujo y manifoules.

La figura No.52 muestra cómo quedan montados los rodillos para su operación utilizando un fieltro que, como se vio anteriormente, trabaja como papel secante extrayendo el agua de la película.

Cada prensa tendrá también su juego de rodillos para el desarrollo del fieltro a la vez que regadera para limpieza, charola para retirar el agua y una caja de succión que limpiará el fieltro antes de entrar al nip para que pueda trabajar sin marcar la hoja de papel.

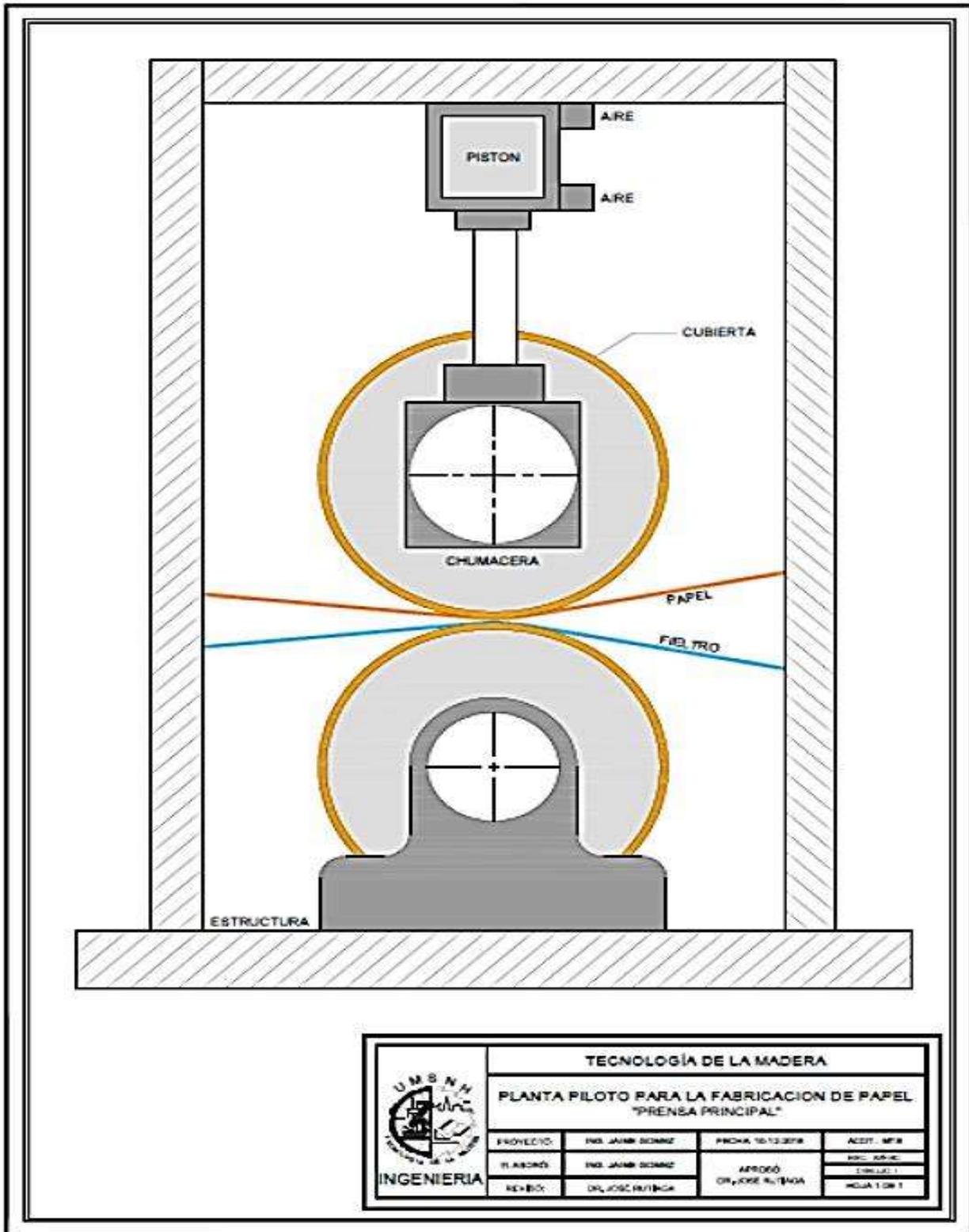


Figura 48 Prensa principal

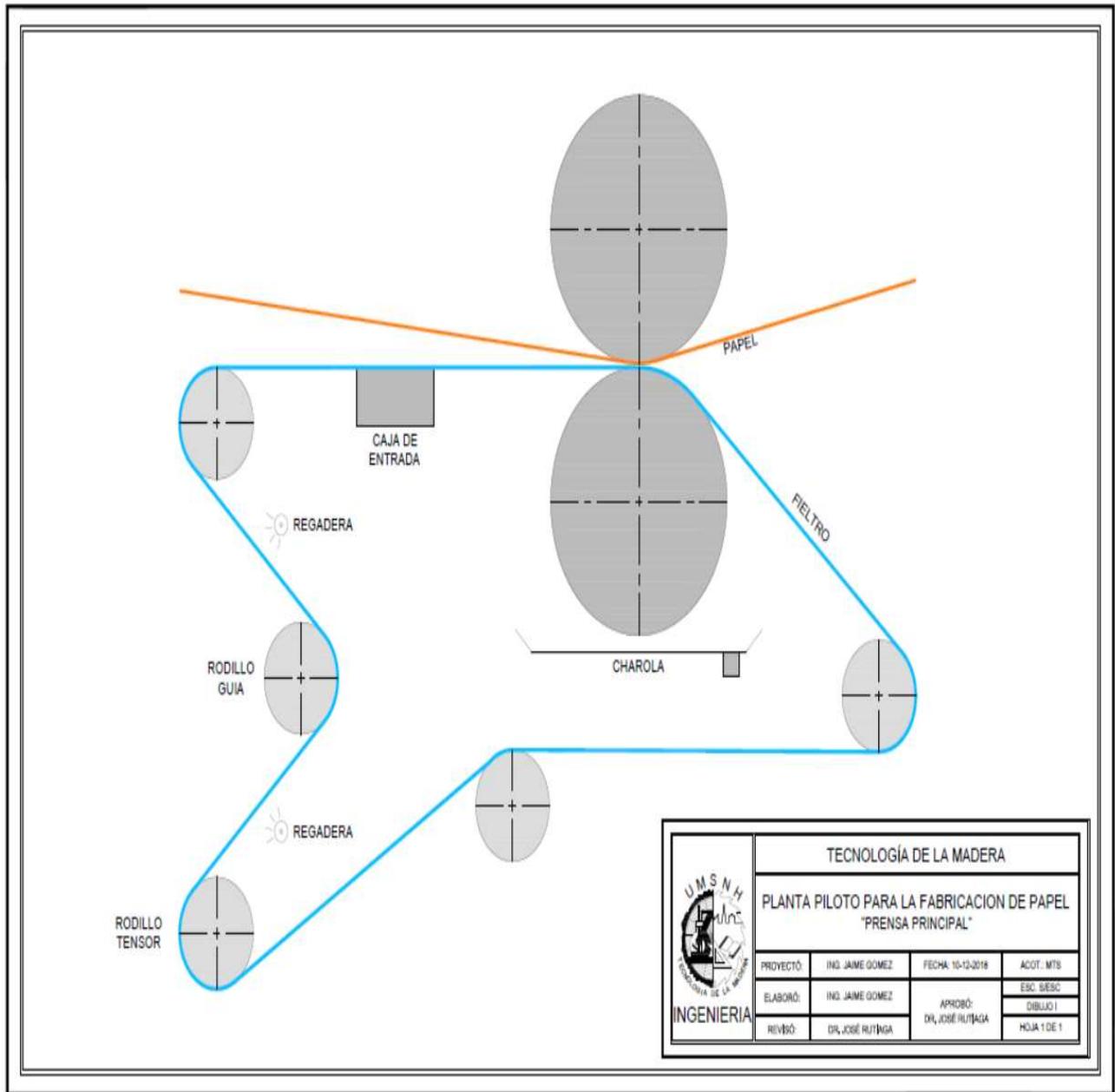


Figura 49 Desarrollo de fieltro de prensa

## **DISEÑO Y/O SELECCIÓN DEL SISTEMA DE SECADO**

En la industria de la fabricación del papel, para lograr el calentamiento de los cilindros secadores se ha utilizado siempre el vapor, principalmente por razones de costo. Aunado a esta fuente calorífica es común ver el sistema apoyado por rayos infrarrojos distribuidos en paneles con el fin de hacer más eficiente el tiempo de secado. Tanto en la fabricación del papel o del cartón, el secado es la piedra angular para la costeabilidad del producto, dicho en otras palabras, es el triunfo o el fracaso de la planta productora. Algunas plantas implementan ciertas estrategias con el fin de optimizar y acelerar el secado, tales como alargar la mesa de fabricación, uso de retentivos más eficaces, prensado que absorba más agua, etc. Todo con el fin de darle más velocidad a la máquina y de esa forma aumentar la producción.

Para resolver esta disyuntiva, se optó por generar el calor a fuego directo por medio de quemadores de gas que van dentro de cada cilindro y son regulados por medio de válvulas con el fin de obtener el calor necesario para el secado de cada tipo de papel.

De igual forma, se detallará el sistema de transmisión de movimiento el cual será por medio de engranes acoplados dos de ellos a un piñón de ataque que tendrá su tracción a través de un reductor. Para esto, se ha definido que la sección de secadores se dividirá en dos subsecciones con el fin de aligerar el esfuerzo del reductor de ataque y dividir la fuerza necesaria para mover todos los cilindros secadores.

Por lo anterior, en este capítulo definiremos:

**NÚMERO Y CONDICIONES DE SECADORES**

**OBTENCION Y TRANSMISION DE CALOR**

**TRANSMISION DE MOVIMIENTO**

**SISTEMAS AUXILIARES DEL SECADO**

**NÚMERO Y CONDICIONES DE SECADORES. -**

Se puede pensar que entre más secadores tuviera la batería, mayor será la eficiencia del secado y de igual forma se podría aumentar la velocidad para obtener una mayor producción. Ciertamente, pero la limitante principal es el costo. No solo el costo del material, la instalación y el área, sino el costo que representa el calentar cada secador. En el caso de este proyecto, se había comentado que el calor sería obtenido por medio de quemadores de gas que abarcaran todo el ancho del cilindro por lo que se tendría un consumo de gas extra si se instalan secadores a discreción.

La velocidad también es un factor importante a la hora de definir el número de secadores ya que siempre se tendrá como base la capacidad de drenado de la tela y la capacidad de prensado. Se comentaron los porcentajes de humedad a los cuales debe estar la hoja de papel al salir de cada una de estas zonas, pero al aumentar la velocidad sería necesario aumentar la capacidad de drenado con lo cual se provocaría una formación inferior en la calidad.

El secador a utilizar será del calibre más delgado posible, se está hablando de una cedula 10 o máximo 20. La razón es sencilla, siendo una planta piloto que se utilizará al inicio en forma intermitente, lo más recomendable es que el espesor sea delgado para que rápidamente se caliente la superficie del secador, aunque al final de la sesión se enfríe rápidamente lo cual carecerá de efecto ya que la máquina se detendrá. Se había mencionado un ancho de la hoja de 30 cms por lo cual consideramos un ancho de los secadores de 34 cms con el fin de no perder calor en áreas que no se utilizarán y por lo mismo un diámetro de 6 a 8 pulgadas.

Los secadores se colocan en dos filas, una superior y otra inferior con el fin de que durante el trayecto la hoja de papel obtenga un secado por los dos lados y de esa forma sea más eficiente y uniforme el retiro de la humedad del mismo.

El número de secadores calculado para este proyecto es de 10 en función a los cálculos que se analizarán en los párrafos siguientes, pero siempre tomando en cuenta el gramaje, la velocidad y los equipos que se adicionen para mejorar el secado de la hoja de papel.

## **OBTENCION Y TRANSMISION DE CALOR**

2.4 TRANSFERENCIA DE CALOR La transferencia de energía en forma de calor es comúnmente utilizada en procesos químicos e industriales. Esta suele ser fundamental en diversas operaciones unitarias, tales como el secado de madera o papel, destilación del alcohol, evaporación entre otros. El flujo de calor se verifica debido a la fuerza impulsora de una diferencia de temperaturas, por la cual el calor fluye desde la región de alta temperatura a la de temperatura más baja. (Hougen, 1982). La transferencia de calor se puede desarrollar por medio de uno o más mecanismos de transmisión de calor: conducción, convección o radiación.

**Conducción:** Se refiere a la transferencia de calor por interacciones moleculares en el material, como por ejemplo por medio de paredes o intercambiadores de calor, el congelamiento del suelo durante el invierno, etc.

**Convección:** Este tipo de transferencia implica transporte de calor a través de una fase y el mezclado de elementos macroscópicos calientes y fríos de un fluido. Asimismo, puede involucrar que dicha transmisión de calor se realice entre un sólido y un fluido. Dentro de este tipo de transferencia es importante también considerar que existe un factor conductivo el cual se asocia directamente en el coeficiente de convección ( $h$ ). Algunos ejemplos que demuestran dicho fenómeno son la pérdida de calor de un radiador y el enfriamiento de una taza de café caliente.

**Radiación:** mediante este mecanismo se transfiere energía calórica por medio de ondas electromagnéticas, y a diferencia de la conducción y convección, este no necesita de un medio para transmitirse. Debido a la forma de su onda, este tipo de transferencia se rige bajo el mismo comportamiento que la luz, siendo un claro ejemplo el transporte de calor desde el Sol a la Tierra.

Particularmente en el proceso de secado de papel se utilizan dos de estos fenómenos para remover agua de la hoja de papel, la conducción a través de los cilindros secadores y la convección mediante la inyección de aire calentado por medio del quemador de gas.

**CONDUCCIÓN** La transferencia de calor por conducción obedece a la ley de Fourier para la conducción de calor en fluidos y sólidos.

$$\frac{q_x}{A} = -k \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Donde  $q_x$  corresponde a la velocidad de transferencia de calor en dirección  $x$  en [W]

$A$  es el área de la sección transversal normal a la dirección del flujo calorífico en [m<sup>2</sup>]

$k$  es el coeficiente de conductividad térmica en [W/m K]

$T$  la temperatura en [K]

$x$  corresponde a la distancia en [m]

La conductividad térmica es la propiedad física de cualquier material que mide la capacidad de conducción de calor a través del mismo (Hougen, 1982). Dicha característica queda definida por la misma ecuación de Fourier y junto a procedimientos experimentales se logra obtener las conductividades para diversos materiales. Por lo general los gases tienen bajos valores de conductividad térmica, mientras que los líquidos presentan valores intermedios y los sólidos (dependiendo de su naturaleza conductora) más altos.

La conductividad térmica de los sólidos homogéneos varía según la naturaleza del material; por ejemplo, aquellos que tienen características metálicas, como el cobre o aluminio tienen valores elevados mientras aquellos que de característica aislante y no metálicos presentan bajas conductividades.

En el caso de este proyecto, la conducción se presenta en los secadores, los cuales son cilindros de acero los cuales son huecos.

En el interior de cada cilindro existe aire caliente a alta temperatura, mientras que en su superficie externa se transporta la lámina de papel a temperatura ambiente, verificándose la conducción a través de la pared del cilindro. Para este caso particular se aplica la ley de Fourier, pero es necesario considerar una aproximación logarítmica para describir el área, ya que el flujo calórico va desde el centro del cilindro hacia la superficie externa (a través del manto del cilindro) y a medida que este avanza el área de propagación de calor varía ya que el radio va aumentando al llegar a la superficie

externa; por ende, una aproximación lineal del área no será la más representativa. Se propone, entonces una representación logarítmica,  $A_{ml}$ .

Considerando que el calor fluye desde el centro del cilindro hacia la superficie, se puede definir la siguiente expresión, con el fin de ejemplificar el fenómeno que ocurre en el cilindro.

Se define el flujo de calor,  $q$ , entre los radios,  $r_1$  y  $r_2$  :

$$q = k A_{ml} \frac{T_1 - T_2}{r_2 - r_1}$$

En la ecuación anterior,  $q$  corresponde a la velocidad de transferencia en [W]

$k$  es el coeficiente de conductividad térmica en [W/m K]

$A_{ml}$  se refiere al área con media logarítmica en [m<sup>2</sup> ]

$T_1$  es la temperatura en la superficie de radio menor ( $r_1$ ) en [K]

$T_2$  es la temperatura en la superficie de radio mayor ( $r_2$ ) en [K]

$r_1$  corresponde al radio interior del cilindro en [m]

$r_2$  es el radio exterior del cilindro en [m]

$A_{ml}$  (Área con media logarítmica) se detalla por la siguiente fórmula:

$$A_{ml} = \frac{2 \pi L (r_2 - r_1)}{\ln r_2 / r_1}$$

Con  $r_1$  refiriéndose al radio interior

$r_2$  al radio exterior

$L$  al largo del cilindro, todos en [m].

**CONVECCIÓN** La velocidad de transferencia de calor mediante convección, queda definida por la siguiente ecuación:

$$q = h A ( T_w - T_f )$$

Donde  $q$  corresponde a la velocidad de transferencia de calor en [W]

$h$  es el coeficiente convectivo de transferencia de calor en  $[W/m^2 K]$

$A$  se refiere al área en  $[m^2]$

$T_w$  es la temperatura en la superficie del sólido en  $[K]$

$T_f$  corresponde a temperatura promedio del fluido en  $[K]$ .

Esta ecuación describe tanto la convección natural como forzada. La primera se determina por el movimiento del fluido debido a la variación de densidades, mientras que la segunda se define como la transferencia de calor realizada por diferencias de presión por medio de una bomba, ventilador, etc.

El tipo de flujo, laminar o turbulento, influye directamente en el valor del coeficiente de convección, ya que la mayor parte de la resistencia a la transferencia de calor está localizada en la película cercana a la pared (Kehnecht, 1970)

**COMBINACIÓN DE CONVECCIÓN Y CONDUCCIÓN** En diversos procesos comúnmente ocurren ambas formas de transferencia de calor, por conducción y convección; generalmente no se conocen todos los datos límites sobre todo los intermedios como temperaturas y radios de las diferentes capas, pero se sabe que ambos lados de las superficies sólidas están en contacto con un fluido. Esto se ve reflejado claramente en los intercambiadores de calor donde se desea transferir calor desde un fluido dentro de una tubería al del exterior o viceversa; dicha situación queda ejemplificada por la siguiente figura donde se ilustra el calor, “ $q$ ”, fluyendo desde el exterior hacia el interior del cilindro.

La transferencia de calor total por combinación de conducción y convección en distintos materiales suele expresarse en términos de un coeficiente de transferencia de calor global  $U$ .

Por lo tanto, la transferencia de calor queda así:

$$q = U A \Delta T$$

Donde  $q$  se refiere a la velocidad de transferencia de calor en  $W$

$U$  es el coeficiente global de transferencia de calor en  $W/m^2K$

A es el área de transferencia en  $m^2$

Y  $\Delta T$  corresponde a la diferencia de temperatura en K

### TRANSMISION DE MOVIMIENTO

El movimiento de la batería de secadores se hará por medio de engranes los cuales serán activados por un piñón de ataque el cual saldrá de un reductor acoplado a una polea que será la que sea accionada por medio de una banda conectada a la flecha motriz. Gráficamente será más fácil describir este movimiento el cual no es para nada sofisticado, dentro del cual se verá que es lo ideal para el trabajo de la batería.

Se había comentado que los cilindros sería lo más delgado posible únicamente para resistir la tensión que se genere por la misma hoja de papel y para agilizar su calentamiento. Aun así, mover diez cilindros con un solo piñón de ataque implicaría una mayor fuerza en el movimiento de torsión, por lo que se optó por dividir la batería de los secadores en dos secciones, aunque esto implique la instalación de otro reductor, otro piñón de ataque y siempre el cuidado de coordinación entre la velocidad de cada una de las secciones para evitar rupturas por alta tensión en la hoja o que se pierda el contacto entre el papel y el cilindro por falta de "tiro".

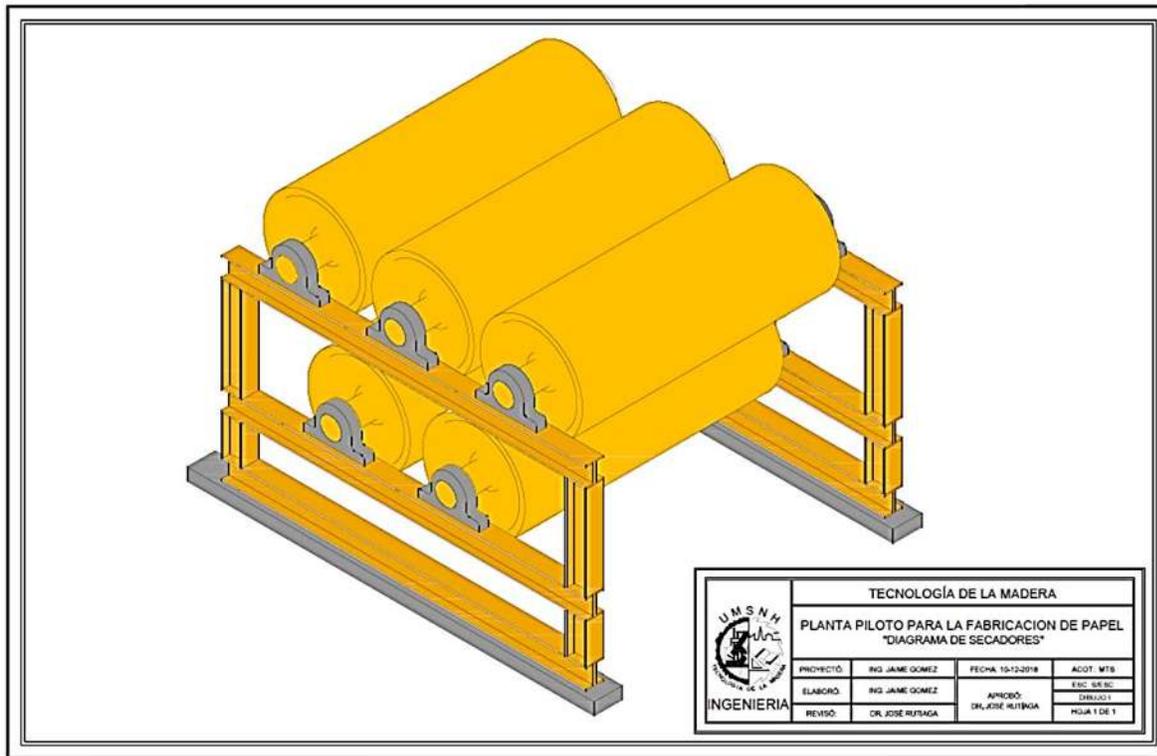


Figura 50 Batería de secadores lado servicio

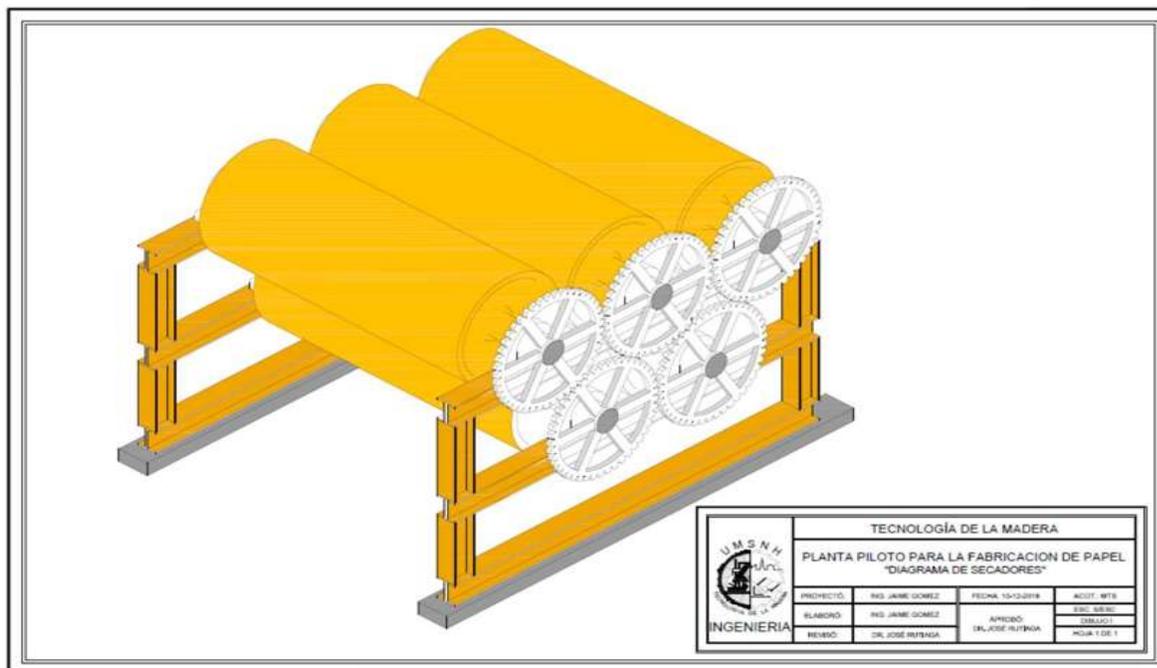


Figura 51 Batería de secadores lado transmisión

Lo normal sería que los rodamientos de los cilindros fueran baleros con chumaceras, pero el calor cercano normalmente hace que la grada de los rodamientos se seque y consume haciendo que frenen las bolas o los cilindros del balero con lo cual al final salgan botados. Previendo esto se decide colocar cojinetes de bronce en cada rodamiento con un sistema de lubricación ya sea por engrasado o por goteo de aceite. Definitivamente esto es más duradero, eficaz y económico.

## **SISTEMAS AUXILIARES EN EL SECADO**

Tela o lona para secadores. - Las telas secadoras vienen evolucionando a lo largo de los años. Su estructura con hilos de monofilamento y diseño de capa simple y doble dominan las aplicaciones de la sección de secado. Estructuras con hilos de monofilamento retorcido son poco utilizados debido a la dificultad de limpieza. A su vez, se usan más los hilos con forma cilíndrica y rectangular, pues reducen el riesgo de acumulación de material contaminante. Este proceso ocurre debido a la reducción de los puntos de cruce en la estructura de la tela secadora. La imagen 1 muestra las formas más comunes de materia prima para la fabricación de las telas secadoras. El material predominante en la fabricación de las telas secadoras es el poliéster, pero también se están utilizando otros materiales para minimizar los contaminantes. Un ejemplo es el PTFE, que se lo puede poner en los monofilamentos durante el proceso de extrusión del hilo. El conocimiento de la composición de la tela secadora es esencial para prevenir la contaminación y establecer un programa de limpieza exitoso. Se usan diferentes estructuras y diferentes densidades de hilos para la obtención de permeabilidad, que puede variar según la aplicación en la sección de secado. La tabla 1 indica las propiedades de las telas secadoras: se observa que, cuanto menor es la permeabilidad, mayor es la dificultad de limpieza, principalmente cuando la estructura de la tela secadora tiene capa triple e hilos de monofilamento retorcido.

En la sección de secado, las telas secadoras están proyectadas para alcanzar la máxima vida sin afectar la producción y la calidad del papel. Un requisito fundamental es mantener la permeabilidad a lo largo de la vida útil. Por eso, el conocimiento acerca de la composición de la materia prima, los aditivos aplicados, las propiedades de los

contaminantes, la estructura de la tela secadora y los métodos de limpieza son fundamentales para alcanzar ese objetivo. A continuación, están las principales consecuencias de la obstrucción de las telas secadoras:

El material contaminante retarda la velocidad del secado y puede afectar la calidad del papel.

Afecta la transferencia de calor y la eliminación de humedad de aire del bolsillo.

Puede provocar variación de humedad en el sentido transversal de la máquina y fajas húmedas en la hoja de papel.

Provoca adherencia de papel y rupturas en la hoja.

Los materiales contaminantes se pueden transferir a la hoja y provocar problemas de calidad en la superficie del papel dependiendo del material empleado.

Otro sistema auxiliar muy importante es la extracción de vapor que se forma al extraer el agua de la hoja de papel. Para esto se utilizan extractores de aire que son simplemente ventiladores los cuales deben estar regulados con el fin de extraer únicamente la cantidad de vapor que pudiera ser perjudicial a la hoja si llegara a condensarse.

Para el caso del proyecto, un solo extractor bastará y por otro lado no elevará en forma significativa el costo, pero si será un buen auxiliar en el secado del papel.

## **DISEÑO Y /O SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CALANDRADO**

Después de analizar los sistemas de calandrado y los tipos de equipos que hay para ese efecto, se procede a elegir el tipo de calandra que se utilizará en este proyecto.

Lo primero es definir de cuantos rodillos constará y sus razones. Dentro del desarrollo del proyecto se tiene que programar los tipos de papel que se podrán fabricar, esto lleva a tener equipos que puedan dar diferentes calidades. Sí se puede instalar una calandra de solo dos rodillos, pero por la velocidad y tipo de papel solo se logrará una lisura y unas propiedades físico-mecánicas bastante limitadas. Para tener un rango de trabajo amplio lo ideal en este caso es montar una calandra de 5 rodillos.

Cada rodillo se fabricará con tubo mecánico o barra hueca de mínimo 5/16" de grosor de pared, ancho de 35 cms y un diámetro variable en cada uno de ellos siendo el diámetro del rodillo padre de 2 ½" disminuyendo ¼" en cada rodillo de tal forma que el rodillo superior sea de 1 ½".

Como se había explicado en la fase anterior, los rodillos van colocados en forma vertical para que simplemente por su propio peso ejerzan la fuerza necesaria de comprimir el papel y darle el calibre necesario. Normalmente esto no es suficiente por lo que se instala un sistema para dar presión a los rodillos. Este sistema puede variar en función a la calidad que se desee obtener o hasta la capacidad económica que se tenga.

Para este proyecto se ha elegido un sistema bastante sencillo y fácil de adquirir e instalar, el cual consta de un pistón que normalmente es hidráulico, aunque puede ser neumático. Este pistón mueve en forma vertical una palanca en forma de L que esta acoplada a una flecha de presión la cual ejerce la fuerza directamente sobre el rodillo superior dando así la presión requerida.

Un factor muy importante dentro del montaje e instalación de este equipo es obviamente la alineación tanto del rodillo con respecto a ellos mismos, (esto se refiere a que los centros de los rodillos deben estar perfectamente alineados en un solo vertical), como del cuerpo de la calandra con respecto a la batería de secadores, ya

que cualquier diferencia daría por resultado una tracción dispareja de la hoja de papel provocando en ocasiones que la hoja se rompa.

De igual forma, las espigas de los rodillos van apoyadas en chumaceras que se ajustan al cuerpo de la calandra para evitar movimientos.

La figura da la idea exacta de que es lo que se pretende instalar:

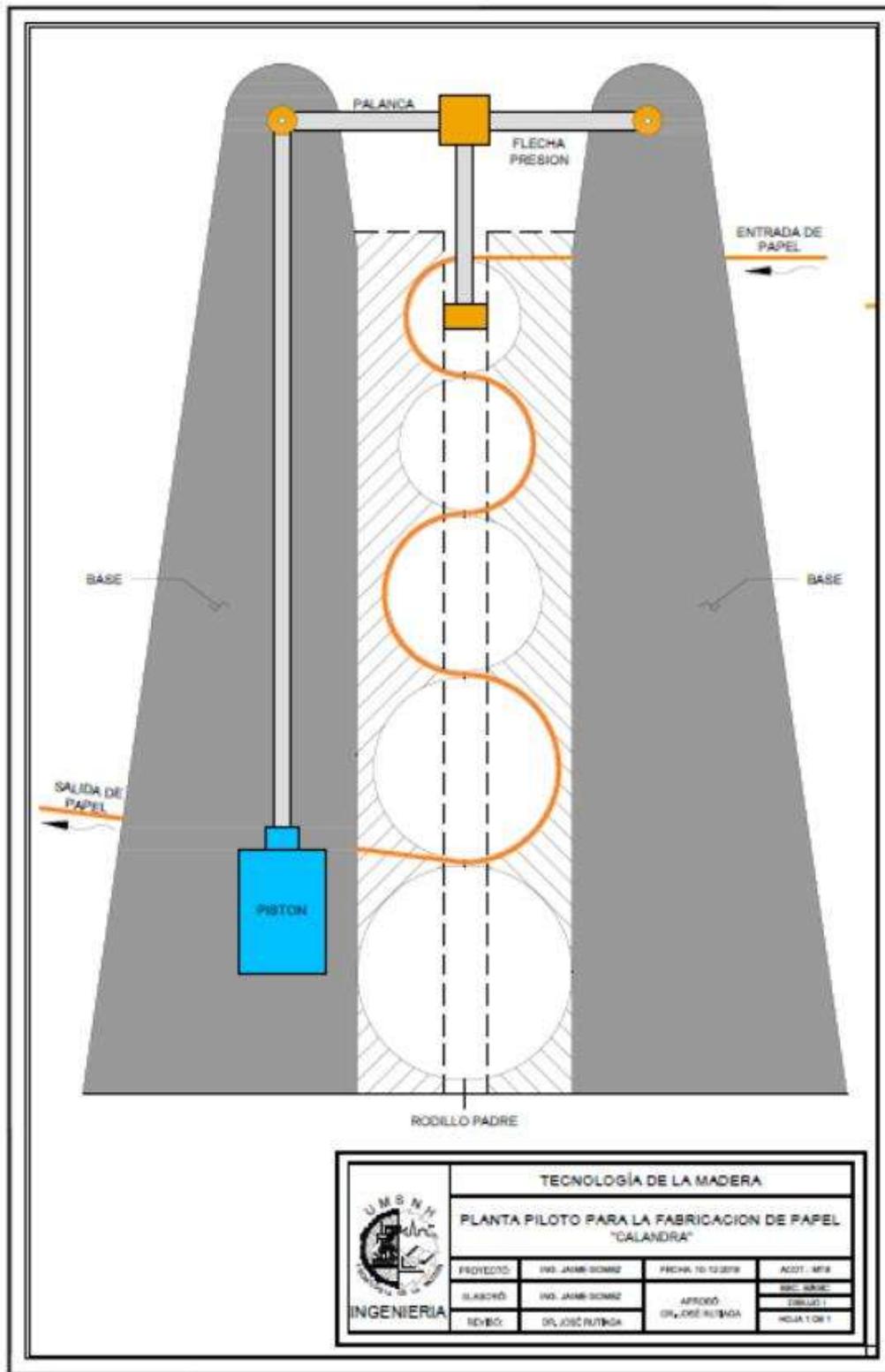


Figura 52 Calandra

## **DISEÑO DEL ENROLLADOR**

Al terminar todo el proceso de manufactura del papel, (sea a partir del reciclado o con fibra virgen), solo resta enrollarlo. A simple vista, se ve un proceso muy sencillo, pero tiene sus detalles ya que la función del enrollador no es solamente la de “enrollar”, sino que un alto porcentaje de la tensión en los “tiros” entre las secciones viene ejercida desde el enrollador. Esto es, en términos meramente papeleros, “el jalón viene desde el enrollador”.

El enrollador es un tambor o cilindro donde se coloca una flecha o carrete de acero que es donde se va a enrollar el papel. Esta flecha se coloca a 180 grados de la llegada del papel al tambor y está sujeta por dos brazos que hacen presión sobre el carrete con el fin de que el papel quede lo más apretado posible. Pero para apoyar esto, es preciso que la tensión de la hoja sea la máxima que soporte el papel sin reventarse y con esos tendremos no solo un “rollo padre” parejo y bien apretado, sino que también esta tensión será transmitida hasta la sección de secadores ayudando en el secado debido a una mejor adhesión del papel con la superficie de los secadores.

Durante el funcionamiento normal, la hoja rodea el tambor y llega a la zona de presión formada entre el tambor y la bobina de papel sujeta por los brazos secundarios. El papel se enrolla en el carrete mientras se coloca otro en los brazos primarios que se usará cuando ya esté completo el rollo y esto se utiliza con la finalidad de que el proceso de enrollado sea continuo. Cuando se completa el rollo, los brazos secundarios dejan de aplicar la tensión en el rollo, causando que se frene la bobina de papel, esto provoca que se levante un poco el papel del tambor y tienda a enrollarse sobre el nuevo carrete. A esto se se llama giro tipo burbuja.

El rollo de papel acabado, se retira del Pope mediante una grúa y si el proceso va el día, se coloca sobre la bobinadora para darle las dimensiones requeridas por el cliente. Si no, se dejan en un lugar especial esperando turno para embobinarse.

Lo normal es que, durante la construcción del rollo, se tengan los sensores o scanners para detectar alguna variación significativa en el espesor, densidad y humedad de la hoja y esto puede ayudar a tomar las medidas necesarias mediante ajustes, por

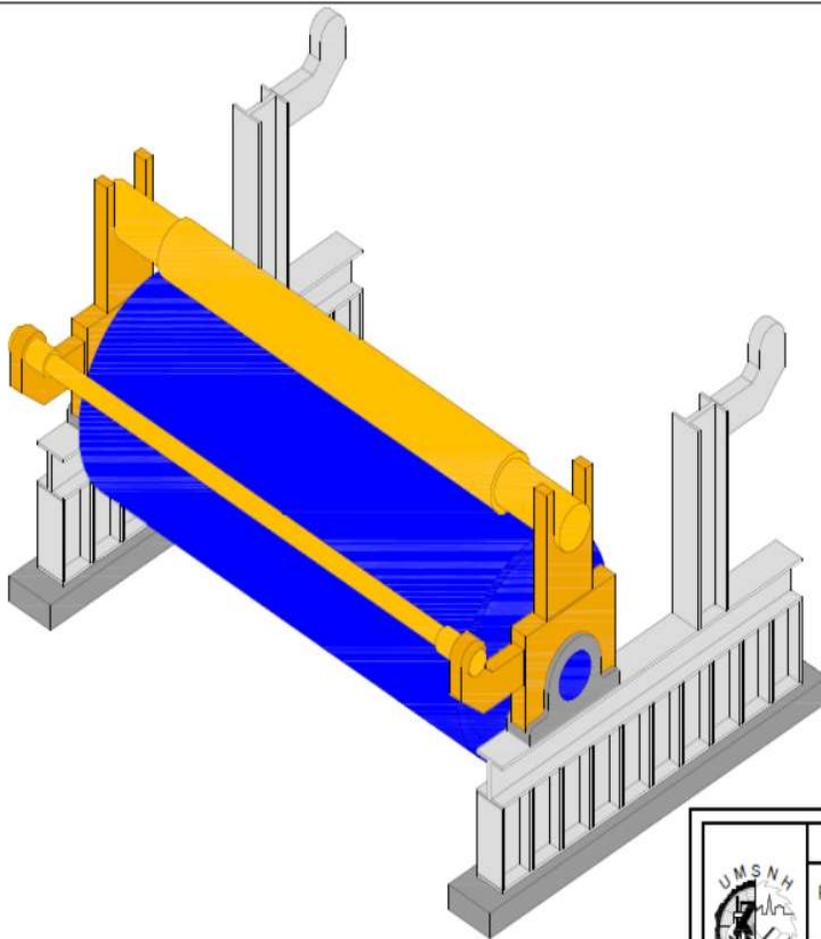
ejemplo, corrigiendo el peso mediante dilución, variando las presiones en los rodillos de prensa, eliminando las bandas de humedad en los fieltros de las prensas, corrigiendo los perfiles de humedad en el secado, etc.

Figura 57 Enrollador





Figura 53 Tambor de enrollador



	TECNOLOGÍA DE LA MADERA			
	PLANTA PILOTO PARA LA FABRICACION DE PAPEL "DIAGRAMA DE ENROLLADOR"			
	PROYECTO:	ING. JAIMÉ GÓMEZ	FECHA: 10-12-2018	ACOT.: MTS.
	ELABORÓ:	ING. JAIMÉ GÓMEZ	APROBÓ:	DR. JOSÉ RUTAGA
REVISÓ:	DR. JOSÉ RUTAGA		DBUJÓ: HOJA 1 DE 1	

Figura 54 Propuesta de enrollador



## **ANALISIS DE COSTOS**

Dentro de la discusión del presente proyecto, en la mayoría de las opiniones sobre él vertidas, siempre ha sobresalido la pregunta: ¿Cuánto cuesta en total el proyecto? Aunque durante el desarrollo se han mencionado algunos costos de los equipos, se procedió a hacer un estudio más a fondo incluso separándolo por áreas dentro del proceso, así como de los temas que refieren a la instalación eléctrica, obra civil, etc.

Es de gran importancia resaltar que la investigación de costos es en función a equipo NUEVO. Aun así, no parece muy significativo si se toma en cuenta el apoyo que daría no solo a los alumnos de la FITECMA, sino también a las empresas que requieran cierto apoyo en alguna investigación especial sobre algún material fibroso, aditivo químico o algún tipo de papel en especial. Sin embargo, no se puede estar al margen de la situación por la que económicamente se atraviesa por lo que siempre será una opción muy viable el adquirir equipo usado o en su defecto construirlo en la misma Facultad con materiales de reciclaje. Esto definitivamente bajaría los costos del proyecto en más de un 50 % y con un poco de atención daría un resultado muy similar al que se obtendría utilizando todo el equipo nuevo.

Las siguientes tablas están divididas o por áreas o por servicio y ya al final se da la tabla resumen en la cual da el total del costo calculado.



Tabla 10 Costo de mesa de formación y seccion húmeda

CAJA DE ENTRADA.- Incluye cuerpo de acero inoxidable, difusor, regla wing, agitador y mamparas de sedimentación.	\$15,000.00	1	\$ 15,000.00	<b>CONC EPTO PRECI O UNITA RIO No. Piezas TOTAL</b>
SISTEMA DE TRAQUEO.- Incluye motor, biela de movimiento, coples y base	\$ 6,000.00	1	\$ 6,000.00	
FOILS.- Hechos con base de acero inox, y cuchillas de plástico reforzado. C/juego.	\$ 2,500.00	2	\$ 5,000.00	
RODILLOS DESGOTADORES.- Con cubierta plástica.	\$ 1,800.00	4	\$ 7,200.00	
CAJAS DE SUCCION.- De acero con cubierta plástica.	\$ 3,200.00	3	\$ 9,600.00	
RODILLO ASPIRANTE.- Rodillo perforado y con caja de succión integrada.	\$ 8,500.00	1	\$ 8,500.00	
RODILLO DE PECHO.- A la salida de la caja y con cople para traqueo.	\$ 2,000.00	1	\$ 1,000.00	
RODILLOS DE APOYO, TENSOR Y RESTIRADOR.- En acero inoxidable y diámetro de ¾"	\$ 1,500.00	5	\$ 7,500.00	
REGADERAS.- Con 4 espreas de aguja c/u para limpieza de tela.	\$ 2,500.00	3	\$ 7,500.00	
TELA FOMADORA.- En plástico con medida de 40 mesh y 2.85 mts de desarrollo.	\$ 6.000.00	1	\$ 6,000.00	<b>TOTAL \$73,30 0.00</b>

Tabla 11 Costo de sistema de prensado

<b>CONCEPTO</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>No. Piezas</b>	<b>TOTAL</b>
RODILLO .-Cedula 60 con cubierta de elastómero de caucho con dureza de 90 grados Shore. Diámetro 2 ½"	\$ 6,000.00	4	\$ 24,000.00
PISTONES NEUMATICOS.- Para ejercer la presión a los rodillos.	\$ 450.00	4	\$ 1,800.00
CHUMACERAS DE PARED .- Para evitar movimientos de los rodillos y ajuste.	\$ 380.00	4	\$ 1,520.00
ESTRUCTURA DEL CUERPO DE LA PRENSA.- Construido con vigueta U de 2".	\$ 1,400.00	2	\$ 2,800.00
RODILLOS DE DESARROLLO. - En acero inox. Diámetro ¾".	\$ 1000.00	10	\$ 10,000.00
CAJA DE SUCCION.- Para limpieza y acondicionamiento de fieltros	\$ 3,200.00	2	\$ 6,400.00
REGADERA DE PRESION.- Con espreas para limpieza del fieltro.	\$ 2,400.00	2	\$ 4,800.00
FIELTRO.- Para absorción del agua, compactado y calibrado. 1.20 mts de desarrollo.	\$ 9,000.00	2	\$ 18,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 69,320.00</b>

Tabla 12 Costo de sistema de secado

<b>CONCEPTO</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>No. Piezas</b>	<b>TOTAL</b>
TUBO CEDULA 10. 35 cms de largo y diámetro de 7" en acero al carbón.	\$ 100.00	10	\$ 1,000.00
TAPAS CON VENTILACIÓN. - Para aumentar el calor de la flama.	\$ 80.00	20	\$ 1,600.00
QUEMADORES.- Rectangulares tipo charola de 30 cms de largo.	\$ 200.00	10	\$ 2,000.00
JUNTAS ROTATIVAS.- Permiten el paso de la tubería de gas y el giro del secador.	\$ 1,050.00	10	\$ 10,500.00
COJINETES DE BRONCE. - apoyos para la rotación de cada secador. Incluye las chumaceras.	\$ 520.00	20	\$ 10,400.00
ENGRANES DE 12" DIAMETRO.- Para la transmisión de movimiento de cada secador.	\$ 350.00	10	\$ 3,500.00
ESTRUCTURA Y CAMPANA DESMONTABLE. - A base de vigueta y lamina calibre 22,	\$ 4,500.00	1	\$ 4,500.00
TELAS PARA OPTIMIZAR EL SECADO.- En plástico tipo Spiral-dry. 3 mts de desarrollo.	\$ 10,000.00	2	\$ 20,000.00
EXTRACTOR DE AIRE.- Incluye túnel y ventilador.	\$ 5,000.00	1	\$ 5,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 58,500.00</b>

Tabla 13 Costo de calandrado

<b>CONCEPTO</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>No piezas</b>	<b>TOTAL</b>
RODILLOS ALISADORES.- Alto pulido y rectificado variando solo el diámetro.	\$ 1,500.00	5	\$ 7,500.00
CHUMACERAS.- Acopladas a la estructura para su alineación.	\$ 380.00	10	\$ 3,800.00
PISTONES Y SISTEMA DE PRESIÓN.-	\$ 1,250.00	2	\$ 2,500.00
ESTRUCTURA Y CUERPO DEL EQUIPO CON PLACA DE 3/4".	\$ 1,500.00	1	\$ 1,500.00

**TOTAL      \$ 15,300.00**



Tabla 15 Costo de instalación eléctrica

**TOTAL**

**CONCEPTO                      COSTO UNITARIO No. PIEZAS**

CENTRO DE CARGA	\$8,500.00	1	\$8,500.00
INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 200 AMPS	\$2,800.00	1	\$2,800.00
ARRANCADORES CON BOTONERA INCLUIDA	\$2,100.00	14	\$29,400.00
CABLEADO EN COBRE NO. 8	\$14.00/m	200 m	\$2,800.00
TUBO ZAPPA PARA CABLEADO	\$8.00/MT	65 MTS	\$520.00

**TOTAL**

**\$ 44,020.00**

**Nota: No incluye obra civil ni mano de obra.**

Tabla 16 Resumen total de costo

EQUIPO DE PREPARACION DE PASTAS	\$ 347, 965.00
MESA DE FORMACION Y SECCION HUMEDA	\$ 73,300.00
SISTEMA DE PRENSADO	\$ 69,320.00
SISTEMA DE SECADO	\$ 58,500.00
SISTEMA DE CALANDRADO	\$ 15,300.00
ENROLLADOR	\$ 11,700.00
INSTALACION ELECTRICA	\$ 44,020.00
INSTALACION NEUMATICA.- Incluye compresor, mangueras, conexiones y válvulas	\$ 17,500.00
INSTALACION DE GAS A SECADORES.- Tanque estacionario, quemadores, conexiones, válvulas y mangueras	\$ 12,300.00
OBRA CIVIL. - Anclado y colado de todo el equipo. Canales para recolección de agua, cárcamo de bombeo.	\$ 45,000.00

**GRAN TOTAL      \$ 694,905.00**

## CONCLUSIONES

De los objetivos planteados al inicio de este trabajo de investigación y los correspondientes resultados obtenidos en esta tesis de maestría se desprenden las siguientes conclusiones:

Del procesamiento de los resultados de acopio de material fibroso en las diferentes dependencias de Ciudad Universitaria se puede inferir que hasta el 60 % del material es utilizable para la fabricación de papeles blancos mientras que el resto se puede utilizar en papeles como el linner o el midium debido a que de el restante 40%, el 50% es cartón y pasta mecánica pero los demás materiales como la revista o el archivo de color, incluso el folder, tienen la calidad de fibra requerida para obtener un papel café bastante aceptable.

En cuanto a los kilos de papel recolectados, fueron casi en promedio 300 por semana aun y cuando se tiene la competencia del Programa Ambiental Institucional, pero se considera que es posible aumentar la cantidad en mínimo un 50% en cuanto las autoridades tanto universitarias como de cada facultad o dependencia vean físicamente la planta y el proceso de fabricación en forma ya que esto será la mejor motivación para el apoyo y de ser posible la erradicación de centros de acopio externos a la UMSNH. Daría un total de 450 kg de material con lo que se aseguraría 10 horas de trabajo por semana de la Planta según la base de cálculo.

En lo que respecta al diseño o selección del equipo de Preparación de Pastas, salvo el hidrapulper y los tanques, el resto se optó por seleccionarlo y adquirirlo de fábrica sobre todo porque son equipos básicos en el tratamiento de la fibra y principalmente ya están probados en su eficiencia y rendimiento.

Pasando a la máquina formadora, sólo se hizo la selección de la Mesa Fourdrinier y la sección húmeda mientras que los sistemas de prensado, secado, calandrado y enrollado se harán bajo los diseños descritos en este trabajo con el objetivo de asegurar el buen funcionamiento de la máquina. Es decir, el paso más importante que es la formación del papel se hará según el método de mesa plana, aunque será el

personal que la construya quien defina y adapte las piezas que de las cuales se conforma esta sección.

En cuanto al equipo periférico y de instrumentación siempre la mejor opción será la de adquirir equipos de fábrica simple y sencillamente que construirlos dificultaría la calibración y la eficiencia de cada uno de ellos.

De igual forma en la propuesta inicial de este proyecto. Se contempla la construcción de una planta alterna de fabricación de cartón para utilizar el agua residual, a la vez de su automatización donde se debe poner especial atención en los equipos periféricos que no pueden ni deben ser de fabricación propia porque ya no se podrían obtener los resultados deseados al darse dificultad para la calibración.

En el anexo se presentan las características de los equipos de Preparación de Pasta y con ello conocer la distribución de tanques y equipo dentro de esa área dando por visto que el área que se había indicado es suficiente para contener el proyecto.

## RECOMENDACIONES.

La recolección de material fibroso siempre requiere tiempo y esfuerzo y aunque no lo parezca es una actividad que no puede descuidarse. Si no se hace en tiempo y forma en cada dependencia, algunas de éstas dejarán de guardar el material para quien lo esté recogiendo y simplemente los enviarán con los conserjes a los contenedores de basura donde se lo llevarán los pepenadores.

Para contrarrestar esta situación y asegurar el acopio del material es preciso solicitar y tener el apoyo de algunos alumnos que estén interesados en el área de estudio que comprende la fabricación de papel. Lo interesante en este caso es encontrar un incentivo para que ellos lo hagan con el entusiasmo que se requiere ya que hay que reconocer que es una actividad que resulta tediosa.

Por lo pronto se confiará en encontrar el incentivo a la vez que también se definirán estrategias para que cada dependencia mande el material al laboratorio y la FITECMA solo coordine y supervise todas las acciones que conlleven a obtener la mayor cantidad posible de material fibroso.

En cuanto a la adquisición de equipo, ya se mencionó en párrafos anteriores que, si es recomendable la construcción de parte de ellos, pero hay otros que no se deben tratar de construir a menos que se tenga el equipo especializado lo cual no es el caso. Pero también se ha mencionado que para empezar el equipo no tiene que ser necesariamente nuevo. En cualquier institución donde se ofrezca o proponga este proyecto la primera pregunta será “¿Cuánto costará?”, por lo que se debe tener siempre la alternativa de equipo usado (que no inservible) con lo cual se asegura que los costos bajarán hasta en un 60% dependiendo de la visión que se tenga para encontrar esos equipos disponibles y a la venta.

En cuanto a la mano de obra para la construcción, se recomienda mínimo un pailero “de precisión” y sobre todo que tenga cierta sensibilidad para el montaje de la tubería y uniendo los equipos para evitar desajustes y desalineaciones. Quien deberá estar

supervisado y auxiliado por el responsable del trabajo ya que este último es quien podrá echar a andar el proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

- A:C., C. d. (27 de enero de 2016). *www.ciceana.org.mx*. Recuperado el 3 de octubre de 2018
- boas, j. e. (02 de mayo de 2009). *consumo de energia en la formacion de la hoja*. Recuperado el 18 de mayo de 2018, de [www.albint.com/...Consumo%20de%20energia%20en%20la%20formacion%20de%20la%20hoja](http://www.albint.com/...Consumo%20de%20energia%20en%20la%20formacion%20de%20la%20hoja)
- Bresh, W. (1972). *Closed water circuits in a paper mill using waste paper*.
- Bresh, W. (1972). *Closed water circuits in a paper mill using waste paper*. WFP 100.
- campos, e. d. (03 de 09 de 2009). [www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2009\\_Curso\\_Fabricacion\\_Papel](http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2009_Curso_Fabricacion_Papel). Recuperado el 21 de agosto de 2018, de [www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2009\\_Curso\\_Fabricacion\\_Papel](http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2009_Curso_Fabricacion_Papel)
- Casey, J. P. (1991). *Pulp and Paper Vol,3*. Mexico: Noriega Editores.
- Coll, T. C. (1962). *Manual del fabricante del papel*. España: Compañía editorial continental.
- Davenport, F. (1992). Pressing Fundamentals. *Albany International*, 22-60.
- E.S., C. (2005). *Curso de fabricación de papel*. Bracelpa Aportilla: ABTCP.
- Espiridion, J. P. (2010). *Control d la relacion chorro-tela en una maquina para la fabricacion de papel*. mexico: instituto politecnico nacional.
- Freitas, J. C. (2000). Conceitos basicos de prensagem. *Albany International*, 13-23.
- Grant, J. (1976). *Manual sobre la fabricacion de pulpa y papel*. México: Compañía editorial continental.
- Grant, J. e. (1978). *Paper and Board manufacture*. England: The British Paper and Boar Industry federation.
- Himmelblau. (2007). *Balances de materia y energia*. Mexico: Hispanoamericana S,A.
- Himmelblau, D. (1977). *Principios y calculos basicos de la ingenieria quimica*. Mexico: Cia editorial Continental S.A de C.V.
- Hougen, O. (1982). *Balances d materia y energia*. new york: reverté.
- inegi. (25 de mayo de 2012). [internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/). Recuperado el 8 de febrero de 2018

international, a. (enero de 2016). *untitled albany*. Recuperado el 21 de agosto de 2018, de [www.albint.com.../Medinicones%20y%20 analisis%20de%20seccion%20de%0secadores](http://www.albint.com.../Medinicones%20y%20 analisis%20de%20seccion%20de%0secadores)

Kehneth, B. W. (1970). *Pulp and Paper Technology*. USA: van Nostrand Reinhold Company.

libby, c. (1982). *ciencia y tecnologia sobre pulpa y papel*. mexico: cia editorial continental.

Libby, C. E. (1968). *ciencia y tecnologia sobre pulpa y papel*. México: Compañía editorial continental.

ma Carmen dominguez, R. h. (2017). innovacion y sustentabilidad de la industria del papel en mexico. *IBFR revista global de negocios*, 11 paginas.

Madera, F. d. (01 de Febrero de 2018). *FITECMA*. (FITECMA, Editor) Recuperado el 01 de Febrero de 2018, de FITECMA: <http://www.fitecma.umich.mx/index.php/paginas-modelo/formatos-profesores/encuadres/>

Mendes, R. (2014). ¿Como se hace el papel? *creativos online*, 46.

papel, c. n. (25 de noviembre de 2013). *camaradelpapel.mx/historia-del-papel*. Recuperado el 7 de febrero de 2018

Papel, C. N. (25 de enero de 2015). *camara del papel.mx*. Recuperado el 20 de febrero de 2019

quiminet. (19 de octubre de 2015). *componentes que intervienen en la fabricacion de papel*. Recuperado el 22 de junio de 2018, de [www.quiminet.con/articulos/componentes-que-intervienen-en-la-fabricacion-de-papel](http://www.quiminet.con/articulos/componentes-que-intervienen-en-la-fabricacion-de-papel)

REVILLA, E. (2008). CURSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA Y FABRICACION DE PAPEL. MADRID.

Rivas, J. M. (s.f.).

Rivas., j. M. (12 de 12 de 2015). *fabricacion de papel. industrias de transformacion quimica. curso 2015*. Recuperado el 13 de septiembre de 2018, de <https://slideplayer.es/slide/10262586/>

talavera, j. g. (02 de octubre de 1992). el control de calidad en las materias primas y durante el proceso para la fabricacion de papel bond. morelia, michoacan, mexico: orozco.

TAPPI. (17 de septiembre de 2007). *effectt of high temperature drying on recycled paperon heat*. Recuperado el 22 de agosto de 2018, de [www.tappi.org/content/events/07recycle/papers/alsaid](http://www.tappi.org/content/events/07recycle/papers/alsaid).

torras papepl s.a. (2008). *formacion. fabricacion de papel . prensado en humedo*. españa.

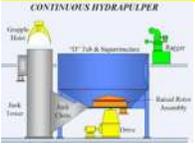
Urbina, G. V. (2006). *evaluacion de proyectos*. mexico: macgraw hill.

Villanueva-Alonso, H. d. (2018). los bosques y el papel. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del ambiente*, 28.

voith. (28 de octubre de 2014). *voith-calenders*. Recuperado el 04 de septiembre de 2018, de [www.voith.com/ca...paper/.../paper-machines/calender-10753](http://www.voith.com/ca...paper/.../paper-machines/calender-10753)

zimmermann, D. J. (25 de mayo de 2009). *evolucion del prensado en el papel*. Recuperado el 4 de julio de 2018, de [www.albint.com/.../mc/.../Evolucion%20del%20prensado%20en%20el%20papel](http://www.albint.com/.../mc/.../Evolucion%20del%20prensado%20en%20el%20papel)

## ANEXOS

		<b>FICHA TÉCNICA DE EQUIPO</b>			
<b>NOMBRE</b>	HIDRAPULPER	<b>CÓDIGO</b>	HIDP		
<b>FUNCIÓN</b>	<i>Hidratar, separar las fibras y batirlas en un medio acuoso para prepararlas con objeto de una nueva fabricación de papel.</i>				
<b>CAPACIDAD DE DISEÑO</b>	30 Kgs de fibra con una consistencia del 3%.	<b>CAPACIDAD DE OPERACIÓN</b>	25 kgs de fibra con una consistencia del 3%..		
<b>ALIMENTACIONES</b>	<i>Tubería de agua fresca. Tubería de agua clara. Tubería de vapor, Banda transportadora para el material a pulpear.</i>	<b>DESCARGAS</b>			<i>Tubería a bomba centrifuga. Caja de rechazos pesados.</i>
<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN</b>	<i>Después de arrancar, se agregan 300 lts de agua, continuando con los 30 kgs de fibra y se afora con 450 lts más de agua. Se deja pulpear mínimo 30 minutos y se descarga. Puede trabajar también en forma continua.</i>				
<b>INSTRUMENTACIÓN</b>	<i>Detector de nivel Detector de consistencia</i>				
<b>MATERIAL</b>	<i>Cuerpo: Acero al carbón, placa de 1/4" mínimo. Rotor de acero inoxidable o al carbón. Platina de acero inoxidable con barrenos de 1/8" 6 deflectores de ángulo de 2".</i>				
<b>DIMENSIONES</b>	<i>Cilindro de 1 mt de diámetro X 1 mt de altura.</i>				



## FICHA TÉCNICA DE EQUIPO

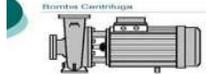


<b>NOMBRE</b>	TANQUE DE MEZCLA	<b>CÓDIGO</b>	TKM
<b>FUNCIÓN</b>	Almacenar la pasta, recibir las cargas y los aditivos químicos y mezclarlos.		
<b>CAPACIDAD DE DISEÑO</b>	30 kgs de pasta al 3% de consistencia	<b>CAPACIDAD DE OPERACIÓN</b>	25 Kgs de pasta la 3 % e consistencia
<b>ALIMENTACIONES</b>	Tubería de pasta Tubería de agua fresca para limpieza	<b>DESCARGAS</b>	Tubería de pasta hacia bomba. Muestreador de consistencia
<b>CONDICIONES DE OPRACIÓN</b>	Aparte de almacén de pasta al 3%, en este tanque se añadirán las cargas, encolantes y aditivos necesarios en la fabricación, para lo cual deberá también tener agitación.		
<b>INSTRUMENTACIÓN</b>	Detector de nivel Detector de consistencia		
<b>MATERIAL Y ACCESORIOS</b>	Acero Inoxidable Un agitador de hélice a 1750 rpm.		
<b>DIMENSIONES</b>	1 mt de diámetro X 1 mt de altura 		



FICHA TÉCNICA DE EQUIPO



<b>NOMBRE</b>	BOMBA CENTRIFUGA	<b>CÓDIGO</b>	P-1.....P-9
<b>FUNCIÓN</b>	DESPLAZAR FLUIDOS DESDE AGUA HASTA FIBRA EN SUSPENSIÓN A DIFERENTES CONSISTENCIAS ENTRE LOS DIFERENTES EQUIPOS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PAPEL.		
<b>CAPACIDAD DE DISEÑO</b>	10 gal/min	<b>CAPACIDAD DE OPERACIÓN</b>	9.5 gal/min
<b>ALIMENTACIONES</b>	DIAMETRO DE 2 PULG.	<b>DESCARGAS</b>	DIAMETRO DE 2 PULG.
<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN</b>	ACOPLADA A UN MOTOR DE 5 HP, CON VALVULAS DE ADMISIÓN Y DESCARGA COMPLETAMENTE ABIERTAS AL INICIO DE OPERACIÓN.		
<b>INSTRUMENTACIÓN</b>	MANOMETRO EN LA TUBERÍA DE DESCARGA.		
<b>MATERIAL</b>	CARCAZA DE HIERRO FUNDIDO. IMPULSOR DE BRONCE. FLECHA DE COLD ROLLED.		
<b>DIMENSIONES</b>	.35 MTS DE LARGO X .30 MTS DE ALTURA.		
			



FICHA TÉCNICA DE EQUIPO



<b>NOMBRE</b>		VALVULAS	<b>CODIGO</b>	VAL1.....VAL 31
<b>FUNCIÓN</b>		CONTROLAR EL FLUJO DE LA SOLUCION DE PASTA DE PAPEL		
<b>CAPACIDAD DE DISEÑO</b>		DIAMETRO 2" 3000 PSI	<b>CAPACIDAD DE OPERACIÓN</b>	DIAMETRO 2 " 1500 PSI
<b>ALIMENTACIONES</b>		A TODOS LOS EQUIPOS Y A TODAS LAS BOMBAS.	<b>DESCARGAS</b>	DE TODOS LOS EQUIPOS Y DE TODAS LAS BOMBAS.
	<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN</b>	VARIAN EN FUNCIÓN AL EQUIPO QUE ESTEN REGULANDO EL FLUJO. DESDE 100% ABIERTAS HASTA 10% O MENOS ABIERTAS.		
	<b>INSTRUMENTACIÓN</b>	EN CASO DE SER AUTOMATICAS, MANOMETROS EN EL PISTON DE MOVIMIENTO DE LA COMPUERTA.		
	<b>MATERIAL</b>	HIERRO FUNDIDO.		
	<b>DIMENSIONES</b>	2 PULGADAS DE DIAMETRO		



FICHA TÉCNICA DE EQUIPO



<b>NOMBRE</b>	BOMBA DE VACIO	<b>CODIGO</b>	VACU
<b>FUNCIÓN</b>	EXTRAER EL EXCESO DE AGUA DE LA FIBRA CELULOSICA EN EL AREA DE FORMACION DE LA HOJA.		
<b>CAPACIDAD DE DISEÑO</b>	≤ 7 mca	<b>CAPACIDAD DE OPERACIÓN</b>	≤ 6 mca
<b>ALIMENTACIONES</b>	CAJAS DE SUCCION RODILLO FORMADOR CAJAS DE PRENSAS	<b>DESCARGAS</b>	TANQUE DE AGUA TURBIA
<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN</b>	LA OPERACIÓN DE ESTA BOMBA ES CON SELLO DE AGUA EN AMBOS LADOS POR LO QUE NECESITA ALIMENTACIÓN DE AGUA DE PROCESO EN LAS DOS ENTRADAS.		
<b>INSTRUMENTACIÓN</b>	VACUOMETROS EN TODAS LAS LINEAS DE SUCCIÓN Y A LA ENTRADA DE LA BOMBA. MOTOR DE 10 HP		
<b>MATERIAL</b>	HIERRO FUNDIDO.		
<b>DIMENSIONES</b>	600 mms LARGO 500 mms ALTURA		



FICHA TÉCNICA DE EQUIPO



NOMBRE	REFINADOR	CÓDIGO	REF
FUNCIÓN	DAR UN DESARROLLO A LA PASTA CON EFECTOS DE FRICCIÓN ENTRE LAS FIBRAS Y LA PRESIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL REFINADOR.		
CAPACIDAD DE DISEÑO	200 Kg / hora	CAPACIDAD DE OPERACIÓN	180 Kg / hora
ALIMENTACIONES	TUBERÍA DE ENTRADA TUBERÍA DE SALIDA	DESCARGAS	A TANQUE DE MAQUINA
CONDICIONES DE OPERACIÓN	LA FIBRA PASA A TRAVÉS DE DOS DISCOS RANURADOS, UNO FIJO Y EL OTRO ROTATORIO CUYO EFECTO ES PREPARAR LA FIBRA POR ACCIÓN DE LOS DISCOS PARA LA FORMACIÓN DE PAPEL.		
INSTRUMENTACIÓN	MANÓMETRO DE ENTRADA MANÓMETRO DE SALIDA AMPERÍMETRO PARA EL MOTOR		
MATERIAL	CARCAZA DE FIERRO VACIADO CON DISCOS INTERIORES DE ACERO INOXIDABLE		
DIMENSIONES	VARIAN SEGÚN MARCA		





FICHA TÉCNICA DE EQUIPO



NOMBRE	DEPURADOR ALTA CONSISTENCIA	CÓDIGO	DAC
FUNCIÓN	SEPARAR LOS CUERPOS DE MAYOR DENSIDAD QUE LA FIBRA POR MEDIO DE UN EFECTO CICLONICO		
CAPACIDAD DE DISEÑO	160 KGS / HORA	CAPACIDAD DE OPERACIÓN	.120 KGS/ HORA
ALIMENTACIONES	BOMBA DEL TANQUE DE PULPER	DESCARGAS	A TANQUE DE MEZCLA
CONDICIONES DE OPERACION	SEPARA LOS MATERIALES DE MAYOR DENSIDAD DE LA FIBRA UTILIZANDO COMO ELEMENTO FUNDAMENTAL LA FUERZ CENTRIFUGA		
INSTRUMENTACIÓN	MANOMETRO EN TUBERIA DE ENTRADA MANOMETRO EN TUBERIA DE SALIDA		
MATERIAL	PLASTICO HDPE O ACERO AL CARBON		
DIMENSIONES	TUBO DE ALIMENTACION DE : TUBO DE DESCARGA 2" PARTE CILINDRICA 6"  PARTE CONICA 1 ½" AL FINAI		