

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



**DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DEL EQUIPO REFINADOR DE
PASTA PARA LA OBTENCION DE PAPEL KRAFT A PARTIR DE TALLOS
DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.)**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach: GLORIA CHAMBI QUISPE

Bach: VANESSA CANCAPA CÁCERES

PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO - PERU

2012

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DEL EQUIPO
REFINADOR DE PASTA PARA LA OBTENCION DE PAPEL
KRAFT A PARTIR DE TALLOS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*

Willd.)

TESIS PRESENTADA POR:

Bach: GLORIA CHAMBI QUISPE

Bach: VANESSA CANCAPA CÁCERES

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE :

Ing. MSc. LUIS ALBERTO JIMÉNEZ MONROY

PRIMER MIEMBRO :

Ing. MSc. FLORENTINO VICTOR CHOQUEHUANCA CÁCERES

SEGUNDO MIEMBRO:

Ing. MSc. ROGER SEGURA PEÑA

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. MSc. LIZANDRO GILBERTO FERNÁNDEZ CASTRO

PUNO - PERU

2012

Área: Ingeniería y tecnología

Tema: Propiedades físicas y estructurales

DEDICATORIA

*Con eterna gratitud y reconocimiento a
mis padres Abraham y Natalia por su
sacrificio por dar lo mejor en mi vida.
A mis hermanos Roger y Wilfredo.
A los amores de mi vida Sebastián y
mi hija Samantha por su
inconsiderable apoyo moral.
Gloria.*

*A mis padres René y Guillermina por
su amor y sacrificio sin límite. A mis
hermanos Willy, Flor y Katherine
por su cariño, apoyo y comprensión. mi*

eterna gratitud.

Vanessa.

AGRADECIMIENTO

Antes que todo agradecer a Dios por darnos las fuerzas necesarias en los momentos en que más las necesitamos y bendecirnos con la posibilidad de caminar a su lado durante toda nuestra vida y la dicha de gozar de oportunidades para conseguir el éxito en el campo profesional.

A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, por habernos brindado una formación profesional y a los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias, por los conocimientos y enseñanzas que nos brindaron durante todos estos años de nuestra formación profesional.

A nuestro Director de tesis Ing. MSc. Lizandro G. Fernández Castro, que nos supo comprender y dirigirnos para la culminación del presente trabajo de investigación.

Al Ing. MSc. Wilfredo Zea Flores, por su permanente e incondicional apoyo y orientación en la realización del trabajo de investigación.

Al Sr. Rufino Aroni Acero (laboratorista), por su constante apoyo y motivación en la culminación del presente trabajo de investigación.

A nuestros padres por el constante apoyo que siempre nos brindaron para lograr este objetivo.

INDICE GENERAL**DEDICATORIA****AGRADECIMIENTO****RESUMEN****I. INTRODUCCION****II. REVISION BIBLIOGRAFICA****2.1 QUINUA**

2.1.1 Clasificación taxonómica de la quinua

2.1.2 Variedades

2.1.1 Características botánicas

2.1.1 Composición Química del tallo de quinua

2.2 LA CELULOSA

2.2.1 Naturaleza Química de la celulosa

2.2.2 Tipos De Celulosa

2.2.3 Propiedades Físicas Y Químicas De La Celulosa

2.2.4 Derivados De La Celulosa

2.3 LIGNINA

2.3.1 Funciones de la lignina

2.4 DESCRIPCION DEL PAPEL**2.5 ESTRUCTURA DEL PAPEL****2.6 TIPOS DE PAPEL****2.7 FIBRAS UTILIZADAS PARA LA PRODUCCION DE PAPEL**

2.7.1 Fibras madereras

2.7.2 Fibras no madereras

2.7.3 Fibras recuperadas

2.8 DISOLVENTES UTILIZADOS EN LA OBTENCION DE PAPEL**2.9 DESCRIPCION DEL PAPEL KRAFT**

2.9.1 Descripción de las características del papel kraft

2.9.2 Especificaciones Técnicas Para Papel Kraft (Bolsa de Azúcar)

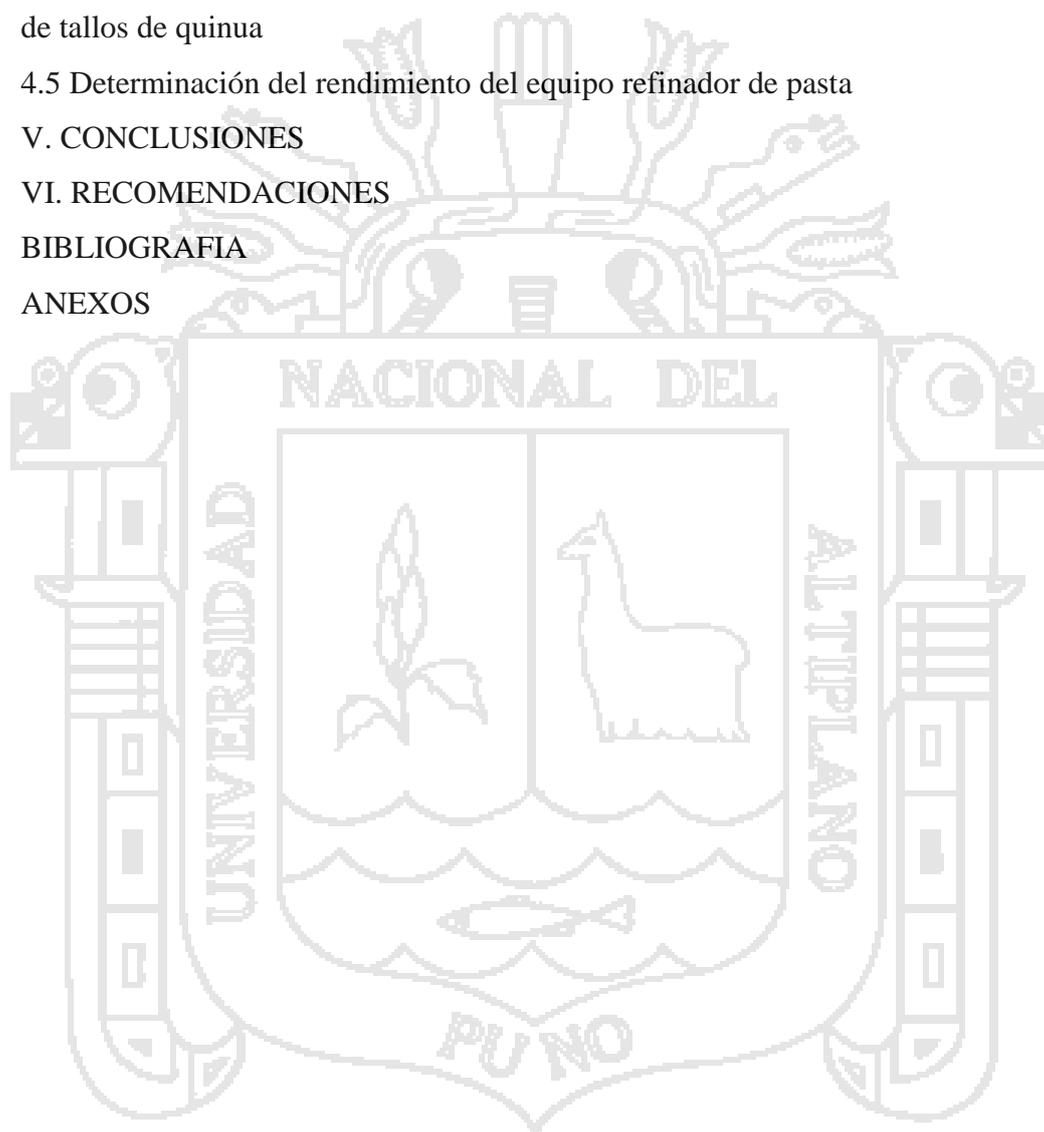
2.10 PASTA

2.10.1 Pasta kraft

1
1
2
2
3
4
5
6
7
8
9
9
11
11
11
12
14
14
14
16
16
17
17
17
20
20

2.11 PROCESO DE ELABORACIÓN DE PASTA DE CELULOSA	21
2.12 REFINACIÓN	23
2.13 PROCESO DE REFINACIÓN	24
2.13.1 Importancia De Las Hemicelulosas En La Refinación	24
2.13.2 Factores básicos de la refinación	24
2.13.3 Factores que afectan la refinación	25
2.14 EQUIPOS PARA LA REFINACIÓN	25
2.15 DESCRIPCION DEL EQUIPO	28
2.15.1 Molino Refinador De Laboratorio	28
III. MATERIALES Y METODOS DE LA INVESTIGACION	31
3.1 LUGAR EXPERIMENTAL	31
3.2 MATERIALES	31
3.2.1 Materia prima	31
3.2.2 Insumos	31
3.2.3 Equipos	31
3.2.4 Materiales de laboratorio	32
3.2.5 Reactivos	32
3.3 METODOLOGIA	32
3.3.1 Descripción del proceso de obtención de papel Kraft manualmente	33
3.3.2 Descripción del proceso de obtención de papel Kraft utilizando el equipo refinador de pasta	36
3.3.3 Técnicas e Instrumentos De Recolección De Datos	39
3.4 METODOLOGIA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	40
3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL Y NIVELES DE LOS FACTORES EN ESTUDIO	41
3.6 MATRIZ DE DISEÑO	41
3.7 MODELO DE REGRESION CUADRATICA	42
3.7.1 Variables en estudio	43
3.7.2 Variables de respuesta	43
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	44
4.1 Efecto del tiempo y velocidad del equipo refinador de pasta en el gramaje del	

papel kraft	44
4.2 Efecto del tiempo y velocidad del equipo refinador de pasta en la densidad aparente del papel kraft	47
4.3 Efecto del tiempo y velocidad del equipo refinador de pasta en el índice de rotura del papel kraft	50
4.4 Determinación de principales características del papel kraft obtenido a partir de tallos de quinua	54
4.5 Determinación del rendimiento del equipo refinador de pasta	57
V. CONCLUSIONES	58
VI. RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFIA	60
ANEXOS	65

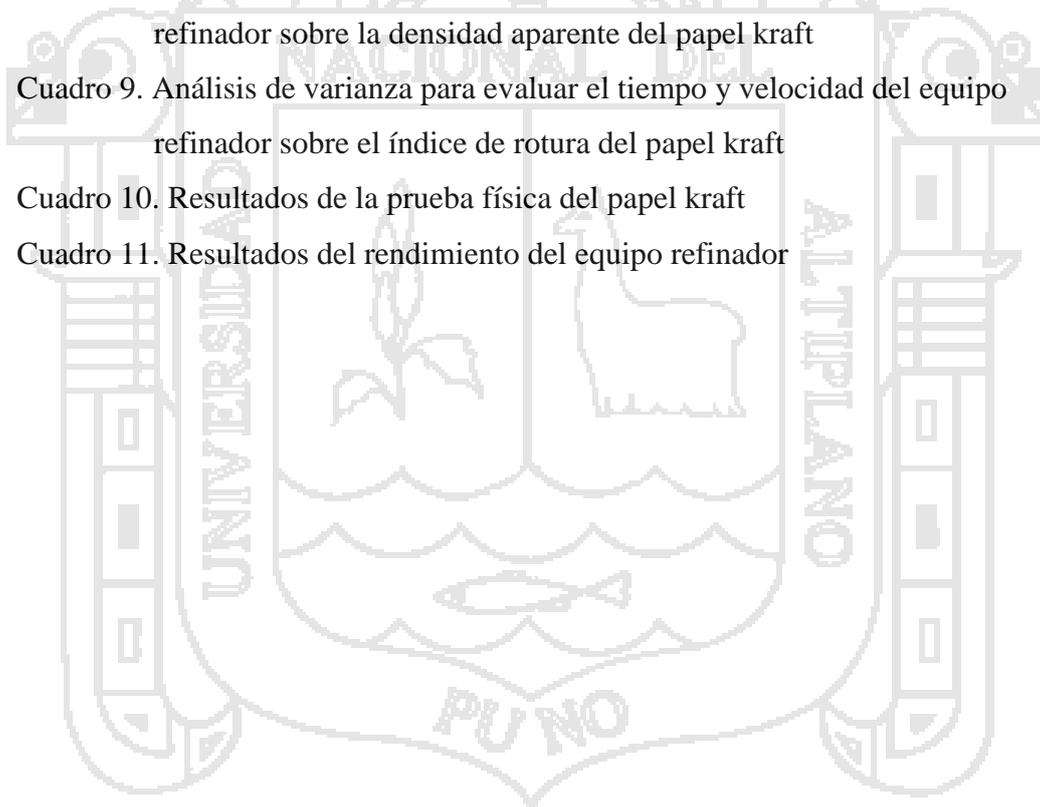


INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de quinua	1
Figura 2. Estructura de la celulosa	5
Figura 3. Estructura química de una unidad de lignina	10
Figura 4. Estructura física de las fibras	23
Figura 5. Molino refinador	28
Figura 6. Recipiente	29
Figura 7. Cuchillas o Molón Refinador	29
Figura 8. Motor del Refinador	30
Figura 9. Tabla de Control	30
Figura 10. Diagrama de flujo de obtención de papel kraft manualmente	35
Figura 11. Diagrama de flujo de obtención de papel kraft utilizando el equipo refinador de pasta	38
Figura 12. Efectos principales de los factores de tiempo y velocidad sobre el gramaje del papel kraft	45
Figura 13. Superficie de respuesta que traduce el efecto del tiempo y velocidad en el gramaje del papel kraft	47
Figura 14. Efectos principales de los factores de tiempo y velocidad sobre la densidad aparente del papel kraft	48
Figura 15. Superficie de respuesta que traduce el efecto del tiempo y velocidad en la densidad del papel kraft	50
Figura 16. Efectos principales de los factores de tiempo y velocidad sobre el índice de rotura del papel kraft	51
Figura 17. Superficie de respuesta que traduce el efecto del tiempo y velocidad en el índice de rotura del papel kraft.	52

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Componentes químicos del tallo de quinua	5
Cuadro 2. Análisis proximal de celulosa y lignina del Tallo de Quinua (variedad Blanca de Juli)	5
Cuadro 3. Dimensiones aproximadas de diversas fibras papeleras	15
Cuadro 4. Especificaciones Técnicas para Papel Kraft (Bolsa de Azúcar)	20
Cuadro 5. Niveles codificados y sus respectivos valores reales de las dos variables en estudio	41
Cuadro 6. Numero de tratamientos para dos factores en un DCC	42
Cuadro 7. Análisis de varianza para evaluar el tiempo y velocidad del equipo refinador sobre el gramaje del papel kraft	44
Cuadro 8. Análisis de varianza para evaluar el tiempo y velocidad del equipo refinador sobre la densidad aparente del papel kraft	47
Cuadro 9. Análisis de varianza para evaluar el tiempo y velocidad del equipo refinador sobre el índice de rotura del papel kraft	50
Cuadro 10. Resultados de la prueba física del papel kraft	54
Cuadro 11. Resultados del rendimiento del equipo refinador	57



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diseño compuesto central con precisión uniforme	69
Tabla 2. Formulación de los 20 tratamientos elaborada por el modelo diseño central compuesto	69
Tabla 3. Resultados de los 20 tratamientos del bloque A	70
Tabla 4. Resultados de los 20 tratamientos del bloque B	70
Tabla 5. Resultados de los 20 tratamientos del bloque C	71
Tabla 6. Resultados de las propiedades físicas de los 20 tratamientos con tres repeticiones (bloque a, bloque b y bloque c) elaborada por el modelo diseño central compuesto	72
Tabla 7. Ejecuciones experimentales realizadas	73
Tabla 8. Resultado de las propiedades físicas del papel kraft utilizando la metodología manual	73
Tabla 9. Resultado de las propiedades físicas del papel kraft patrón (pliego de papel kraft)	73
Tabla 10. Resultados obtenidos de las principales características del papel kraft	74
Tabla 11. Resultados de la combinación de los niveles de factores para la optimización de las principales características del papel kraft	74
Tabla 12. Resultados obtenidos de las propiedades ópticas (color y lisura) del papel kraft de los 20 tratamientos óptimos	75
Tabla 13. Estimación de costo de producción	76

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fotografías del proceso de obtención de papel kraft a partir de tallos de quinua	65
Anexo 2. Fotografía del equipo refinador de laboratorio	68
Anexo 3. Fotografías de la medida de fuerza de las muestras de papel kraft obtenido a partir de tallos de quinua	68
Anexo 4. Tablas	69
Anexo 5. Fotografías de tipos de refinadores	77



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional del Altiplano en la Facultad de Ciencias Agrarias en los laboratorios de Ingenierías y Procesos Industriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial y en el Laboratorio de Agua y Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica. Los objetivos fueron; determinar los parámetros óptimos de control; tiempo (2, 6, 10) minutos; velocidad del molón (Cuchillas) (1800, 2700, 3600) revoluciones por minuto, del equipo refinador para la obtención de pasta a partir de tallos de quinua. Evaluar las propiedades físicas (gramaje, densidad aparente, índice de rotura) y ópticas (lisura y color) del papel obtenido a partir de tallos de quinua utilizando el equipo refinador y el método manual; y determinar el rendimiento del equipo refinador de pasta, para lo cual, se realizaron 20 tratamientos con tres repeticiones utilizando el equipo refinador mediante el Diseño Estadístico Central Compuesto de dos variables (tiempo y velocidad del molón) y tres niveles y uno utilizando la metodología manual; los parámetros óptimos de control de tiempo del equipo refinador de pasta para el gramaje, densidad aparente e índice de rotura fueron de 6 minutos y la velocidad óptima fue de 2700.0 rpm, 3456.8 rpm, 1943.2 rpm respectivamente. Comparando los resultados obtenidos al utilizar el equipo refinador, mejora notablemente las propiedades físicas y ópticas del papel kraft; se evaluaron las propiedades físicas y ópticas del papel kraft a las mismas condiciones; obteniéndose como resultado; el gramaje (21.21 g/m^2), densidad aparente (0.21 g/m^3) e índice de rotura ($0.18 \text{ Nm}^2/\text{g}$). Las características obtenidas del papel kraft utilizando el equipo refinador se encuentra dentro de los rangos del papel patrón, con mejores propiedades que el método manual, obteniéndose como resultado un gramaje de (33.01 g/m^2), densidad aparente (0.31 g/m^3) y el índice de rotura ($0.26 \text{ Nm}^2/\text{g}$). La lisura del papel kraft obtenido con el equipo refinador y por el método manual resultó (medio liso y poroso) respectivamente, el color (marrón y amarillo pálido) y se determinó el rendimiento del equipo refinador el cual fue de 79.16%.

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo actual, el desarrollo de la ciencia y la tecnología hacen que las operaciones y procesos productivos sean más eficaces, por lo que es necesario implementar con equipos acorde al avance tecnológico, como el equipo refinador de pasta en el área de Industria de Pulpa y Papel, utilizando residuos agrícolas (tallos de quinua, chillihua, totora, etc), para la obtención de papel, donde se reducirá tiempo y proceso de elaboración, el cual es primordial para el desarrollo académico de la formación profesional de los estudiantes de las carreras profesionales de Ingeniería Agroindustrial y escuelas afines de la UNA- Puno, en las áreas de: pulpa y papel, envases y embalajes agroindustriales, transformación, innovación tecnológica e investigación.

En la Región Puno, existen residuos agrícolas, que pueden ser aprovechados para otorgarles valor agregado, en este caso los tallos de Quinua, es el residuo que presenta mayor cantidad de celulosa a diferencia de la paja, chillihua y otros. Los trabajos realizados con las diferentes variedades de quinua, no descarta los buenos rendimientos que tengan otras, pero se optó por la variedad Blanca de Juli por ser la variedad más comercial y accesible al trabajo de investigación, así como por las pruebas preliminares realizadas en trabajos de investigación, obtuvieron los mejores resultados en rendimiento de celulosa y menor porcentaje de lignina. El uso potencial que tiene el papel kraft es debido a sus propiedades de resistencia a la rotura ya que se utiliza como envases de Azúcar, Fideos, Cemento, etc. y diversas envolturas.

Por lo tanto los objetivos del presente trabajo de investigación fueron:

- a. Determinar los parámetros óptimos de tiempo (2, 6, 10) min. y velocidad del molón (1800, 2700, 3600) r.p.m., del equipo refinador para la obtención de pasta a partir de tallos de quinua.
- b. Evaluar las propiedades físicas (gramaje, densidad aparente, índice de rotura) y ópticas (lisura y color) del papel obtenido a partir de tallos de quinua utilizando el equipo refinador y el método manual.
- c. Determinar el rendimiento del equipo refinador de pasta.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1 QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.)

La Quinoa es una planta alimenticia muy antigua del área andina. Su cultivo data de 5000 años a.C. Los Incas reconocieron desde muy temprano su alto valor nutricional. En la actualidad la Quinoa se cultiva en Perú, Bolivia y en algunas zonas de Colombia, Ecuador, Chile y Argentina. (Mujica, et. al., 2004).

La zona de producción de quinoa ubicada al extremo sur oeste de Bolivia, cuyo clima es seco y frío, la temperatura media anual oscila de 7 a 10 °C, la Humedad relativa se encuentra entre 25 a 50% con 74 a 220 días de helada. Las temperaturas mínimas extremas registradas presentan valores desde -8.8 a -2.5 °C; mientras que las máximas extremas oscilan de 10.5 a 22 °C. en estas condiciones climáticas extremas, solo dos rubros agropecuarios desarrollan: la quinoa y camélidos, actividades que sustentan la vida de más de 20,000 familias de la zona (Revista ANED- FAUTAPO, 2011).

La Quinoa, es una planta anual cuyo período vegetativo varía de 150 a 240 días. Se adapta muy bien a diferentes condiciones ambientales y por eso se puede cultivar desde los 0 hasta los 4000 metros sobre el nivel del mar (Carrasco, 1998).

3Figura 1. Planta de Quinua.



2.1.1 Clasificación Taxonómica de la Quinua.

Los botánicos que han estudiado la taxonomía de la quinua están de acuerdo en considerar que se trata de una sola especie, no obstante de la amplia variación, observada ya sea en el color de la planta, color de grano, color de tallos, tipo de panoja o inflorescencia, habito de crecimiento (Soraide, 2011).

La quinua posee la siguiente clasificación taxonómica (Mujica, et. al., 2004):

Reino	: Vegetal
Sub-reino	: Phanerogamae.
División	: Angiospermae.
Clase	: Dicotyledoneae.
Sub clase	: Archychlamydeae.
Orden	: Centrospermales.
Familia	: Chenopodiaceae.
Género	: Chenopodium.
Especie	: <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.

2.1.2 Variedades.

Actualmente existe gran cantidad de variedades y cultivares utilizados comercialmente en la producción de quinua. Entre estas las más comerciales son: Amarilla Maranganí, Kancolla rosada, kancolla yocara, Blanca de Juli, Cheweca,

Witulla, Salcedo-INIA, Quillahuaman-INIA, Sajama, Tahuaco (Mujica, et. al., 2004).

BLANCA DE JULI: Originaria de la ciudad de Juli, Región Puno, selección efectuada a partir del ecotipo local, semi-tardía, con 160 días de periodo vegetativo, planta de color verde, de tamaño mediano de 80cm de altura, panoja intermedia, a la madurez la panoja adquiere un color muy claro blanquecino, de ahí su nombre, grano bien blanco, pequeño, semi-dulce, rendimiento que supera los 2300 Kg./ha, relativamente resistente al frío, susceptible al mildiow y al granizo, excesivamente susceptible al exceso de agua (Morales, 1969).

2.1.3 Características Botánicas:

Las características botánicas de la quinua son:

A. TALLO DE QUINUA

El tallo es cilíndrico en el cuello de la planta y anguloso a partir de las ramificaciones, puesto que las hojas son alternas dando una configuración excepcional, el grosor del tallo también es variable siendo mayor en la base que en el ápice (Mujica, et. al., 2004).

El tallo posee una epidermis cutinizada, corteza firme, compacta con membranas celulósicas, interiormente contiene una medula, que a la madurez desaparece, quedando seca, esponjosa y vacía, este tallo por su riqueza y gran contenido de pectina y celulosa se puede utilizar en la fabricación de papel y cartón (Nieto, 1992).

El diámetro del tallo es variable con los genotipos, distanciamiento de siembra, fertilización, condiciones de cultivo, variando de 1 a 8 cm de diámetro (Mujica, et. al., 2004).

B. ESTRUCTURA PRIMARIA DEL TALLO DE QUINUA

Esta parte de la quinua es predominante ya que en él predominan las funciones primarias. En un corte transversal a la altura de las posiciones cercanas al apéndice de la planta, se distinguen 3 regiones, partiendo del exterior. (Gallardo, et. al., 1997).

- **La Epidermis:** Este tejido tiene como función la protección de las partes verdes, tiene como característica la pared externa con cutina y posee pelos y estomas. Son células epidérmicas propiamente dichas.

- **Corteza**

Está conformado por tres tejidos los cuales son:

- **Colénquima**, tejido vegetal formado por células vivas, redondeadas o fibrosas, en forma de anillo continuo primeramente, luego en estado adulto en listones (rosado). Tiene como función sostén en órganos en crecimiento.

- **Parénquima** (rosado): tiene como función los procesos del metabolismo: fotosíntesis, respiración, almacén y conducción a corta distancia. Tiene como característica ubicarse en la pared primaria o secundaria.

- **Esclerénquima** (rosado): es el tejido vegetal de sostén, constituido por células muertas originado a partir de la colénquima por impregnación creciente de lignina.

- **Un cilindro central:** Formado por un parénquima muy abundante, con células grandes, en el que se hallan dispersos unos tejidos conductores formados por células pequeñas que se denominan líbero –leñosos, estas bases líbero–leñosos se disponen en dos círculos concéntricos. En cada haz y partiendo de la parte más externa (Gallardo, et. al., 1997).

2.1.4 Composición Química del Tallo de Quinua.

Posee un papel importante en la determinación de la digestibilidad del tallo en los animales, que corresponde al contenido celular del vegetal que puede representar hasta el 60% de celulosa, las lignocelulosas pueden representar hasta el 37% de la composición química del tallo, cuando el vegetal está destinado para alimento del ganado se ha determinado que es mejor en su estado tierno, ya que cuando este llegue a su madurez fisiológica el contenido de las lignocelulosas es mayor lo cual hace que el alimento sea no digerible puesto que se relaciona con el contenido de lignina. (Cañas, 1998).

Cuadro 1. Componentes Químicos del Tallo de Quinoa.

Nitrógeno	1.10%
Fosforo	0.20%
potasio	3.30%
Celulosa	49.5 - 50.9%
Hemicelulosa	37.60%
Ceniza	6.90%

Fuente: Cañas, 1998.

Cuadro 2. Análisis proximal de celulosa y lignina del Tallo de Quinoa (Variedad blanca de Juli).

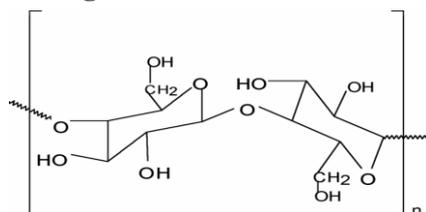
ANALISIS PROXIMAL DE:	PORCENTAJE (%)
CELULOSA (EPIDERMIS)	62.15
LIGNINA (EPIDERMIS)	19.98
CELULOSA (MEDULA)	72.44
LIGNINA (MEDULA)	33.66

FUENTE: Quispe, 2005.

2.2 LA CELULOSA.

La celulosa ($C_6H_{10}O_5$)_n es un polisacárido constituido por moléculas de D-glucosa unidas por enlaces β(1-4) glucosídicos. Es el compuesto orgánico más difundido en la naturaleza; componente principal de las paredes celulares vegetales en las cuales se encuentra junto con hemicelulosa, pectina, extensina (que actúan como aglutinante entre las fibras celulósicas) y lignina las mismas que son sustancias blancas, insolubles de los disolventes ordinarios, solubles en hidróxido cúprico amoniacal, en álcali cáustico con disulfuro de carbono y solución clorada de cloruro de zinc (Walker y Wilson, 1991).

Figura 2. Estructura de la Celulosa



Fuente: Walker y Wilson, 1991

La estructura molecular consiste de unidades de disacárido que se repiten formando cadenas macromoleculares, compactadas entre sí por fuertes enlaces hidrógeno inter e intramoleculares. Estas interacciones son responsables de las excelentes propiedades mecánicas de la celulosa y de su baja solubilidad, lo que afecta la modificación química del polímero. (Walker y Wilson, 1991).

Las principales fuentes de celulosa son los vegetales tales como arboles, pastos, bambúes, bagazos, algodones, linos, cáñamos y otros. La celulosa se obtiene a partir de la separación de las fibras naturales, las que son mantenidas unidas en la estructura de las plantas por un material conocido como lignina (Chuai, et. al., 2001).

2.2.1 Naturaleza Química de la Celulosa

La reactividad química de la celulosa se relaciona a los tres grupos oxhidrilo (grupos OH: (Figura 2.) de la unidad de glucosa. Estos grupos reaccionan rápidamente ante la humedad, los colorantes y acabados especiales. Los productos químicos, como los blanqueadores que provocan la descomposición de la cadena molecular de la celulosa, casi siempre atacan al átomo de oxígeno y provocan en él una ruptura. Las fibras naturales de celulosa se clasifican de acuerdo a la parte de la planta de la que provienen (Fibras de la semilla, Fibras de tallos o liber y Fibras de hojas). La molécula de celulosa es una cadena lineal larga de unidades de glucosa: la longitud de esta cadena es un factor que influye en la resistencia de la fibra (Hollen, et. al., 1987).

Los árboles son la principal fuente de fibras naturales para más del 90% de la producción de celulosa a escala mundial; el restante 10% de las fibras es aportado por otras plantas tales como pastos, bambúes, bagazos, algodones, linos, cáñamos y otros. La manufactura de la celulosa se obtiene a partir de la separación de las fibras naturales, las que son mantenidas unidas en la estructura de las plantas por un material conocido como la lignina.

Estas fibras pueden ser separadas mecánicamente o mediante un proceso químico de disolución de la lignina para recuperar las fibras. (Condori, 2010).

2.2.2 Tipos de Celulosa

Dependiendo del proceso de producción de celulosa, se clasifican en los siguientes tipos:

a. Celulosa Química: Se obtiene a partir de un proceso de cocción química de la madera a altas temperaturas y presiones, cuyo objetivo es disolver la lignina contenida en la madera con una solución alcalina, liberando las fibras. Dependiendo de los aditivos químicos usados en la cocción, existen celulosas químicas kraft y al sulfito, siendo la primera la más utilizada a nivel mundial. La celulosa química se caracteriza por tener un rendimiento total relativamente bajo, es decir, sólo entre un 40% y un 60% del material original (madera) queda retenido en el producto final (fibras), el resto (lignina) se disuelve en la solución alcalina para ser posteriormente quemada y generar la energía térmica y eléctrica necesaria en los procesos productivos. Estas celulosas son más resistentes, ya que las fibras quedan intactas, son más fáciles de blanquear y menos propensas a perder sus cualidades en el tiempo (Caponetto, et. al., 2006).

b. Celulosa Mecánica: Se obtiene a partir de un proceso en el cual la madera es molida y triturada mecánicamente, siendo sometida a altas temperaturas y presiones. Posteriormente la pasta es clasificada, lavada y eventualmente blanqueada. Este proceso requiere un alto consumo de energía eléctrica. La celulosa mecánica se caracteriza por tener un alto rendimiento, normalmente entre un 85% y un 95%, pero la lignina remanente en el producto es susceptible a oxidarse, generando el color amarillo que caracteriza los diarios viejos. Los principales usos de estas celulosas son la fabricación de papel para periódicos y papeles para impresión y escritura de menor calidad.

Esta celulosa es menos resistente que la química, no por la presencia de la lignina remanente, sino porque las fibras en ella contenida han sido cortadas en el proceso de fabricación. A nivel mundial, del total de 175 millones de toneladas de celulosas producidas (1998), cerca de un 76% correspondieron a celulosas químicas y sólo un 24% a celulosas mecánicas. La diferencia principal entre la celulosa química y celulosa mecánica es su resistencia, la cual depende básicamente de las uniones moleculares que se establecen entre

las fibras. Otra forma de clasificar la celulosa corresponde al tipo de materia prima usada para su fabricación. Dependiendo de ella existen celulosas de fibra larga y celulosas de fibra corta. La celulosa de fibra larga genera en los papeles una red de uniones más resistentes que las de fibra corta. La longitud de las fibras largas fluctúa entre 2,5 y 4,5 mm, contra los 0,7 a 1,8 mm de las fibras cortas (Caponetto, et. al., 2006).

2.2.3 Propiedades Físicas y Químicas de la Celulosa

Según (Chuai, et. al., 2001), las propiedades físicas y químicas que se miden de la celulosa son relevantes para predecir su desempeño una vez que se convierta en papel.

Las principales propiedades que se miden de la celulosa son:

- a. **Volumen Específico:** Es el inverso de la densidad. En general se prefiere fibras con alto volumen específico debido a que permite hacer una hoja de igual espesor con un menor peso.
- b. **Índice de Tensión:** Mide la resistencia a la tracción que tiene un papel con esa celulosa.
- c. **Índice de Rasgado:** Mide la energía necesaria para rasgar un papel, tal como se hace cuando se corta una hoja con las manos.
- d. **Largo de fibra:** Mide el largo promedio de las fibras de celulosa (en milímetros).
- e. **Drenabilidad:** Mide la facilidad con que la celulosa evacua el agua que contiene. Es importante para producir papel dado cuando se forma la hoja el contenido de agua es de entre 98% y 99% en peso.
- f. **Contenidos de finos:** Mide la cantidad de elementos no fibra en la celulosa.
- g. **Viscosidad:** Mide la fricción interna de una mezcla de agua con fibras de celulosa. Es un indicador del grado de polimerización (largo de las cadenas) de las fibras de celulosa.
- h. **Contenido:** El contenido se clasifica en Alfa-celulosa: celulosa propiamente dicha; Beta-Celulosa: celulosa degradada (acortada) y Gamma-Celulosa: principalmente hemicelulosa; Lignina; Cenizas:

principalmente compuestos de silicio; y Extraíbles: que consisten en ácidos resinosos y ácidos grasos.

2.2.4 Derivados de la Celulosa

Son varias las modificaciones derivadas de la celulosa, que se producen en grandes cantidades, las que se utilizan para la producción industrial de: fibras, películas, plásticos, explosivos, recubrimientos y espesadores. La producción de derivados de celulosa requiere en general una materia prima que cuente con un elevado contenido de celulosa, técnicamente denominado alfa celulosa. El contenido de alfa celulosa de una determinada materia prima se mide por la cantidad de celulosa que permanece sin disolverse en una solución de hidróxido de sodio al 18%. (Casey, 1991).

- **HEMICELULOSA**

Las hemicelulosas actúan como matriz de soporte para las microfibrillas de celulosa y constituyen el 25-35% de la masa de la celulosa. Su naturaleza y proporción varían sensiblemente entre las especies. (Eaton y Hale, 1993).

Las hemicelulosas son responsables de diversas propiedades importantes de las pastas celulósicas. Debido a la ausencia de la cristalinidad, su baja más molecular y su configuración regular-ramificada, las hemicelulosas absorben agua fácilmente. Este hecho contribuye en propiedades tales como: el hinchamiento, movilidad interna y aumento de la flexibilidad de las fibras, así como también influye en la reducción del tiempo y la energía requerida para refinar las pastas celulósicas. (Otero, 1988).

2.3 LIGNINA

Es un compuesto químico complejo que se caracteriza por ser amorfo, de color oscuro y une fuertemente a las fibras del árbol lo que hace necesario extraerlas en su totalidad para individualizar las fibras. En papeles blancos hay que extraerla totalmente. Uno de los problemas de la lignina es que provoca envejecimiento del papel amarilleándolo con gran rapidez (Rodríguez y Lorient, 2008). La fórmula de la lignina es $C_9H_8.83O_{2.37}(OCH_3)_{0.96}$ y un peso molecular de aproximadamente 8000. El contenido de lignina aumenta conforme la planta aumenta su madurez, el contenido puede variar desde un 2% aproximadamente en forrajes no maduros hasta un 15% en forrajes

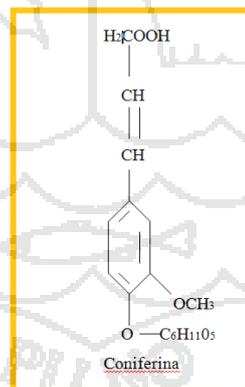
maduros. El tratamiento con álcali permite el desdoblamiento de la ligadura de celulosa – lignina (Mayer, 1997).

La formación de lignina se observa en función de sus aspectos biológicos y bioquímicos. La lignina protege a los elementos vasculares de la madera contra el colapso celular, al reforzar mecánicamente las paredes de la célula, la lignina tiene un papel importante como agente de refuerzo mecánico aplicado a la totalidad del árbol. La lignina es un componente estructural que suministra a la madera sus propiedades únicas como las elásticas y de resistencia. La lignina esta concentrada en capas tangenciales concéntricas con el eje de la célula (Rodríguez y Lorient, 2008).

La lignina es la sustancia que le confiere rigidez a las paredes celulares y en algunas partes de la madera, se presenta como un agente de unión entre las células, generando con ello una estructura resistente al impacto, compresión y doblado (Otero, 1988).

La lignina es un polímero fenólico de unidades de fenilpropano unidas entre si por enlaces carbono carbono (C-C) y éter (C-O-C); de estructura amorfa reticulada tridimensionalmente (Camero, 1992). Ver Figura 3.

Figura 3. Estructura Química de una Unidad de Lignina.



FUENTE: Camero, 1992.

Los principales grupos funcionales encontrados en la lignina son los siguientes: (Otero, 1988).

- Grupo metoxil (-OCH₃). Es el grupo funcional más característico de la lignina.
- Grupos hidroxilos (-OH). Son de naturaleza variada, es decir, fenólicos, alifáticos primarios, secundarios y terciarios.

- Grupos carbonil y carboxil.
- Grupos éter (R-O-R), los cuales pueden ser aromáticos o alifáticos.
- Enlaces dobles (-C=C-).
- Grupos esterres (-C-O-R).

2.3.1 Funciones de la Lignina.

Posee un importante papel en el transporte interno de agua, nutrientes y metabolitos. Proporciona rigidez a la pared celular y actúa como fuente de unión entre las moléculas de celulosa, creando un material que es notablemente resistente a los impactos, compresiones y flexiones. Realmente los tejidos lignificados resisten el ataque de los microorganismos, impidiendo la penetración de las enzimas destructivas en la pared celular (Mayer, 1997).

2.4 DESCRIPCION DEL PAPEL

El papel es una estructura obtenida en base a fibras vegetales de celulosa más cargas y aditivos, las cuales se entrecruzan formando una hoja resistente y flexible. Estas fibras provienen del árbol y según su longitud se habla de fibras largas de aproximadamente de 3 a 5mm y fibras cortas de 0.75 a 2mm. Para poder elaborar un papel, el vegetal debe presentar como mínimo un 33% de celulosa en su composición estructural (Casey, 1990).

La materia prima fundamental para fabricar el papel es la celulosa, a partir de vegetales que tengan un contenido de 33% como mínimo en su estructura, de hecho se puede decir que el papel es una lámina constituida por entramado tridimensional de fibras de celulosa y otras sustancias (minerales, colas, almidón, colorantes) que permiten mejorar las propiedades del papel y hacerlo apto para el uso al que está destinado, además debe tener un 10% de lignina (Quispe, 2005).

2.5 ESTRUCTURA DEL PAPEL.

La mayoría de los papeles se elaboran con fibra o pasta de celulosa suspendida en el agua, la celulosa por su propiedad higroscópica absorbe fácilmente el agua; por lo tanto, el papel absorberá agua, a menos de que se le de algún tratamiento especial para reducir la potencia absorbente de la celulosa. La celulosa es blanca, por ello, el papel será blanco, a menos de que contenga lignina como una impureza. La

celulosa es higroscópica, por tanto el papel será higroscópico, captara y soltara liquido. Una fibra de celulosa tiene la habilidad de formar uniones de hidrogeno; por ello las fibras pueden unirse en el papel sin requerir la adición de adhesivos. Una fibra de celulosa tiene una resistencia alta y es flexible. (Mejia, 2000).

2.6 TIPOS DE PAPEL.

Según (Condori, 2010), los tipos de papel son:

1. Papeles de Escritorio.

Son papeles bien encolados y resistentes que deben tener una superficie fina, ser blancos y no deben volverse amarillentos con el tiempo, con amplio gramaje: de 60 a 150 g/m². En esta clasificación puede incluirse por ejemplo el papel oficio, secante, vegetal, carbón.

2. Papeles de Imprenta.

Generalmente no son muy finos; pueden contener cargas minerales y pasta de madera, también pasta del papel reciclado que le dan opacidad a las tintas de imprenta. Para los diarios, emplean grandes cantidades de este papel, no son necesarias características especiales, ya que en este caso el papel se obtiene con porcentajes considerables de pasta de madera mecánica, que es la mas económica. También pueden mencionarse los papeles pigmentados, tales como el papel lustre, papel de regalo.

3. Papeles Mecano - Técnicos.

Cubren una amplia gama desde los papeles de embalaje a los papeles higienicos, son papeles de producción elevada ue se fabrican en maquinas de anchos superiores y gran velocidad, a veces son sin blanqueo ni cola.

4. Papeles para envases y embalajes.

Existen diferentes tipos, desde el muy fino (Papel seda) hasta el mas grueso y consistente papel café (papel Kraft), papel tissue, glassine, envases tetrapack, cartones, etc. (Fernández, 2003).

Según (Pérez, 2001), existen diversos tipos de papel para envases, estos son los siguientes:

a. Papel Kraft.

Es muy resistente, por lo que se utiliza para la elaboración de papel tissue, papel para bolsas, sacos multicapas y papel para envolturas, asimismo, es base de laminaciones con aluminio, plástico y otros materiales.

b. Papel pergamino vegetal.

Tiene resistencia a la humedad así como a las grasas o aceites. Es utilizado para envolver mantequilla, margarina, carnes, quesos, etc. Así como para envasar pescado, también se utiliza para envasar metales pulidos.

c. Papel glassine.

Estos papeles son muy densos y tienen un alto grado de resistencia al paso de las grasas y aceites, este papel es translucido y calandrado, logrando una superficie con acabado plano, puede hacerse opaco adicionando pigmentos, también puede encerarse laquearse y laminarse con otros materiales. Son muy utilizados para envolturas, sobres, materiales de barrera y sellos de garantía en tapas. En la industria alimenticia se utiliza para envasar grasas y aceites.

d. Papel tissue.

Son elaborados a partir de pulpas mecánicas o químicas, y en algunos casos de papel reciclado, pueden ser hechos de pulpas blanqueadas, sin blanquear y coloradas. Este papel se utiliza para proteger algunos productos como envases de vidrio, herramientas, utensilios, zapatos y bolsas de mano.

e. Papeles encerados.

Brindan una buena protección a los líquidos y vapores, se utilizan mucho para envases de alimentos, especialmente repostería y cereales secos, también para la industria de los congelados y para varios tipos de envases industriales.

2.7 FIBRAS UTILIZADAS PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPEL.

La materia prima fundamental para fabricar papel es la celulosa. De hecho, se puede decir que el papel es una lámina constituida por un entramado tridimensional de fibras de celulosa y otras sustancias (cargas minerales, colas, almidón, colorantes, etc.) que permiten mejorar las propiedades del papel y hacerlo apto para el uso al que está destinado (Mignoni, 1992).

Las fibras de celulosa son un constituyente esencial de los tejidos vegetales, cuya función es la de dar resistencia a los mismos. La celulosa para la fabricación de papel se obtiene principalmente 55% de madera, 9% de otras fibras vegetales denominadas no madereras y 16% de papel recuperado. (Chuai, et. al., 2001).

2.7.1 Fibras madereras

Proviene de diferentes especies de árboles y son las fibras más utilizadas por la industria papelera. La importancia de la madera como materia prima para la industria papelera radica en que contiene alrededor de un 50% de celulosa.

Según (López y Eugenio, 2004). En función del tamaño de las fibras que proporcionan las diferentes especies se puede realizar una nueva clasificación en:

- **Fibras cortas:** provienen de árboles de madera dura, como el eucalipto y algunas especies de frondosas (abedul, chopo, arce o haya), y su longitud está comprendida entre los 0,75 mm. y los 2 mm. de largo, conteniendo además un porcentaje más elevado de celulosa.
- **Fibras largas:** provienen de árboles de madera blanda, fundamentalmente coníferas como el abeto y el pino, y su longitud está comprendida entre los 3 y 5 mm., resultando la pasta de papel más resistente.

2.7.2 Fibras no madereras

Proviene de diferentes especies de arbustos. En los países industrializados se utilizan para producir papeles especiales, sin embargo, en otros países son la principal materia prima para la fabricación de papel, así, en China suponen el 60% de las fibras utilizadas para la producción de papel. Estas fibras

presentan un gran potencial de desarrollo para sustituir a las fibras madereras (Jiménez, et. al., 2006)

Según Jiménez, et. al., 2006, Las especies más utilizadas son:

a. Tallo de Quinua: Las fibras de tallos de quinua se pueden utilizar en la elaboración de diferentes tipos de papeles.

b. Tallos de Totora: las fibras de totora se pueden utilizar en la elaboración de papel.

c. Algodón: las fibras tienen una longitud superior a los 12 mm. y se utilizan en la fabricación de papeles finos de escritura.

d. Caña: las fibras tienen una longitud superior a los 5 mm. y proceden de cordeles viejos y otros desperdicios. Sirven como materia prima para la producción de papel para cigarrillos.

e. Lino: las fibras tienen una longitud entre 6 y 60 mm. y se usan para fabricar papel para billete.

f. Paja de cereales: estas fibras se utilizan en la producción de envases para huevos, botes y tubos de papel.

Cuadro 3. Dimensiones aproximadas de diversas fibras papeleras.

FIBRAS	LONGITUD	ANCHURA	RELACION LONGITUD/ANCHURA
Esparto	1.1	10	110
pajas cereales	1.5	13	115
paja arroz	1.4	8	170
bagazo	1.7	20	85
Caña	1.5	13	120
bambu	2.7	14	190
abaca	1.8-6.2	11-18	254
Sisal	1.3-2.7	19-37	35-142
kenaf(corticales)	4	22	
Yute	2	20	
linters algodón	2.0-12	20	
fibras de algodón	15-50	09-23	100-600
liberianas de lino	10-36	11-20	1000-4000
liberianas ramio	40-200	45	1100-1200
Pino	2.0-3.0	22-50	60-90
picea	3.1-3.5	19-50	70-160
alamo	1.5	25	60

Fuente: Grant, 2000.

2.7.3 Fibras recuperadas

Las fibras presentes en el papel y cartón viejo pueden volver a utilizarse para fabricar papel y cartón de nuevo, a través del proceso de reciclado se pueden recuperar la mayoría de las fibras de celulosa que contiene el papel, no obstante, este proceso no se puede repetir indefinidamente ya que las fibras recuperadas pierden resistencia en el proceso, siendo necesario aportar según la resistencia del papel que se quiera fabricar, una proporción de fibras vírgenes al proceso de reciclado, ya sea procedentes de madera o de otras fibras vegetales (Chuai , et. al., 2001).

2.8 DISOLVENTES UTILIZADOS EN LA OBTENCIÓN DE PAPEL.

a. Hidróxido de Sodio (NaOH).

El nombre del sodio proviene del Italiano sosa, cuyo símbolo es Na y cuyo peso molecular es de 40 g/mol, tiene aspecto y olor; solido blanco e incoloro, Numero de identificación ONU: solido granulado, seco.

Es un álcali utilizado en la industria del papel ya que tiene la propiedad de disolver y/o separar la lignina de la celulosa en los vegetales. El hidróxido de sodio rompe enlaces de hidrogeno de la celulosa volviéndola en una estructura mas simple (Condori, 2010).

b. Hipoclorito de Sodio (NaClO).

El hipoclorito fue prácticamente el único agente empleado para el blanqueo hasta los años 30, al aplicar comercialmente el cloro elemental como agente blanqueador de pulpa. Este procedimiento se revelo muy interesante cuando se aplico a las pulpas kraft, las cuales alcanzaban un grado de blancura muy alta, pues la acción del cloro sobre la pulpa es el de eliminar la lignina, compuesto muy abundante en las pulpas kraft. El principal problema para la implantación del método al cloro, era la resistencia de los materiales, lo que se pudo resolver con la aparición del acero inoxidable (May, 2009).

Los hipocloritos son sales de acido hipocloroso (HClO_2), que han encontrado amplio uso en la industria y el hogar, los mas importantes son hipoclorito sódico y el hipoclorito potásico, ambos son oxidantes fuertes utilizados para blanqueo de celulosa, fibras textiles y como desinfectante (May, 2009).

2.9 DESCRIPCION DEL PAPEL KRAFT.

El termino kraft proviene de la palabra Alemana que significa resistente, con el cual se alude la principal característica de este papel. La elaboración del papel kraft, se basa en un procedimiento químico usando sosa caustica(Fernández, 2003).

El papel kraft es aquel que se obtiene a partir de fibra corta virgen, el cual proviene principalmente de maderas blandas como el pino, eucalipto y diferentes especies frondosas (Scout, 1989).

2.9.1 Descripción de las características del papel kraft

La característica más importante en el caso del papel kraft es una elevada resistencia al desgarramiento el cual debe tener un mínimo de $60 \text{ Nm} \cdot \text{m}^2/\text{g}$, el gramaje debe ser no mayor a $80 \text{ g}/\text{m}^2$ debe ser flexible con un espesor ideal de 1.5mm, la densidad del papel define el grado de performance que puede tener el papel (Bublitz, 1990).

2.9.2 Especificaciones técnicas para papel kraft (Bolsa de Azúcar).

- **Gramaje.**

Es la masa de la unidad de superficie del papel expresado en gramos por metro cuadrado. Esta medida con respecto a la resistencia del papel aunque con ciertos límites. Esta relación es importante porque el comercio del papel se realiza en soles en kilogramos (Norma, ISO 287,2000).

El peso es uno de los detalles más comunes relativos al papel. Debido a que éste se usa en forma de hoja y su área tiene más importancia que su volumen, según Casey el peso del papel se expresa como gramos por metro cuadrado (g/m^2) en el sistema métrico y se denomina gramaje.

El peso del papel puede medirse en una balanza especialmente graduada. Esta debe tener una sensibilidad por lo menos de 0.1gramos; se requerirá una sensibilidad mayor (0.01g ó 0.001 g) si las muestras por pesar miden menos de un metro cuadrado.

El peso afecta principalmente las propiedades físicas y muchas de las propiedades ópticas del papel. Es imposible mantener el peso del gramaje exacto especificado. La práctica comercial permite una variación del ± 5 por ciento del peso especificado (Casey, 1991).

El contenido de humedad afecta relativamente en el peso base de un papel a otro, mucho depende de la humedad relativa del aire con el que está en contacto. Debido a que el gramaje o el peso base se expresa siempre como el peso total del papel incluyendo la humedad. Según los estudios debe determinarse el peso en condiciones estándar si se requiere que sea comercial. La condición estándar utilizada en Estados Unidos es de una humedad relativa del 50 por ciento, con temperatura de 23°C.

- **Índice de rotura.**

Es un indicador de resistencia a la rotura, se mide en $Nm \cdot m^2/g$, se mide con un instrumento llamado sensor de fuerza que mide la cantidad de trabajo realizado para romper el papel a una distancia fija, aplicando una fuerza perpendicular al área de tensión. La muestra de papel se sujeta entre dos mordazas en dirección de la rotura. (Casey, 1991).

Según Casey, (1991) la resistencia a la tensión, como medida en la industria del papel, no es una resistencia a la tensión verdadera ya que mide la carga de ruptura, por unidad de ancho, en lugar de hacerlo por unidad de área. Sería más apropiado emplear la expresión “resistencia de ruptura” al hablar de esta prueba.

- **Espesor.**

Mide el espesor de la lámina del papel expresado en milímetros (mm), a través del equipo denominado micrómetro, para el caso del papel kraft el máximo es de 1.8mm (Norma TAPPI, T807/810, ISO 2759, 2000).

- **Densidad.**

Es la propiedad del papel más importante expresado en gramos por metro cúbico, tiene relación con la porosidad, rigidez, dureza, y la resistencia del papel; además la densidad influye en todas las propiedades ópticas y físicas del papel. Para el caso del papel kraft es de $56g/m^3$ (Norma TAPPI, T807/810, ISO 2759, 2000).

Algunos autores concuerdan que a la densidad de la hoja final, le afectan muchos factores como la cantidad de unión de fibras, la presencia de materiales (cargas y aditivos) que llenan los huecos de la hoja. El efecto

de las diferentes pulpas en la densidad de la hoja tiene relación con la finura y la flexibilidad de la fibra, las pulpas tratadas al sulfato producen hojas con una densidad superior a la de las pulpas tratadas al sulfito y señalan también que las pulpas tratadas con hidróxido de sodio (sosa caustica) producen hojas de muy baja densidad (Bublitz, 1990).

- **Lisura.**

Se refiere al contorno superficial del papel, está relacionada con el brillo. Podemos medir la lisura del papel a partir de un microscopio equipado con un ajuste micrométrico del enfoque. El aumento en el batido de la pasta aumenta la lisura del papel. Un aumento en el prensado en seco. Las cargas mejoran la lisura. El encolado superficial también mejora la lisura, también influye en ella el tipo de pulpa, por lo general las pulpas de maderas molidas finas producen papeles lisos; cuanto más cortas sean las fibras y más delgadas producen papeles más lisos.

- **Color.**

El color es algo que vemos, el color es invisible en ausencia de luz, cuando la luz entra en una hoja de papel, es dispersada en refracción y reflexión interna. Una parte de luz es absorbida, otra parte es transmitida y el resto se refleja difusamente. La porción de luz que es absorbida determina el color del papel, por ejemplo un cuerpo perfectamente blanco no absorberá toda la luz y la reflectancia difusa será del cien por ciento (Casey, 1991).

Para medir el color del papel, puede realizarse por métodos psicológicos, físicos o psicofísicos. Las propiedades psicológicas se refieren a la impresión visual del observador que puede distinguir variaciones reducidas en tono, difíciles de medir con instrumentos ópticos, por ejemplo, el espectofotometro registrador. Las propiedades psicofísicas se miden físicamente, pero se interpeta psicológicamente usando valores (Casey, 1991).

En el sistema Munsell, el color es tridimensional, utiliza esta circunstancia para expresar el color en función de sus propiedades: valor o claridad, croma o saturación y matiz.

Cuadro 4. Especificaciones técnicas para papel kraft (Bolsa de Azúcar).

REQUISITOS	MINIMO	NORMAL	MAXIMO
Gramaje (g/m ²)	71	75	79
Índice de rasgamiento (Nm*m ² /g)	60	-	-
Densidad (g/m ³)	-	56	-
Espesor (mm)	1.4	1.6	1.8
Color	Marron		

FUENTE: INDECOPI, 2003.

2.10 PASTA.

El pasteado consiste en convertir la madera en masa fibrosa, la madera puede ser sometida a procesos mecánicos o químicos o una combinación de ambos (Eldred, 2000).

2.10.1 Pasta kraft.

Es la pulpa obtenida a partir de celulosa al cual se le a añadido cargas (caolín, cal y almidón) y aditivos (colorantes, espesantes y ligantes) con el fin de poder conferirle las propiedades adecuadas al papel kraft.

- **Cargas:** se utilizan para conseguir que el papel sea lo más resistente posible, que además sea flexible y ocupe el menor peso posible, se realiza también con fines de poder reducir los costos de producción y poder a demás maximizar el uso de la materia prima.
 - ✓ **Almidón:** Le confiere mayor rigidez y resistencia al papel.
 - ✓ **Caolín o talco:** Permite mejorar las características de impresión, haciendo que el papel sea más brillante y uniforme.
- **Aditivos:** permite mejorar las características del papel añadiendo una serie de sustancias:
 - ✓ **Cola:** permite aumentar el grosor del papel, disminuir la porosidad y mejorar la resistencia.
 - ✓ **Colorantes:** Se utiliza el color requerido en el tipo de papel a obtener el cual no influye en el factor resistencia.

2.11 PROCESO DE ELABORACIÓN DE PASTA DE CELULOSA

La composición química de la madera es bastante compleja, el elemento básico estructural de la pared celular es la celulosa. La lignina y hemicelulosa también están distribuidas en la pared celular junto con esteroides, terpenos, resinas, fenoles y taninos. La lignina mantiene a las fibras de celulosa unidas. El proceso de producción de celulosa consiste en separar las fibras de celulosa lo que se puede conseguir mecánicamente o por disolución química de la lignina (Eldred, 2000).

La elaboración de pasta a partir de la madera es el proceso inicial en la fabricación de celulosa para papel y cartón. Las diferentes calidades de papel requieren distintos procedimientos para obtención de celulosa, así el papel blanco para copias requiere una pulpa con fibras duras en su composición principal con algo de fibras blandas para añadir flexibilidad (Colvin, 2000).

El papel para diarios se produce con fibras obtenidas por procesos mecánicos o fibras recicladas con poca cantidad de fibras blandas.

Todas las metodologías para obtención de pasta de celulosa para papel se basan en la separación de las fibras de la madera. Esto se consigue con métodos mecánicos como el molido o con métodos químicos que disuelven la lignina de la pared celular dejando separadas las fibras de celulosa prácticamente sin acción mecánica (Eldred, 2000).

Según (Eldred, 2000), existen dos tipos de proceso como son:

a. Proceso mecánico

La pasta mecánica que se obtiene triturando la madera por medio de grandes piedras de arenisca o esmeril y haciéndola pasar por arrastre con agua a través de tamices. Este tipo de pulpa es de baja calidad, coloreada y con fibras de celulosa cortas. Una variante de este proceso consiste en usar chips de madera que se someten a vapor antes del triturado.

b. Procesos químicos

La reducción de madera en un proceso químico se hace a través de un digestor, donde se trata la madera bajo condiciones controladas de presión y temperatura.

En esta fase se usa una solución para disolver la lignina y separarla de las fibras de celulosa.

Existen dos procesos principales: el método del sulfito y el método alcalino; en general, ambos involucran el empleo de compuestos químicos en base a azufre.

Se caracteriza por un pre tratamiento químico seguido de un refinado mecánico.

Se usa para maderas duras o de origen mixto. Puede hacerse impregnando chip con una solución de sulfito de sodio seguida de una cocción a 160 - 190° C y un posterior refinado por discos. La pulpa obtenida tiene lignina en un 10 a 15 % y se usa para cartón corrugado y papeles para embalaje por su alta resistencia.

✓ *Procesos alcalinos*

Los dos más importantes son el Kraft y el alcalino (soda proceso). En ambos casos los chips de madera son calentados en presencia de hidróxido de sodio para disolver la lignina. En el proceso Kraft se agrega sulfuro de sodio este procedimiento es el más difundido en la elaboración de pulpa a partir de madera. El proceso alcalino se emplea para materias primas que no son madera.

Una parte importante de estos procesos es la regeneración de los licores de cocción. En el sistema Kraft los líquidos agotados por su uso en los tratamientos se evaporan para regenerar el álcali que se incorpora al próximo tratamiento. Durante el proceso alcalino casi la mitad de la madera queda como remanente en el líquido residual con alto contenido energético lo que permite su fácil evaporación e incluso puede proveer energía a la planta.

Durante el calentamiento el dióxido de carbono producido reacciona con la soda cáustica para producir carbonato de sodio. Se añade entonces sulfato para compensar las pérdidas durante el proceso de obtención de pasta. Este sulfato se reduce a sulfito. La mezcla resultante se trata con hidróxido de calcio (cal apagada) para regenerar el hidróxido de sodio a partir del carbonato. El resultante se vuelve al tanque de tratamiento para otro proceso.

La pasta resultante tiene características de resistencia por el largo de las fibras obtenidas. Si la materia prima fue una madera dura se presta para su uso en papeles de impresión mezcla con pulpas de otro origen (Eldred, 2000).

✓ *Proceso sulfito*

Existen variantes de este proceso conocidas como proceso de sulfito ácido, de bisulfito, de multi-etapas, de sulfito neutro y alcalino. Todas ellas hacen referencia a las características de los líquidos para cocción de lo chips de madera. El dióxido de azufre es utilizado para generar el sulfito utilizado en la digestión. La producción de pulpas por éste método es muy baja en relación a la producción por Kraft o mecánica (Eldred, 2000).

2.12 REFINACIÓN

El principal objetivo de refinación es preparar las fibras para alcanzar las propiedades de resistencia deseables en el producto final. Los diversos estudios experimentales realizados en esta operación establecen que el refinado confiere cambios importantes en la estructura física de las fibras, modificándose la morfología de las mismas por la acción de un trabajo mecánico en un medio acuoso. En esta operación se desarrollan algunas de las características que favorecen la formación del papel, tales como la fibrilación externa e interna, formación de finos, variación en la longitud de la fibra e incremento en la capacidad retención de agua (Kerekes, 2005).

Figura 4. Estructura Física de las Fibras.



2.13 PROCESO DE REFINACIÓN

Durante el proceso de refinado se elimina parcialmente las paredes (primarias y secundarias) externas de la fibra, lo que permite la penetración del agua en el interior de la misma provocando su hinchamiento, al romper enlaces secundarios celulosa – celulosa, hemicelulosa – hemicelulosa y hemicelulosa – celulosa. La hidratación de las fibras y la fibrilación externa e interna generan un aumento sensible de la superficie y volumen específicos (incremento de los puntos de contacto en la formación del papel) favoreciendo el desarrollo de las propiedades fisicomecánicas del papel.

Cada papel requiere de una refinación específica que aporte al papel ciertas propiedades, muy concretas y particulares. Cada fibra debe de ser caracterizada de tal manera que se conozca con certeza, el punto de refinación donde desarrolla sus máximas propiedades de resistencia. Según (Torres, 2005), el valor de prueba y propiedades físicas están dadas por:

Valor de prueba física (grado de refinación)

- Rasgado
- Lisura
- Porosidad.

2.13.1 Importancia de las hemicelulosas en la refinación

Según (Torres, 2005), las pastas con un alto contenido de hemicelulosas producen papeles de baja opacidad, elevadas resistencias a la tensión y rasgado. La cantidad y tipo de hemicelulosas pueden determinar:

a. La fibrilación: las hemicelulosas en el interior y la superficie de la fibra, dan a la plasticidad.

b. Corte en la fibra: mayor área superficial lo que provoca un mayor contacto interfibrilar en la formación y secado.

2.13.2 Factores básicos de la Refinación

Los factores básicos de la refinación son:

- Características de la pasta que se va a refinar
- Especificaciones del papel que se va a producir

- Propiedades de la pasta para obtener una buena operación en la máquina de papel.

2.13.3 Factores que afectan la Refinación

Según (Meltzer 1996), los factores que afectan la refinación son:

a.- Tipo de materia prima

La refinación depende del tipo de materia prima que se utiliza puede ser fibras madereras y no madereras (residuos agrícolas).

b.- Vida útil del molón refinador

La vida útil del molón dependerá del tipo de material (acero inoxidable, acero tratado), para un buen refinado.

c.- La consistencia en la suspensión fibrosa

La tendencia actual es llevar a cabo la refinación a alta consistencia, debido a que se tiene un trabajo mecánico más eficaz sobre las fibras, al mismo tiempo que se incrementa la vida media de los elementos de refino, una pasta refinada de esta manera, incrementa el desarrollo de las fibras al disminuir el efecto de los elementos de refino en forma directa sobre las fibras.

2.14 EQUIPOS PARA LA REFINACIÓN

A. Molino

Los primeros trabajos mecánicos para desarrollar la fibra fueron a base de un machacado, utilizando un molino.

B. Pila Holandesa

Un equipo importante para dar desarrollo a las fibras fue la "pila holandesa".

Las personas que laboraban en estos equipos hicieron de trabajo un arte y llegaron a ser el eje central de una fábrica de papel. En este equipo se mezclaban las fibras y los materiales que se utilizarían para la elaboración del papel. La mezcla se hacía circular en la tina de la pila holandesa, por un tiempo determinado a través de una placa y un molón provistos de cuchillas. A este proceso se le denomina "batido" (Meltzer 1996).

C. Refinador cónico

Los refinadores cónicos tuvieron aceptación debido a que el incremento en el consumo de papel obligó a los productores de papel a modificar sus

procesos de tal manera que fueran continuos y permitieran minimizar el tiempo y a la vez permitieran incrementar la velocidad de las máquinas de papel.

Esto se logró utilizando en lugar de la pila holandesa los refinadores.

El refinador cónico es de fácil manejo pero no es versátil para su mantenimiento .

La fibra se hace pasar a través de un cono y una carcasa cubiertas con cuchillas, el elemento móvil es el cono, el cual por medio de un mecanismo manual o electroneumático, puede acercarse a la carcasa para obtener un trabajo mecánico de mayor o menor grado sobre la fibra, teniéndose como consecuencia también un mayor o menor grado en el desarrollo de las fibras respectivamente.(Kerekes, 2005).

D. Refinador de discos

El refinador de discos tuvo un desarrollo posterior al del refinador de cono, porque no se tenía la tecnología adecuada y de precisión para fabricar los discos, a diferencia del refinador de cono, el refinador de discos es muy versátil para su mantenimiento (Torres, 2005).

Existe una gran variedad de diseño en los discos, de acuerdo al tipo de fibra que se desea tratar como son:

Diseño del disco para refinador

El diseño de los discos para refinador está en función de:

- ❖ Ángulo de las cuchillas
- ❖ Longitud de las barras
- ❖ Ancho de las ranuras
- ❖ Profundidad de las ranuras
- ❖ Longitud de las ranuras
- ❖ Cara de las cuchillas
- ❖ Desviadores de flujo
- ❖ Material de revestimiento

Ventajas del Uso del Refinador de Discos

Torres,2005, nos indica que una de las ventajas del uso de refinador de discos, es su versatilidad y facilidad de mantenimiento. La eficiencia de este

refinador depende de cómo los elementos de refinado trabajan uno frente a otro:

a.- Diseño del disco Se tiene un tratamiento homogéneo de la fibra

- ✓ El desgaste de la barra también es uniforme

b.- Aplicación apropiada del disco, favorece :

- ✓ El desarrollo de las fibras
- ✓ Óptima fibrilación
- ✓ Menor corte de las fibras
- ✓ Las resistencias físicas

E. Molino Refinador Tipo VALLEY

El molino refinador tipo VALLEY, es utilizada para pastas de papel bajo condiciones estandarizadas. La pasta humedecida en trozos de aproximadamente 25*25mm de tamaño, se diluye la muestra en 23 litros de agua y se vierte la suspensión en la pila de refinado. Antes de colocar las pesas sobre las palancas es recomendable tomar una muestra sin refinar para tener un juego de hojas de ensayo, durante el refinado se toma la primera muestra después de 5 min. Y las siguientes después de cada 15 min. (Pastas al sulfito) o 20 min. (Pastas Kraft), hasta alcanzar o sobrepasar la potencia máxima.

Se pueden fabricar con estas muestras hojas de papel uniformes para ser ensayadas. El recipiente de este refinador tiene un volumen de 35 litros, capacidad máxima de muestra 360g. construido en acero inoxidable, la velocidad del rodillo refinador es de 500 r.p.m. y la presión de refinado es ajustable por medio de pesas (www.techlab Systems, 2009).

F. Molino Refinador de Laboratorio Tipo PFI

Después de los refinadores de discos aparecieron refinadores de pastas químicas bajo condiciones normalizadas e incluso para el desfibrado de fibras semi-cocidas. (www.techlab Systems, 2009).

2.15 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

La tendencia actual es la innovación de equipos automatizados que puedan controlar variables en el proceso, al mismo tiempo nos permiten obtener buenos resultados en el producto final y en un menor tiempo.

2.15.1 Molino Refinador De Laboratorio

El molino refinador de laboratorio, es muy versátil para su mantenimiento y operatividad ya que cuenta con controles de velocidad y tiempo para determinar parámetros óptimos para pastas de diferentes materias primas. Moderno diseño ergonómico de fácil limpieza y funcionalidad, con todos los instrumentos de medida y accionamientos integrados en un panel de mandos frontal y elevado (Innova S.A.C., 2009).

Figura 5. Molino refinador



Fuente: Innova S.A.C.

A. RECIPIENTE.

El recipiente cilíndrico está construido en acero inoxidable, tiene una capacidad de 100 g. de pasta en concentración de 5-50% de suspensión. Gira a 720 r.p.m. como se muestra en la Figura 6. (Innova S.A.C., 2009).

Figura 6. Recipiente

Fuente: Innova S.A.C.

B. MOLÓN REFINADOR

El molón de refinado está construido en acero inoxidable, posee 33 cuchillas y tiene una velocidad de 1800 r.p.m. y gira en sentido contrario que el recipiente. La pasta de papel se refina debido a la presión entre la pared del recipiente y las cuchillas del molón, y los tiempos de refinado varían entre 2 y 10 min. (De acuerdo al tipo de pasta a refinarse), como se muestra en la Figura 7. (Innova S.A.C., 2009).

Figura 7. Cuchillas o Molón Refinador.

Fuente: Innova S.A.C.

C. MOTOR

Siendo una de las partes más importantes del Molino Refinador de Pasta, este motor eléctrico trifásico de 220 – 380 voltios. Convierte la energía eléctrica en energía mecánica (Innova S.A.C., 2009).

Figura 8. Motor del Refinador.

Fuente: Innova S.A.C.

D. TABLA DE CONTROL

El equipo, cuenta con un panel de mandos, en donde se controla el número de revoluciones del molón, en un determinado tiempo, como se muestra en la Figura 9 (Innova S.A.C., 2009).

Figura 9. Tabla de Control

Fuente: Innova S.A.C.

III. MATERIALES Y MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1 LUGAR EXPERIMENTAL

La parte experimental del proyecto de investigación se realizó en el laboratorio de pulpa y papel, Laboratorio de Ingenierías de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.

La determinación del Índice de rotura se realizó en el Laboratorio de Física de la Universidad Nacional del Altiplano.

3.2 MATERIALES

3.2.1 Materia prima.

Se utilizó como materia prima 585g de tallos de quinua de la variedad Blanca de Juli, con una fase fenológica de la madurez fisiológica de 160 a 180 días, correspondiente a la campaña agrícola del año (2011-2012), la toma de muestra se localizó en el Centro Poblado de Churo Lopez, del Distrito de Ilave Provincia el Collao, ubicado a 3850 msnm.

3.2.2 Insumos.

- Almidón.
- Papel reciclado.

3.2.3 Equipos.

- Molino refinador de pasta.
- Molino de Tornillo con eje sin fin, marca Moliner, cap. 50kg.
- Licuadora marca Oster capacidad de 1L.
- Balanza analítica de 1Kg de capacidad, marca Sartorius, CP 3235.
- Micrómetro de precisión POCKET THICKNESS GAGE.
- Termómetro de mercurio.
- Cocina eléctrica.

3.2.4 Materiales de laboratorio

- Paletas y cucharones de madera.

- Tijera.
- Cinta métrica / Regla.
- Tamices.
- Moldes.
- Vaso de precipitado.
- Probetas.
- Envases de vidrio con tapa hermética.
- Tubos de ensayo.
- Erlenmeyers.
- Bagueta de vidrio.
- Pipetas de 10ml de capacidad.
- Mesa de trabajo.
- Olla de Acero Inoxidable (tratamiento térmico con NaOH).
- Útiles de escritorio y otros.

3.2.5 Reactivos.

- Agua destilada.
- Hidróxido de sodio (NaOH).

3.3 METODOLOGIA

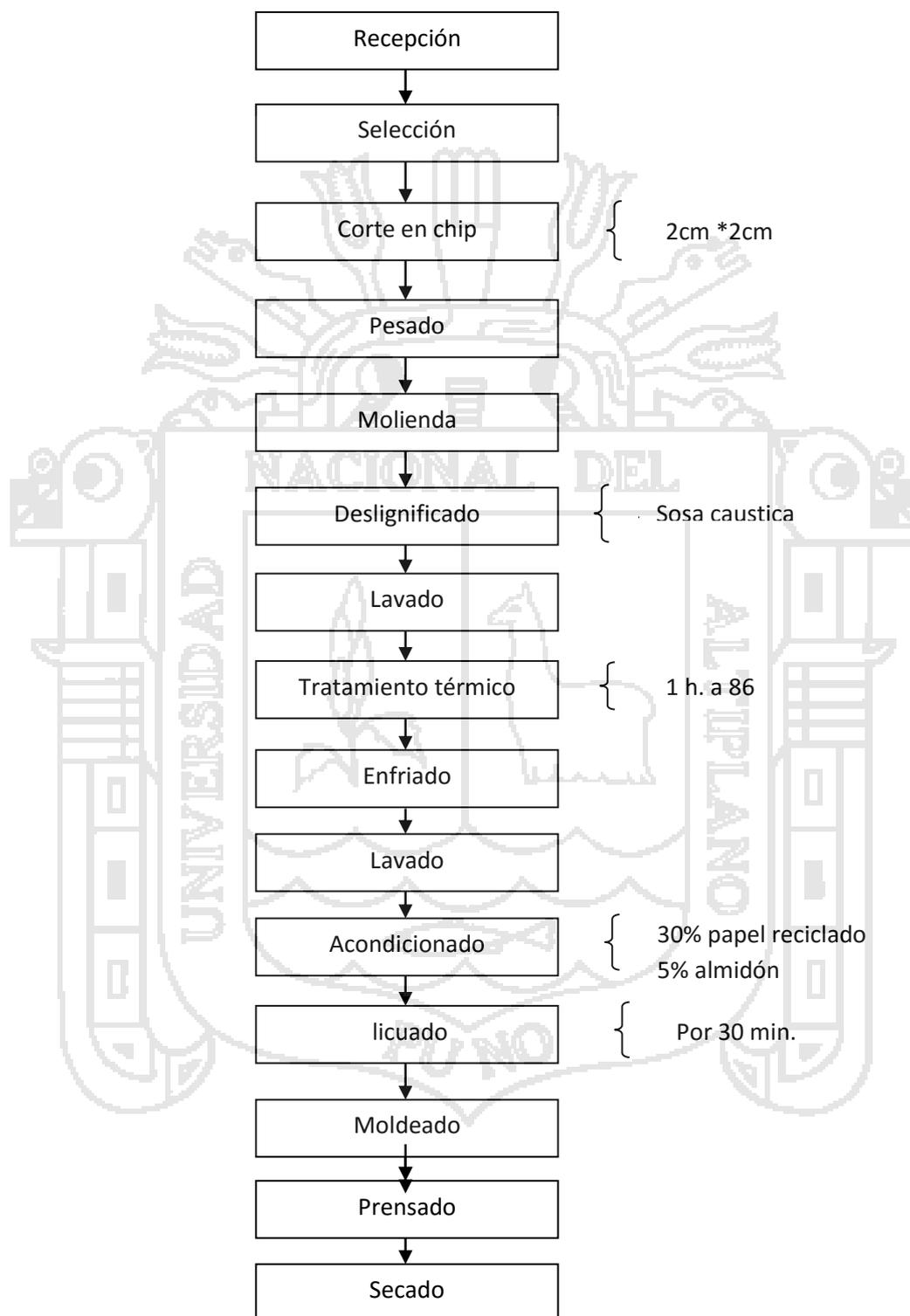
La metodología que se utilizó según (Dahl, 1884) para la obtención de papel Kraft fue la siguiente.

3.3.1 Descripción del proceso de obtención de papel Kraft manualmente.

- **Materias Primas:** Se utilizó como materia prima tallos de quinua de la variedad blanca de Juli, procedente de Ilave, previamente seleccionados.
- **Selección:** Se seleccionaron los tallos de quinua de las deterioradas y se clasificaron por tamaños y diámetro.
- **Corte en Chips:** Con una tijera se separaron la epidermis del tallo, quedando así la celulosa, luego se efectuó cortes de 2cm.
- **Pesado chips:** Para determinar el rendimiento de la materia prima y sus costos, se peso en una balanza analítica, 29.25g. para cada tratamiento.

- **Molienda:** Éste proceso se realizó con la finalidad de desintegrar la materia prima.
- **Deslignificado:** Proceso químico que consistió en separar la lignina de la celulosa de los chips de la quinua, se preparó soluciones de Sosa Cáustica a una concentración del 8%, a partir de la mezcla de agua destilada y de Hidróxido de sodio. Así a 1 litro de agua destilada se añadió 80 g. de microperlas de Hidróxido de sodio (8%). Se recomienda usar guantes de látex con el fin de evitar quemarse con la solución, en un tiempo de 72 horas.
- **Lavado:** Este proceso se realizó con la finalidad de eliminar lignina y concentraciones de hidróxido de sodio presentes en la pulpa.
- **Tratamiento térmico:** Es una operación que consistió en la cocción de la pulpa final por un tiempo de 1 hora con agua destilada y con una mínima proporción de Sosa cáustica a una temperatura de 86°C. Se eliminó un porcentaje más de lignina.
- **Enfriado y lavado:** Se enfrió a temperatura ambiente y luego se enjuago con agua (mínimo 20 enjuagues) con el fin de eliminar los restos del licor negro cáustico y se obtuvo la pulpa limpia.
- **Acondicionado:** Este proceso consistió en agregar 30% de papel reciclado previamente tratado y 5% de almidón a la pulpa para luego realizar el refinado.
- **Licuada:** Después del acondicionado se realizó el licuado por 30 minutos, con la finalidad de refinar y homogenizar la pasta inicial con los insumos.
- **Moldeado:** El moldeo se realizó vaciando la pasta líquida en un molde, que se encuentra en el interior de una bandeja de aluminio que contenga agua. Se homogenizó la pasta con el agua, se escurrió el agua del molde con malla. Se colocó la pasta sobre la tela de poli seda y encima sus respectivas tapas, después de 15 minutos se desmoldó sobre un vidrio con tela.
- **Prensado y secado:** Se efectuó para eliminar cierta cantidad de agua, aplicándole una presión. Se prensó al menos por 3 días. El secado se efectuó al medio ambiente o utilizando una plancha eléctrica, con el fin de obtener el papel Kraft.

Figura 10. Diagrama de flujo de obtención de papel kraft manualmente.



Fuente: (Dahl, 1884)

3.3.2 Descripción del proceso de obtención de papel Kraft utilizando el equipo refinador de pasta.

- **Materias Primas:** Se utilizo como materia prima tallos de quinua de la variedad blanca de Juli, procedente de Ilave, previamente seleccionados.
- **Selección:** se seleccionaron los tallos de quinua de las deterioradas y se clasificaron por tamaños y diámetro.
- **Corte en Chips:** con una tijera se separo la epidermis del tallo, quedando así la celulosa, luego se efectuó cortes de 2cm.
- **Pesado chips:** para determinar el rendimiento de la materia prima, y sus costos, se pesaron en una balanza analítica 29.25g. para cada tratamiento.
- **Deslignificado:** Proceso químico que consistio en separar la lignina de la celulosa de los chips de la quinua, se preparó soluciones de Sosa Cáustica a una concentración del 8%, a partir de la mezcla de agua destilada y de Hidróxido de sodio. Así a 1 litro de agua destilada se añadió 80 g. de microperlas de Hidróxido de sodio (8%). Se recomienda usar guantes de látex con el fin de evitar quemarse con la solución, en un tiempo de 72 horas.
- **Lavado:** este proceso se realizo con la finalidad de eliminar lignina y concentraciones de hidróxido de sodio presentes en la pulpa.
- **Tratamiento térmico:** es una operación que consistió en la cocción de la pulpa final por un tiempo de 1 hora con agua destilada y con una mínima proporción de Sosa cáustica a una temperatura de 86°C. Se elimino un porcentaje más de lignina.
- **Enfriado y lavado:** Se enfrió a temperatura ambiente y luego se enjuago con agua (mínimo 20 enjuagues) con el fin de eliminar los restos del licor negro cáustico y se obtuvo la pulpa limpia.
- **Acondicionado:** Este proceso consistio en agregar 30% de papel reciclado previamente tratado y 5% de almidón a la pulpa para luego realizar el refinado.
- **Refinado:** una vez acondicionado se procedió a utilizar el equipo refinador, se coloca una cantidad de 85 g. de pasta en el recipiente. Esta operación se

realizó manualmente colocando la pasta en la pared del recipiente, luego se introduce el molón refinador en el recipiente y el ensayo empieza, después de haber girado las revoluciones seleccionadas y el tiempo, el molino se detiene y el proceso de refinado finaliza. El molón se sitúa en la posición inicial y se extrajo la pasta refinada.

- **Moldeado:** El moldeo se realizó vaciando la pasta líquida en un molde, que se encuentra en el interior de una bandeja de aluminio que contenga agua. Se homogenizó la pasta con el agua, se escurrió el agua del molde con malla. Se colocó la pasta sobre la tela de poli seda y encima sus respectivas tapas, después de 15 minutos se desmoldo sobre un vidrio con tela.
- **Prensado y secado:** se efectuó para eliminar cierta cantidad de agua, aplicándole una presión. Se prensó al menos por 3 días. El secado se efectuó al medio ambiente o utilizando una plancha eléctrica, con el fin de obtener el papel Kraft.

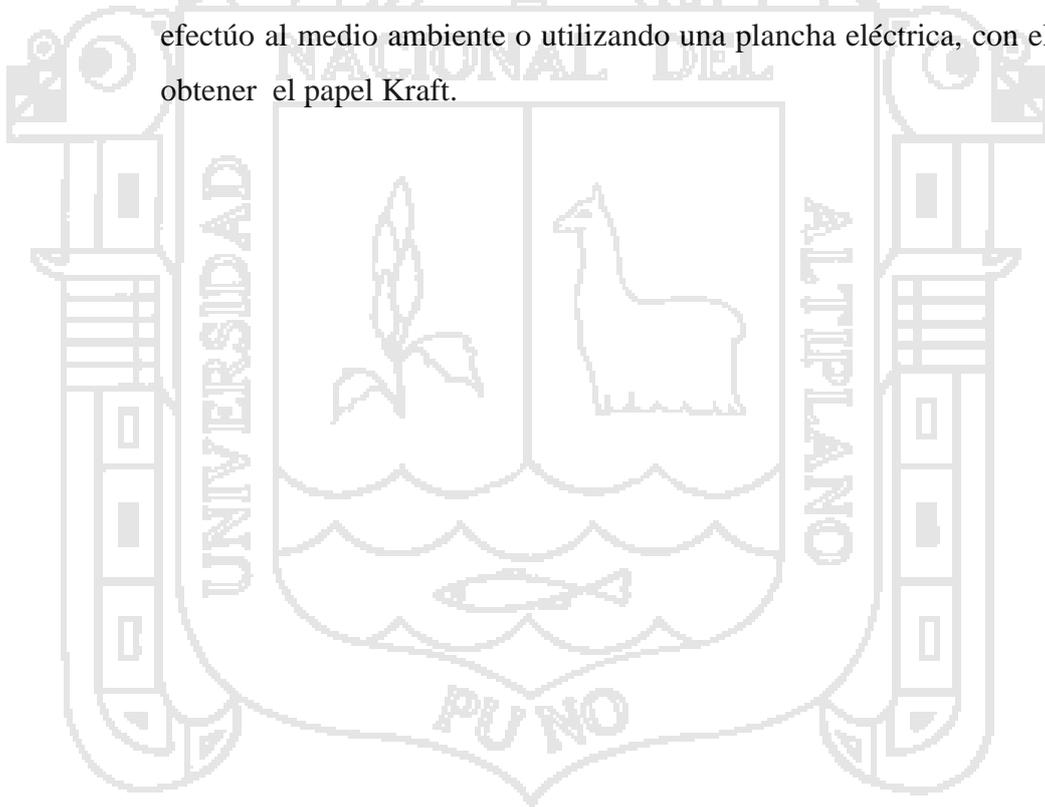
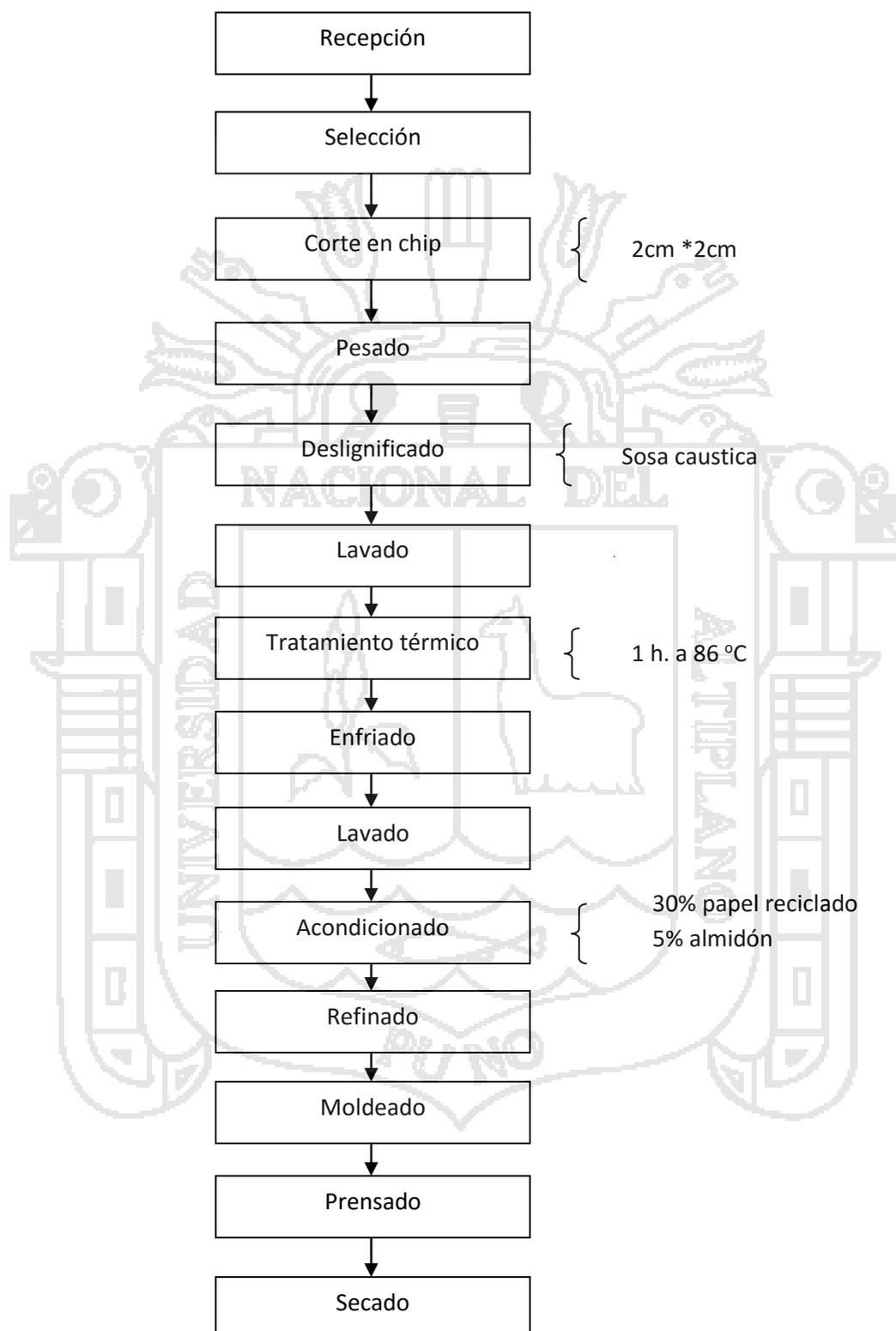


Figura 11. Diagrama de flujo de obtención de papel kraft utilizando el equipo refinador de pasta.



Fuente: Elaboración Propia.

3.3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A. Determinación de gramaje (g/m^2)

El gramaje se calculó por el método físico citado por Casey (1990), para ello se tomó una muestra de papel obtenido, el cual se pesó en una balanza de precisión, se procedió a calcular el área de la superficie del papel y luego fue pesada en una balanza de precisión, para lo cual se utilizó la siguiente formula.

$$\text{Gramaje} = \frac{\text{Peso}}{\text{Área}}$$

Donde:

Gramaje (g/m^2)

Peso (g)

Área de la muestra (m^2)

B. Determinación de densidad aparente (g/m^3)

Para determinar la densidad se utilizó el método físico propuesta por Casey (1991), el procedimiento consistió en pesar el papel, y calcular el volumen, el cual se multiplica el espesor del papel por el área de la superficie, se utilizó la siguiente formula.

$$\text{DensidadAparente} = \frac{\text{Gramaje} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right)}{\text{Espesor}(\text{mm}) * 1000}$$

C. Determinación del índice de rotura ($\text{Nm} \times \text{m}^2/\text{g}$)

El índice de rotura se determinó mediante el método citado por Casey (1991), para lo cual se utilizó el Software De Datastudio, calculamos el momento de fuerza, área y peso del papel, se utilizó la siguiente formula.

$$\text{Índicederotura} = \frac{\text{Trabajo} * \text{Área}}{\text{Peso}}$$

D. Determinación de la lisura

La lisura es una característica que influye tanto en la apariencia como en la funcionalidad del papel. Desde el punto de vista de la impresión del papel, se refiere a la perfección de la superficie de un papel y al grado en que su uniformidad se asemeja a la superficie de un vidrio plano, el método que se utilizó fue de fricción (utilizando el índice derecho).

E. Determinación del color

El color lo define el proceso de fabricación, el método que utilizaremos para medir es la tabla Munssel.

3.4 METODOLOGIA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo de acuerdo al Diseño Superficie de Respuesta (Diseño Central Compuesto), para la obtención de pasta refinada con los parámetros de tiempo y velocidad del molón, en los cuales se encuentran los tratamientos cada uno con dos repeticiones.

ETAPA I. Para el primer objetivo que comprende en determinar los parámetros óptimos de tiempo y velocidad del equipo refinador de pasta, se utilizó el Diseño Central Compuesto (DCC) de dos factores.

ETAPA II. Comprende en determinar las propiedades físicas (gramaje, densidad aparente, índice de ratura) y ópticas (color) y la lisura del papel kraft obtenido a partir de tallos de quinua utilizando el equipo refinador y el método manual, comparando con un papel kraft patrón (Pliego de papel kraft), se utilizó el método experimental.

ETAPA III. Comprende en determinar el rendimiento del equipo refinador de pasta en los 20 tratamientos con diferentes tiempos y velocidades, para lo cual se utilizó el método de balance de materia.

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL Y NIVELES DE LOS FACTORES EN ESTUDIO.

El presente trabajo de investigación se realizó de acuerdo al Diseño Compuesto Central (DCC), con el Modelo de Regresión Cuadrática con dos variables, para la obtención de pasta con los parámetros de tiempo y velocidad del molón. Se elaboró papel kraft a partir de tallos de quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) realizando 20 tratamientos con tres repeticiones.

Cuadro 5. NIVELES CODIFICADOS Y SUS RESPECTIVOS VALORES REALES DE LAS DOS VARIABLES EN ESTUDIO

NIVEL CODIFICADO	NIVEL CODIFICADO	NIVEL REAL	
		TIEMPO	VELOCIDAD
- α	-1.68179283	2	1943.193228
-1	-1	3.62158577	2164.856798
0	0	6	2700
1	1	8.37841423	3235.143202
A	1.681792831	10	3456.806772

FUENTE: Elaboración Propia.

3.6 MATRIZ DE DISEÑO.

En el Cuadro 6, se muestra el número de tratamientos evaluados para determinar el gramaje, densidad aparente e índice de rotura para la prueba física del papel kraft.



Cuadro 6. NÚMERO DE TRATAMIENTOS PARA DOS FACTORES EN UN DISEÑO COMPUESTO CENTRAL.

Xº	X1	X2	TIEMPO (Z1)	VELOCIDAD (Z2)
1	-1	-1	3.6	2164.9
1	1	-1	8.4	2164.9
1	-1	1	3.6	3235.1
1	1	1	8.4	3235.1
1	-1	-1	3.6	2164.9
1	1	-1	8.4	2164.9
1	-1	1	3.6	3235.1
1	1	1	8.4	3235.1
1	-1.68179283	0	2.6	2700.0
1	1.68179283	0	9.4	2700.0
1	0	-1.68179283	6.0	1943.2
1	0	1.68179283	6.0	3456.8
1	0	0	6.0	2700.0
1	0	0	6.0	2700.0
1	0	0	6.0	2700.0
1	0	0	6.0	2700.0
1	0	0	6.0	2700.0
1	0	0	6.0	2700.0
1	0	0	6.0	2700.0
1	0	0	6.0	2700.0
1	0	0	6.0	2700.0
1	0	0	6.0	2700.0
1	0	0	6.0	2700.0
1	0	0	6.0	2700.0

FUENTE: Elaboración Propia.

3.7 MODELO DE REGRESIÓN CUADRÁTICA.

Donde se utilizo el siguiente modelo matematico de tercer grado.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 Z_1 + \beta_2 Z_2 + \beta_{11} Z_1^2 + \beta_{22} Z_2^2 + \beta_{12} Z_1 Z_2 + e$$

Donde:

Y: Variable de respuesta. Gramaje (g/m²), Densidad aparente (g/cm³) e Índice de rotura (Nm*m²/g)

β: Coeficiente de regresión lineal.

e: Error experimental.

Z₁: Variable Independiente (Tiempo).

Z₂: Variable Independiente (Velocidad del molón).

Los diseños compuestos centrales, no son otra cosa que un diseño factorial 2^p para menores de 5 variables ($p < 5$). El número de observaciones, o el número de pruebas experimentales que se realizó en un Diseño Compuesto Central, está dado por las siguientes relaciones:

$$N = 2^p + 2p + C, \quad p < 5$$

Donde:

N= Número total de tratamientos (pruebas experimentales)

p = Número de factores o variables en estudio.

2^p = Número de combinaciones de tratamiento.

$2p$ = Corresponde a los tratamientos de la parte axial o estrella.

C= Número de observaciones replicadas en el centro del diseño.

Para nuestro experimento, el diseño compuesto central para dos variables controlables ($p=3$): Tiempo (minutos) y velocidad (R.P.M), el número de pruebas experimentales esta dado por:

$2^p = 2(3) = 8$ puntos correspondientes a un diseño factorial.

$2p = 2(3) = 6$ puntos adicionales en los ejes coordenadas a una distancia ($\pm\alpha$, 0,0), (0, $\pm\alpha$, ...0), (0,0,... $\pm\alpha$).

C = 6 puntos centrales considerados para estimar la variancia del error experimental (Ver Anexo 2).

Entonces, $N = 8 + 6 + 6 = 20$ puntos experimentales (Ayala y Pardo, 1995).

3.7.1 Variables en Estudio.

- Tiempos (2, 6, 10) min.
- Velocidad del molón (1800, 2700, 3600) r.p.m.

3.7.2 Variables de Respuesta.

- Gramaje (g/m^2)
- Densidad aparente (g/m^3)
- Índice de rotura ($\text{Nm} \times \text{m}^2/\text{g}$)
- Lisura.
- Color.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

4.1 Efecto del tiempo y velocidad del equipo refinador de pasta en el gramaje del papel kraft.

El análisis estadístico muestra la incidencia de los factores de tiempo y velocidad en el gramaje del papel kraft de análisis cualitativo a un nivel de confianza del 95%, el análisis de varianza se realizó con dos niveles codificables en el Cuadro 7. Se muestra el análisis de varianza del gramaje.

Cuadro 7. Analisis de varianza para evaluar el tiempo y velocidad del equipo refinador sobre el gramaje del papel kraft

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	Fc	Ft
A:TIEMPO	1,92455	1	1,92455	3,50	4,60 ns
B:VELOCIDAD	1,72865	1	1,72865	3,14	4,60 ns
AA	4,72298	1	4,72298	8,58	4,60 *
AB	0,409614	1	0,409614	0,74	4,60 ns
BB	12,6882	1	12,6882	23,06	4,60 *
Error total	7,70265	14	0,550189		
Total (corr.)	30,7183	19			

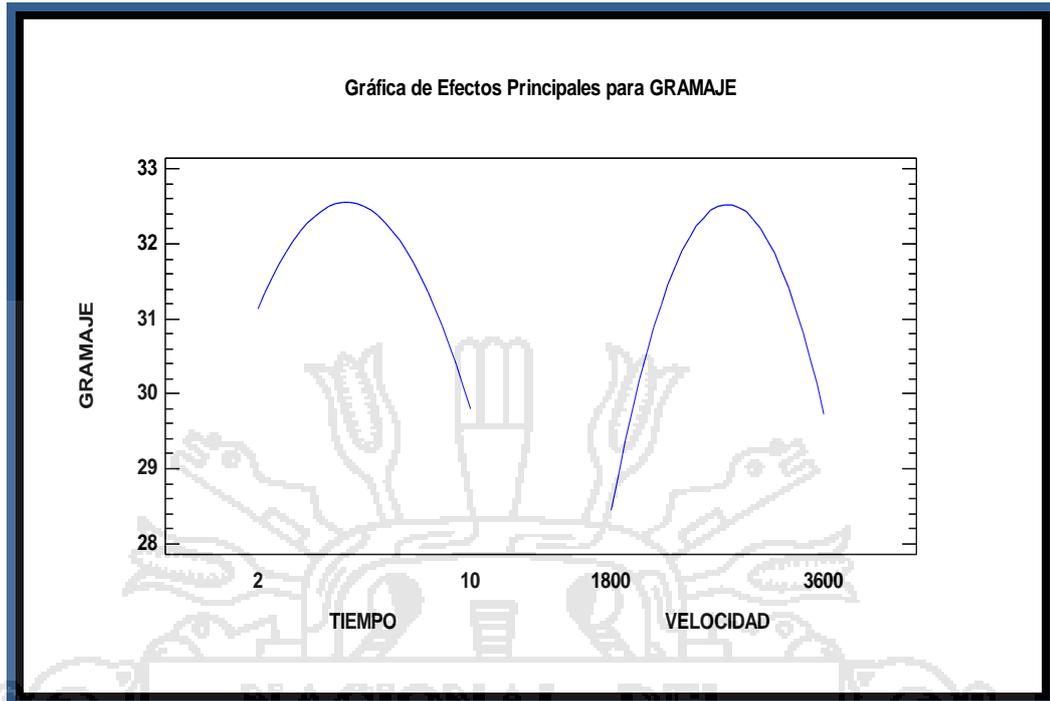
FUENTE: Elaboracion Propia.

$$R^2 = 74,92\% \quad CV = 2\%$$

En el Cuadro 7. se observa el análisis de varianza del gramaje del papel kraft de análisis cualitativo, muestra para el tiempo, velocidad e interaccion (tiempo y velocidad), no presentan diferencias significativas, sin embargo en efectos cuadráticos (tiempo y velocidad) si presentan diferencias significativas; en el proceso de variación del gramaje, se puede observar que el coeficiente de determinación explica el 74.92 % del modelo, con lo que su confiabilidad es alta.

En la Figura 12. Muestra que el factor tiempo y velocidad influyen parcialmente en el gramaje ya que la curva llega a un punto máximo y al aumentar el tiempo y la velocidad tiende a ascender la curva.

Figura 12. Efectos principales de los factores de tiempo y velocidad sobre el gramaje del papel kraft.



FUENTE: Elaboración Propia.

Se puede estimar que el factor tiempo y velocidad no presentan diferencia significativa a un nivel de confianza del 0.05 en el gramaje del papel kraft, por lo que se observa, según la tendencia de la curva en la Figura 12., es de suponerse que esta seguirá elevándose en respuesta a mayores rangos de velocidad y tiempo, hasta llegar a un punto máximo; a medida que el factor tiempo y velocidad aumentan, la curva tiende a descender significativamente. Por lo tanto mayores rangos de velocidad, puede no ser benéfico ya que el papel obtenido no tendrá la flexibilidad requerida.

Los efectos cuadráticos indican que, a incrementos progresivos de tiempo y velocidad del rango de niveles considerados, en un primer momento el valor de la variable de respuesta (Gramaje), aumenta de manera significativa hasta llegar a un punto máximo. En un segundo momento, después de un punto máximo, el gramaje disminuye también significativamente.

La interacción de los factores de tiempo y velocidad no existen diferencias significativas, indican que los factores involucrados no influyen de una manera asociada en el gramaje, produciendo efectos muy diferentes de los que podrían lograrse cuando actúan dependientemente.

El modelo matemático para el diseño compuesto central propuesto en escala codificada es la siguiente:

Ecuación 1.

$$\text{GRAMAJE} = -6,5483 + 1,83801 * T + 0,0245016 * V - 0,127421 * T^2 - 0,000176196 * T * V - 0,00000421022 * V^2$$

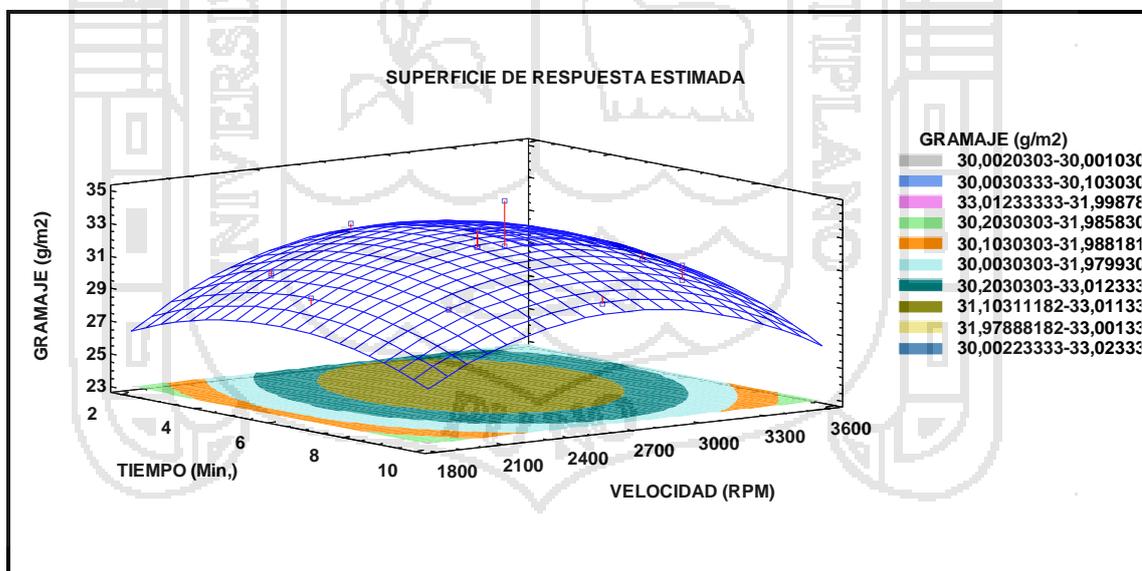
Dónde:

T: Tiempo (segundos)

V: Velocidad (R.P.M.)

Luego de los cálculos respectivos se determinó un gramaje máximo de 33.01 g/m² del papel kraft, a una velocidad de 2700.0 rpm. del molon y un tiempo de 6.0 min. de refinado, comparando con el gramaje obtenido manualmente que es de 21.21 g/m² y teniendo como patrón o testigo 36.36 g/m², el gramaje obtenido se aproxima en 90.78% a la muestra patrón, como se muestra en la superficie de respuesta en la Figura 13.

Figura 13. Superficie de respuesta que traduce el efecto del tiempo y velocidad en el gramaje del papel kraft.



FUENTE: Elaboracion Propia.

4.2 Efecto del tiempo y velocidad del equipo refinador de pasta en la densidad aparente del papel kraft.

El análisis estadístico muestra la incidencia de los factores de tiempo y velocidad en la densidad aparente del papel kraft de análisis cualitativo a un nivel de

confianza del 95%, el análisis de varianza se realizó con dos niveles codificables en el Cuadro 8. se observa el análisis de varianza de la densidad aparente .

Cuadro 8. Analisis de varianza para evaluar el tiempo y velocidad del equipo refinador sobre la densidad aparente del papel kraft

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GI	CUADRADO MEDIO	Fc	Ft
A:TIEMPO	0,000482585	1	0,000482585	2,11	4.60 ns
B:VELOCIDAD	0,0080396	1	0,0080396	35,12	4.60 *
AA	0,000397958	1	0,000397958	1,74	4.60 ns
AB	0,00391638	1	0,00391638	17,11	4.60 *
BB	0,00104657	1	0,00104657	4,57	4.60 ns
Error total	0,00320518	14	0,000228942		
Total (corr.)	0,0169833	19			

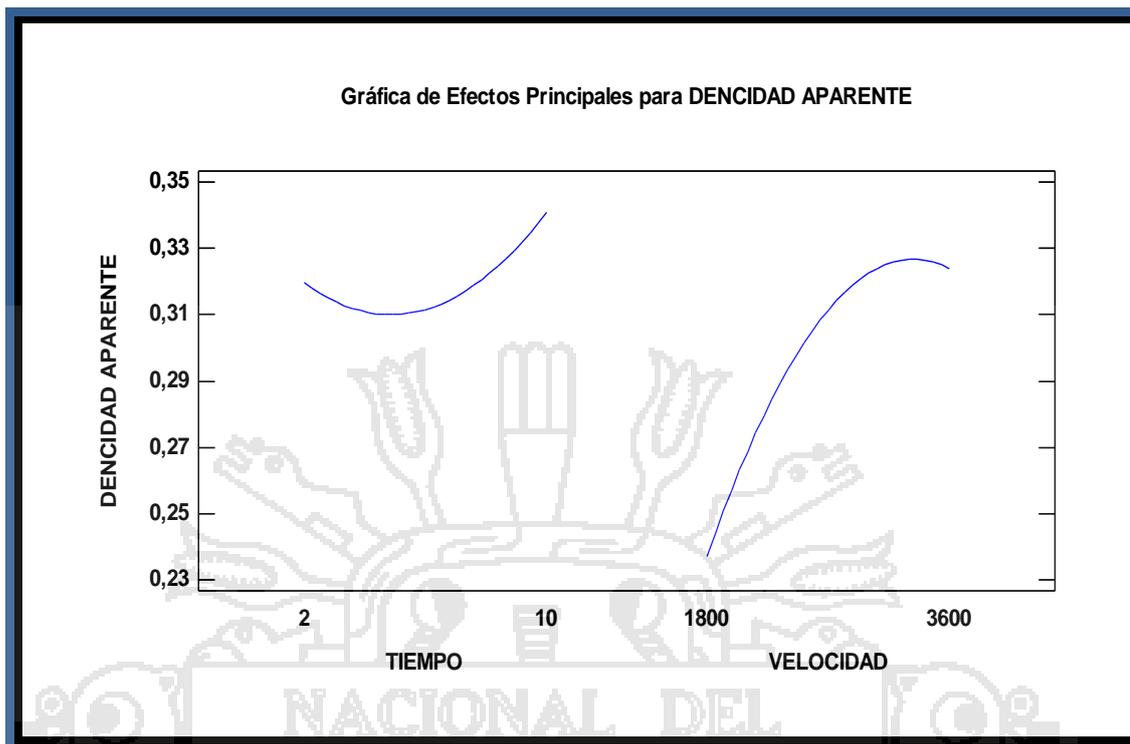
FUENTE: Elaboracion Propia.

$R^2= 81,13\%$ $CV=4\%$

En el Cuadro 8. se observa el análisis de varianza de la densidad aparente del papel kraft de análisis cualitativo; muestra que existe diferencias significativas para la velocidad e interaccion sin embargo no presentan diferencias significativas en efectos cuadráticos (tiempo y velocidad), tambien se puede observar que el coeficiente de determinación explica el 81.13 % del modelo, con lo que su confiabilidad es alta.

De acuerdo a la Figura 14. Muestra que el tiempo si influye parcialmente en la densidad aparente ya que la curva en un primer momento tiende a descender hasta llega a un punto minimo, a medida que aumenta el rango de niveles del factor tiempo, la curva tiende a ascender, a diferencia del efecto de la velocidad, influye considerablemente, ya que a mayores rangos de velocidad, tendra mayor efecto sobre la Densidad Aparente.

Figura 14. Efectos principales de los factores de tiempo y velocidad sobre la densidad Aparente del papel kraft.



FUENTE: Elaboracion Propia.

Se puede estimar que el tiempo no presenta diferencia significativa a un nivel de confianza del 95% en la densidad aparente del papel kraft, sin embargo existe diferencia significativa respecto a la velocidad, por lo que se observa un aumento muy significativo, según la tendencia de la curva de la Figura 14., esta seguirá elevándose en respuesta a mayores rangos de velocidad. Sin embargo mayores rangos de velocidad, puede no ser benéfico ya que el papel obtenido no tendrá la porosidad, rigidez, dureza y resistencia.

Los efectos cuadráticos no presenta diferencia significativa, esto indica que los factores tiempo y velocidad no influyen en el valor de la variable de respuesta (Densidad Aparente).

La interacción de los factores de tiempo y velocidad existe diferencias significativas, sobre la densidad aparente del papel kraft. Esto indica que los factores involucrados influyen de una manera asociada en la Densidad Aparente, produciendo efectos muy diferentes de los que podrían lograrse cuando actúan independientemente.

El modelo matemático para el diseño compuesto central propuesto en escala codificada es la siguiente:

Ecuación 2.

$$\text{DENSIDAD APARENTE} = 0,207564 - 0,0579122 * T + 0,000151481 * V + 0,0011696 * T^2 + 0,0000172287 * TV - 3,82374 * V^2$$

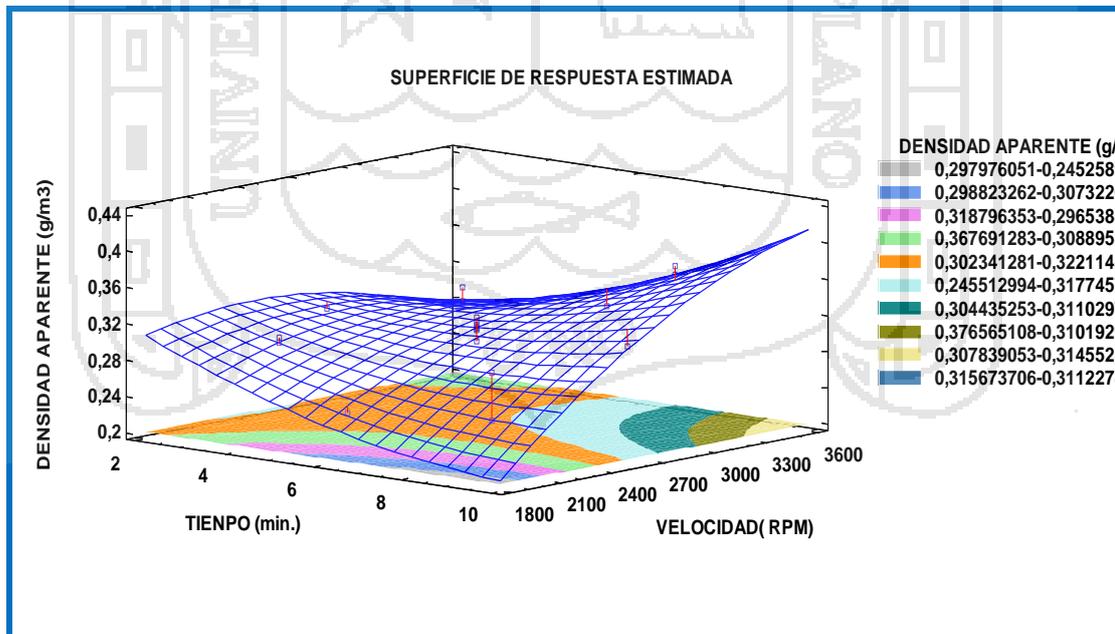
Dónde:

T: Tiempo (segundos)

V: Velocidad(R.P.M.)

Luego de los cálculos respectivos se determinó una densidad aparente máximo de $0,31 \text{ g/m}^3$ del papel kraft, a una velocidad de $3456,8 \text{ rpm}$. del molón y un tiempo de $6,0 \text{ min}$. de refinado, comparando con la densidad aparente obtenido manualmente que es de $0,21 \text{ g/m}^3$ y teniendo como patrón o testigo $0,35 \text{ g/m}^3$, la densidad aparente obtenido se aproxima en $88,73\%$ a la muestra patron, como se muestra en la superficie de respuesta en la Figura 15.

Figura 15. Superficie de respuesta que traduce el efecto del tiempo y velocidad en la densidad del papel kraft.



FUENTE: Elaboracion Propia.

4.3 Efecto del tiempo y velocidad del equipo refinador de pasta en el índice de rotura del papel kraft.

El análisis estadístico muestra la incidencia de los factores de tiempo y velocidad en el índice de rotura del papel kraft de análisis cualitativo a un nivel de confianza del 95%, el análisis de varianza del índice de rotura se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Analisis de varianza para evaluar el tiempo y velocidad del equipo refinador sobre el indice de rotura del papel kraft

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	Fc	Ft
A:TIEMPO	1,89055E-7	1	1,89055E-7	0,003	4.60 ns
B:VELOCIDAD	0,0238027	1	0,0238027	33,67	4.60 *
AA	0,0000277409	1	0,0000277409	0,04	4.60 ns
AB	0,00448569	1	0,00448569	6,35	4.60 *
BB	0,000832502	1	0,000832502	1,18	4.60 ns
Error total	0,00989597	14	0,000706855		
Total (corr.)	0,0390793	19			

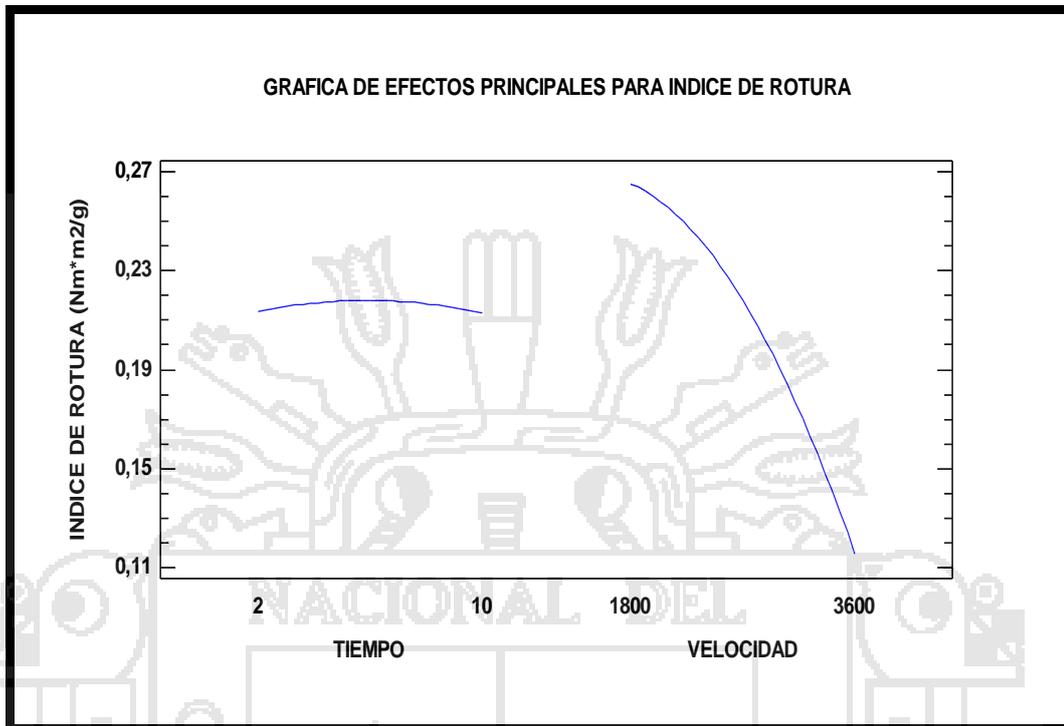
FUENTE: Elaboracion Propia.

$$R^2 = 74,68\% \quad CV = 10\%$$

En el Cuadro 9. se observa el análisis de varianza del índice de rotura del papel kraft de análisis cualitativo; muestra que existe diferencias significativas para la velocidad e interaccion sin embargo no presentan diferencias significativas en el tiempo ni en efectos cuadráticos (tiempo y velocidad), tambien se puede observar que el coeficiente de determinación explica el 74.68 % del modelo, con lo que su confiabilidad es alta.

De acuerdo a la Figura 16. Muestra que el tiempo no influye en el índice de rotura ya que la curva se mantiene constante en los diferentes niveles de tiempo, a diferencia del efecto de la velocidad, que influye considerablemente, ya que a velocidades mayores a 1800 R.P.M el Indice de rotura disminuye drásticamente.

Figura 16. Efectos principales de los factores de tiempo y velocidad sobre el Índice de Rotura del papel kraft.



FUENTE: Elaboración Propia.

Con relación a los efectos cuadráticos del factor tiempo y velocidad, estos no son significativos para la propiedad del índice de rotura del papel kraft.

En la interacción de los factores de tiempo y velocidad, existen diferencias significativas, sobre el índice de rotura del papel kraft. Esto indica que los factores involucrados influyen de una manera asociada en el índice de rotura, produciendo efectos muy diferentes de los que podrían lograrse cuando actúan independientemente.

El modelo matemático para el diseño compuesto central propuesto en escala codificada es la siguiente:

Ecuación 3.

$$\text{INDICE DE ROTURA} = -0,115254 + 0,0534371 * T + 0,000211559 * V - 0,00030881 * T^2 - 0,000018438 * TV - 3,41033E-8 * V^2$$

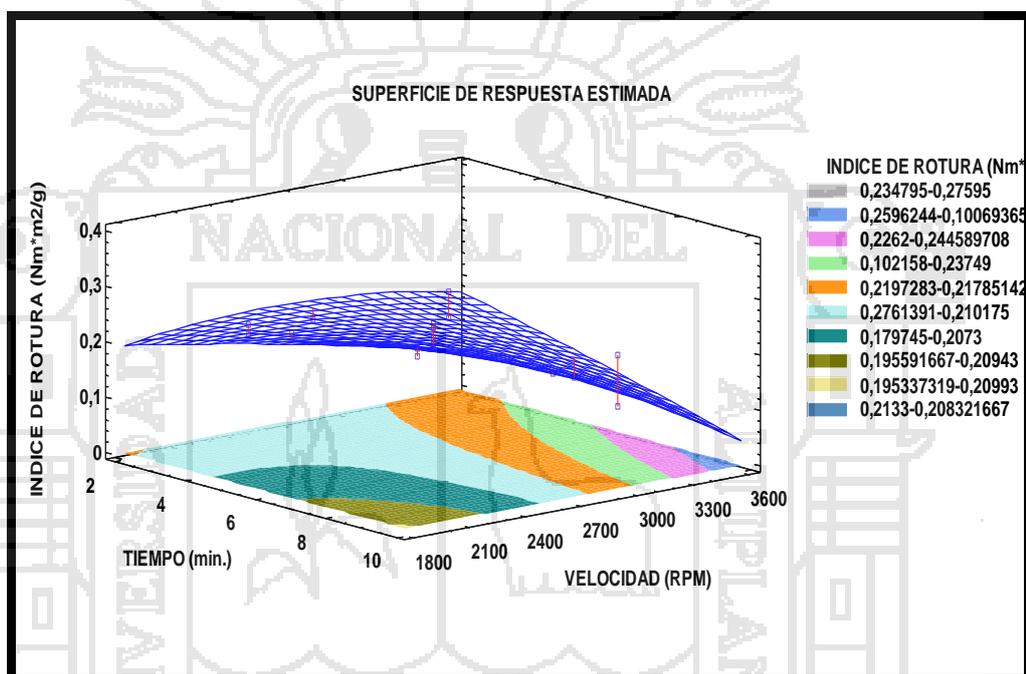
Dónde:

T: Tiempo (segundos)

V: Velocidad(R.P.M.)

Luego de los cálculos respectivos se determinó el índice de rotura máximo de 0.26 Nm^2/g del papel kraft, a una velocidad de 1943.2 rpm. del molón y un tiempo de 6,0 min. de refinado, comparando con el índice de rotura obtenido manualmente que es de 0.18 Nm^2/g y teniendo como patrón o testigo 0.27 Nm^2/g ., el Índice de rotura se aproxima en 95.36% a la muestra patron, como se muestra en la superficie de respuesta en la Figura 17.

Figura 17. Superficie de respuesta que traduce el efecto del tiempo y velocidad en el índice de rotura del papel kraft.



FUENTE: Elaboracion Propia.

Con respecto a la disminución del gramaje de los papeles (Colom y Torres,1994), nos expone que las mejoras introducidas en la resistencia de la pasta han permitido la producción de papeles de menor gramaje que cubren las mismas necesidades. Ello ha permitido en definitiva un ahorro de fibras que se traduce en menores necesidades de madera y que contribuye a la mejora de la calidad del papel final.

Según Rodríguez y Lorient, (2008), investigaron la influencia de las variables de tiempo y la velocidad en el equipo Refinador durante un proceso de refinado, al analizar se encontró que a 7 minutos y 2400 rpm. en el equipo refinador son mejores los resultados en cuanto a las propiedades físicas de las hojas de papel. Es

decir, un incremento de la velocidad produce un efecto mayor sobre el gramaje en presencia de menor tiempo, demostrándose con esto que ambos factores actúan independientemente uno del otro.

Bublitz, (1990) indica que la densidad es la propiedad más importante del papel, ya que tiene relación con la porosidad, rigidez, dureza, y la resistencia del papel; además influye en todas las propiedades ópticas y físicas.

Casey, (1991) indica que la densidad de la hoja final le afecta muchos factores como: la cantidad de unión de fibras, la presencia de materiales que llenan los huecos de la hoja y el calandrado. El efecto de las diferentes pulpas en la densidad de la hoja tiene relación con la finura y la flexibilidad de la fibra.

según Kerekes, (2005) el principal objetivo de refinación es preparar las fibras para alcanzar las propiedades de resistencia deseables en el producto final. Los diversos estudios experimentales realizados en esta operación establecen que el refinado confiere cambios importantes en la estructura física de las fibras, modificándose la morfología de las mismas por la acción de un trabajo mecánico en un medio acuoso.

4.4 Determinación de principales características del papel kraft obtenido a partir de tallos de quinua.

En el Cuadro 10. Se reportan los resultados evaluados acerca de las principales características del papel kraft obtenido a partir de los tallos de quinua utilizando la metodología manual y con el equipo refinador de pasta.

Cuadro 10. Resultados de la prueba física del papel kraft

PRINCIPALES CARACTERISTICAS	PAPEL KRAFT PATRON (PLIEGO DE PAPEL KRAFT)	PAPEL KRAFT OBTENIDO CON TALLOS DE QUINUA (UTILIZANDO LA METODOLOGIA MANUAL)	PAPEL KRAFT OBTENIDO CON TALLOS DE QUINUA (UTILIZANDO EL EQUIPO REFINADOR)
GRAMAJE (g/m ²)	36.36	21.21	33.01
DENSIDAD (g/m ³)	0.35	0.21	0.314
INDICE DE ROTURA (Nm*m ² /g)	0.27	0.18	0.26
COLOR	10YR 7/2	10YR 8/3	10YR 7/2
LISURA	B	C	A

FUENTE: Elaboracion Propia.

Donde:

A: Medio liso

B: Liso

C: Poroso

10YR 7/2: Light Gray

10YR 8/3: Very pale Brown

4.4.1 GRAMAJE (g/m²)

En el Cuadro 10 se observa que el gramaje del papel Kraft de la prueba física a partir de tallos de quinua utilizando la metodología manual fue de 21.21 g/m², utilizando el equipo refinador fue 33.01 g/m² y el gramaje de la muestra testigo es de 36.36 g/m² la diferencia es mínima utilizando el equipo refinador.

Según Casey, (1991), el contenido de humedad afecta al peso base del papel, depende de la humedad relativa del aire con el que está en contacto. Debido a que el gramaje o el peso base se expresa siempre como el peso total del papel incluyendo la humedad, debe determinarse el peso en condiciones estándar si se requiere que sea reproducible, la práctica comercial permite una variación del ± 5 por ciento del peso especificado. Según algunos estudios realizados la condición estándar utilizada en Estados Unidos es de una humedad relativa del 50 %, con temperatura de 23 °C. En este trabajo de investigación no se

controló estos parámetros, sin embargo, la humedad relativa es de aproximadamente 50 % en el lugar que se experimentó (Puno-Perú) y a una temperatura de 15 a 20 °C.

Para hallar este parámetro se utilizó una balanza analítica de tres dígitos con un margen de error de 0.001 %, el procedimiento para la medición del gramaje se describe en la norma aplicada: UNE-EN-ISO536:1995.

4.4.2 DENSIDAD APARENTE (g/cm³)

En el Cuadro 10, la densidad aparente del papel kraft de la prueba física a partir de tallos de quinua utilizando la metodología manual fue de 0.21g/m³, utilizando el equipo refinador fue de 0.31 g/m³ y del papel kraft testigo es 0.35 g/m³, la diferencia es mínima.

Según Casey (1991), a la densidad de la hoja final le afectan muchos factores como: la cantidad de unión de fibras, la presencia de materiales que llenan los huecos de la hoja y el calandrado. El efecto de las diferentes pulpas en la densidad de la hoja tiene relación con la finura y la flexibilidad de la fibra. La densidad del papel es su propiedad fundamental mas importante. La densidad tiene relación con el índice de rotura del papel, de hecho, la densidad influye en todas las propiedades ópticas y físicas excepto el peso de la hoja.

El procedimiento para la obtención de densidad aparente describe en la norma aplicada: UNE-EN-20534:1993 ISO 534:1988.

4.4.3 INDICE DE ROTURA.

En el Cuadro 10 se observa que el índice de rotura del papel kraft a partir de tallos de quinua utilizando la metodología manual fue de 0.18Nm*m²/g, el índice de rotura utilizando el equipo refinador fue de 0.26 Nm*m²/g y el índice de rotura del papel kraft testigo es de 0.27 Nm*m²/g, la resistencia del papel kraft de la prueba física elaborado con tallo de quinua fue menor a la resistencia del papel testigo, esto se debe a la fuerza de cohesión de las fibras en el momento de prensado.

4.4.4 COLOR.

En el Cuadro 10 se observa que el color del papel kraft a partir de tallos de quinua utilizando la metodología manual fue de color 10YR 8/3 (Very Pale Brown), utilizando el equipo refinador fue de 10YR 7/2 (Light Gray) y el color del papel kraft testigo es de 10YR 7/2 (Light Gray).

Para medir el color del papel, puede realizarse por métodos psicológicos, físicos o psicofísicos. Las propiedades psicológicas se refieren a la impresión visual del observador que puede distinguir variaciones reducidas en tono, difíciles de medir con instrumentos ópticos, por ejemplo, el espectrofotometro registrador. Las propiedades psicofísicas se miden físicamente, pero se interpreta psicológicamente usando valores. En el sistema Munsell, el color es tridimensional, utiliza esta circunstancia para expresar el color en función de sus propiedades: valor o claridad, croma o saturación y matiz.

4.4.5 LISURA.

En el Cuadro 10 se observa que la lisura del papel kraft que se obtuvo a partir de tallos de quinua utilizando la metodología manual fue A (Medio liso), utilizando el equipo refinador fue de B (Liso) y la lisura del papel kraft testigo es de B (Liso).

Con respecto a las propiedades ópticas (Lisura y color) del papel kraft, Según Casey, (1991) la lisura es una propiedad que influye tanto en la apariencia como en la funcionalidad del papel. Desde el punto de vista de la impresión del papel, se refiere a la perfección de la superficie y al grado en su uniformidad se asemeja a la superficie de un vidrio plano. En la industria del papel con frecuencia se denomina acabado o satinado a la calidad de la superficie o lisura.

4.5 Determinación del rendimiento del equipo refinador de pasta.

En el Cuadro N° 11, se muestra el rendimiento del equipo refinador, que se determinó mediante el balance de materia para cada tratamiento con su respectivo tiempo y velocidad mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{M_{\text{final}}}{M_{\text{inicial}}} * 100\%$$

Donde:

M_{inicial} : Masa inicial de la pasta a refinarse

M_{final} : Masa final de la pasta que se obtuvo

Utilizando la fórmula se reemplazó los valores obtenidos en cada tratamiento y se determinó el promedio el cual fue de 79.16% de rendimiento.

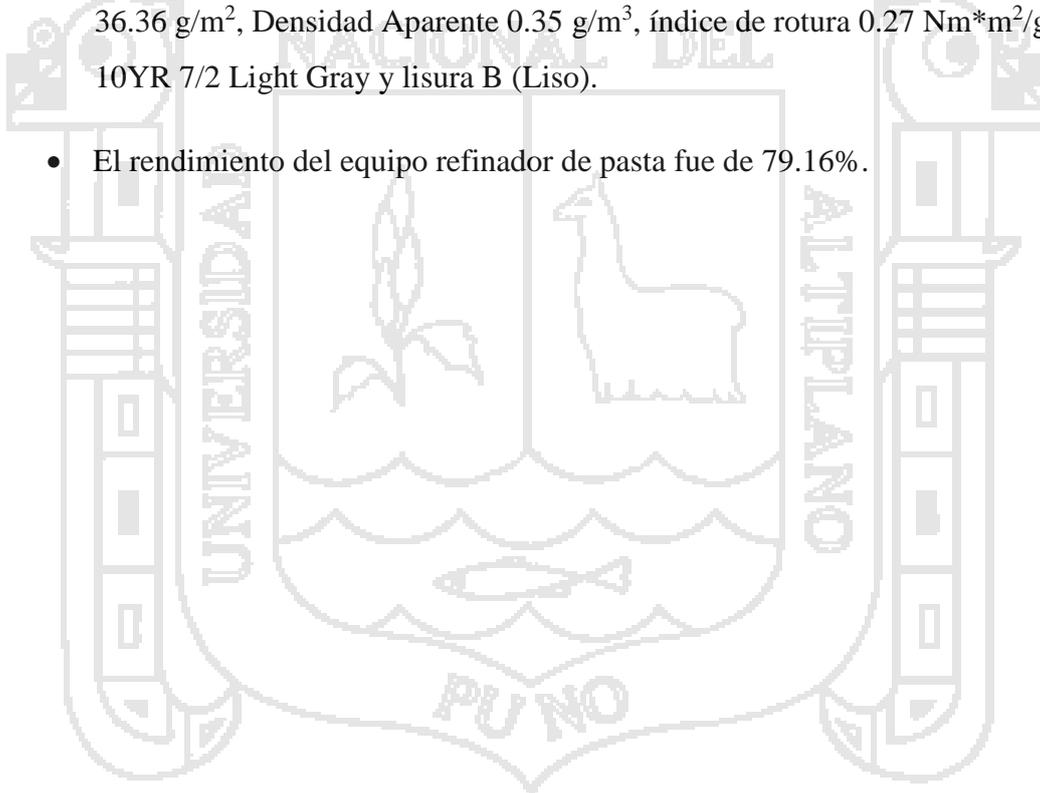
Cuadro 11. Resultados del rendimiento del equipo refinador.

TIEMPO (Z1)	VELOCIDAD (Z2)	PESO INICIAL DE PASTA (g)	PESO DEL ENVASE (g)	PESO FINAL (g)	PESO FINAL DE PASTA (g)	RENDIMIENTO %
3.6	2164.9	85	19.37	84.83	65.46	77.01
8.4	2164.9	85	18.03	100.26	82.23	96.74
3.6	3235.1	85	17.6	94.46	76.86	90.42
8.4	3235.1	85	17.94	69.9	51.96	61.13
3.6	2164.9	85	18.16	67.92	49.76	58.54
8.4	2164.9	85	17.94	81.88	63.94	75.22
3.6	3235.1	85	17.45	72.44	54.99	64.69
8.4	3235.1	85	17.74	83.72	65.98	77.62
2.6	2700.0	85	18.07	72.18	54.11	63.66
9.4	2700.0	85	119.2	184.16	64.96	76.42
6.0	1943.2	85	118.55	181.55	63	74.12
6.0	3456.8	85	110.14	186.73	76.59	90.11
6.0	2700.0	85	110.14	175.18	65.04	76.52
6.0	2700.0	85	10.17	81.92	71.75	84.41
6.0	2700.0	85	9.81	89.69	79.88	93.98
6.0	2700.0	85	10.29	90.99	80.7	94.94
6.0	2700.0	85	10.16	77.54	67.38	79.27
6.0	2700.0	85	9.87	80.55	70.68	83.15
6.0	2700.0	85	9.99	83.89	73.9	86.94
6.0	2700.0	85	10.33	76.83	66.5	78.24
PROMEDIO						79.16

FUENTE: Elaboración Propia.

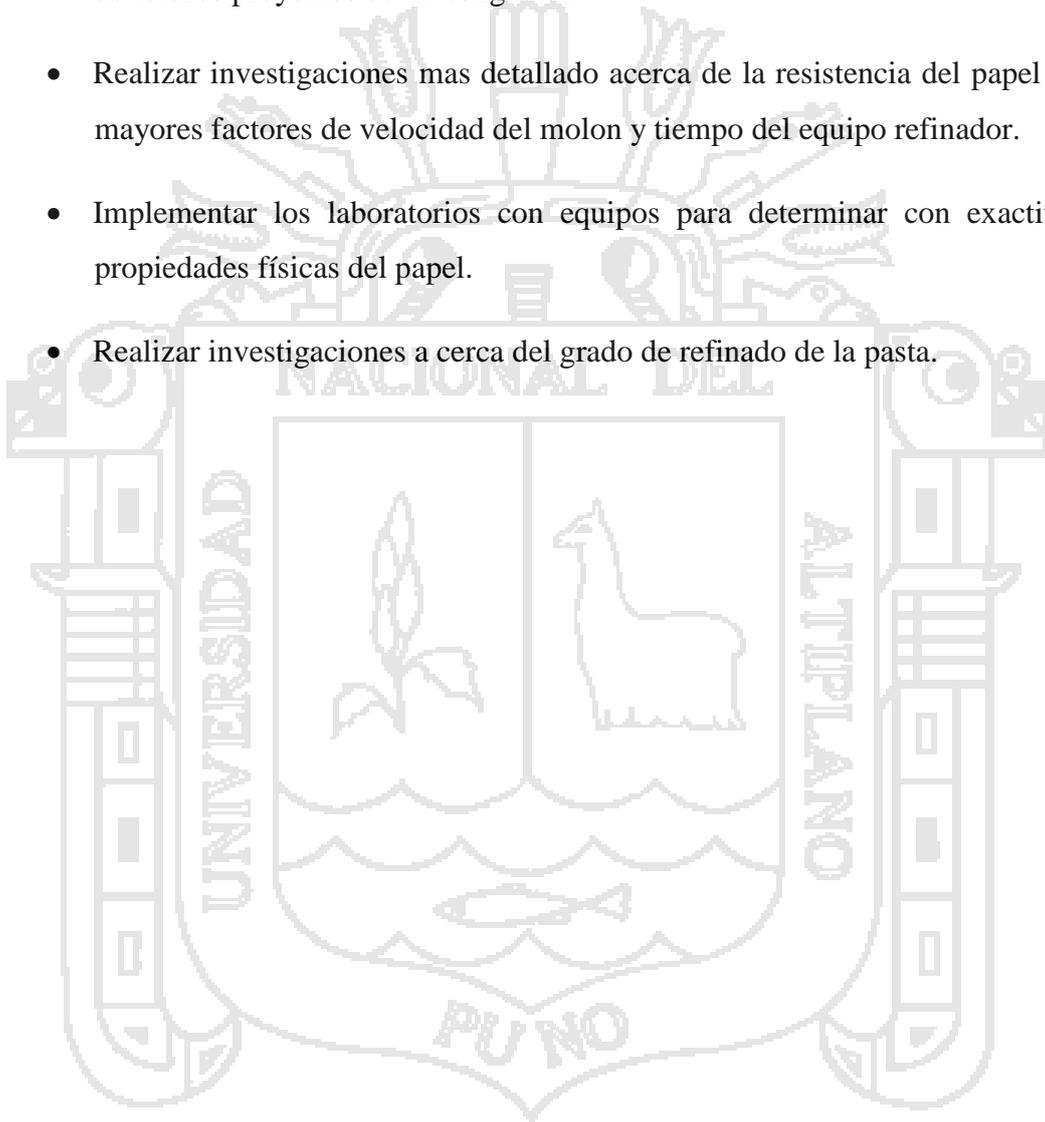
V. CONCLUSIONES

- El parámetro óptimo de control de tiempo del equipo refinador de pasta para el gramaje, densidad aparente e índice de rotura fueron de 6 minutos y la velocidad óptima fue de 2700.0 rpm, 3456.8 rpm, 1943.2 rpm respectivamente.
- Las propiedades físicas y ópticas del papel kraft obtenido a partir de tallos de quinua utilizando el equipo refinador fueron: Gramaje 33.01 g/m², Densidad Aparente 0.31 g/m³, índice de rotura 0.26 Nm*m²/g, Color 10YR 7/2 Light Gray y Lisura A (Medio Liso), utilizando la metodología manual fueron: Gramaje 21.21 g/m², Densidad Aparente 0.21 g/m³ y el índice de rotura 0.18 Nm*m²/g, Color 10YR 8/3 very Pale Brown y Lisura C (Poroso) y las propiedades físicas y ópticas de papel kraft testigo y/o patrón (Pliego de papel) fueron: Gramaje 36.36 g/m², Densidad Aparente 0.35 g/m³, índice de rotura 0.27 Nm*m²/g, Color 10YR 7/2 Light Gray y lisura B (Liso).
- El rendimiento del equipo refinador de pasta fue de 79.16%.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones con respecto a los factores de tiempo y velocidad del molón del equipo refinador de pasta, ya que involucra un estudio mas detallado en cada propiedad y a la vez en diferentes tipos de materia prima. Por consiguiente, el presente trabajo deja abierto algunos temas para la realización de futuros proyectos de investigación.
- Realizar investigaciones mas detallado acerca de la resistencia del papel kraft a mayores factores de velocidad del molon y tiempo del equipo refinador.
- Implementar los laboratorios con equipos para determinar con exactitud las propiedades físicas del papel.
- Realizar investigaciones a cerca del grado de refinado de la pasta.



BIBLIOGRAFIA

- ANED-FAUTAPO, 2011. “Bioindicadores para la predicción climática en la zona de producción de quinua real”. Revista. Pg. 8-9.
- AYALA, J. Y PARDO, R. 1995. Optimizacion por Diseños experimentales: con aplicaciones en Ingenieria. Primera adicional. Ed. A&B S.A. CONCYTEC. Lima - Perú. Pg. 311-320.
- BUBLITZ, W., 1991. Artículo de Pulpa de madera. Compilado por Casey, J., Volumen I Tercera Edición. Editorial John Wiley. México. pp: 187-190.
- CAPONETTO R., CUERVO M. Y MANZANARES M. 2006. “Industria de la celulosa”. UNC. Facultad de ingeniería industrial y servicios.
- CARL DAHL. 1884. Proceso de obtención de papel kraft. Alemania.
- CASEY, J. P. 1990 “Pulpa Y Papel, Química y Tecnología Química”. Volumen 1 Ed. Limusa – México. Pg. 50 – 68.
- CASEY, J. P. 1991 “Pulpa Y Papel, Química y Tecnología Química”. 3ra Ed. Limusa – México. Pg. 15 – 68.
- CAMERO, S. 1992. Guía de laboratorio en Química de Maderas, Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida-Venezuela.
- CAÑAS, R. 1998. Alimentacion y Nutrición Animal. Colección en Agricultura. Facultad de agronomía Pontificia Universidad Catolica de Chile. Pg. 18 – 30.
- COLOM ,J.,Y TORRES,A., 1994. Articulo de Fibras primarias y secundarias en la fabricación de papel. Revista de Ingeniería Química. Universidad Politecnica de Cataluña. España. pp.62.
- COLVIN, S. 2000. “Desafío de la Industria de la celulosa en Chile”, Celulosa y papel.

Pg. 25 – 36.

- CONDORI, D. 2010. Evaluación de las propiedades físicas químicas y ópticas del papel tipo Glassine obtenido de fibras de totora (*Schoenoplectus tatora*). Tesis presentada para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial. Pg. 2 – 5, 30 - 31.
- CHUAI C., ALMDA K., POULSEN L. Y PLACKETT D. (2001). La Celulosa y Sus Aplicaciones Industriales. Concepción – Argentina.
- EATON, R.; M. HALE. 1993. Wood: decay, pests and protection. Chapman & Hall.
- ELDRED, N. 2000. “Chemistry of paper”, en *Chemistry for the Graphics arts*, Graphic Arts Technical Foundation, cap. 7, pp. 199-224.
- ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL. 2004. “Estudio y optimización de nuevos procesos de refinado y blanqueo de pastas aplicando métodos biotecnológicos”. Barcelona.
- ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA INDUSTRIAL. Aplicación de la celulosa en refinado de pasta de eucalipto. Barcelona
- FERNÁNDEZ, L. 2005. Determinación de parámetros óptimos para elaborar cartón a partir de tallos de quinua y cebada. Tesis de maestría. Puno, . Perú. Pg 15 – 30.
- GANDARILLAS, H. 1968. Ministerio de Agricultura. Unidad Operativa de Proyectos Especiales Puno – Perú. Pg. 10-13.
- GLASER, W. 1991. Lignina en: Pulpa y Papel, Química y Tecnología, Volumen I, 3ra Ed. Editorial Jhon Wiley. México. pp: 71 – 496.
- GALLARDO M., GONZALES A Y PONEZA G. 1997. Morfología del fruto y semilla de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Saya, Sociedad de Ingenieros Agrónomos de Bolivia. Bolivia, pp: 41. Pg 15 – 28.
- GRANT, J. 2000. Manual Sobre la Fabricación de Pulpa y Papel. Compañía Editorial Continental S.A. Bogotá. 1ra Ed. Pg. 6 – 12.
- HELLER, J. 2001. “About paper” en *Paper Making*, Watson-Guptill Publication, New York, Cap. 12, pag. 184-199.

- HOLLEN, N., SADDLER, J., Y LANGFORD, A. 1987. Introducción a los Textiles. 1era Edición. Editorial Limusa. S.A de C.V. México. pp: 46.
- IBAÑEZ, V. 2009. Analisis y Diseño de Experimentos. Primera Edición Editorial Universitaria. Puno – Perú. Pg. 311-320.
- INDECOPI. 2000. Norma Técnica Peruana. Itintec 271.002. Papeles y Cartones.
- INDECOPI. 2003. Norma Técnica Peruana. Itintec 271.002 Papeles y Cartones. Método de Muestreo.
- JIMÉNEZ, L., LÓPEZ, F., Y ALEAJOS, J. 2006. Materias primas alternativas para pastas de papel. Tipos, características, procesos y situación mundial. Ingeniería Química. México. Pag. 76 – 90. }
- KEREKES, J. 2005. Control óptimo de una unidad industrial de refinado. Matech europe. Pg. 4 – 8.
- LÓPEZ, F. Y EUGENIO, M. 2004. Utilización de materias primas no madereras para la obtención de pasta celulósica. Universidad de Guadalajara. Mexico. Pag. 400 – 410, 513.
- LOSSADA A. 1991. “Pulpado de Ultra Alto Rendimiento”. Parte II: “Aspectos básicos específicos”. Seminario dictado para la “Especialización en Celulosa y Papel”. Universidad Nacional de Misiones.
- MAY, A. 2009. Aplicaciones Usos y Manejo del Cloro. Ed. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas. Orizabal Veracruz. Pg. 17.
- MAYER, L. 1997. “Industria Química Orgánica”. Parte 2da Ed. Roberte S.A. Mexico. Pg. 16 – 35.
- MEJIA, E. 2000. Producción de pulpa y Papel artesanal de totora. Investigador Asociado al Centro Nacional de Fibras Naturales PUCE-I. Ecuador.
- MELTZER, F. 1996. Reducing specific energy in refining with a new key figure and innovative filling materials. UCLV Dresden. pp. 187 – 194.
- MIGNONI, G. 1992. Plantas per carta proposta per una iniciativa nel nostro celuloza.

- Brasil. Pg. 19 – 30.
- MORALES, A. 1969. Ministerio de Agricultura. Unidad Operativa de Proyectos Especiales. Puno – Perú. Pg. 18 – 25.
- MUJICA A., IZQUIERDO J.Y MARATHEE J.2004.Origen y descripción de la quinua. En: Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Cultivo Ancestral Alimento del Presente y el Futuro. FAO, UNA-PUNO Y CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP). Puno, Perú. pag:9-10.
- MUNSELL, 1954. Determination of Soil Color Charts. Ed. Baltimore 18, Maryland. U.S.A.
- NIETO, C. 1992.La Quinua cosecha y poscosecha.INIAP. La estación experimental Santa Catalina. Quito – Ecuador. Pag. 20 – 24.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. 2003. Manual sobre los cultivos andinos sub explotados en la alimentación. Santiago-Chile.
- OTERO, M. 1988. Composicao Química dos Materiais Lignocelulósicos. En celulose e Papel. Vol. I: Tecnologia de Fabricacao da Pasta celulósica: 45 – 106 Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo S.A.
- QUISPE, G. 2005. “Evaluación de las Propiedades del Papel Kraft obtenido a partir del tallo de quinua (*chenopodium Quinoa Willd*)”. Tesis F.C.A. Ingeniería Agroindustrial UNA-PUNO. Pg. 2 – 9, 30 – 32.
- REPO- CARRASCO,R. 1998.Introducción a la Ciencia y Tecnología de Cereales y Granos andinos, Lima, Perú.pp:26-28.
- RODRÍGUEZ A. Y LORIENT D. 2008. “Obtención de Papel de Residuos de la Industria del Aceite de Palma, Refinado de Pasta a la Sosa”. Córdoba – España
- SCOUT, F. 1989. Industria del Papel. Ed. Limusa Carvallis Oregon. España. Pg. 15 –

35.

SORAIDE, D. 2011. La Quinoa Real en el Altiplano Sur de Bolivia. Primera Edición.

Bolivia. Pg. 19-20.

TAPIA, M., ALANDIA, S., CARDOSO, A. GANDARILLAS, H. 1976. Quinoa y Cañihua, Cultivos andinos, Instituto Interamericano de Ciencias agrícolas IICA y El Centro internacional de Investigaciones para el desarrollo CIID. Cochabamba-Bolivia. Pg. 19 – 20.

TAPPIA, M. Y CASTRO. 1968. “Selección de Variedades de Quinoa” Chapingo – Mexico. Tesis presentado por Mujica, A. Pg. 18 – 30.

TECHLAB SYSTEMS. 2009.”Equipos de Laboratorio para Pasta y Papel”.

TORRES, L. 2005.”Últimos avances en la tecnología del refinado. Introducción al refinado: Aspectos generales. Cátedra de Tecnología Papelera E.T.S.E.I.T”.

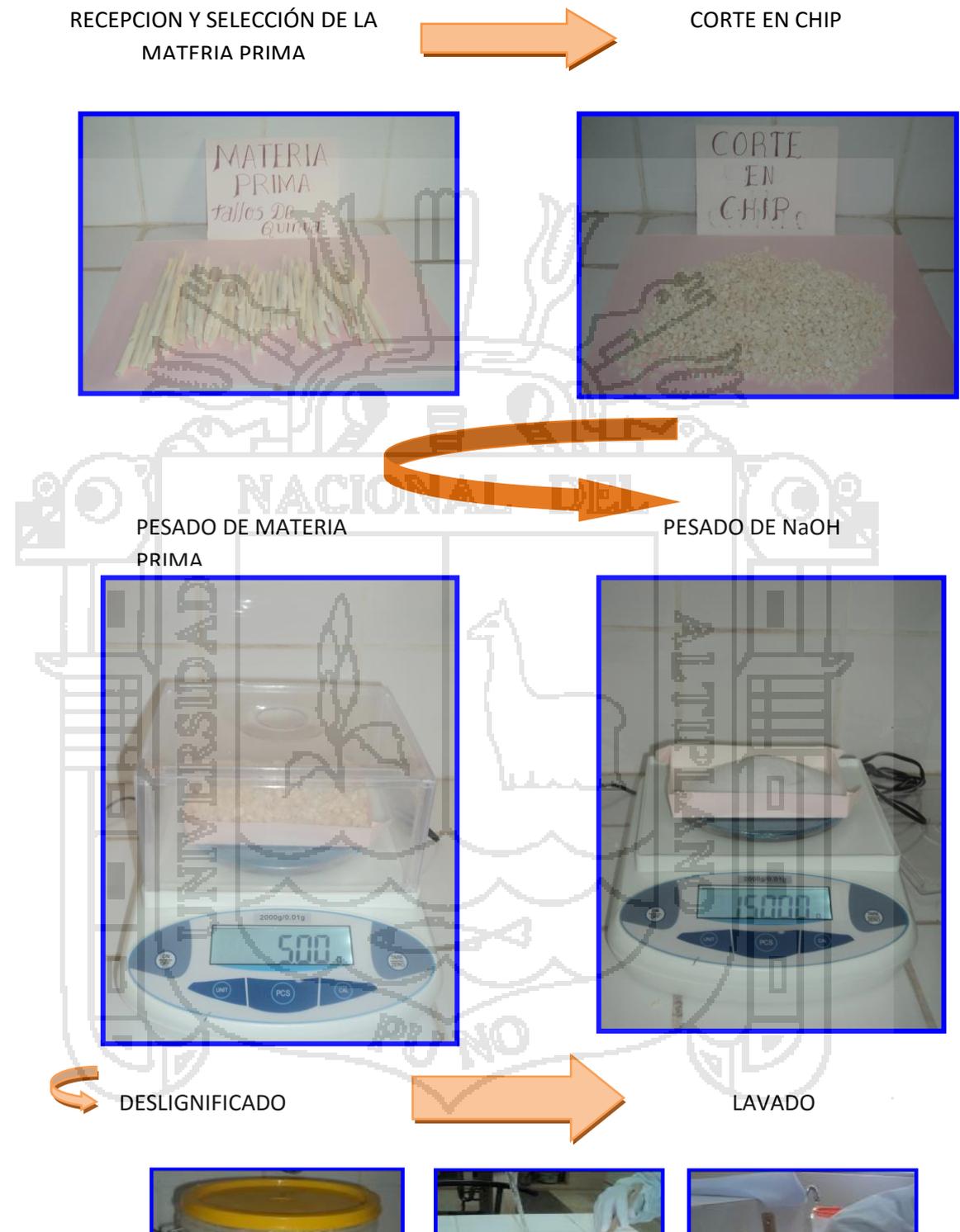
VELASQUEZ A. 2007.”Proceso industrial de papel”. Managua – Nicaragua.

WALKER, L. y WILSON, D. 1991. “Enzymatic Hydrolysis of Cellulose. An Overview, Bioresource Technology”, Pág. 36, 3-14.

ZANUTTINI M. 2006.”Principios Generales de Pulpado” ITC – FIQ. Pag. 4 – 18.

ANEXOS.

ANEXO 1. FOTOGRAFIAS DEL PROCESO DE OBTENCION DE PAPEL KRAFT A PARTIR DE TALLOS DE QUINUA





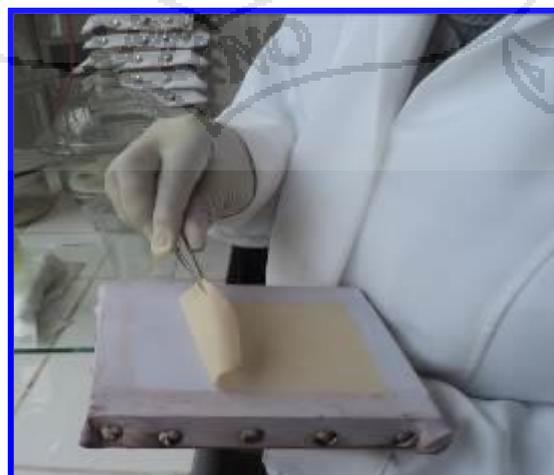
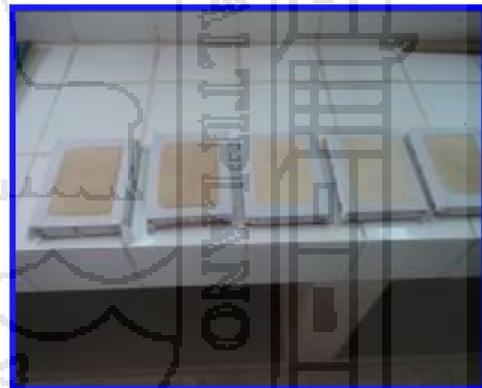
REFINADO



MOLDEADO



SECADO

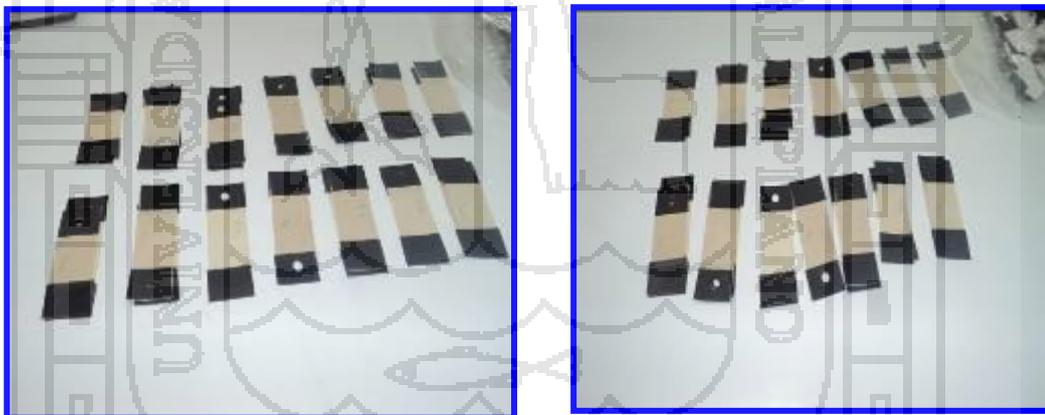


ANEXO 2. FOTOGRAFIA DEL EQUIPO REFINADOR DE LABORATORIO.



ANEXO 3. FOTOGRAFIAS DE LA MEDIDA DE FUERZA DE LAS MUESTRAS DE PAPEL KRAFT OBTENIDO A PARTIR DE TALLOS DE QUINUA

MUESTRAS

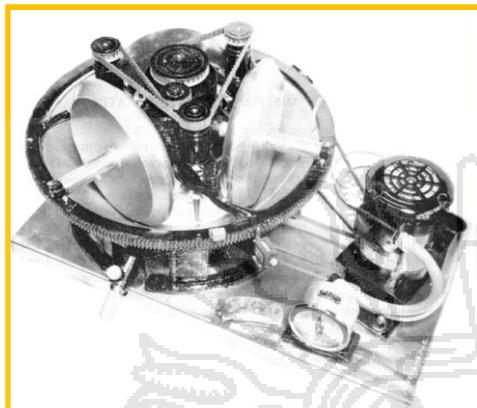


SENSOR DE FUERZA



ANEXO 5. FOTOGRAFIAS DE TIPOS DE REFINADORES

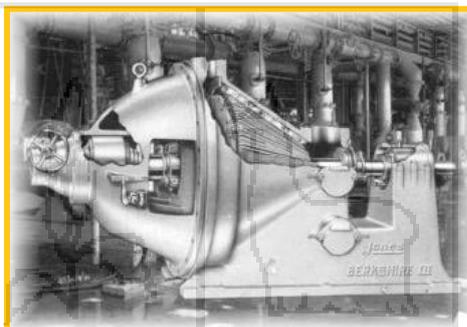
MOLINO



MOLINO PILA HOLANDESA



REFINADOR CONICO



DISEÑO DE DISCOS REFINADORES

BOLTON-EMERSON	FAJESI	BELOIT-JONES	SPROUT-WALDRON
 4532N 4532	 33331 3333 4033 4333	 70715 7071 7073	 D6A023-030 D6A023-030 D6A023-030 D6A023-030
 6935 6935	 35425	 75009 7500 7501 7502	 D7A023-030 D7A023-030 D7A023-030 D7A023-030
 5836R	 36314 4034 4534 5034	 337313	 D8A023-030 D8A023-030 D8A023-030 D8A023-030
	 36504 3650 3651 3652	 337143 3371 3372	 D14A023 D14A023 D14A023 D14A023

Tabla 3. RESULTADOS DE LOS 20 TRATAMIENTOS DEL BLOQUE A.

TRATAMIENTOS	PESO (g)	AREA	ESPESOR (mm)				FUERZA (Nm*m2)
1	0,1	0,0033	0,11	0,1	0,11	0,11	7,4
2	0,11	0,0033	0,1	0,11	0,09	0,12	7,14
3	0,11	0,0033	0,11	0,1	0,1	0,1	7,26
4	0,09	0,0033	0,09	0,1	0,09	0,09	7,06
5	0,11	0,0033	0,1	0,1	0,1	0,1	6,34
6	0,09	0,0033	0,1	0,09	0,09	0,09	6,99
7	0,1	0,0033	0,1	0,1	0,09	0,1	7,44
8	0,12	0,0033	0,11	0,1	0,11	0,1	6,91
9	0,1	0,0033	0,11	0,1	0,1	0,11	6,55
10	0,1	0,0033	0,1	0,1	0,11	0,1	6,88
11	0,1	0,0033	0,12	0,09	0,11	0,1	7,09
12	0,09	0,0033	0,1	0,09	0,11	0,09	6,61
13	0,1	0,0033	0,09	0,09	0,1	0,11	7,34
14	0,11	0,0033	0,1	0,11	0,09	0,1	7,3
15	0,1	0,0033	0,09	0,1	0,11	0,09	7,08
16	0,1	0,0033	0,1	0,1	0,09	0,1	6,96
17	0,11	0,0033	0,1	0,09	0,11	0,11	6,9
18	0,12	0,0033	0,11	0,11	0,1	0,11	6,9
19	0,1	0,0033	0,1	0,09	0,11	0,1	6,98
20	0,12	0,0033	0,11	0,1	0,11	0,11	6,91

Tabla 4. RESULTADOS DE LOS 20 TRATAMIENTOS DEL BLOQUE B.

TRATAMIENTOS	PESO (g)	AREA	ESPESOR (mm)				FUERZA (Nm*m2)
1	0,1	0,0033	0,09	0,09	0,1	0,11	6,71
2	0,09	0,0033	0,11	0,1	0,09	0,09	7,76
3	0,11	0,0033	0,09	0,1	0,11	0,12	7,86
4	0,11	0,0033	0,09	0,11	0,11	0,1	7,48
5	0,09	0,0033	0,1	0,09	0,1	0,1	6,63
6	0,11	0,0033	0,1	0,11	0,1	0,09	6,79
7	0,1	0,0033	0,1	0,11	0,1	0,1	7,24
8	0,09	0,0033	0,1	0,1	0,11	0,1	6,92
9	0,11	0,0033	0,1	0,11	0,1	0,1	6,91
10	0,1	0,0033	0,1	0,12	0,1	0,11	7,45
11	0,1	0,0033	0,11	0,1	0,1	0,1	7,28
12	0,11	0,0033	0,09	0,1	0,1	0,11	6,44
13	0,11	0,0033	0,1	0,11	0,1	0,1	6,95
14	0,1	0,0033	0,1	0,1	0,1	0,09	7,08
15	0,11	0,0033	0,09	0,11	0,1	0,1	7,07
16	0,1	0,0033	0,09	0,1	0,1	0,1	6,95
17	0,11	0,0033	0,1	0,11	0,09	0,1	6,9
18	0,1	0,0033	0,1	0,1	0,09	0,09	6,98
19	0,12	0,0033	0,11	0,1	0,11	0,12	6,9
20	0,1	0,0033	0,1	0,1	0,1	0,09	6,88

Tabla 5. RESULTADOS DE LOS 20 TRATAMIENTOS DEL BLOQUE C.

TRATAMIENTOS	PESO (g)	AREA	ESPESOR (mm)				FUERZA (Nm*m2)
1	0,1	0,0033	0,1	0,095	0,1	0,11	7,235
2	0,1	0,0033	0,11	0,1	0,1	0,1	7,58
3	0,11	0,0033	0,1	0,105	0,1	0,12	7,5
4	0,1	0,0033	0,09	0,105	0,105	0,1	7,37
5	0,1	0,0033	0,1	0,095	0,095	0,095	6,845
6	0,1	0,0033	0,1	0,105	0,1	0,095	6,565
7	0,1	0,0033	0,1	0,1	0,095	0,095	7,115
8	0,105	0,0033	0,1	0,1	0,1	0,1	7,18
9	0,105	0,0033	0,11	0,105	0,105	0,1	6,91
10	0,1	0,0033	0,1	0,11	0,1	0,11	7
11	0,1	0,0033	0,12	0,1	0,105	0,1	7,08
12	0,1	0,0033	0,1	0,095	0,105	0,105	6,765
13	0,105	0,0033	0,1	0,1	0,105	0,095	6,78
14	0,105	0,0033	0,1	0,095	0,1	0,1	7,21
15	0,105	0,0033	0,09	0,11	0,095	0,1	7,185
16	0,1	0,0033	0,1	0,1	0,105	0,095	7,015
17	0,11	0,0033	0,1	0,105	0,09	0,1	6,93
18	0,11	0,0033	0,11	0,095	0,1	0,1	6,94
19	0,11	0,0033	0,11	0,105	0,105	0,115	6,9
20	0,11	0,0033	0,11	0,095	0,105	0,095	6,93

Tabla 6. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS 20 TRATAMIENTOS CON TRES REPETICIONES (BLOQUE A, BLOQUE B Y BLOQUE C) ELABORADA POR EL MODELO DISEÑO CENTRAL COMPUESTO.

GRAMAJE			DENSIDAD APARENTE			INDICE DE ROTURA		
BLOQUE A	BLOQUE B	BLOQUE C	BLOQUE A	BLOQUE B	BLOQUE C	BLOQUE A	BLOQUE B	BLOQUE C
30.30	30.30	30.30	0.28	0.31	0.30	0.24	0.22	0.27
33.33	27.27	30.30	0.32	0.28	0.30	0.21	0.28	0.25
33.33	33.33	33.33	0.33	0.32	0.31	0.22	0.24	0.23
27.27	33.33	30.30	0.29	0.33	0.30	0.26	0.22	0.24
33.33	27.27	30.30	0.33	0.28	0.31	0.19	0.24	0.23
27.27	33.33	30.30	0.29	0.32	0.30	0.26	0.20	0.22
30.30	30.30	30.30	0.31	0.30	0.31	0.25	0.24	0.23
36.36	27.27	31.82	0.35	0.27	0.32	0.19	0.25	0.23
30.30	33.33	31.82	0.29	0.33	0.31	0.22	0.21	0.22
30.30	30.30	30.30	0.31	0.28	0.30	0.23	0.25	0.23
30.30	30.30	30.30	0.29	0.30	0.29	0.23	0.24	0.23
27.27	33.33	30.30	0.28	0.33	0.30	0.24	0.19	0.22
30.30	33.33	31.82	0.31	0.33	0.32	0.24	0.21	0.21
33.33	30.30	31.82	0.33	0.31	0.32	0.22	0.23	0.23
30.30	33.33	31.82	0.31	0.33	0.32	0.23	0.21	0.23
30.30	30.30	30.30	0.31	0.31	0.31	0.23	0.23	0.23
33.33	33.33	33.33	0.33	0.33	0.34	0.21	0.21	0.21
36.36	30.30	33.33	0.34	0.32	0.33	0.19	0.23	0.21
30.30	36.36	33.33	0.30	0.33	0.31	0.23	0.19	0.21
36.36	30.30	33.33	0.34	0.31	0.33	0.19	0.23	0.21

Tabla 7. EJECUCIONES EXPERIMENTALES REALIZADAS.

Ejec. bloq.	Tiempo	Velocidad	Gramaje (g/m ²)	Densidad A. (g/cm ³)	Indice de R. (Nm*m ² /g)	
1	1	3,6	2164,9	30,0020303	0,297976051	0,234795
2	1	8,4	2164,9	30,0030333	0,298823262	0,259624444
3	1	3,6	3235,1	33,01233333	0,318796353	0,2262
4	1	8,4	3235,1	30,2030303	0,367691283	0,102158889
5	1	3,6	2164,9	30,1030303	0,302341281	0,219728333
6	1	8,4	2164,9	30,0030303	0,245512994	0,276139123
7	1	3,6	3235,1	30,2030303	0,304435253	0,179745
8	1	8,4	3235,1	31,10311182	0,376565108	0,195591667
9	1	2,6	2700,0	31,97888182	0,307839053	0,195337319
10	1	9,4	2700,0	30,00223333	0,315673706	0,2133
11	1	6,0	1943,2	30,0010303	0,245258911	0,27595
12	1	6,0	3456,8	30,1030303	0,307322645	0,100693651
13	1	6,0	2700,0	31,99878182	0,296538478	0,244589708
14	1	6,0	2700,0	31,9858303	0,308895891	0,23749
15	1	6,0	2700,0	31,98818182	0,32211436	0,217851429
16	1	6,0	2700,0	31,9799303	0,317745772	0,210175
17	1	6,0	2700,0	33,01233333	0,311029776	0,2073
18	1	6,0	2700,0	33,01133333	0,310192995	0,20943
19	1	6,0	2700,0	33,00133333	0,314552112	0,20993
20	1	6,0	2700,0	33,02333333	0,311227851	0,208321667

Tabla 8. RESULTADO DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL PAPEL KRAFT UTILIZANDO LA METODOLOGIA MANUAL.

PESO	AREA	ESPESOR (mm)			FUERZA (Nm*m ²)	GRAMAJ E (g/m ²)	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	INDICE DE ROTURA (Nm*m ² /g)	
0,07	0,0033	0,1	0,09	0,1	0,1	3,8	21,2121	0,21480	0,179142

Tabla 9. RESULTADO DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL PAPEL KRAFT PATRON (PLIEGO DE PAPEL KRAFT).

PESO	AREA	ESPESOR (mm)			FUERZA (Nm*m ²)	GRAMAJ E (g/m ²)	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	INDICE DE ROTURA (Nm*m ² /g)	
0,12	0,0033	0,11	0,1	0,1	0,11	9,76	36,36364	0,3463203	0,2684

Tabla 10. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL PAPEL KRAFT.

PRINCIPALES CARACTERISTICAS	PAPEL KRAFT PATRON (PLIEGO DE PAPEL KRAFT)	PAPEL KRAFT OBTENIDO CON TALLOS DE QUINUA (UTILIZANDO LA METODOLOGIA MANUAL)	PAPEL KRAFT OBTENIDO CON TALLOS DE QUINUA (UTILIZANDO EL EQUIPO REFINADOR)
GRAMAJE (g/m ²)	36.36364	21.2121212	33.0123
DENSIDAD (g/m ³)	0.3463203	0.21480	0.3073
INDICE DE ROTURA (Nm*m ² /g)	0.2684	0.17914286	0.2559
COLOR	10YR 7/2	10YR 8/3	10YR 7/2
LISURA	B	C	A

FUENTE: Elaboracion Propia.

A: Medio liso

B: Liso

C: Poroso

10YR 7/2: Light Gray

10YR 8/3: Very pale Brown

Tabla 11. RESULTADOS DE LA COMBINACION DE LOS NIVELES DE FACTORES PARA LA OPTIMIZACION DE LAS PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL PAPEL KRAFT.

Factor	GRAMAJE (g/m ²)			DENSIDAD APARENTE (g/m ³)			INDICE DE ROTURA (Nm*m ² /g)		
	Bajo	Alto	Óptimo	Bajo	Alto	Óptimo	Bajo	Alto	Óptimo
TIEMPO (min.)	2,6	9,4	6	2,6	9,4	6	2,6	9,4	6
VELOCIDAD (rpm)	1943	3457	2700	1943,2	3456,8	3456,8	1943,2	3456,8	1943,2
	valor optimo=33.0123			Valoroptimo=0.30732			valor optimo=0.25595		

Tabla 12. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PROPIEDADES OPTICAS (COLOR Y LISURA) DEL PAPEL KRAFT DE LOS 20 TRATAMIENTOS OPTIMOS.

TIEMPO	VELOCIDAD	COLOR	LISURA
3,6	2164,9	10YR 8/2	A
8,4	2164,9	10YR 7/2	A
3,6	3235,1	10YR 7/2	A
8,4	3235,1	10YR 7/2	A
3,6	2164,9	10YR 7/2	A
8,4	2164,9	10YR 8/2	A
3,6	3235,1	10YR 8/2	A
8,4	3235,1	10YR 7/2	A
2,6	2700,0	10YR 7/2	A
9,4	2700,0	10YR 7/2	A
6,0	1943,2	10YR 7/2	A
6,0	3456,8	10YR 7/2	A
6,0	2700,0	10YR 7/2	A
6,0	2700,0	10YR 7/2	A
6,0	2700,0	10YR 7/2	A
6,0	2700,0	10YR 8/3	A
6,0	2700,0	10YR 8/2	A
6,0	2700,0	2.5 Y 8/2	A
6,0	2700,0	2.5 Y 8/2	A
6,0	2700,0	10YR 7/2	A

FUENTE: Elaboración propia.

A: Medio liso

B: Liso

C: Poroso

10YR 7/2: Light Gray

10YR 8/3: Very pale Brown

10YR 8/2: White

2.5 Y 8/2: White

Tabla 13. ESTIMACION DE COSTO DE PRODUCCIÓN.

COSTO DE PRODUCCION ESTIMADO PARA 100 G DE PAPEL KRAFT OBTENIDO CON TALLO DE QUINUA				
INSUMOS	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO DE PRODUCCION (soles)
COSTOS VARIABLES				
Tallos de Quinua	0.001	150	g	0.150
Sosa caustica al 8%	0.01	80	g	0.800
Almidon	0.003	20	g	0.060
Cola sintetica	0.003	1	g	0.003
Papel reciclado	0.01	45	g	0.450
SUB TOTAL				1.898
COSTOS FIJOS				
Depreciación de Moldes	2	1	soles	2.000
Depreciacion de Equipos	1	1	soles	1.000
SUB TOTAL				3.000
TOTAL				4.463

FUENTE: Elaboración propia.