

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO TRITURADOR DE BAGAZO DE CAÑA PARA LA INDUSTRIA DE PRODUCCIÓN DE CHAMPIÑONES CON CAPACIDAD DE 600 KILOS POR HORA

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

OSCAR ANIBAL RAMOS SALAZAR
evilebissan@yahoo.com

DIRECTOR: Ing. JAIME RAUL VARGAS TIPANTA.
jaimevargas1952@live.com

Quito, Febrero 2016

DECLARACIÓN

Yo Oscar Aníbal Ramos Salazar, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Oscar Anibal Ramos Salazar

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Oscar Aníbal Ramos Salazar bajo nuestra supervisión.

Ing. Jaime Vargas T.
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Jorge Escobar L.
COLABORADOR

AGRADECIMIENTOS

Hago extenso mi agradecimiento primeramente a toda mi familia, que me ha apoyado a lo largo de este camino. A mis amigos que me brindaron su amistad y ayudaron mucho durante mi vida estudiantil dentro y fuera de la politécnica. A mis maestros que han sabido guiarme por la senda del conocimiento, de quienes he aprendido y cuyas enseñanzas las he tomado como guía durante el periodo de estudiante y para mí desarrollo profesional.

A la escuela Politécnica Nacional por ser mi Alma Mater y a la Facultad de Ingeniería Mecánica a la cual siempre respetaré y por la que daré siempre mi mayor esfuerzo, para que ese gran legado de profesionales que me han precedido se siga manteniendo y extendiendo, y la reputación de Mejor Facultad del mundo siga en lo más alto de los estándares nacionales e internacionales.

Oscar A. Ramos Salazar

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado enteramente a Raúl y Gladys, mis padres y a Chris y Mauri, mis hermanos, que de una u otra forma han sido el aliento y la fortaleza de mi vida en los buenos y malos momentos, que a través de sus palabras han sabido darme el ánimo para luchar y seguir adelante para alcanzar mis metas y sueños. Ellos son la razón para que hoy me encuentre culminando este largo camino y por quienes soy lo que soy...menos los malos hábitos que esos me los gane a fuerza de desobedecer y ser terco...por todo lo demás gracias mi amada familia.

Oscar

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	12
ÍNDICE DE TABLAS	14
SIMBOLOGÍA UTILIZADA	15
RESUMEN	17
PRESENTACIÓN	18
CAPÍTULO 1	19
1. GENERALIDADES	19
1.1. FUNDAMENTOS PRELIMINARES	19
1.1.1 HISTORIA DE EL CHAMPIÑÓN	19
1.1.2 CULTIVO DEL CHAMPIÑÓN	22
1.1.3 CARACTERÍSTICAS DEL BAGAZO DE CAÑA	25
1.1.4 DUREZA DEL BAGAZO	27
1.1.5 ESTRUCTURA INTERNA DEL BAGAZO	27
1.1.6 HUMEDAD	28
1.1.7 REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA	28
1.1.8 DISPOSITIVOS PARA REDUCCIÓN DE TAMAÑO	29
1.1.9 FACTOR DE RELACIÓN DE REDUCCIÓN	30
1.1.10 CARACTERÍSTICAS PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPOS	31
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	31
1.3. PROCESO ACTUAL DE TRABAJO	32
1.4. NECESIDADES DE LA EMPRESA	33
1.5. REQUERIMIENTOS DEL USUARIO	34
1.6. ANÁLISIS FUNCIONAL	35
CAPÍTULO 2	36
2. ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	36

2.1. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO	36
2.1.1 MATERIA PRIMA A PROCESAR	36
2.1.2 MATERIAL BASE DEL PROTOTIPO	36
2.1.3 MANEJO DEL EQUIPO	37
2.1.4 LIMITACIÓN EN EL DISEÑO	37
2.1.5 AMBIENTE DE TRABAJO	37
2.2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	37
2.2.1 ALTERNATIVA 1: MOLINO DE MARTILLOS MOVIBLES	38
2.2.1.1 VENTAJAS	40
2.2.1.2 DESVENTAJAS	40
2.2.2 ALTERNATIVA 2: MOLINO DE MARTILLOS FIJOS	40
2.2.2.1 VENTAJAS	41
2.2.2.2 DESVENTAJAS	41
2.2.3 ALTERNATIVA 3: MOLINO DE MARTILLOS	42
2.2.3.1 VENTAJAS	43
2.2.3.2 DESVENTAJAS	43
2.3. PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.....	43
2.3.1 HOMOGENEIDAD DEL PRODUCTO.....	43
2.3.2 FACILIDAD DE MANIOBRABILIDAD	43
2.3.3 FACILIDAD DE MANTENIMIENTO	44
2.3.4 COSTO	44
2.3.5 TAMAÑO Y PESO	44
2.3.6 VIDA ÚTIL	44
2.3.7 RUIDO	44
2.3.8 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN.....	45
2.4. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.....	45
2.5. PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	45

2.5.1 VERIFICACIONES FÍSICAS	46
2.5.2 PRUEBAS EN VACÍO.....	46
2.5.3 PRUEBAS CON CARGA	46
CAPÍTULO 3	48
3. DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	48
3.1.METODOLOGÍA.....	48
3.2.DISEÑO DEL PROTOTIPO	48
3.2.1 CÁLCULO DEL VOLUMEN INTERNO DEL TAMBOR.....	50
3.2.2 RESISTENCIA AL CORTE DEL BAGAZO DE CAÑA.....	50
3.2.3 EJE DE TRITURACIÓN.....	51
3.2.3.1 CÁLCULO DEL MARTILLO.....	53
3.2.3.2 CÁLCULO DE LA ALETA.....	56
3.2.3.3 CÁLCULO DEL EJE.....	59
3.2.4 SELECCIÓN DE CHUMACERAS	62
3.2.5 CÁLCULO Y DISEÑO DE LA LENGÜETA.....	63
3.2.6 CÁLCULO DEL MOTOR.....	65
3.2.6.1 CÁLCULO DE LA POTENCIA PARA VENCER LA INERCIA ...	65
3.2.6.2 POTENCIA DE CORTE	66
3.2.6.3 SELECCIÓN DEL MOTOR	66
3.2.7 RELACIÓN DE TRANSMISIÓN	67
3.2.7.1 SISTEMA DE TRANSMISIÓN POR CADENA.....	67
3.2.7.2 SELECCIÓN DE LA CADENA DE TRANSMISIÓN	68
3.2.7.3 DISTANCIA ENTRE EJES	68
3.2.7.4 LONGITUD PRIMITIVA DE LA CADENA	68
3.2.8 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....	69
3.2.8.1 TOLVA DE ALIMENTACIÓN Y SALIDA	69
3.2.9 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE	70

3.2.10 PROTECCIÓN Y CONTROL DEL MOTOR ELÉCTRICO.....	71
CAPÍTULO 4	73
4. CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE CAMPO	73
4.1. GENERALIDADES.....	73
4.1.1 HOJA DE PROCESOS	74
4.1.2 CRONOGRAMA DE CONTRUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS	75
4.1.3 CRONOGRAMA DE MONTAJE DE LOS ELEMENTOS	76
4.1.4 MONTAJE.....	77
4.1.5 BALANCEO	78
4.1.5.1 BALANCEO DEL MOLINO	79
4.2. PRUEBAS DE CAMPO	81
4.2.1 PROTOCOLO DE PRUEBAS	81
4.3. ESPECIFICACIONES DE LA MÁQUINA	83
4.3.1 DIMENCIONES DEL ÁREA DE TRABAJO	83
4.3.2 PESO	83
4.3.3 FUENTE DE POTENCIA.	84
4.3.4 EJE DE TRITURACIÓN DE LA MÁQUINA.....	84
4.3.5 CAPACIDAD DE LA MÁQUINA.....	84
4.3.6 LONGITUD DEL BAGAZO DE CAÑA PICADO	84
4.3.7 SEGURIDAD	85
4.3.8 REPARACIONES Y AJUSTES	85
4.3.9 OPERACIÓN	86
4.3.10 MANTENIMIENTO.....	87
4.3.10.1 AJUSTE DE CADENA Y SISTEMA DE TRANSMICIÓN.....	88
4.3.10.2 AJUSTE DE PERNOS DE LA MÀQUINA.....	88
4.3.10.3 EJE DE TRITURACIÓN DE LA MÀQUINA	88
4.3.10.4 ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA.....	89

4.3.10.5 LUBRICACIÓN DE PARTES MÓVILES.....	89
4.3.10.5 SISTEMA ELÉCTRICO	89
4.4. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	90
CAPÍTULO 5	91
5. ANÁLISIS DE COSTOS.....	91
5.1. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA MÁQUINA.	91
5.2. COSTOS DE MATERIALES	91
5.3. COSTOS DE CONTRUCCION Y MONTAJE.....	92
5.4. COSTO DE MANO DE OBRA	95
5.5. COSTO DE TRANSPORTE.....	95
5.6. COSTOS INDIRECTOS.....	96
5.7. COSTO TOTAL.....	96
5.8. COSTO DE MANTENIMIENTO	97
5.9. ANÁLISIS Y BENEFICIOS DEL COSTO PARA LA EMPRESA.....	97
CAPÍTULO 6	99
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
6.1. CONCLUSIONES	99
6.2. RECOMENDACIONES	99
BIBLIOGRAFÍA	101
A N E X O S	102
ANEXO 1 ENSAYO DE CORTE	103
ANEXO 2 PORCENTAJE DE BAGAZO EN LA CUÑA DE AZÚCAR.....	106
ANEXO 3 SELECCIÓN DE LENGÜETA.....	109
ANEXO 4 SELECCIÓN DE PIÑONES.....	112
ANEXO 5 SELECCIÓN DE CADENA.....	114
ANEXO 6 PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	116
ANEXO 7 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CAMPO.....	119

ANEXO 8 HOJAS DE PROCESOS.....	122
ANEXO 9 PLANOS	126

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. Pinturas prehistóricas del uso de hongos.....	20
FIGURA 1.2. Alegoría del hongo en el Imperio Egipcio.....	21
FIGURA 1.3. Estatuas alegóricas al hongo.....	21
FIGURA 1.4. Varios tipos de hongos.....	22
FIGURA 1.5. La caña de azúcar, el guarapo y el bagazo.....	26
FIGURA 1.6. Imagen del bagazo de caña.....	26
FIGURA 1.7. Estructura interna de la caña de azúcar.....	28
FIGURA 1.8. Molino existente de bagazo.....	33
FIGURA 2.1. Partes de un molino de martillos móviles.....	39
FIGURA 2.2. Interior de un molino de martillo fijo.....	41
FIGURA 2.3. Fotografía de un Molino de martillo.....	42
FIGURA 3.1. Esquema del eje con martillos y aletas.....	51
FIGURA 3.2. Diagrama de fuerzas sobre martillo.....	54
FIGURA 3.3. Resultados tensión en XX obtenidos en Inventor.....	54
FIGURA 3.4. Resultados de desplazamiento obtenidos en Inventor.....	55
FIGURA 3.5. Coeficiente de seguridad.....	55
FIGURA 3.6. Diagrama de fuerzas de la aleta.....	57
FIGURA 3.7. Desplazamiento en Y.....	57
FIGURA 3.8. Resultado de la tensión en YY.....	58
FIGURA 3.9. Coeficiente de seguridad.....	58
FIGURA 3.10. Diagrama de fuerzas sobre el eje	60
FIGURA 3.11. Diagrama de fuerzas cortantes sobre el eje.....	60
FIGURA 3.12. Diagrama de momentos flectores en el plano.....	61
FIGURA 3.13. Chumacera UPC 212.....	64
FIGURA 3.14. Eje con chavetero.....	64
FIGURA 3.15. Representación de medidas de una lengüeta.....	66
FIGURA 3.16. Tolva de alimentación.....	70
FIGURA 3.17. Tolva de salida.....	70
FIGURA 3.18. Resultado del cálculo de la estructura en SAP 2000.....	71
FIGURA 3.19. Esquema de botonera para manejo de la máquina.....	72
FIGURA 4.1. Barolado del tambor.....	78

FIGURA 4.2. Ubicación del eje sobre la estructura.....	79
FIGURA 4.3. Técnico solicitado para el análisis del balanceo.....	80
FIGURA 4.4. Peso adicional al eje de acuerdo al técnico en balanceo.....	81
FIGURA 4.5. Máquina ubicada en el lugar de trabajo.....	82
FIGURA 4.6. Tesis, Director de tesis luego de las pruebas de campo.....	83
FIGURA 4.7. Tesis, Director de Tesis y Jefe de Mantenimiento.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1.....	29
TABLA 1.2.....	30
TABLA 2.1.....	45
TABLA 4.1.....	76
TABLA 4.2.....	77
TABLA 4.3.....	84
TABLA 4.4.....	84
TABLA 4.5.....	86
TABLA 4.6.....	91
TABLA 5.1.....	93
TABLA 5.2.....	94
TABLA 5.3.....	95
TABLA 5.4.....	96
TABLA 5.5.....	96
TABLA 5.6.....	97
TABLA 5.7.....	97
TABLA 5.8.....	98
TABLA 5.9.....	99

SIMBOLOGÍA UTILIZADA

A = área (m^2)

C = Peso de bagazo en función del tiempo (kg/s)

D = diámetro

E = módulo de elasticidad

e = espesor (mm)

F = fuerza (N)

H = altura

i_t = Inercia de los elementos ($kg\ m^2$).

k_a = factor de superficie

k_b = factor de tamaño

k_c = factor de confiabilidad

k_d = factor de temperatura

k_e = facto de concentración de esfuerzos

L = longitud (m)

M = momento flector max (kg.m)

N_m = eficiencia del motor

P_C = potencia de corte (hp)

P_i = Potencia para vencer la inercia de los elementos (Watts).

P_m = Potencia del motor (hp)

R = resistencia al corte (N/m^2)

R_A = reacción en A (kgf)

R_B = reacción en A (kgf)

RR = factor de reducción de las partícula

S_e = límite de fatiga (MPa)

S_{sy} = esfuerzo cortante máximo (N/m^2)

Sut = límite último a la tracción (MPa)

T = torque (Nm)

T_i = Torque para vencer la inercia (Nm).

V = volumen

V_b = volumen del bagazo de caña

V = velocidad (m/s)

W = peso total (kg)

W_f = Velocidad angular (rad/s).

Σ = esfuerzo de presión

α_m = Aceleración media (rad/s²).

ρ = densidad de bagazo de caña de azúcar (kg/m³)

τ_{max} = esfuerzo cortante máximo (N/m²)

ω = velocidad angular

RESUMEN

El presente proyecto tiene como propósito el diseñar y construir un molino triturador de bagazo de caña que satisfaga los requerimientos de la industria del champiñón.

Inicialmente se recopila información básica acerca de la producción del hongo y sus diferentes etapas de su desarrollo. La teoría ayuda en el entendimiento del comportamiento y funcionamiento de los elementos constitutivos de la máquina a diseñar.

Para obtener la alternativa de solución que cumpla con los requerimientos específicos se plantean 3 posibilidades, en los cuales se realiza un análisis orientado al funcionamiento, operación, costos de fabricación y mantenimiento.

Luego del diseño y construcción del prototipo se realiza el análisis económico para encontrar el costo aproximado de la máquina.

Todos los elementos que se van a fabricar tienen sus respectivos procedimientos y planos para facilitar su construcción.

Al final se presenta la documentación que facilita el entendimiento, el procedimiento de selección de los componentes y accesorios.

Finalmente se incluyen planos de conjunto y taller del molino triturador de bagazo de caña.

PRESENTACIÓN

La producción de champiñones es una de las nuevas industrias de alimentos que ha surgido en el Ecuador.

Los medianos y grandes productores de champiñón buscan los mejores componentes para incrementar la producción y satisfacer la creciente demanda de alternativas orgánicas y sanas de alimentación de la población.

Durante el proceso inicial de producción, se adicionan varios componentes que se descomponen para formar el compost, que es la base sobre la cual crece el hongo. El bagazo de caña triturado es permeable, por los espacios vacíos en él, el aire puede circular libremente y ayudando a que los elementos se descompongan formando el compost.

La inclusión de maquinaria especializada, además de abaratar costos de producción, está garantizando un incremento de la calidad del producto final, volviéndolo más apetecible para el consumidor.

El presente proyecto está encaminado a diseñar y construir una máquina que sea de bajo costo para los medianos y grandes productores de la industria del champiñón.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. FUNDAMENTOS PRELIMINARES

Dentro de las oportunidades de desarrollo de la industria de producción de champiñones del país, se hace evidente la necesidad de contar con maquinaria especializada acorde a la necesidad de un mejoramiento continuo dentro del ámbito humano y tecnológico.

Desde hace poco tiempo atrás la falta de maquinaria especializada, se han venido supliendo con la importación, pero al tener procedencia extranjera, no están diseñadas para las labores y los rigores propios de nuestro país.

El presente proyecto pretende resolver el problema de una mala producción de una empresa local dedicada a este campo, colaborando la universidad en mejorar el desarrollo no solo de esta empresa sino de empresas similares dedicadas a producir champiñones.

1.1.1. HISTORIA DE EL CHAMPIÑÓN

A lo largo de la historia, los pobladores del planeta, han buscado alimentos ricos en nutrientes y vitaminas que aporten a su desarrollo y a su crecimiento. Se domesticaron animales que sean de fácil crianza y produzcan abundante carne y derivados, se buscaron plantas cuya siembra no sea complicada y se puedan producir en abundancia.

“Los hongos tienen fibra, si están deshidratados hasta un 47%. También tiene vitaminas, tiamina, vitamina B1 y B2 importantes para el tejido muscular. Además, es importante saber que tienen ciertas propiedades medicinales, son un alimento

que sirve para reforzar el sistema inmunológico. Contiene hierro, zinc, potasio, calcio y magnesio, entre otros. La seta tiene los ocho aminoácidos esenciales”¹

Los hongos en sus diferentes especies han sido parte esencial de las culturas en diferentes partes del planeta. Muchos fueron utilizados como alimento, como medicina e incluso como alucinógenos.

Procedentes de las culturas prehistóricas han aparecido vestigios donde ya los pobladores procedentes de estas culturas empleaban los hongos y setas. Los restos arqueológicos descubiertos han permitido rescatar de sus ropas y vestimentas, hongos secos utilizados como base para encender fuego y como alimentos propios, tal es el caso del hombre primitivo hallado congelado en los Alpes Suizos.

Los relatos procedentes de la civilización Micénica hace unos 3500 años, indican que su propio nombre puede deberse a una seta. La conocida leyenda sobre el héroe griego Perseo dice que su nuevo reino recibió el nombre de Micenas como consecuencia de utilizar una seta como vaso improvisado para calmar su sed. Ver figura 1.1.



Figura 1.1. Pinturas prehistóricas del uso de hongos. Fuente:

<http://www.micomania.rizoazul.com/micologia%20los%20hongos%20a%20lo%20argo%20de%20la%20historia.html>

Los egipcios ya tenían en cuenta a los hongos y podrían haberse sido utilizados con fines rituales, como así lo demuestra una pintura mural egipcia de la tumba

¹ Vilchis, L. (2009), Los hongos y sus nutrientes. Obtenido de <http://www2.esmas.com/salud/nutricion/047483/videochat-los-hongos-y-nutrientes>.

del faraón Amenemhet que data de 1450 a. C. (Ver figura 1.2) y también recogidos en forma molida en vasijas de las tumbas faraónicas, donde se les suponen fines curativos para realizar el gran viaje del muerto hacia la otra vida. Así mismo, producían pan y cerveza en los que sus procesos de fermentación eran consecuencia de la intervención de hongos microscópicos. Ver figura 1.3.

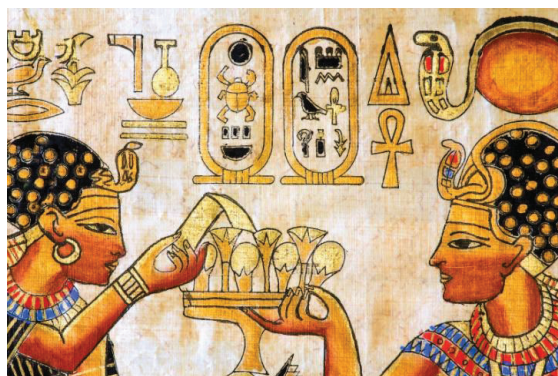


Figura 1.2. Alegoría del hongo en el Imperio Egipcio. Fuente: www.google.com

Joseph-Henri Léveillé, micólogo francés, considerado como el precursor de la Micología moderna, es el primero en dar una descripción completa del basidio y del cistidio de los hongos basidiomicetos, estudia su microscopia y comprueba que las esporas maduran en los basidios. Establece la clasificación por los caracteres microscópicos y estudia las reacciones químicas que se producen en los hongos por medio de reactivos químicos.



Figura 1.3. Estatuas alegóricas al hongo. Fuente: <http://www.micomania.rizoazul.com/micologia%20los%20hongos%200a%20lo%20largo%20de%20la%20historia.html>

Los últimos hallazgos que permiten saber la antigüedad de los hongos provienen de fósiles de un hongo foliado cubierto de ámbar procedente de Centroamérica

con una edad estimada en 40 millones de años y otro hongo todavía más antiguo también retenido en ámbar de 100 millones de años².

1.1.2. CULTIVO DEL CHAMPIÑÓN

Para poder entender el cultivo del champiñón se tiene que partir del hecho de conocer qué es el champiñón, también llamado “funji” u “hongo”

En biología, el término **Fungi** (latín, literalmente “hongos”) designa a un grupo de organismos eucariotas entre los que se encuentran los mohos, las levaduras y las setas. Se clasifican en un reino distinto al de las plantas, animales y bacterias. Ver figura 1.4

Actualmente se consideran como un grupo heterogéneo, polifilético, formado por organismos pertenecientes por lo menos a tres líneas evolutivas independientes.



Figura 1.4. Varios tipos de hongos. Fuente: www.google.com.ec

Hay una gran variedad de fungis u hongos, pero los que interesan mayormente son los hongos comestibles, especialmente aquellos que se han derivado en la industria del champiñón.

² www.micomania.riazul.com (n.d.) Los hongos a lo largo de la historia. Obtenido de <http://www.micomania.rizoazul.com/micologia%20los%20hongos%20a%20lo%20largo%20de%20la%20historia.html>

Cultivo de hongos: La producción de hongos es uno de los procesos más complejos dentro de la agricultura. El principal requerimiento llamado compost es una mezcla de varios elementos biodegradables que al combinarse de acuerdo a una receta específica, se degradan produciendo bacterias y elementos anaeróbicos que son el alimento del hongo durante su etapa de crecimiento y maduración.

El compost está compuesto por los siguientes elementos:

- Bagazo de caña triturado
- Cascarilla de algodón
- Estiércol de gallina
- Paja de trigo
- Sustratos

Estos elementos mezclados en proporciones dadas por formulas propias de la empresa, generan después de una descomposición controlada producen el compost.

Procesamiento del Compost, una vez realizada la mezcla de los elementos que componen el compost, estos son apilados y mojados, para que mediante una desintegración controlada, se generen todos los nutrientes necesarios para el óptimo crecimiento de los hongos, esta fase del proceso se la conoce como la producción del compost, pues es la primera durante todo el proceso de producción de hongos.

Durante los primeros días se procede a mezclar esta pila de material conocido como "lagarto", esto se lo realiza con una maquina llamada composteadora, la cual es alimentada por una pala frontal que deposita la pila de elementos y se mezclan mediante una serie de rodillos para luego nuevamente ser recogidos y apilado en un nuevo lagarto.

El periodo total de producción de compost es de 13 días, durante este periodo será mezclado el lagarto a razón de 1 vez cada 3 días, y luego del tercer "volteo",

como se le conoce a la mezcla del lagarto, se realizarán dos más y en el final se adicionara un sustrato especial que lo deja libre de parásitos que pudieran causar problemas en la producción de champiñones.

El compost durante el proceso de producción va cambiando de color, hasta llegar a un color café marrón. Este presenta elementos minerales producto de la descomposición anaeróbica controlada.

Llenado de Cámaras: es el siguiente paso en la cadena de producción de hongos.

“Las cámaras de producción son cuartos de 10 x 20 x 6 metros, dentro de los cuales se encuentran las camas de producción, que no es más que el contenedor donde se ubica el compost para el crecimiento de los hongos, que son depósitos de 18 x 1,2 metros y una altura de 20 centímetros. Construidos de madera, son un total de 24 camas de producción, están distribuidos en filas de 4 por 6 columnas”³.

En cada una de estas camas se deposita el compost, que cubre en su totalidad el volumen total de la cámara.

Una vez colocado el compost en las camas, es sometido a una esterilización a base de vapor de agua, el cual termina por eliminar todo residuo de contaminantes que puede generar plagas y/o enfermedades en los hongos en el futuro. Este proceso tiene una duración aproximada de 4 días.

La siembra de Hongo, es uno de los procesos más importantes, pues se adiciona la semilla de hongo que luego crece en el compost y generara la producción de champiñones para la empresa.

El proceso consiste en adicionar la semilla del hongo, un abono especial sobre las camas de compost, utilizando un mezclador hidráulico, se mezcla todo y se deja reposar hasta que la semilla germine y se produzca el hongo, esto puede durar alrededor de 30 días.

³ INVEDELCA S.A. (2010) Obtenido de notas del Área de Producción.

Cosecha del Champiñón, una vez que la semilla germina, se empieza la recolección, que puede durar de hasta un mes, tiempo durante el cual el hongo va germinando, madurando y siendo recolectado manualmente cada día.

“La producción del hongo se mide en kilos por metro cuadrado. Si el proceso se ha realizado adecuadamente, se espera en la cosecha alrededor de 50 kilos por metro cuadrado de hongo de producción continua durante el mes que dura la cosecha de cada cama”⁴.

1.1.3. CARACTERÍSTICAS DEL BAGAZO DE CAÑA

La caña de azúcar es oriunda de Malasia posee tallos muy leñosos y es familia de las gramíneas, por su importancia ocupa uno de los primeros lugares en el mundo de la industria.

“La caña de azúcar de un género (*Saccharum*), alcanza entre 3000 y 6000 mm de altura y entre 20 y 50 mm de diámetro. El sistema radicular lo compone un robusto rizoma subterráneo; El tallo acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído y cristalizado en el ingenio forma el azúcar.

La sacarosa es sintetizada por la caña gracias a la energía tomada del sol durante la fotosíntesis con hojas que llegan a alcanzar de dos a cuatro metros de longitud. En su parte superior encontramos la panocha, que mide unos 30 cm. de largo”(Linnaeus, 1753).

Este cultivo es vital en el desarrollo económico de un país, es generadora de empleo, sirve además como alimento para todos los ganados, se puede aprovechar desde las hojas, hasta el bagazo después de pasar por un proceso industrial del que además se obtiene el azúcar, tan necesario en nuestros hogares como endulzante. Ver figura 1.5.

⁴ INVEDELCA S.A. (2010) Obtenido de notas del Área de Producción.



Figura 1.5. La caña de azúcar, el guarapo y el bagazo. Fuente: www.google.com.ec

El bagazo de caña ha sido utilizado como combustible para los grandes hornos de los ingenios y en la actualidad se lo utiliza como el combustible en la producción y generación de energía eléctrica mediante pequeñas plantas que utilizan al bagazo de caña como su fuente principal de combustión. Ver figura 1.6.

“La importancia del bagazo de caña en la industria del champiñón radica en este aspecto, de dar un soporte estructural natural y de aireación al compost durante su formación en la plataforma especialmente diseñada para este propósito. Se ha demostrado experimentalmente que un residuo agrícola transformado a compost no solo es más estable, sino que conserva un mayor contenido de nutrientes, principalmente el nitrógeno orgánico, que el residuo agrícola como tal incorporado al suelo”⁵



Figura 1.6. Imagen del bagazo de caña. Fuente: www.microbiologiaumh.blogspot.com

⁵ INVEDELCA S.A. (2010) Obtenido de notas del Área de Producción.

1.1.4. DUREZA DEL BAGAZO

Aunque no es una práctica común en la agroindustria, conocer la dureza de los elementos debe ser un factor importante en la selección del aparato de trituración. En general, la dureza determina la fuerza necesaria y el consumo de energía requerido para triturar un producto.

El tiempo de producción también se ve afectado y además esto contribuye en la selección de un equipo de mayor o menor dimensión según sean las necesidades de cantidad del producto.

Los elementos con mayor dureza también generan una mayor abrasión sobre las superficies de trabajo. Estas superficies deben ser fabricadas con materiales duros y resistentes que presenten mayor resistencia al desgaste.

La reducción del desgaste se puede dar con la inclusión de un diseño de un molino robusto y de baja velocidad en beneficio del soporte de los altos esfuerzos mecánicos que se producen. Muchas veces estos parámetros no son tomados en cuenta al momento de presupuestar el mantenimiento de las máquinas.

1.1.5. ESTRUCTURA INTERNA DEL BAGAZO

El conocimiento de la estructura interna de un producto puede ayudar a entender de mejor manera su comportamiento al momento de someterlo a determinadas fuerzas.

La estructura mecánica interna del bagazo de caña indica a entender sobre cuáles son los puntos de corte y ruptura donde la máquina puede actuar, logrando el mayor desempeño de la misma y de esta manera ayudando a la consecución de un adecuado diseño.

El bagazo de caña al ser un producto fibroso, ver figura 1.7, no puede ser sometido a fuerzas de compresión para lograr su fragmentación, por su

naturaleza lo más recomendable son fuerzas de impacto y cizalla para lograr desgarrarlas o cortarlas en los tamaños requeridos para su posterior manejo.



Figura 1.7. Estructura interna de la caña de azúcar.
Fuente: www.microbiologiaumh.blogspot.com

1.1.6. HUMEDAD

Los materiales fibrosos tienden a acumular cantidades de agua y a variar sus propiedades interna en la presencia de líquidos. La presencia de humedad, puede derivar en un embotamiento del molino causando una afectación directa en la capacidad de producción y eficiencia de la molienda. Cuando el material es carente de humedad, se transforma el proceso en una molienda seco.

Existen ciertos materiales a los que se les tiene que adicionar una mínima cantidad de agua, pues este proceso produce una cantidad considerable de polvo que puede afectar la salud del personal que trabaja cerca y desembocar en enfermedades de carácter respiratorio si no se toman las medidas adecuadas.

1.1.7. REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA

En muchas de las industrias de alimentos, en su manufactura, es muy común la necesidad de desmenuzar los sólidos con la aplicación de fuerzas mecánicas. Existen varias razones para tal efecto:

- La reducción del tamaño puede facilitar la extracción de un constituyente deseado, contenido en una estructura compuesta, como sucede por ejemplo en la obtención del jarabe de la caña de azúcar.
- La reducción del tamaño, puede ser un requerimiento específico del producto.
- La mezcla íntima corriente es mucho más fácil con partículas de tamaño pequeño, lo que ayuda sobre todo en la producción de formulaciones, sopas empaquetadas, etc.

En casos específicos, la disminución del tamaño del bagazo de caña, es una necesidad imprescindible para todo el proceso de producción de champiñones.

1.1.8. DISPOSITIVOS PARA REDUCCIÓN DE TAMAÑO

La molienda es una operación unitaria que reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida. La reducción se lleva a cabo dividiendo o fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado.

Los métodos de reducción más empleados en las máquinas de molienda son compresión, impacto, frotamiento de cizalla y cortado. Ver tabla 1.1 y tabla 1.2.

Tabla 1.1. Tipos, modos y aplicaciones de equipo usado para la reducción mecánica de tamaño.

Tipo	Modo de acción	Aplicación
Triturador de Quijadas	Moler, romper	Reducción no muy fina de gran cantidad de sólidos de gran tamaño
Triturador Giratorio	Moler, romper	Reducción no muy fina de mineral duro
Triturador de Rodillos	Moler, aplastar	Para muchos productos alimenticios blandos como harina, soya y almidón
Molino de Bolas	Moler, romper	Reducción media de sólidos
Molino de Martillos o Impactores	Romper, desgarrar, cortar, triturar	Reducción de sólidos de mediano tamaño a dimensiones pequeñas o polvo.
Molino de frotación	Aplastar, desgarrar	Se usa con sólidos blandos, una cara móvil frota contra una cara fija plana estriada.

Fuente: Propia e investigación en www.google.com.ec

Tabla 1.2. Factores a considerar para la selección de equipos de reducción de tamaño.

Factor	Detalle
Propiedades del materia a triturarse	Conocer del material la resistencia al corte y la ductilidad (características mecánicas).
Requisitos de tamaño para los materiales triturados por componentes	Trituración no uniforme se puede obtener por molinos de matillos; y uniforme, con trituradores de alimentación.
Método de alimentación	El equipo debe estar provisto de una capacidad adecuada de la tolva y los transportadores de alimentación.
Tipo de operación	Continua o intermitente.
Características operacionales	Necesidades de energía, requisitos de mantenimiento, simplicidad de operación, rendimiento y emisiones (ruido, polvo, residuos).
Localización	Consideraciones del sitio: Espacio, altura, acceso, ruido y limitaciones ambientales.
Almacenamiento y transporte de materiales	Requisitos para el material después de la reducción de tamaño y en función de operaciones posteriores.

Fuente:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358012/ContLin/leccin_19_triturado_y_molido.html

1.1.9. FACTOR DE RELACIÓN DE REDUCCIÓN

Como último aspecto a tener en cuenta, dentro de un flujo de reducción de tamaño, se menciona el factor RR (relación de reducción) el cual sirve para vaticinar la reducción final de determinado equipo de molienda.

Por ejemplo, durante una operación de molienda fina se puede lograr un RR de 10:1 y en las trituradoras groseras solo se alcanza a un RR de 8:1. Con la siguiente fórmula se permite encontrar la relación de reducción así:

$$RR = \frac{\text{Tamaño Medio de la carga}}{\text{Tamaño Medio del Producto}} \quad (1.1)^6$$

Los valores de cada tamaño están directamente relacionados con el método de medición, usualmente se utiliza el de diámetro aritmético, el cual consiste en

⁶ Colina L. (n.d) Reducción de tamaño de alimentos. Obtenido de [Mhttp://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red_tam_solidos_intro.pdf](http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red_tam_solidos_intro.pdf). pág. 28

encontrar la relación de tamices a partir de muestras de los flujos de alimentación y salida.

1.1.10. CARACTERÍSTICAS PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPOS

El objetivo principal de una reducción de tamaño eficiente es lograr el proceso de la manera más económica posible y en el menor tiempo. El costo de compra, operación y mantenimiento son rubros muy importantes que juegan un papel preponderante al momento de seleccionar una alternativa.

Construcción, fiabilidad, transporte y economicidad son los factores principales que hay que tomar en cuenta al momento de la selección del equipo. Es necesario el considerar las diferentes alternativas al momento de diseñar la máquina que satisfaga las necesidades del proceso.

En general, es necesario conocer las características, la materia prima, los aparatos disponibles y el producto final.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las plantas de producción de champiñones crean la necesidad de contar con maquinaria para el proceso de trituración del bagazo de caña, pilar principal dentro de su sistema de producción.

La empresa INVEDELCA S.A. cuenta con un molino construido de forma artesanal sin las más mínimas especificaciones técnicas o la supervisión de algún ingeniero. Su producción es deficiente y presenta graves problemas en su mantenimiento.

El problema principal es la baja producción, con un promedio de 125 kg/hora, lo que representaba un retraso de al menos 2 días para poder obtener las 3 toneladas que se necesitan para poder hacer un lagarto de compost.

La máquina de la empresa también necesita la asistencia de hasta 4 personas en su funcionamiento y trabajo, uno adicional pendiente de desconectarla en caso que se trabe.

El molino actual presenta varias paras debido a su deteriorada estructura. Constantemente se detiene el trabajo y hay que llevarlo a reparaciones en sus estructuras las cuales presentan muchos remiendos que no garantizan su fiabilidad.

El eje de molienda, aunque funcional, se encuentra desbalanceado y presenta la perdida de varios de los martillos de molienda, lo que no garantiza la obtención del producto deseado.

Lo anterior significa un compendio de razones por las cuales la empresa necesita la reposición de su antiguo molino con uno que satisfaga las necesidades actuales de la agrupación y sea acorde a las proyecciones de crecimiento que la empresa se ha planteado.

El sentido de este proyecto de titulación se enfoca en el diseño y la construcción de un molino triturador de bagazo que tenga la capacidad de moler o triturar 600 kg/ hora, en el cual solo sea necesario la intervención de 2 trabajadores y cumpla la meta de 3 toneladas diarias en jornadas de 8 horas, minimizando al máximo las paradas por daños y generando un adecuado sistema de mantenimiento que prolongue la vida útil del mismo.

1.3. PROCESO ACTUAL DE TRABAJO

La empresa necesita actualmente de entre 2 a 3 días de labor para triturar las 3 toneladas de bagazo necesario para cada lagarto, tomando en cuenta que el molino actual trabaja 8 horas diarias, este produce 125 kg/hora de bagazo de caña triturado. Ver figura 1.8.

El bagazo de caña viene del proceso de extracción del jugo de caña de azúcar de las grandes productoras de azúcar del país. Al llegar a la empresa cuenta con dimensiones que van desde los 100 mm a los 2500 mm de largo y de entre los 5 mm a 60 mm de ancho.



Figura 1.8. Molino existente de bagazo. Fuente: Invedelca S.A.

La empresa, para su ritmo de producción, precisa de 3 toneladas diarias de bagazo para poder realizar el armado de los lagartos y cumplir con el programa estricto de producción que tienen. La meta es generar dicha producción de bagazo triturado en 8 horas de trabajo.

1.4. NECESIDADES DE LA EMPRESA

El molino actual de la empresa está construido en base a modelos y gráficos de maquinaria similar, además de no cumplir con las necesidades, genera varios problemas en el trabajo

Como se anota anteriormente, el bagazo de caña es uno de los elementos primordiales dentro de la producción de champiñones de excelente calidad. Este aporta sustento a la estructura inicial y con el pasar de los procesos seguirá siendo soporte importante y además el generador de los inter espacios estructurales necesarios para poder lograr una buena circulación del aire dentro del compost

Las necesidades de la empresa son referentes a la longitud del bagazo, se desea que este antes de ser mezclado con el resto de elementos y formar el compost tenga las dimensiones de longitud que vayan de entre los 100 mm a los 200 mm, por lo cual se necesita que la maquinaria que triture el bagazo de tal manera que garantice el rango de longitudes deseadas.

La máquina además de proveer de las dimensiones necesarias para la empresa, deberá producir en un tiempo menor al actual toda la carga de material indispensable para la producción.

1.5. REQUERIMIENTOS DEL USUARIO

El molino de bagazo de caña es una maquinaria concebida para la molienda o trituración. Su fortaleza radica en poder triturar a grandes velocidades cantidades muy grandes de bagazo de caña, hasta reducirlo a proporciones aceptables por la empresa.

El molino debe presentar por lo tanto las siguientes características técnicas:

- Entregar bagazo de caña triturado en longitudes que vayan de entre los 100 mm a los 200 mm.
- Generar en promedio 600 kg de bagazo de caña por hora de trabajo realizado.

Estas especificaciones son orientadas a satisfacer las necesidades de la empresa en cuanto a su producción.

1.6. ANÁLISIS FUNCIONAL

El molino basa su funcionalidad completamente en satisfacer la necesidad de entregar bagazo molido de acuerdo a las necesidades de la empresa. Se reducirá el número de horas de trabajo, con lo cual el consumo de energía del molino de bagazo disminuya. Se maximizará el trabajo del molino, ahora producirá mayor cantidad de bagazo triturado en menor tiempo de trabajo.

El sistema propuesto presenta la alternativa de poder variar el tamaño del bagazo en relación a la velocidad que el motor puede suministrar al eje.

El mantenimiento del molino se programa de acuerdo al mantenimiento general del resto de maquinarias de la empresa, de tal manera que se prolonga su tiempo de vida útil.

El nuevo molino debe presentar mejoras que beneficien a la empresa, reduciendo costos de producción y mantenimiento y mejorando notablemente la producción del mismo.

El personal que manipula el molino tanto en su mantenimiento como en su operación será instruido adecuadamente por personal capacitado.

CAPÍTULO 2

2. ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

2.1. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño que satisfacen las necesidades del usuario, en este caso la empresa INVEDELCA S.A. es el de entregar, en promedio, 600 kg/h de bagazo de caña triturado en dimensiones de 100 mm a 200 mm de longitud.

Los parámetros que el diseñador serán todos aquellos que ayuden a concretar un diseño óptimo que ayuden a seleccionar una alternativa adecuada para la empresa.

2.1.1 MATERIA PRIMA A PROCESAR

El producto, el bagazo de caña, es el residuo de un proceso posterior que es la extracción del jugo de caña para la producción de azúcar o el residuo de la destilación de la caña de azúcar para poder obtener aguardiente.

Dentro de la producción del compost, la base alimenticia del hongo, es un elemento que proporciona el soporte estructural para el proceso de descomposición de todos los elementos constitutivos del compost, se degraden de una manera adecuada y el compost sea el óptimo.

2.1.2 MATERIAL BASE DEL PROTOTIPO

El material del cual debe ser constituido la máquina no necesita ser de extremo cuidado en cuanto a contaminación, el aliciente principal del material será el de soportar el desgaste que se dé por el contacto con el producto durante su molienda.

2.1.3 MANEJO DEL EQUIPO

El control y operación del equipo no debe presentar mayor complejidad para el operario. El consumo energético del mismo no debe alterar en demasía la planilla de consumo de la empresa pues se busca un equipo energéticamente eficiente. Además debe facilitar tanto su uso como su mantenimiento y reparación en caso que algún desperfecto. La limpieza y el costo de mantenimiento también deben ser bajos y manejables para que el prototipo pueda ser masificado en un futuro.

2.1.4 LIMITACIÓN EN EL DISEÑO

El parámetro más importante dentro del diseño es garantizar una producción de 3 toneladas por día de trabajo (8 horas diarias) de bagazo molido en las dimensiones que serán un promedio de entre 10 a 15 cm de largo que son las requeridas por la empresa. Además de lograr que el equipo sea fácilmente operado por el menor número posible de operarios (2 personas) para de esta manera maximizar el adecuado uso del personal en las labores dentro de la empresa.

2.1.5 AMBIENTE DE TRABAJO

La molienda de bagazo, debido a la naturaleza fibrosa del mismo, se convierte a veces en un proceso de molienda en seco, por lo que se debe realizar una adecuada limpieza del sitio de trabajo debido a las partículas que quedan en el ambiente y también hay que engrasar adecuadamente los elementos móviles del equipo para evitar posteriores problemas.

2.2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

En la presente sección se analizara cada una de las alternativas para la selección del presente diseño y posterior construcción.

Se anotara de manera breve las ventajas y desventajas de cada una de las

propuestas acorde a los parámetros más relevantes envueltos en el diseño y que definirán de manera más clara el camino a seguir para la selección de la mejor de las propuestas.

En el mercado no existe un aparato por excelencia para el proceso en cuestión, por lo que no hay una base preliminar por la cual seguir. Por este motivo las alternativas son pensadas y ajustadas a los parámetros generales establecidos con anterioridad y el diseño de cada una de estas alternativas está orientado a satisfacerlos.

Se propone a continuación las alternativas acordes a satisfacer el problema.

2.2.1 ALTERNATIVA 1: MOLINO DE MARTILLOS MOVIBLES

En esta máquina existe un eje sobre el cual se encuentran montados una serie de elementos llamados martillos. En las paredes laterales se encuentran otro tipo de martillos fijos. Los martillos móviles al momento de girar conjuntamente con el eje adquieren una fuerza cinética que les permite golpear y romper al bagazo conforme va ingresando en el tambor por la boca de ingreso del material que es alimentado por los operarios desde el exterior. Ver figura 2.1.

Este movimiento produce una serie de golpes que rompen el bagazo en el tamaño que se necesita. El giro del eje además mueve al bagazo triturado a través del tambor, infiriéndole una velocidad centrífuga que lo ayuda hasta el final, donde será expulsado fuera del tambor por la boca de salida.

El recorrido del bagazo por el tambor, golpeado por los martillos del eje y del tambor le llevarán al tamaño deseado.

Un motor eléctrico que mediante un juego de poleas se transmitirá el movimiento al eje. La transmisión de la fuerza se dará mediante engranajes y cadenas.

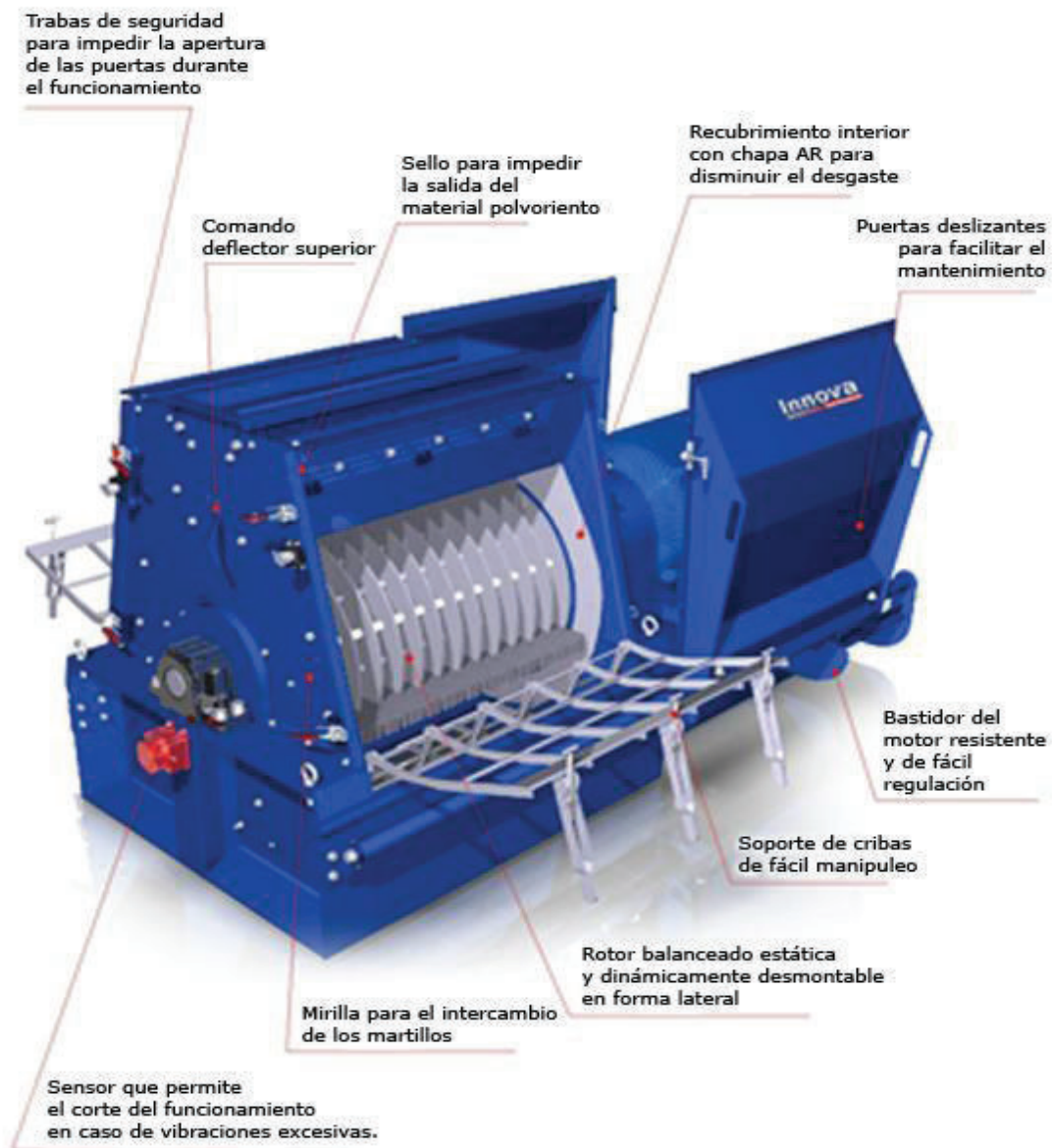


Figura 2.1. Partes de un molino de martillos móviles. Fuente: http://www.innova-ing.com/img/uploads/molinos_a_martillos/Molino-Innova.jpg

Los martillos del eje serán móviles, se ajustaran mediante tornillos hacia el eje para su sujeción.

El tambor está constituido de planchas de acero, tendrá una alta resistencia para prolongar su vida útil.

2.2.1.1 VENTAJAS

- Puede triturar grandes cantidades de bagazo de caña.
- Se puede variar de manera fácil y rápida las dimensiones del producto final.
- Es eficiente en su desempeño.

2.2.1.2 DESVENTAJAS

- Necesita de un mantenimiento continuo.
- Gran cantidad de piezas móviles que necesitan una revisión constante y minuciosa.
- Elevado costo de construcción.

2.2.2 ALTERNATIVA 2: MOLINO DE MARTILLOS FIJOS

Este molino de martillos tiene todos sus martillos soldado tanto al eje como a la estructura interna del tambor. Ver figura 2.2. El movimiento que se le imprime al eje obliga a girar a los martillos. El bagazo de caña entra por la boca de alimentación y al ingresar es arrastrado por los martillos.

El paso por los martillos del eje y los del tambor cortan el bagazo hasta las dimensiones necesarias, el eje arrastra al bagazo hasta la boca de salida donde es expulsado hacia el exterior.

El motor transmite directamente al eje la velocidad mediante un sistema de engranes y cadenas.

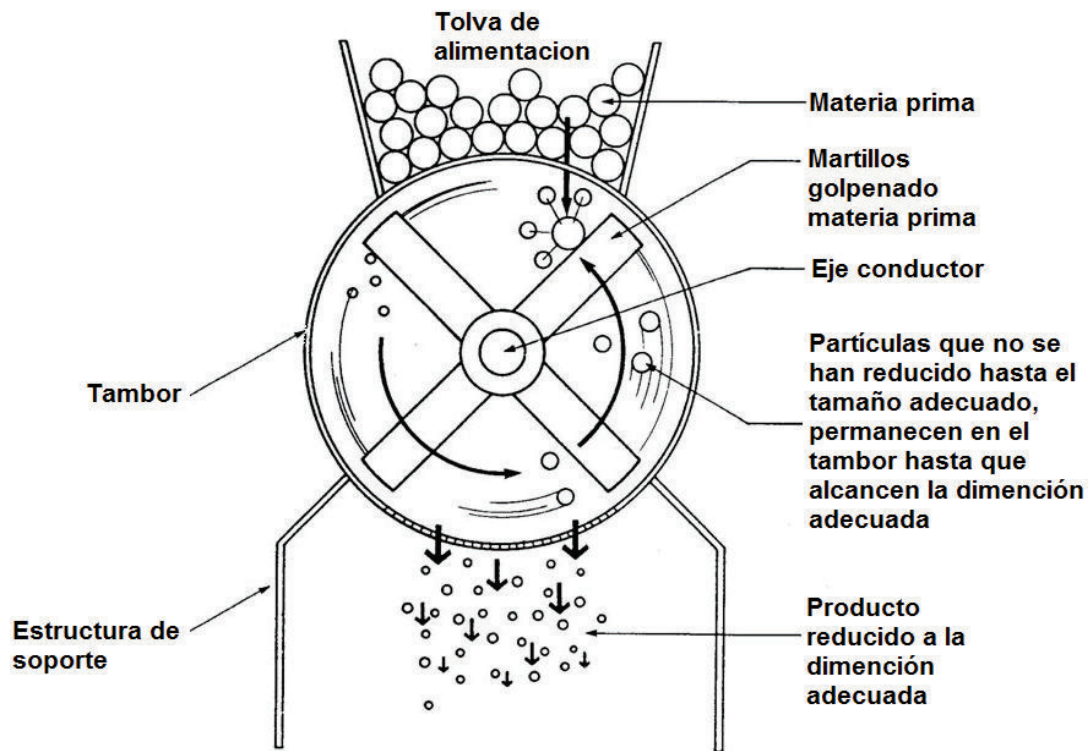


Figura 2.2. Interior de un molino de martillo fijo. Fuente: http://images.slideplayer.es/1/24575/slides/slide_12.jpg

El martillo tanto en el eje como en el tambor se encuentra soldados a una distancia de 30cm en el eje y a 3 cm entre los martillos del tambor y el eje, en tal posición garantizando que el producto al final de la molienda tendrá las dimensiones solicitadas.

2.2.2.1 VENTAJAS

- Fácil mantenimiento.
- Pocas piezas móviles.
- Fácil montaje y desmontaje para el mantenimiento.

2.2.2.2 DESVENTAJAS

- Dificultad para modificar el tamaño del producto final.
- Costo mediano de construcción.

- De gran peso y dificultad para el transporte.
- Desmontaje complicado.

2.2.3 ALTERNATIVA 3: MOLINO DE MARTILLOS

Esta opción presenta martillos fijos solo en el eje, el tambor se encuentra libre de martillos. Ver figura 2.3. El eje mueve los martillos y arrastra el bagazo de caña que ingresa por la tolva de alimentación.

La distribución de los martillos sobre el eje y su movimiento arrastran al bagazo de caña a lo largo del tambor y durante su trayecto los martillos van reduciendo el tamaño del bagazo hasta dimensiones entre los 100 y 150 mm que es el tamaño solicitado por la empresa para su proceso.



Figura 2.3. Fotografía de un Molino de martillo. Fuente:
<http://g02.s.alicdn.com/kf/HTB1OT66FVXXXXXGXpXXq6xXFXXX0/200672996/HTB1OT66FVXXXXXGXpXXq6xXFXXX0.jpg>

El material triturado llega a la última etapa del eje y por la disposición de los martillos finales, expulsan el material por la tolva de salida hacia el exterior.

Un motor eléctrico es el encargado de dar el movimiento al eje del molino mediante un sistema de engranajes y cadenas.

2.2.3.1 VENTAJAS

- Bajo costo de fabricación.
- Menor costo de mantenimiento
- Eficiente.
- Fácil variación de las dimensiones para el producto final.
- Estable, no presenta problemas por vibración.

2.2.3.2 DESVENTAJAS

- De difícil transporte.
- De gran peso.
- Reparaciones costosas.

2.3. PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

2.3.1 HOMOGENEIDAD DEL PRODUCTO

La principal característica que debe cumplir el equipo, es entregar un producto final con las dimensiones adecuadas para la empresa. La valoración será mayor en cuanto mayor sea la homogeneidad del producto final.

2.3.2 FACILIDAD DE MANIOBRABILIDAD

Este factor determina la sencillez que se presenta a los operarios para el manejo de la maquina durante la preparación antes de realizar, durante y al final del proceso de producción. Una valoración alta indica que el equipo es de fácil manejo.

2.3.3 FACILIDAD DE MANTENIMIENTO

Este parámetro determina la simplicidad que proporciona la máquina para poder ser sometida a cualquier tipo de mantenimiento, su facilidad para el montaje y desmontaje de las piezas que la conforman. La valoración se incrementara en cuanto más facilidad presente la máquina para su mantenimiento.

2.3.4 COSTO

Es necesario una valoración del costo del diseño, costo del material, costo de los procesos de construcción y montaje, costo del mantenimiento, costo del número de elementos que conforman las diferentes alternativas para estimar el valor total de cada una, siendo el de mayor valoración el más económico.

2.3.5 TAMAÑO Y PESO

Relación entre la cantidad de masa, la facilidad del montaje y desmontaje del aérea de trabajo que ocupa durante el proceso. Tiene una mayor valoración en cuanto menor sea su tamaño y peso.

2.3.6 VIDA ÚTIL

Depende de la suma de muchos factores como la resistencia de los materiales, el mantenimiento preventivo que reciba la máquina, el uso adecuado que se le dé. Entre mayor sea la valoración, mayor será la vida útil de la máquina.

2.3.7 RUIDO

Es importante, determinara la comodidad que brinde al personal que trabaje directamente en la máquina y los que se vean afectados, dependerá del sistema de transmisión que utilice y la ubicación dentro de la empresa.

2.3.8 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

Se refiere a la cantidad de producto termina que puede entregar por tiempo de trabajo. Un valor mayor no indica que existe un menor tiempo de procesamiento.

2.4. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

A continuación se presenta la ponderación de las alternativas de acuerdo a los parámetros propuestos. Ver tabla 2.1.

Tabla 2.1. Selección de Alternativas

PARAMETROS	IDEAL	ALTERNATIVAS		
		1	2	3
Homogeneidad del producto	9/9	7	7	7
Facilidad de maniobrabilidad	7/7	4	5	5
Facilidad de mantenimiento	9/9	2	7	7
Costo	10/10	9	3	4
Tamaño y peso	5/5	3	4	4
Vida útil	9/9	6	6	7
Ruido	7/7	5	4	5
Capacidad de producción	9/9	8	7	8
TOTAL	65/65	44	43	47

Fuente: Propia.

De acuerdo a la Tabla 2.1. se puede ver que la mejor opción es la alternativa 3.

2.5. PROTOCOLO DE PRUEBAS

El protocolo de pruebas consta de un conjunto de actividades de control propuestas que debe cumplir el prototipo para determinar su idoneidad.

Anexo6

Estás pruebas verifican los siguientes aspectos del prototipo:

- Verificaciones físicas
- Pruebas en vacío
- Pruebas con carga

2.5.1 VERIFICACIONES FÍSICAS

Estás se refieren a realizar mediciones de las dimensiones principales del prototipo, con esta garantizamos que la máquina cumpla con las especificaciones y tolerancias establecidas en el diseño.

Para establecer estas dimensiones, usaremos elementos de medición como flexometro, calibrador pie de rey y micrómetro.

2.5.2 PRUEBAS EN VACÍO

Son el conjunto de actividades que se realiza para determinar que el prototipo trabaje de manera correcta y no presente alguna anomalía en su sistema eléctrico, sistema de transmisión o estructura mecánica.

Básicamente se realiza una inspección visual de todos los sistemas, salvo el eléctrico el cual deberá ser monitoreado con la ayuda de un multímetro.

Se realiza 4 pruebas sin carga de 15 y 30 minutos para comprobar el correcto funcionamiento de todos los sistemas.

2.5.3 PRUEBAS CON CARGA

Son todas las pruebas que se realiza para verificar la producción de materia procesada a plena carga, bajo condiciones similares a las cuales realiza su trabajo y además nos ayuda a determinar si cumple con las necesidades del cliente.

Estas pruebas se realizan en un número de 5, primero durante 30 minutos y luego durante 60 minutos, controlando la cantidad de materia procesada y verificando que cumpla con las dimensiones establecidas por el cliente.

Se hace también un control del sistema de transmisión, sistema eléctrico y estructura, para corroborar su desempeño aprobado con carga en vacío.

En el Anexo 6 se presenta el formato completo del Protocolo de Pruebas.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

3.1. METODOLOGÍA

Para el correcto diseño de cualquier máquina, hay que tomar en cuenta la metodología de diseño que se vaya a emplear.

Hay que tomar en cuenta al momento de seleccionar los elementos, cuáles deben ser fabricados o contruidos y cuáles son seleccionados acorde a la existencia en el mercado local pensando en el mantenimiento de la máquina en el futuro.

En la ingeniería hay una variada gama de metodologías para poder determinar las teorías de diseño que serán utilizadas en la concepción de una determinada máquina.

3.2. DISEÑO DEL PROTOTIPO

El diseño de la máquina tiene que garantizar que puede romper el bagazo de caña en las dimensiones que necesita la empresa y que produzca la cantidad de materia procesada que se necesita.

El volumen de bagazo de caña a ser triturado será:

$$V = \frac{C}{\rho} \quad (3.1)^7$$

Donde, V = volumen de bagazo

 C = Peso de bagazo en función del tiempo (capacidad)

⁷ Guijarro, G. I., & , H. X. (2011). *Diseño y construcción de una máquina picadora de bagazo de caña de azúcar* . Riobamba: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

ρ = densidad de bagazo de caña de azúcar 200 kg/m^3 ⁸

$$V = \frac{600 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 3 \text{ m}^3/\text{h} = 3 \times 10^9 \text{ mm}^3/\text{h}$$

Medidas promedio de una caña:

Diámetro en la base: $d = 60 \text{ mm}$

Altura: $h = 2500 \text{ mm}$

V_b = volumen del bagazo de caña

$$V_b = \frac{3}{4} Ah \quad (3.2)^9$$

$$V_b = \frac{3}{4} (\pi * 30^2)(2500) \text{ mm}^3 = 5301437 \text{ mm}^3$$

$$V_b = 5301437 \text{ mm}^3 * 27,5\% = 1457895 \text{ mm}^3$$

La cantidad de bagazo de caña a triturarse por hora corresponde a:

$$\text{Cañas} = \frac{V}{V_b} = \frac{3000 \frac{\text{mm}^3}{\text{h}}}{1457895 \text{ mm}^3} \approx 2057 \frac{\text{Cañas}}{\text{hora}}$$

Ahora para garantizar que el bagazo de caña tenga las dimensiones solicitadas por la empresa, debemos tener dimensión promedio de 150mm, para los cálculos.

En teoría cada golpe de un martillo divide al bagazo de caña en dos partes, se necesitan 16 golpes para reducir a la dimensión de 150mm y con una dimensión de 2500mm de largo de la caña, se necesitan 16 martillos.

⁸ Guijarro, G. I., & , H. X. (2011). *Diseño y construcción de una máquina picadora de bagazo de caña de azúcar*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

⁹ Guijarro, G. I., & , H. X. (2011). *Diseño y construcción de una máquina picadora de bagazo de caña de azúcar*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

Se divide a los martillos en un juego de 12 distribuidos en grupos de 3 a lo largo del eje para que trituren al bagazo de caña, además de colocan 3 juegos de 3 aletas entre los martillos con una inclinación de 10° respecto al eje, con la finalidad de genera una corriente de aire que mueva al bagazo triturado a lo largo del tambor y un juego de 3 aletas al final, perpendiculares al eje para expulsar el producto terminado fuera de la máquina.

3.2.1 CÁLCULO DEL VOLUMEN INTERNO DEL TAMBOR

Debido a que no se conoce una formula adecuado o exacta que ayude a determinar el tamaño de la máquina, utilizamos una relación de reducción, con esta se puede predecir la conducta probable del aparato.

$$RR = \frac{\text{Tamaño Medio de la carga}}{\text{Tamaño Medio del Producto}} \quad (3.3)^{10}$$

Tomando como base las dimensiones del molino antiguo se determina una relación de 1:2.5, que da un diámetro de tambor de 700 mm y una longitud de 1700 mm para el prototipo.

Siguiendo los mismo lineamientos, la longitud de la cuchillas deben ser de 250 mm, con lo que queda un a holgura de 30 mm entre la cuchilla y el interior del tambor.

La dureza del bagazo de caña es menor a la del acero, por lo cual al entrar en contacto el elemento con menos dureza se desgasta frente al más duro. Por lo tanto esto facilita la elección de un acero AISI como el material para el tambor.

3.2.2 RESISTENCIA AL CORTE DEL BAGAZO DE CAÑA

La determinación de la resistencia al corte se lo realiza de una manera experimental. Utilizando los datos obtenidos en una tesis previa (Guijarro, G. I., &

¹⁰ Colina L. (n.d) Reducción de tamaño de alimentos. Obtenido de [Mhttp://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red_tam_solidos_intro.pdf](http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red_tam_solidos_intro.pdf). pág. 28

Paguay, H. X. (2011). *Diseño y construcción de una máquina picadora de bagazo de caña de azúcar.* se utiliza el dato el valor obtenido y utilizado que es de $12,15 \text{ kgf/cm}^2 = 1.2 \text{ N/mm}^2$ (Anexo 1). Con este valor se continúa en el cálculo y diseño de los elementos que intervienen en la molienda.

3.2.3 EJE DE TRITURACIÓN

El eje de trituración a más de soportar a los martillos, tiene también la función de expulsar el material triturado luego de atravesar el tambor.

Se tiene un bosquejo de los elementos que van montados en el eje del rotor, que son: una polea, dos chumaceras, 12 martillos y 12 aletas para expulsar el material fuera del tambor. Ver figura 3.1.

Las aletas están distribuidas a lo largo del eje para arrastrar el material hasta la boca de salida. Se distribuyen de manera uniforme sobre y alrededor del eje.

Se deja un espacio entre el último grupo de martillos y las aletas de salida para evitar que la si se da una acumulación de bagazo triturado, no siga siendo molido y termine variando la longitud útil.

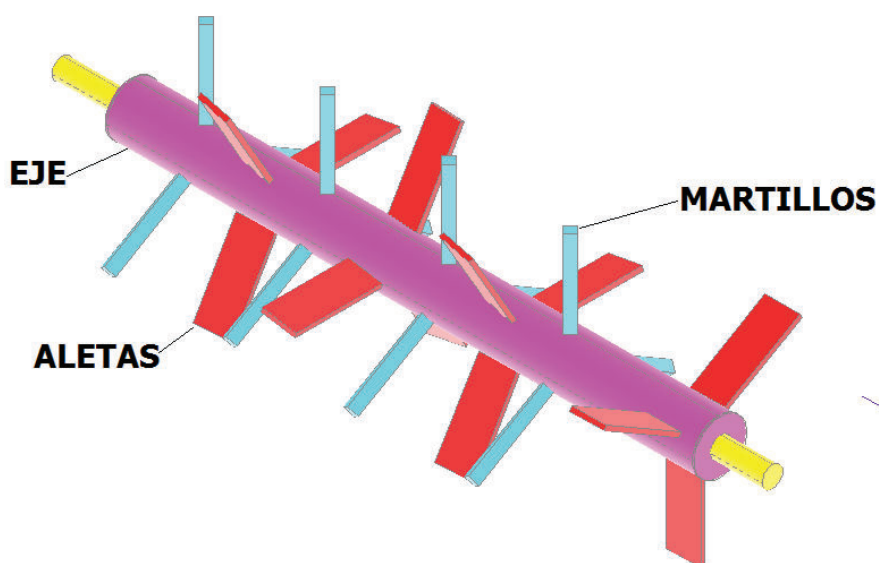


Figura 3.1. Esquema del eje con martillos y aletas. Fuente: Propia.

Ahora necesitamos conocer la velocidad a la cual debe moverse el eje para que los martillos cumplan su cometido.

Calculamos la velocidad de ingreso del bagazo de caña. Hay que tomar en cuenta que el bagazo es suministrado por la tolva de alimentación, mediante la ayuda de obreros que la depositan y por medio de gravedad van cayendo dentro del sistema de trituración.

La alimentación del bagazo de caña hacia el eje de trituración es manual, por lo que se necesita de al menos 2 personas para asegurar un ingreso constante del bagazo para que cumpla con la cantidad de bagazo triturado propuesto.

Para determinar la velocidad de ingreso del bagazo de caña tomamos en cuenta una longitud igual a que si la caña mantuviera tu longitud original, tomando en cuenta que al momento de salir de un trapiche, la longitud del bagazo de caña se mantiene casi constante:

$$v_i = \left(\frac{\#Cañas}{h} \right) * L_b \quad (3.4)^{11}$$

$$v_i = \left(2057 \frac{cañas}{h} \right) * 2500mm = 5142500 \frac{mm}{h}$$

Ahora se busca la relación entre el número de revoluciones vs el número de martillos en el eje triturador.

Los martillos estarán dispuestos a lo largo del eje de tal manera que su movimiento triture el bagazo y las aletas con su movimiento ayude generando una corriente de viento lo suficiente como para mover el bagazo de caña molido atreves de toda la cámara de trituración hasta ser expulsado por la boca de salida, que se encuentra al otro extremo del tambor.

¹¹ Guijarro, G. I., & , H. X. (2011). *Diseño y construcción de una máquina picadora de bagazo de caña de azúcar* . Riobamba: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

El bagazo debe caer sobre el eje de molienda, sobre el primer grupo de martillos, ellos en el primer pase lo reducen de tamaño, y las aletas con su movimiento empujan de manera continua hacia el siguiente juego de martillos y así sucesivamente hasta salir por la boca de salida.

Para determinar las revoluciones necesarias tomamos en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$t_{a'b'} = \frac{\theta}{\omega} \quad (3.5)^{12}$$

$$t_{ab} = \frac{e}{v} \quad (3.6)^{13}$$

$$t_{a'b'} = t_{ab}$$

$$\frac{\theta}{\omega} = \frac{e}{v}$$

De donde:

$$\theta = 1 \text{ rev cada } 3 \text{ martillos} = 2\pi/3 = 2,0944$$

ω = velocidad angular

$$v = 5137500 \text{ mm/h}$$

$$e = 150 \text{ mm (para } 3)$$

$$\frac{2,0944}{\omega} = \frac{150/3000\text{mm}}{5137500\text{mm/h}}$$

$$\omega = 23911,06\text{rad/h} = 6,642\text{rad/s}$$

$$\omega \approx 900\text{RPM}$$

3.2.3.1 CÁLCULO DEL MARTILLO

El cálculo de los martillos es el primer paso, para lo cual tomaremos en cuenta como un elemento empotrado sometido a una fuerza distribuida a lo largo de la cara en contacto con el bagazo de caña. Ver figura 3.2.

¹² Guijarro, G. I., & , H. X. (2011). *Diseño y construcción de una máquina picadora de bagazo de caña de azúcar*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

¹³ Guijarro, G. I., & , H. X. (2011). *Diseño y construcción de una máquina picadora de bagazo de caña de azúcar*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

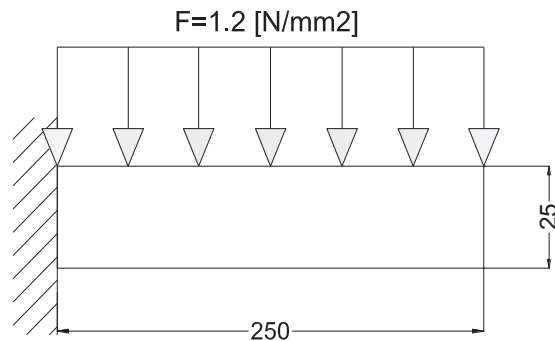


Figura 3.2. Diagrama de fuerzas sobre martillo. Fuente: Propia

Se selecciono una longitud de 250 mm como interpolación de las dimensiones de los martillos de la máquina antigua, la forma cuadrada del elemento se lo tomo en base a que es un elemento que fácilmente se puede encontrar en el mercado y cumple las condiciones necesarias para ser utilizado como martillo de corte en un molino.

Utilizando el programa de análisis de esfuerzos y deformaciones se logra determinar que el elemento, considerando con un área cuadrada de 25x25mm.

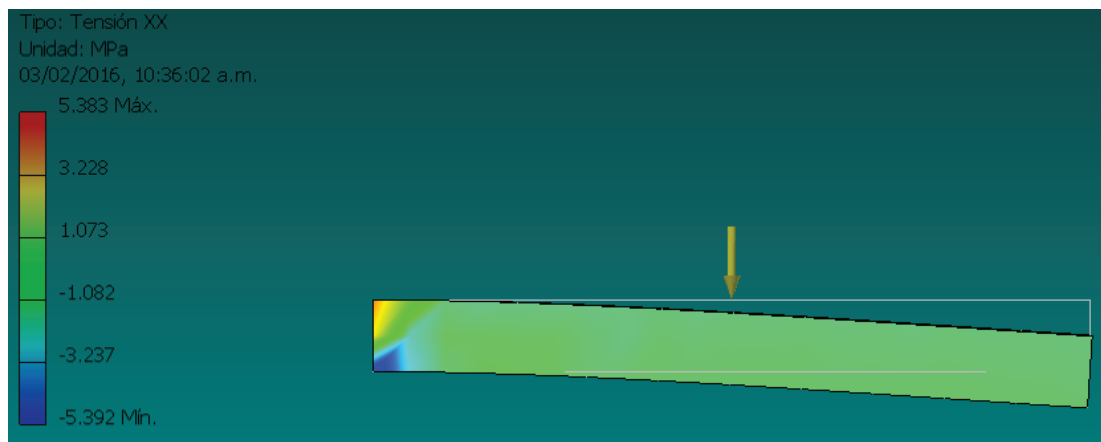


Figura 3.3. Resultados tensión en XX obtenidos en Inventor. Fuente: Propia, programa Inventor 2012

La tensión máxima de 5.383MPa (ver figura 3.3), tomando en cuenta que los martillos irán soldados y la soldadura acepta hasta de 400 a 500 MPa¹⁴, es aceptable dentro de los parámetros de diseño y por tal motivo no representa

¹⁴ Asta E. (n.d.) Soldadura de estructuras de acero. Obtenido de http://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/soldadura/1_introd_soldadura_estructv.pdf, pág. 20

peligro a que martillo se rompa o su soldadura no soporte las condiciones de trabajo.

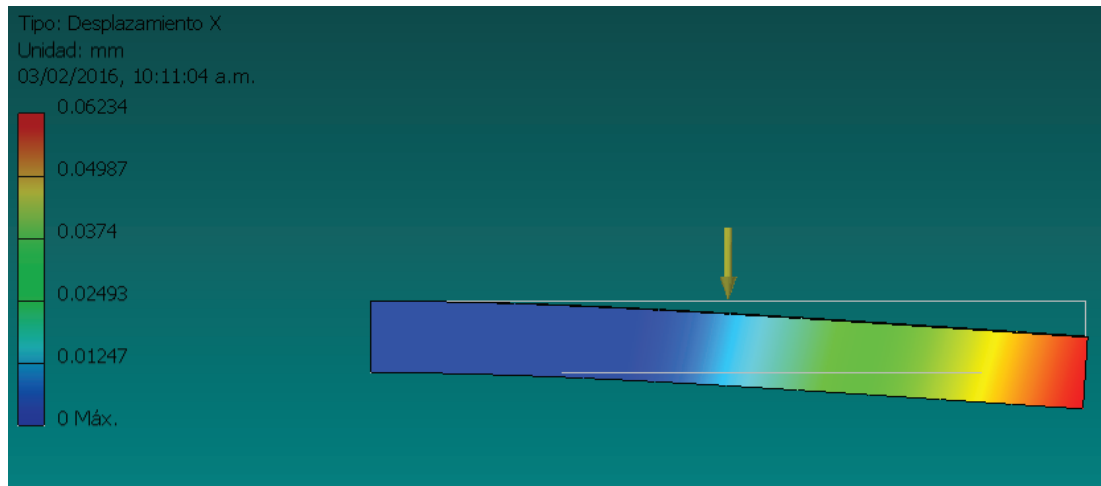


Figura 3.4. Resultados de desplazamiento obtenidos en Inventor. Fuente: Propia, programa Inventor 2012

El martillo bajo las condiciones de diseño de un área de 25x25 mm y una longitud de 250 mm con una fuerza distribuida equivalente a una carga puntual en el punto medio del elemento igual a 300N equivalente a estar sumergido en bagazo de caña, su resultado nos indica que presenta una deformación máxima de 0.06234 mm lo cual demuestra que el diseño y las dimensiones del martillo son aceptables. Ver figura 3.4.

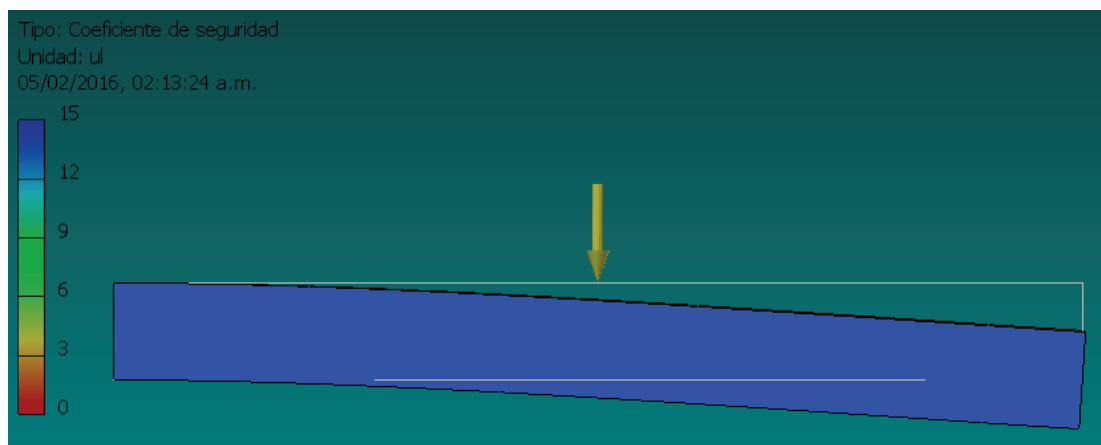


Figura 3.5. Coeficiente de seguridad. Fuente: Propia, programa Inventor 2012

El coeficiente de seguridad es de 15, debido a que la máquina se encuentra en contacto con el personal y de esta manera se garantiza que se encuentre protegido durante el funcionamiento de la misma. Ver figura 3.5.

Cabe anotar que el martillo cuadrado se coloca de tal manera que una de sus aristas es la que corta al bagazo y las condiciones en las cuales el martillo se encuentra sumergido totalmente de bagazo, es la condición más extrema que puede soportar.

3.2.3.2 CÁLCULO DE LA ALETA

Para el cálculo de la aleta se toma en cuenta un elemento de área grande que con el movimiento del eje genere una corriente de aire y pueda mover al bagazo de caña a lo largo del tambor.

Las condiciones en las cuales se lo evalúa, es como un elemento empotrado y sobre el cual se aplica una fuerza distribuida por su área, esta es igual a la densidad del bagazo de caña que es de $200 \text{ (kg/m}^3\text{)}^{15}$, su longitud es similar a la de los martillos y un espesor menor, su área es mayor al área de la cara del martillo.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.7)^{16}$$

Donde: ρ : Densidad de un sólido

V : Volumen

m : Masa de un sólido

$$m = \rho * V$$

$$m = 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.0125\text{m}^3$$

$$m = 2.5\text{kg}$$

¹⁵ Guijarro, G. I., & , H. X. (2011). *Diseño y construcción de una máquina picadora de bagazo de caña de azúcar*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

¹⁶ Ramos. O. (2001) Apuntes de química.

Este es el peso que una pala estándar puede contener de bagazo de caña. Se considera que la aleta este sumergida bajo 4 palas de bagazo, estará soportando un peso de 98N. Ver figura 3.6.

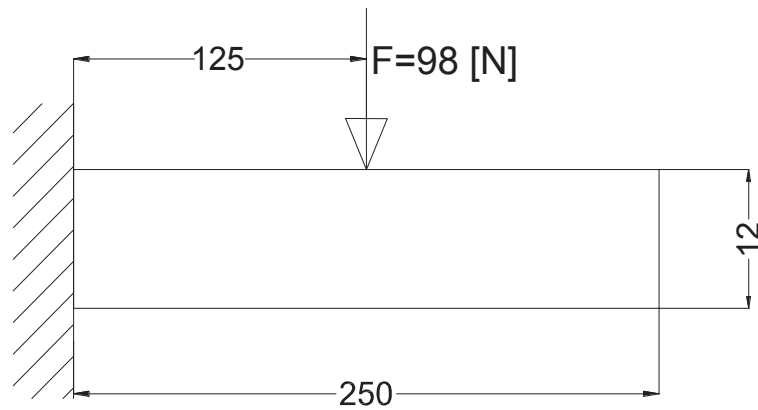


Figura 3.6. Diagrama de fuerzas de la aleta. Fuente: Propia

Utilizando el programa Inventor en las condiciones que el elemento esta empotrado y sometido a una fuerza en su centro. Ver figura 3.7.

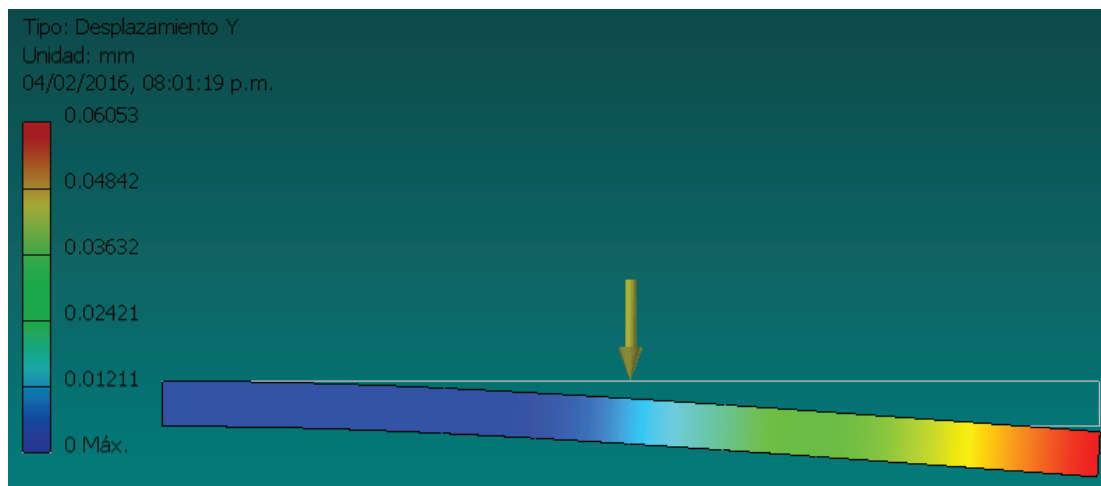


Figura 3.7. Desplazamiento en Y. Fuente: Propia, programa Inventor 2012

Se aprecia que el desplazamiento es mínimo igual a 0.06053 mm, por lo cual es aceptable para el diseño. Ver figura 3.8.

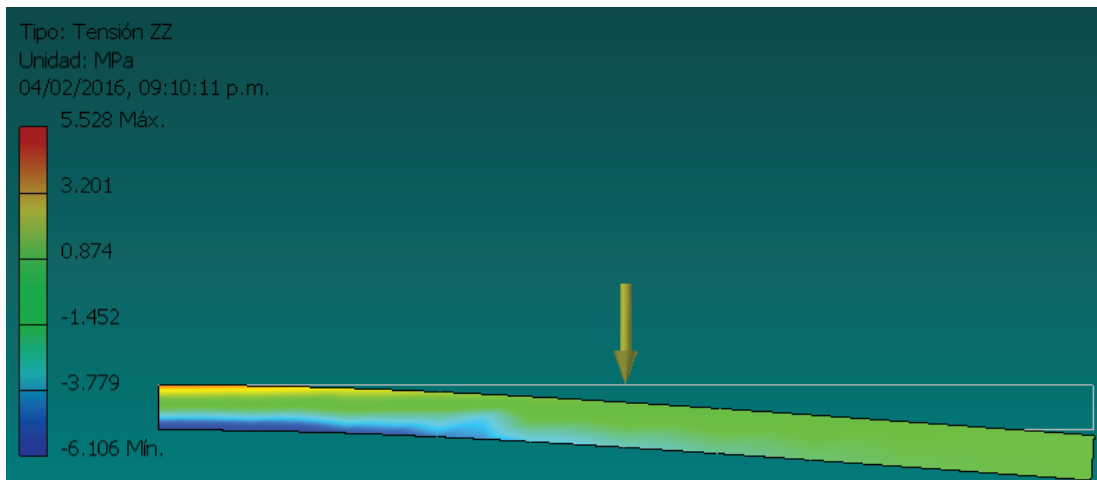


Figura 3.8. Resultado de la tensión en YY. Fuente: Propia, programa Inventor 2012

La tensión en ZZ es la máxima y no sobrepasa la tensión máxima que soporta una soldadura por electrodo que es de 400 a 500 MPa¹⁷, por lo que el elemento de 100x250x12mm, soporta las condiciones de trabajo extremas puestas a consideración para el diseño.

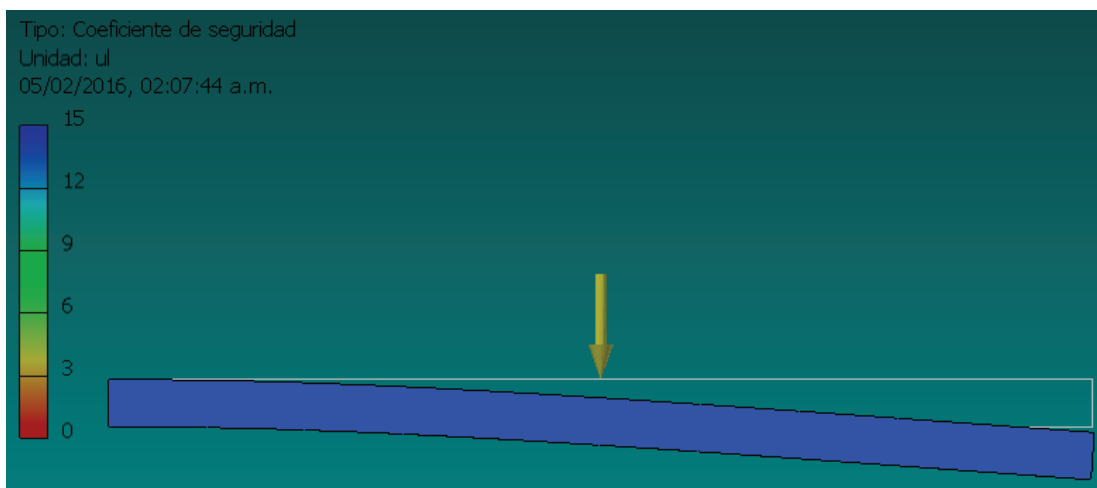


Figura 3.9. Coeficiente de seguridad. Fuente: Propia, programa Inventor 2012

El coeficiente de seguridad sugerido por el programa es de 15, que un coeficiente alto, pero tomando en cuenta que la máquina estará en contacto permanente con personal, se lo toma como válido.

¹⁷ Asta E. (n.d.) Soldadura de estructuras de acero. Obtenido de http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/soldadura/1_introd_soldadura_estructv.pdf, pág. 20

3.2.3.3 CÁLCULO DEL EJE

El cálculo se empieza primero conociendo cuales son las fuerzas que se presentan sobre el mismo, su longitud será de 2050mm de acuerdo a lo anotado anteriormente en el diseño del tambor.

Para esto necesitamos conocer la potencia del motor que da el momento principal que actúa sobre el eje. Conociendo la velocidad de 900rpm y la potencia de un motor de 15hp entregado por la empresa, se tiene que:

$$P = \frac{T}{w} (3.8)$$

$$T = 10.303 \text{ kN.m}$$

Las fuerzas que se actúan sobre al eje son:

$$M_c = 3940 \text{ kN.m}$$

$$M_M = 273 \text{ kN.m}$$

Donde: M_c = Momento de las fuerzas de martillos y aletas sobre el eje
 M_M = Momento del motor el eje más momento para mover el eje.

En los siguientes gráficos se muestran cómo actúan estas fuerzas sobre el eje.
 Ver figura 3.10.

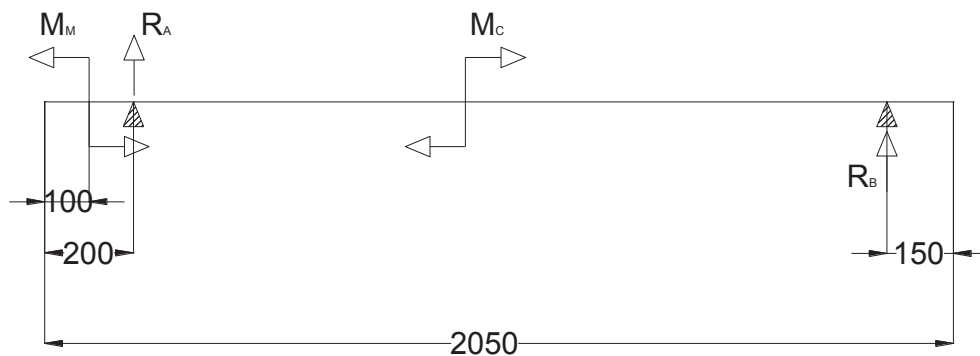


Figura 3.10. Diagrama de fuerzas sobre el eje. Fuente: Propia

De donde se obtiene que:

$$R_A = 2.74 \text{ kN}$$

$$R_B = 2.036 \text{ kN}$$

Ver figura 3.11.

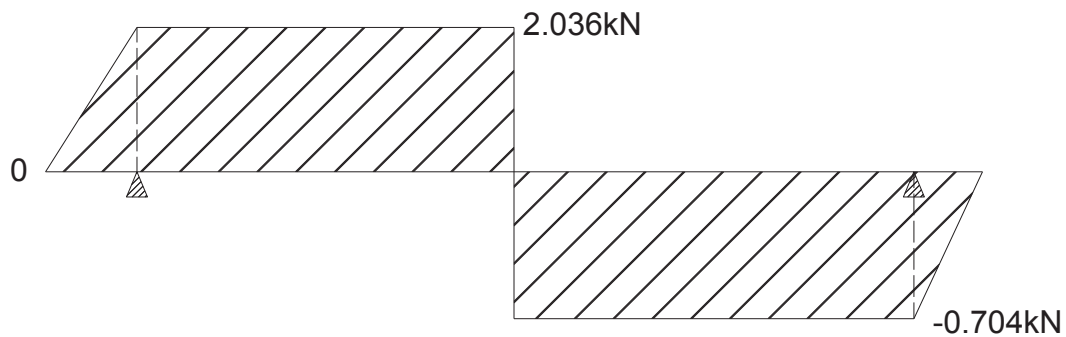


Figura 3.11. Diagrama de fuerzas cortantes sobre el eje. Fuente: Propia

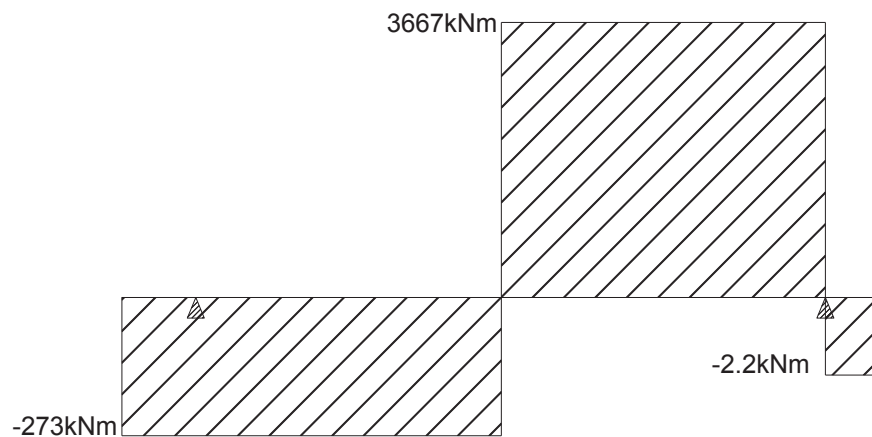


Figura 3.12. Diagrama de momentos flectores en el plano. Fuente: Propia

De los diagramas se obtiene que el momento crítico está en el punto medio del eje, donde se encuentran concentradas las cargas. $M_A = 3667 \text{ kN.m}$ Ver figura 3.12.

Conocido el momento máximo se calcula el diámetro del eje. Se selecciona un acero AISI 1020 que satisface las necesidades de nuestra máquina, cuyas características son:

$$\text{Resistencia a la fluencia } S_y = 37 \text{ MPA} = 37 \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a la tensión $S_{ut} = 68 \text{ MPA} = 68 \text{ N/mm}^2$

$$d_{min} = \left[\frac{32 \cdot \eta}{\pi \cdot S_y} (M^2 + T^2)^{1/2} \right]^{1/3} \quad (3.9)^{18}$$

Dónde: η : Factor de seguridad = 5

M: Momento flector = 3667000Nm

Mt: Momento torsor=3663000Nm

Sy: Resistencia de fluencia = 37 N/mm²

$$d_{min} = 153 \text{ mm}$$

El diámetro externo en las puntas del eje serán de 60 mm debido a que es casi imposible encontrar rodamientos de tales dimensiones de forma normal, solo bajo pedido, por lo que se realizara un cambio de sección en las puntas del eje, este cambio no afecta el desempeño de la máquina.

Límite de fatiga

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot S_e' \quad (3.10)^{19}$$

Para aceros:

$$S_e' = 0.5 S_{ut} = 34 \text{ N/mm}^2 \quad (3.11)^{20}$$

Dónde: $k_a = 0,85$ para laminado en caliente

$$k_b = 0,859 - 0,02125d = 0,81$$

$$k_c = 0,897 \text{ Para una confiabilidad de } 0,90$$

$$k_d = 1$$

$$k_f = q(K_t - 1) + 1 \quad q = 0,85 \text{ Para } r = 2,032 \text{ mm}$$

$$K_t = 1,85 \text{ Para } D/d = 2$$

$$k_f = 0,85 \cdot (1,85 - 1) + 1 = 1,72$$

$$k_e = 0,58$$

$$S_e = 42,03 \text{ N/mm}^2$$

¹⁸ Shigley J, (1985) Manual de Diseño Mecánico; Tomo 2; Capitulo 7; 3^{ra} edición, ecuación 15-1(d); pág. 249.

¹⁹ Shigley J, (1985) Manual de Diseño Mecánico; Tomo 2; Capitulo 7; 3^{ra} edición, ecuación 7-15; pág. 307.

²⁰ Shigley J, (1985) Manual de Diseño Mecánico; Tomo 2; Capitulo 6; 3^{ra} edición, ecuación 7-1; pág. 294.

El eje se encuentra sometido a flexión y torsión por lo que se tiene:

$$2\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{M * Sut}{Mt * Se} \right) = 1.68^\circ (3.12)$$

$$\sigma_a = \frac{32M * \text{sen}2\alpha}{\pi * d^3} = 5.22N/mm^2$$

$$\sigma_m = \frac{32T * \text{cos}2\alpha}{\pi * d^3} = 177.9N/mm^2$$

Se aplica la ecuación de Goodman modificada, se tiene:

$$\frac{\sigma_a}{Se} + \frac{\sigma_m}{Sut} = \frac{1}{\eta} (3.13)$$

$$\eta = 1,36$$

El valor obtenido del factor de seguridad garantiza que el eje no falle por fatiga.

3.2.4 SELECCIÓN DE CHUMACERAS

En ésta sección de analiza y selecciona las chumaceras, juego de rodamiento y caja, que se necesita para que la máquina funcione adecuadamente.

$$R_r = \sqrt{RA^2 + RB^2} (3.14)$$

Dónde:

RA y RB son las reacciones sobre los apoyos del eje, anteriormente calculados y que van a actuar sobre los rodamientos.

$$R_r = 3.41 \text{ kN} = Fr$$

Para seleccionar la chumacera se usa la siguiente ecuación:

$$L_{10} = \frac{1000000}{60n} \left(\frac{C}{Pr} \right)^p (3.15)^{21}$$

Dónde:

L_{10} = Duración nominal de las horas de servicio = 20000(industrial)

C = Capacidad de carga dinámica

Pr = Carga dinámica equivalente sobre el rodamiento

p = Exponente de la formula de la ecuación= 3 (rodamiento)

V = Velocidad de rotación = 900rpm

²¹ <http://www.skf.com/es> (n.d.) Manual de la Skf Obtenido de <http://www.skf.com/es/index.html>

El valor de seguridad de carga es:

$$\frac{C}{P} = 28$$

Como el rodamiento está sometido a una carga radial de $P=R_r=3.41\text{kN}$

Entonces:

$$C \geq 28P = 95.48\text{kN}$$

Para estas cargas y el diámetro de 60mm se selecciona una chumacera UPC 212. Ver Figura 3.13.

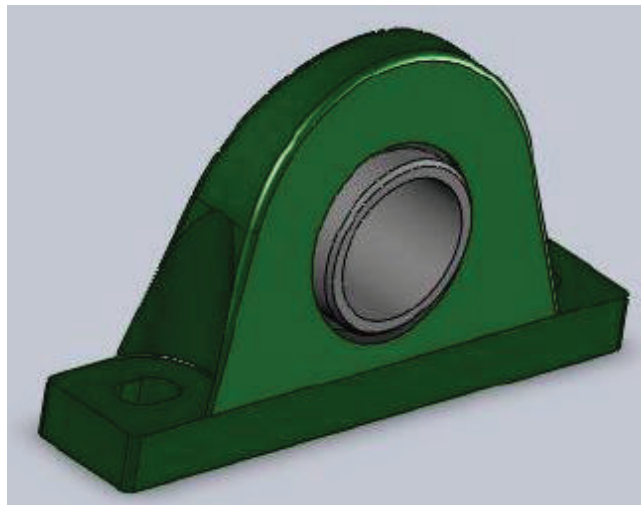


Figura 3.13. Chumacera UPC 212. Fuente: Manual de la Skf

3.2.5 CÁLCULO Y DISEÑO DE LA LENGÜETA.

Según Shigley, el diseño de la lengüeta se basa en la resistencia a la fluencia, con un factor de seguridad de 5, con un diámetro de 60mm del eje de acople del motor

Se considera una lengüeta de espesor igual a $\frac{1}{4}$ del diámetro del eje, con una distribución uniforme de las fuerzas, aunque en la realidad no se cumple puesto que un extremo es mayor que el otro. Ver figura 3.14.



Figura 3.14. Eje con chavetero. Fuente: Propia

Con el diámetro del eje de 60mm, obtenemos los siguientes valores:

$$b = 18$$

$$h = 11$$

$$z = 0,4$$

y una longitud requerida de 50 a 200

La lengüeta es de acero de transmisión con las siguientes características:

$$S_y = 235\text{MPa}$$

El torque producido por la polea es de $T = 718,68 \text{ Nm}$

La fuerza de torsión:

$$F = \frac{T}{r} \quad (3.16)$$

$$F = \frac{718,68\text{Nm}}{0,03\text{m}}$$

$$F = 23956\text{N}$$

Por la teoría de la energía de distorsión, la resistencia al cortante es:

$$S_{sy} = 0,577 S_y$$

$$S_{sy} = 0,577 * 235\text{MPa}$$

$$S_{sy} = 135,6\text{MPa}$$

La falla por corte a través del área longitudinal originará un esfuerzo:

$$T = \frac{F}{t * L} \quad (3.17)$$

Sustituyendo el torque por la resistencia dividida entre el factor de seguridad, resulta:

$$L = \frac{F * n}{S_{sy} * t} \quad (3.18)$$

$$L = 40mm$$

Para las dimensiones del chavetero respecto a las dimensiones de la lengüeta, se deja una tolerancia de -0,05. Anexo 3. Ver figura 3.15.

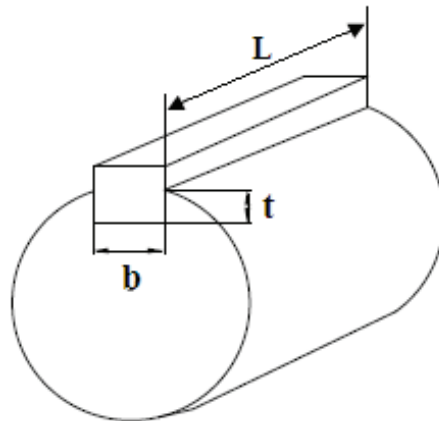


Figura 3.15. Representación de medidas de una lengüeta. Fuente: www.google.com.ec

3.2.6 CÁLCULO DEL MOTOR

3.2.6.1 CÁLCULO DE LA POTENCIA PARA VENCER LA INERCIA

Para que la máquina entre en funcionamiento, esta debe vencer la inercia de todos los elementos móviles constitutivos de la misma, la potencia requerida se calcula de la siguiente manera:

$$P_i = T_i W_f \quad (3.18)$$

$$T_i = I_t \alpha_m$$

$$\alpha_m = \frac{W_f - W_o}{t_f^2 - t_o^2} \quad (3.19)$$

$$t_o = 0s$$

$$W_o = 0rad/s$$

$$\alpha_m = \frac{W_f}{t_f^2 t_o^2}$$

Dónde:

Pi = Potencia para vencer la inercia de los elementos (Watts).

Ti = Torque necesario para vencer la inercia (Nm).

Wf = Velocidad angular (rad/s).

It = Inercia de los elementos (kg m²).

αm = Aceleración media producida durante el encendido y puesta en marcha (rad/s²).

Tf = Tiempo de arranque del motor” (Shigley & Mishke, 1999).

3.2.6.2 POTENCIA DE CORTE

Se calcula la potencia de corte en función del torque requerido y la velocidad angular.

$$P_c = T * N \quad (3.20)$$

$$P_c = \left(\frac{9,086 \text{ kgf.m} * 900 \text{ RPM}}{726,24} \right)$$

$$P_c = 11,3 \text{ hp}$$

La potencia de corte será de Pc = 11,3hp, es el valor de la potencia mecánica necesaria para realizar el corte. Tomando en cuenta que la empresa suministro un motor de 15 hp, las necesidades del diseño están satisfechas.

3.2.6.3 SELECCIÓN DEL MOTOR

El motor se lo selecciona en función de la potencia requerida y el número de revoluciones por minuto. Para hallar la potencia del motor eléctrico, además de considerar el factor del sistema de transmisión, se debe tener en cuenta la eficiencia del mismo; pues estos dos parámetros afectan la potencia que se trasmite desde el motor hacia el rotor.

$$P_m = \frac{P_D}{n_m} \quad (3.21)$$

De donde P_m = Potencia del motor

$N_m = 0,923$ eficiencia del motor

$$P_m = \frac{13,68hp}{0,923}$$

$$P_m = 14,82hp$$

Se requiere un motor de 14,82 hp y 900 RPM, al buscar en el mercado el más próximo es uno de 15 hp pero de 1800RPM que es el suministrado por la empresa.

3.2.7 RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

De acuerdo a los parámetros del motor se tiene que el motor gira a 1800 RPM y el eje tiene que girar a 900RPM.

Por lo tanto se tiene que la relación de transmisión es:

$$N_1 = 1800RPM$$

$$N_2 = 900RPM$$

$$k = \frac{N_1}{N_2} \quad (3.22)$$

$$k = \frac{1800}{900} = 2$$

Con esta relación de transmisión se selecciona una cadena simple de paso 80.

3.2.7.1 SISTEMA DE TRANSMISIÓN POR CADENA

El sistema de transmisión inicia con el motor eléctrico, que es el encargado de proporcionar la potencia necesaria para el funcionamiento de la máquina porque es un sistema confiable, se mantiene constante la relación de velocidades, no produce resbalamiento, la elasticidad de la cadena amortiguan los golpes producidos por cargas intermitentes.

3.2.7.2 SELECCIÓN DE LA CADENA DE TRANSMISIÓN

Tomando en cuenta los parámetros anteriores de potencia y revoluciones, se toma en cuenta que los piñones seleccionados son de 30 dientes de inducido con un diámetro de 250mm y el conducido de 15 dientes con un diámetro de 120mm.

3.2.7.3 DISTANCIA ENTRE EJES

Se debe establecer la distancia entre eje para determinar la geometría de la máquina la distancia entre centros no debe exceder de 3 veces la suma de los diámetros de las poleas, ni ser menor que el diámetro de la polea más grande; es decir:

$$\begin{aligned} D_2 &\leq I \leq 3(D_1 + D_2) \\ 250mm &\leq I \leq 3(120 + 250)mm \\ 250mm &\leq I \leq 1110mm \end{aligned}$$

En este caso no se tiene un valor de I preestablecido o limitado, por lo que el valor mínimo se puede determinar con la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} I &\geq \left(\frac{k+1}{2}\right)D_1 + D_1 \quad (3.23) \\ I &\geq \left(\frac{1+1}{2}\right)250 + 250 \\ I &\geq 500mm \end{aligned}$$

El valor mínimo de la distancia entre ejes es de 500mm, por la configuración de nuestra máquina se establece el valor de 900mm.

3.2.7.4 LONGITUD PRIMITIVA DE LA CADENA

Se debe hallar la longitud primitiva de la cadena para el sistema de transmisión, en función de la distancia entre ejes y los diámetros de las poleas dentadas o piñones.

$$L = 2C + \frac{N+n}{2} + \frac{\left(\frac{N-n}{2\pi}\right)^2}{C} \quad (3.24)$$

$$L = 2(56,68) + \frac{30+15}{2} + \frac{\left(\frac{30-15}{2\pi}\right)^2}{56,68}$$

$$L = 135,96 \text{ pasos} * 15,88 = 21590,4 \text{ mm}$$

Debido a que es un sistema de transmisión por cadena, no es necesario el cálculo de la tensión de la cadena. Cuando se realice el montaje solo hay que verificar que la cadena quede tensada perfectamente.

3.2.8 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

El bagazo de caña se coloca dentro de una tolva, la cual se encuentra de inclinada sobre la parte superior del lado izquierdo de la máquina, con la boca hacia la parte de atrás. De esta manera, el bagazo se introduce dentro de ella y por gravedad caerá sobre el eje de rotación en el mismo sentido de giro.

3.2.8.1 TOLVA DE ALIMENTACIÓN Y SALIDA

La tolva de alimentación y alimentación viene de un diseño geométrico. Figura 3.16.

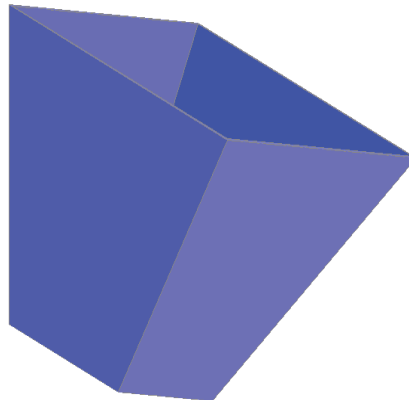


Figura 3.16. Tolva de alimentación. Fuente: Propia.

Una tolva de salida está diseñada por geometría, para satisfacer la salida del materia fuera de la máquina. Ver figura 3.17.

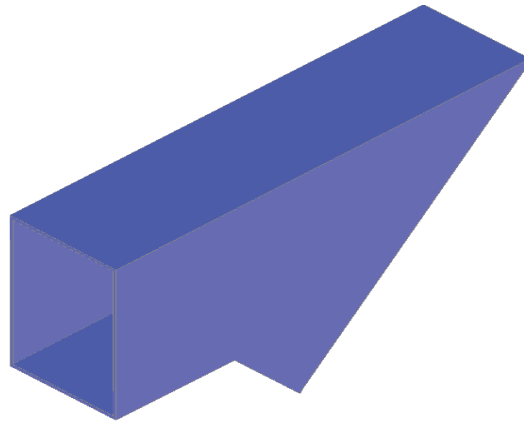


Figura 3.17. Tolva de salida. Fuente: Propia.

3.2.9 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE.

La estructura debe tener un diseño que garantice el soporte de distintos elementos de la máquina que irán montados sobre él, los cuales serán considerados como carga muerta debido a que permanece constante en su magnitud y posición. Será un análisis estático, por lo que se toma en cuenta un factor de seguridad muy alto.

Peso del eje:	30kg
Peso del tambor:	60 kg
Peso de los martillos:	10kg
Peso del motor:	30kg
Peso de las chumaceras:	7 kg
Peso de las poleas y otros:	15 kg

Utilizando el programa de elementos finitos SAP 2000. Ver figura 3.18.

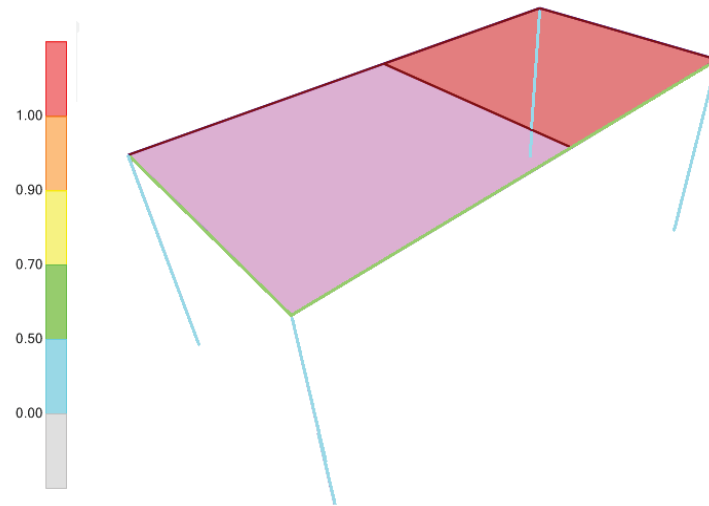


Figura 3.18. Resultado del cálculo de la estructura en SAP 2000. Fuente: Propia.

En la gráfica se muestra el modelo geométrico de la estructura de soporte, utilizando elementos Frame para luego realizarla asignación de las secciones correspondientes a cada parte de la estructura:

Como siguiente procedimiento se tiene el modelado de la estructura con ángulo de 50x6mm.

Se puede observar que los valores obtenidos cumplen con las condiciones de diseño determinados por la Norma AISC donde menciona que dichos valores deben ser menores o iguales a 1, para que cumpla con las condiciones de resistencia y deformación.

3.2.10 PROTECCIÓN Y CONTROL DEL MOTOR ELÉCTRICO

La potencia del motor es medianamente alta por lo que se considera necesario colocar una protección eléctrica para el mismo, el circuito sirve a la vez como control del encendido y apagado de la máquina.

Dicha protección y mando están compuestas por:

- Botonera ON/OFF
- Contactor
- Térmico

Los cuales están representados en la figura 3.19.

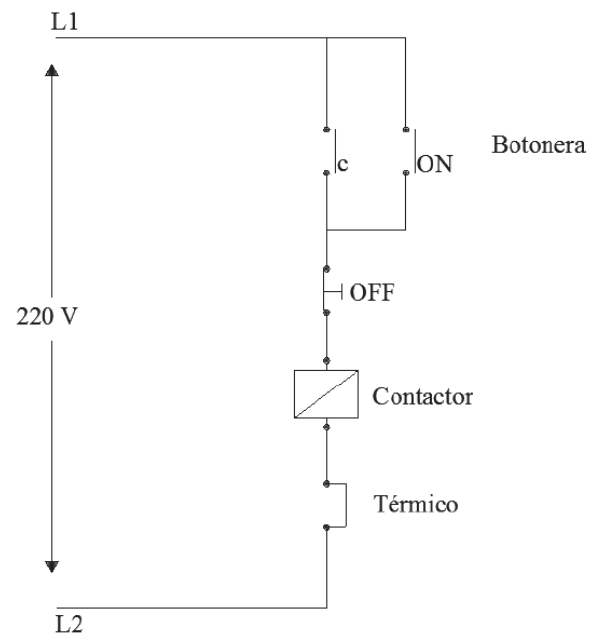


Figura 3.19. Esquema de botonera para manejo de la máquina. Fuente: Propia

La botonera da la señal de encendido o apagado, el térmico es el encargado de controlar la cantidad de corriente que pasa hacia el motor, si ésta es demasiado alta el mismo envía una señal a la bobina del contactor para que los contactos que permiten el paso de corriente se abran.

El contactor se selecciona en función de la potencia del motor que es 15HP, mientras que el parámetro para la selección del térmico es la corriente que es de 22A, este valor es central; es decir, se elige un térmico cuyo rango es 16-28A.

Finalizado el diseño se procede a realizar los respectivos planos. Anexo 9.

CAPÍTULO 4

4. CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE CAMPO

4.1. GENERALIDADES

Luego que se ha determinado todas las partes que constituyen la máquina, se procede a la construcción de la misma.

El proceso de construcción parte de la estructura de soporte, luego el tambor, seguido por los martillos y aletas, seguido por el eje y finalmente se ensamblan todos los elementos, al final se coloca el sistema de transmisión y se acopla al motor y este a la caja de mando.

Las máquinas herramientas utilizadas son:

- Roladora
- Torno
- Taladro de pedestal
- Taladro de mano
- Esmeril
- Soldadora SWA
- Cortador de oxiacetilénico
- Compresor
- Sierra eléctrica de vaivén

Los instrumentos de medida:

- Flexometro
- Calibrador pie de rey
- Multímetro

4.1.1. HOJA DE PROCESOS

Se realizan 3 hojas típicas de los elementos principales que conforman el prototipo en la que se detalla cada uno de los procedimientos que se debe seguir para su construcción.

- Hoja de procesos del eje de trituración.
- Hoja de procesos del tambor.
- Hoja de procesos de las poleas dentadas.

En el Anexo 8 se presentan hojas de procesos típicas para la construcción del prototipo.

4.1.2. CRONOGRAMA DE CONTRUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS

Tabla 4.1. Cronograma de construcción de los elementos de la máquina

N ^a	ACTIVIDAD	DURACION (días)	DIAS																					
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Estructura de soporte	3	█	█	█																			
2	Tambor	4				█	█	█	█															
3	Tolva Alimentación	2						█	█															
4	Tolva Salida	2								█	█													
5	Martillos	2										█	█											
6	Eje de Trituración	3												█	█	█								
7	Base de Motor	2															█	█						
8	Cubierta Sistema transmisión	2																		█	█			

La compra y el transporte de los materiales están incluidos dentro del tiempo de construcción de cada una de las partes.

4.1.4. MONTAJE

En su construcción y montaje forma parte un trabajador seleccionado por la empresa Invedelca S.A y el tesista.

Procesos como el torneado de piezas es ejecutado por personal calificado perteneciente a los talleres donde se facilito el espacio y las máquinas herramientas para la realización de la tesis. Ver figura 4.1 y 4.2.



Figura 4.1. Barolado del tambor. Fuente Propia



Figura 4.2. Ubicación del eje sobre la estructura. Fuente: Propia

4.1.5. BALANCEO

El balanceo es la técnica de corregir o eliminar fuerzas o momentos generadores de perturbaciones vibratorias.

Los esfuerzos sobre el bastidor de un mecanismo, o sobre los soportes pueden variar de manera significativa durante un ciclo completo de operación y provocar vibraciones que a veces pueden alcanzar amplitudes peligrosas. Incluso aunque no lo fueran, las vibraciones someten a los cojinetes a cargas repetidas que provocan el fallo por fatiga de las piezas. Se hace entonces preciso eliminar o reducir las fuerzas de inercia que producen estas vibraciones.

Cualquier eslabón o elemento que se encuentre en rotación pura, teóricamente, puede estar perfectamente equilibrado estática y dinámicamente, para lo que hay que eliminar todas las fuerzas y momentos generadores de vibración. Para lograr un equilibrio completo se requiere establecer el equilibrio dinámico; sin embargo,

en algunos casos, el estático puede ser un sustituto aceptable y generalmente es más fácil de alcanzar.

4.1.5.1. BALANCEO DEL MOLINO

La razón principal para analizar y diagnosticar el estado de una máquina es determinar las medidas necesarias para corregir la condición de vibración para reducir el nivel de las fuerzas vibratorias no deseadas.

El desbalance de la maquinaria es una de las causas más comunes de la vibración. El desbalance se debe a que el centro de gravedad de un cuerpo giratorio no coincide generalmente con su centro de rotación.

Para el análisis de vibración del prototipo se realiza la prueba de balanceo estático, que consiste en colocar el eje armado con todos los elementos constitutivos montado ya sobre el tambor en los dos rodamientos que sirven de soporte para el giro del eje triturador. Ver figura 4.3.



Figura 4.3. Técnico solicitado para el análisis del balanceo. Fuente: Propia

La distribución de los martillos a lo largo y ancho del eje ha sido de manera uniforme, con el eje libremente, sin acoplarlo al sistema de transmisión, se lo hace girar y se ve que el punto de referencia, si presenta una variación oscilatorio en la posición evaluada tenemos la presencia de un desbalanceo del eje.

En la práctica es imposible conseguir que la masa esté uniformemente distribuida alrededor del centro geométrico del cuerpo, se lo consigue adicionando peso en el centro del eje para de esta forma llegar al equilibrio estático del elemento. Ver figura 4.4.



Figura 4.4. Peso adicional al eje de acuerdo al técnico en balanceo. Fuente: Propia

4.2. PRUEBAS DE CAMPO

4.2.1. PROTOCOLO DE PRUEBAS

Una vez construido el prototipo se procede a efectuar las correspondientes Pruebas de Campo, para lo cual se aplica el formato de pruebas del Anexo 6.

La evaluación de la máquina y los resultados están en el Anexo 7.

En las figuras 4.5, 4.6 y 4.7 se puede observar el prototipo en el lugar de trabajo, al tesista y su director de tesis luego de realizadas las pruebas de campo.



Figura 4.5. Máquina ubicada en el lugar de trabajo. Fuente: Propia



Figura 4.6. Tesista Oscar Ramos y director de tesis Ing. Jaime Vargas luego de terminadas las pruebas y aprobado el protocolo de pruebas Anexo 8. Fuente: Propia



Figura 4.7. Tesista Oscar Ramos y director de tesis Ing. Jaime Vargas junto al jefe de mantenimiento de la empresa INVEDELCA S.A Ing Carlos Tabango. Fuente: Propia

4.3. ESPECIFICACIONES DE LA MÁQUINA

4.3.1. DIMENSIONES DEL ÁREA DE TRABAJO

Es recomendable que la máquina trabaje en lugares abiertos, evitando que materiales como el bagazo de caña entren en contacto directo con el motor. La máquina trabaja libre de cualquier obstáculo. Se sugieren las siguientes dimensiones para generar un espacio libre de trabajo.

Tabla 4.3. Dimensiones generales.

	EN OPERACIÓN	PARA TRANSPORTE
Largo:	3000 mm	2000 mm
Ancho:	2000 mm	2000 mm
Alto:	2500 mm	2500 mm

4.3.2. PESO

Los pesos de los elementos de la máquina se detallan a continuación en la tabla fueron obtenidos durante la realización del protocolo de pruebas.

Tabla 4.4. Pesos de los elementos de la máquina

ELEMENTO	PESO (kg)
Motor eléctrico y base	45 kg
Peso estructura	80 kg
Peso tambor	60 kg
Peso eje triturador	40 kg
Peso chumaceras	9 kg
Peso ruedas dentadas	10 kg
Peso cadena y otros	5 kg
Total	249 kg

4.3.3. FUENTE DE POTENCIA.

La fuente de potencia es el motor con las siguientes características:

Tipo: Motor de inducción

Voltaje: 220/440V

Marca: BrookMotors

Potencia Nominal: 15 HP

Velocidad Nominal: 1800 rpm

4.3.4. EJE DE TRITURACIÓN DE LA MÁQUINA.

El eje está compuesto de dos secciones, una de 60mm que van acoplado los rodamientos y hacia el sistema de transmisión y la parte central del eje donde van los martillos de molienda

4.3.5. CAPACIDAD DE LA MÁQUINA

El Protocolo de Pruebas del prototipo realizado comprueba la capacidad que es de 600kg/hora. Anexo 7

4.3.6. LONGITUD DEL BAGAZO DE CAÑA PICADO

Otro de los parámetros importantes del producto es la longitud del bagazo de caña picado. Este se puede controlar de dos formas, por el número de martillos utilizados y por la velocidad de giro del eje de molienda.

Por cuestiones de diseño el eje triturador tiene martillos fijos que se puede aumentar o disminuir en su número, por lo que se varía la velocidad de giro.

Tabla 4.5. Variación de la longitud del bagazo de caña en función de la velocidad de giro del eje de trituración.

RPM Eje molienda	Longitud del Bagazo
600	300 – 200 mm
900	150 – 100 mm
1200	50 – 20 mm

La medida pedida por la empresa al inicio del diseño es de 200 a 100 mm, pero las longitudes de 150 a 100 mm se aceptan debido a que las medidas anteriores eran las que usaban pero no las necesarias y óptimas para su proceso.

4.3.7. SEGURIDAD

Las medidas de seguridad deben tomarse en cuenta para el obrero y para la máquina. El operario de la máquina debe usar mascarilla, gafas y tapones para oídos, botas de seguridad y overol de trabajo.

Para el motor de la máquina se considera necesaria una protección eléctrica que consta de un contactor y un térmico, los cuales están adaptados a una botonera ON/OFF para el encendido y apagado de la máquina.

El sistema de transmisión cuenta con su respectiva protección metálica que evita que un trabajador o el material sea atrapado.

4.3.8. REPARACIONES Y AJUSTES

Luego de realizadas la pruebas no se producen mayores ajustes que hacer.

Para la selección de la longitud del bagazo, se lo realiza intercambiando el tamaño de las poleas dentadas de transmisión tanto en el motor como en el eje de molienda, hasta obtener el tamaño adecuado.

Durante el balanceo dinámico del eje, el técnico encargado indico donde debía aumentarse peso hasta lograr el correcto balance en el eje. En la máquina, debido a su robustez, no es necesario colocar sistema anti vibración. El giro del eje no afecta la estructura si se sigue el mantenimiento adecuado de la máquina.

4.3.9. OPERACIÓN

A los operarios y personal de mantenimiento se entrega un instructivo con lo el detalle de consejos y pautas para la operación de la máquina, que se detalla a continuación:

La máquina posee un eje de molienda que a la vez hace de rotor soplador que expulsa el materia a altas velocidades fuera de la misma, por tal razón se debe evitar que cualquier persona deambule cerca de la zona en la cual se apila el bagazo que sale de la máquina o en su defecto colocarla cerca de una pared para que el material choque contra ella y se apile.

Los operarios deben contar con el equipo de protección personal entregado con por la empresa y además el uso de gafas de protección, mascarilla y tapones auditivos.

Para la operación de la máquina se requiere como mínimo dos personas:

1. Limpiar el bagazo de caña, sobre todo de materiales como piedras o restos de telas que pudieran haber, para evitar que su golpeteo destruya los martillos y la tela se enrede en el eje de trituración.
2. Conecte la máquina a una fuente de 220V, trifásica.
3. Pulse el botón verde de la caja de mando eléctrica, ubicada en la parte inferior central del tablero de control de la máquina.
4. Deje actuar la máquina durante 1 minuto antes de empezar a introducir en la misma el bagazo de caña de azúcar.
5. Cargar las palas con el bagazo de caña y depositarla sobre la boca de alimentación.

6. Al introducir el bagazo de caña de azúcar por la boca de alimentación, tenga cuidado de no acercarse al rotor de la misma o con el trinche o pala que utilice para colocarlo dentro, el bagazo cae por gravedad y no necesita ser empujado dentro del eje de trituración.
7. Una vez que haya terminado de picar el bagazo deje funcionar la máquina 1 minuto en vacío, esto ayuda a que el rotor expulse el bagazo picado acumulado en el tambor.
8. Detenga la máquina pulsando el botón rojo de la caja de mando eléctrica.
9. Espere a que el eje de la máquina se detenga completamente antes de realizar limpieza o mantenimiento en la misma.
10. Asegúrese de interrumpir la alimentación eléctrica hacia la máquina para evitar accidentes.

4.3.10. MANTENIMIENTO

La máquina tiene elementos cortantes móviles por lo que el manejo y operación se debe tomar las medidas de seguridad adecuada.

Los controles de mando están en un tablero de control con botones de encendido y apagado correctamente señalados.

La máquina Está provisto de una tolva de alimentación diseñada de manera adecuada para evitar el contacto directo con los elementos cortantes.

Para la prolongación de la vida útil de la máquina cortadora se ha determinado actividades mecánicas y eléctricas semanales detalladas en un programa de mantenimiento preventivo. Ver tabla 4.6.

Las principales actividades para prolongar la vida útil de la máquina son:

4.3.10.1. AJUSTE DE CADENA Y SISTEMA DE TRANSMICIÓN

El motor se ha coloca sobre una base que permite regular la distancia entre polea y polea, esto es necesario, pues debido al uso, la cadena se desgasta y hay que hacer un cambio y no siempre la longitud de la cadena se mantiene constante, puede variar y conviene hacer el ajuste necesario para poder tensarla. Se debe chequear, cada semana, el estado de la cadena y lubricarla.

La longevidad de las cadenas es muy alta y se necesita realizar un reemplazo de la misma en caso que está se rompa, pero por seguridad, se pide el cambio de al menos una vez al año, tomando en cuenta que trabaja alrededor de 8 horas diarias, 5 días a la semana.

4.3.10.2. AJUSTE DE PERNOS DE LA MÀQUINA

Debido a la vibración producida por la máquina, se recomienda verificar el adecuado ajuste de todos estos elementos en la máquina por lo menos 1 vez por semana.

4.3.10.3. EJE DE TRITURACIÓN DE LA MÀQUINA

El eje es el alma de la máquina y está continuamente trabajando.

Debido a que el corte del bagazo no es una operación de corte directo y más bien se produce por choque y desgarre, el filo de los martillos se puede corregir cada 6 meses de uso pero debido al contacto del material que puede estar húmedo o seco, se debe proteger su interior de la corrosión y abrazamiento y pintarlo por lo menos una vez cada 3 meses de uso.

Hay que verificar el acoplamiento de los martillos al eje, por lo menos una vez por semana.

4.3.10.4. ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA

Se recomienda realizar un chequeo de todas las juntas de la estructura por lo menos una vez por semana.

4.3.10.5. LUBRICACIÓN DE PARTES MÓVILES

La lubricación en este elemento mecánico permite que la transmisión de potencia se realice de una forma adecuada, por ello se debe lubricar las chumaceras una vez por semana y cambiarlos cada cinco años.

4.3.10.5. SISTEMA ELÉCTRICO

Es una de las partes importantes de la máquina, se recomienda revisar por lo menos 3 veces por semana. En caso de alguna sobrecarga o problema en la red de energía de la empresa, verificar que todos sus elementos se encuentren operativos y cambiarlos de ser necesario.

“Los controladores de motores en este caso los interruptores pueden ser controladores de dos o tres cables que deben estar a pruebas de polvos, de agua, no pueden estar en áreas donde hayan gases o vapores inflamables”(Juvinal, 1996),

4.4. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Los distintos trabajos de mantenimiento que deben realizarse en la máquina trituradora de bagazo de caña se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4.6. Plan de mantenimiento preventivo.

FRECUENCIA	PARTES CONSTITUTIVAS DE LA MAQUINA						TRABAJOS A REALIZAR
	EJE TRITURADOR	SISTEMA TRANSMISION	SISTEMA ELECTRICO	ESTRUCTURA	CHUMACERAS		
SEMANAL				X			Limpieza tambor
	X						Limpieza eje
			X				Revisión sistema eléctrico
				X			Ajuste pernos
						X	Lubricación chumaceras
			X				Lubricación cadena
SEMESTRAL					X		Revisión juntas
	X						Revisión balanceo eje
ANUAL		X					Cambio de cadena
						X	Cambio de chumaceras

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DE COSTOS

5.1. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA MÁQUINA.

Con la nueva máquina tanto el tiempo de producción y el número de obreros se ha reducido a la mitad, además que la capacidad de producción ha aumentado. Ahora se produce el material necesario para un lagarto de compost en 4 horas y con la inversión de 2 personas operando la máquina y uno más manejando el tractor de pala frontal con el que se acumula el bagazo de caña ya triturado en el sitio donde se hace el compost.

Todo esto se traduce en una significativa disminución de los costos de producción y además deja abierta la posibilidad a incrementar la producción sin necesidad de la adquisición de más maquinaria o la contratación de más personal.

5.2. COSTOS DE MATERIALES

El costo de los materiales esta detallado en la tabla 5.1 que se encuentra a continuación:

Tabla 5.1. Costos de materiales

DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
Plancha de acero AISI de 2,4x1,2x0,005m	5	\$135,77	\$678,85
Angulo 75 mm x 8 mm L = 6 m	3	\$61,52	\$184,56
Tubo acero 3" L = 6 m	1	\$156,91	\$156,91
Eje de acero de transmisión 2 ½" L= 1,8 m	1	\$92,97	\$92,97
Tubo acero 6" L=1,8 m	1	\$100,00	\$100,00
Pernos M10	12	\$0,50	\$6,00
Cadena paso 80 simple L=2m	1	\$40,00	\$40,00
Polea dentada Z=30	1	\$40,00	\$40,00
Polea dentada Z=15	1	\$20,00	\$20,00
Motor electrico 15hp 1800 rpm	1	\$1258,25	\$1258,25
Platina 120x12mm L = 6m	1	\$48,63	\$48,63
Eje cuadrado de ½ " L = 6m	1	\$45,23	\$45,23
Chumacera UPC 212 r = 60mm	2	\$150,00	\$300,00
Elementos eléctricos de mando	1	\$150,00	\$150,00
Otros	1	\$100,00	\$100,00
			\$3221,40

5.3. COSTOS DE CONTRUCCION Y MONTAJE

Los costos de fabricación están compuestos por los gastos necesarios en la contratación del personal para realizar la construcción de la máquina y el uso de máquinas herramientas necesarias para su construcción. Ver tabla 5.2, 5.3 y 5.4

Tabla 5.2. Características de las máquinas y herramientas usadas para la construcción y montaje de la máquina

CODIGO	MAQUINA	MARCA	POTENCIA	VELOCIDAD	CAPACIDAD	OBSERVACIONES
M1	Roladora		5 hp		3m largo y 30mm espesor	Manual y semi automática
M2	Torno	TOS TRENCH	10 hp		3000 mm entre puntas	
M3	Taladro de pedestal	Power Usa	1 hp	1200 RPM		
M4	Taladro de mano	DEWALT	0.5 hp	500 RPM	3/16" – 3/8"	
M5	Esmeril	SIEMENS	2 hp	3750 RPM		
M6	Soldadora	TAIMAN			1.5 kg.cm ²	Cortadora acetileno
M7	Soldadora	MILLER			30 – 250 A.	Electrodos 3/8" E6011, E7018
M8	Compresor	S/N				Recubrimiento de pintura
M9	Sierra Vaiven	SUGINO	1,5 hp	60 golpes		

Tabla 5.3. Costos de por pieza fabricada por máquina utilizada

OP.	DETALLE	TIEMPO (HORAS)									TOTAL OPERACIÓN			
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9				
1	Construcción del tambor	6.0				0.5	3.0	2.5						\$ 97,50
2	Construcción de la estructura soporte					1.0		5.0	0.5					\$ 46,50
3	Construcción de base del motor			1.0	0.5	1.0	1.0	2.0	0.5					\$ 47,00
4	Construcción tolva de entrada							3.0						\$ 61,50
5	Construcción tolva de salida							3.0						\$ 61,50
6	Construcción de martillos					1.0				2.0				\$ 19,00
7	Construcción de cuchillas					1.0				2.5				\$ 22,50
8	Preparación del eje		1.5					1.0	0.5					\$ 27,00
9	Instalación de tolvas					0.5		2.0	0.5					\$ 20,00
10	Instalación de tambor					1.0		4.0	2.0					\$ 43,00
11	Instalación de martillos					1.0		3.0	0.5					\$ 30,50
12	Construcción de aletas					0.5				1.5				\$ 13,00
13	Instalación de aletas					0.5		2.0	0.5					\$ 20,00
14	Preparación de poleas			2.0										\$ 14,00
	COSTO TOTAL POR MAQUINA	\$ 30,00	\$ 15,00	\$ 21,00	\$ 2,50	\$ 42,50	\$ 135,00	\$ 220,00	\$ 15,00	\$ 42,00				\$ 523,00

5.4. COSTO DE MANO DE OBRA

Tabla 5.4. Costos de la mano de obra

TRABAJADOR	COSTO POR HORA	HORAS TRABAJADAS	TOTAL TRABAJADOR
Maestro mecánico	\$ 3,75	65.5	\$ 245,63
Tornero	\$ 3,50	1.5	\$ 5,25
Ayudante	\$ 2,25	65.5	\$ 147,38
Eléctrico	\$ 3,00	5.0	\$ 15,00
		TOTAL	\$ 413,26

5.5. COSTO DE TRANSPORTE

En este rubro hay que tomar en cuenta que la empresa no contaba con las herramientas necesarias para construir la máquina, por lo tanto el personal y el material se llevaron hacia un taller cercano. Ver tabla 5.5.

Tabla 5.5. Costos del transporte de materiales, personal y máquina.

DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
Pasajes maestro mecánico	\$ 0,25	40	\$ 10,00
Pasajes ayudante	\$ 0,25	40	\$ 10,00
Transporte materiales del almacén al taller	\$ 60,00	1	\$ 60,00
Transporte máquina del taller a la empresa	\$ 20,00	1	\$ 20,00
		TOTAL	\$ 100,00

5.6. COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos engloban los imprevistos que se dan durante la construcción del prototipo. Ver tabla 5.6.

Tabla 5.6. Costos indirectos de la construcción de la máquina.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (%)	TOTAL
Diseño y supervisión	10%	\$ 322,14
Imprevistos	5%	\$ 161,07
Pruebas de rendimiento y fidelidad de la máquina	5%	\$ 161,07
		\$ 644,28

5.7. COSTO TOTAL

El costo total es la suma de todos los valores indirectos y directos que se tiene por la construcción del prototipo. Ver tabla 5.7

Tabla 5.7. Detalle de los costos totales del diseño y construcción de la máquina.

DETALLE	VALOR
COSTOS DIRECTOS	
Materiales	\$ 3221,40
Maquinaria y equipos	\$ 523,00
Mano de obra	\$ 413,26
Transporte	\$ 100,00
COSTOS INDIRECTOS	
Diseño y supervisión	\$ 322,14
Imprevistos	\$ 161,07
Pruebas de rendimiento y fidelidad de la máquina	\$ 161,07
TOTAL	\$ 4901,94

5.8. COSTO DE MANTENIMIENTO

Los costos de mantenimiento son rubros que se sugieren de acuerdo al esquema de mantenimiento de la máquina para prolongar su vida útil. Estos costos no influyen en el diseño y construcción de la misma. Ver tabla 5.8.

Tabla 5.8. Detalle de los costos de mantenimiento anual.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TOTAL
Lubricantes	5 GL	\$ 40,00
Chumaceras	2 und.	\$ 300,00
Cadena	2 mts.	\$ 40,00
Varios	1 und.	\$ 40,00
	TOTAL ANUAL	\$ 420,00

El costo mensual y semanal se desprende del valor anual aproximado, dando valores de:

Costo Semanal de mantenimiento: \$ 8,07

Costo Mensual de mantenimiento: \$ 35

Estos son los valores aproximados que la empresa invertiría en el mantenimiento de la máquina, tomando en cuenta que se siga el plan de mantenimiento preventivo de la misma.

5.9. ANÁLISIS Y BENEFICIOS DEL COSTO PARA LA EMPRESA

La máquina ha sido diseñada y construida para satisfacer las condiciones de producción de la empresa.

La empresa para su producción necesita abastecerse de 3000 Kg (3 toneladas) cada tres días para mantener el ritmo de producción, con la anterior máquina su producción se daba en aproximadamente 3 días con un trabajo con un rango de

8 horas y el empleo de cuatro trabajadores, lo que representaba un gasto excesivo del uso de mano de obra, sumado a los valores de horas extra y energía eléctrica que consumía la máquina para el proceso.

La nueva máquina disminuye el tiempo de producción en más del 300%, proveyendo los 3000 Kg en 5 horas de trabajo y con la ayuda de solo 2 trabajadores, por lo que los costos de operación y producción disminuyen drásticamente, traduciéndose en un incremento de la rentabilidad del proceso.

Los valores que se disminuyen del costo del proceso suplen los costos que genera el mantenimiento de la nueva maquinaria, que son muy inferiores a los actuales costos de mantenimiento.

La tabla 5.9. muestra claramente que el costo de producción por hora de las 3 toneladas es muy inferior, por lo cual el beneficio para la empresa se incrementa de una manera exponencial.

Tabla 5.9. Detalle de los costos de producción de la máquina antigua versus la nueva máquina.

ITEM	PRODUCCIÓN POR HORA	VALOR HORAS/HOMBRE	COSTO MANTENIMIENTO (POR HORA)	VALOR POR HORA	COSTO (3 ton.)
Máquina antigua	125 Kg/h	\$ 1,6	\$ 3	\$ 4,6	\$ 110,4
Nueva máquina	600 kg/h	\$ 0,8	\$ 1	\$ 1,8	\$ 9

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Las industrias son un terreno próspero para la investigación y la creatividad de un ingeniero mecánico, pudiendo hacer aportes e inventivas en la empresa que labora. El incremento en la capacidad de trituración de una máquina se traduce en una disminución de los tiempos de trabajo y el aumento de la producción.
- Todo proceso de producción, por más artesanal que sea, puede adquirir un grado de automatización que mejore su producción y disminuya sus costos.
- Los aparatos mecánicos sufren un deterioro muy alto cuando trabajan en condiciones extremas de humedad y con productos abrasivos que no tenga un tamaño adecuado para el cual fue diseñado, como el bagazo de caña.
- Los sistemas eléctricos de una máquina son propensos a presentar fallas debido a las condiciones ambientales, sobre todo la humedad y la presencia de partículas de polvo o de bagazo de caña que podrían producir cortos o su mal funcionamiento.
- Antes de diseñar una máquina hay que tomar en cuenta todos los parámetros, cualquier factor olvidado puede conllevar a que no cumpla con las necesidades del proceso de producción.

6.2. RECOMENDACIONES

- El jefe de producción o mantenimiento debe dictar charlas y enseñar el correcto manejo de la máquina para evitar posibles accidentes.

- Un mantenimiento preventivo es lo más recomendado para prolongar la vida útil de la máquina.
- Evitar el mal uso de la máquina, provoca y acelera el deterioro de esta
- El uso de equipo de protección personal como lo son orejeras, gafas de protección, guantes y botas debe ser usados en todo momento al usar la máquina.
- El personal de mantenimiento o la persona encargada, es el único autorizado para realizar cualquier evaluación de su funcionamiento o reparación en caso de ser necesario, el personal operativo debe informar si la máquina sufre algún desperfecto.

BIBLIOGRAFÍA

1. Guijarro, G. I., & , H. X. (2011). *Diseño y construcción de una máquina picadora de bagazo de caña de azúcar* . Riobamba: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.
2. INVEDELCA S.A. (2010) Notas del Área de Producción.
3. Juvinall, R. C. (1996). *Fundamentos de Diseño para la Ingeniería Mecánica*. Mexico: Editorial Limusa S.A.
4. Marks. (1984). *Manual del ingeniero Mecánico, Volumen I,*. México: Octava Edición,Mc. Graw Hill.
5. Rolz, C. (2006). Producción y caracterización del compost elaborados de residuos orgánicos provenientes de la actividad agrícola. *Revista de la Universidad del valle*
6. Shigley J, (1985) *Manual de Diseño Mecánico*; México, Mc Graw Hill Interamericana de México, 3ra edición.
7. Shigley J, (2007) *Diseño en Ingeniería Mecánica*; México, Mc Graw Hill Interamericana de México, 6ta edición.
8. Vargas J. (2005) *Fundamentos y Ejercicios del Dibujo Mecánico*, EPN Quito.
9. Vargas J. (2003) *Fundamentos de Tecnología de Virutaje*, EPN, Quito.
10. Asta E. (n.d.) *Soldadura de estructuras de acero*. Obtenido de http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/soldadura/1_introd_soldadura_estructv.pdf
11. Colina L. (n.d) *Reducción de tamaño de alimentos*. Obtenido de Mhttp://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red_tam_solidos_intro.pdf.
12. Vilchis, L. (2009), *Los hongos y sus nutrientes*. Obtenido de <http://www2.esmas.com/salud/nutricion/047483/videochat-los-hongos-y-nutrientes>
13. www.micomania.riazul.com (n.d.) *Los hongos a lo largo de la historia*. Obtenido de <http://www.micomania.rizoazul.com/micologia%20los%20hongos%20a%20lo%20largo%20de%20la%20historia.html>

A N E X O S

ANEXO 1 ENSAYO DE CORTE

ENSAYO DE CORTE

Objetivo: Determinar el valor de resistencia al corte del bagazo de caña de azúcar.

Materiales:

- Bagazo de caña de azúcar.
- Cuchilla

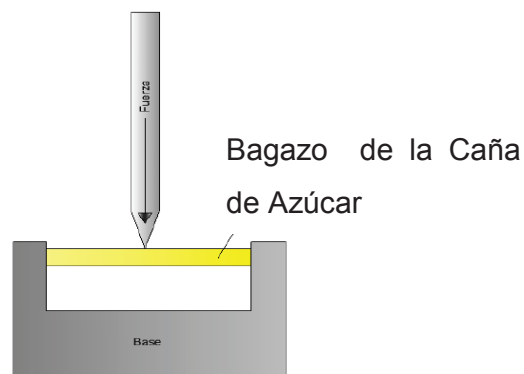
Equipos y herramientas:

- Máquina universal
- Calibrador

Procedimiento:

- Colocamos el bagazo de caña de azúcar en la base metálica, fijándolo bien en los extremos.
- Adaptamos la cuchilla a la máquina universal.
- Colocamos la base que contiene el bagazo en la máquina universal.
- Medimos el área transversal de la muestra de bagazo de caña de azúcar.
- Enceramos la máquina y aplicamos carga al bagazo, hasta que la máquina universal indique el valor máximo de fuerza que se aplicó al mismo.
- Tabulamos datos.
- Repetimos el procedimiento con cinco muestras de bagazo.

Gráfico



N° Probeta	Fuerza (Kgf)	Área (cm ²)	Resistencia (kgf/cm ²)
1	73	5,73	12,74
2	80	5,73	13,96
3	78	6,42	12,15
4	76	6,42	11,84
5	82	8,16	10,05

Resultados:

“La velocidad a la que se realizó este ensayo es muy inferior a la que se va a someter realmente el bagazo y toma en cuenta toda el área transversal del mismo. En la realidad la velocidad a la que gira el rotor es alta y el corte es progresivo. Por ello se tomará en cuenta una doceava parte del resultado de este ensayo como parámetro de diseño para la máquina picadora de bagazo de caña de azúcar. Como resultado de este ensayo se tiene un valor aproximado de resistencia al corte del bagazo de caña de 2/1cm kgf. Cumpliendo con el objetivo señalado”(Guijarro Paguay & Paguay Ocaña, 2011).

Conclusiones: El bagazo de caña presenta mayor dureza en los nudos, por ello realizamos los ensayos de corte en estas zonas, sin embargo obtuvimos valores diferentes en las 5 probetas; por ello realizamos un promedio de los valores.

ANEXO 2 PORCENTAJE DE BAGAZO EN LA CUÑA DE AZÚCAR

PORCENTAJE DE BAGAZO EN LA CAÑA DE AZÚCAR

Objetivos:

- “Determinar un valor experimental del porcentaje de bagazo de caña de azúcar en peso.
- Determinar un valor experimental del porcentaje de bagazo de caña de azúcar en volumen.

Materiales:

- Bagazo de caña de azúcar.
- Fluxómetro

Equipos y herramientas:

- Balanza
- Trapiche

Procedimiento:

- Con ayuda de la balanza obtenemos el valor de la masa de una muestra de caña de azúcar de 70cm de largo por 5cm de diámetro.
- Pasamos dicha muestra de bagazo de caña por el trapiche.
- Medimos el valor del volumen del jugo obtenido de la muestra de caña de azúcar, con la ayuda de un recipiente graduado.
- En la balanza obtenemos el valor de la masa de la caña de azúcar (bagazo), después de pasar por el trapiche.
- Tabulamos los datos obtenidos.
- Repetimos el procedimiento para tres muestras diferentes.

Gráfica:

Datos obtenidos:

Porcentaje en peso N° Probeta	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	Porcentaje
1	1380	362	26,2%
2	1366	357	26,1%
3	1608	396	24,6%
Promedio	1451,3	371,7	25,7%

Porcentaje en volumen N° Probeta	Volumen inicial (cm ³)	Volumen jugo (cm ³)	Porcentaje en volumen
1	1805,1	1290	28,5%
2	2266,0	1626	28,2%
3	2818,5	2090	25,8%
Promedio	2296,5	1668,7	27,5%

Resultados:

Obtenemos un promedio de 25.7%, es decir, que de la caña de azúcar el 25.7% es bagazo referido al peso. Y un 27.5% respecto al volumen”(Guijarro Paguay & Paguay Ocaña, 2011).

Conclusiones:

El resultado de nuestro ensayo es que se puede obtener aproximadamente las tres cuartas partes del peso de la caña de azúcar en jugo, con la ayuda de un trapiche. Comparando con el valor sugerido en el manual del Ingeniero Azucarero, que nos dice que el 25% de la caña de azúcar es bagazo, podemos concluir que dicho dato es real y considerarlo en el cálculo de los parámetros para el diseño de la Máquina Picadora de bagazo de caña de azúcar.

Respecto al volumen se tiene un valor mayor correspondiente al 27.5%.

El bagazo de caña de azúcar conserva cierto grado de humedad, lo que quiere decir que más del 75% de la caña corresponde al jugo de la misma

ANEXO 3 SELECCIÓN DE LENGÜETA

Tabla de selección de chaveta en función del diámetro del eje.

Chavetas rectas
(De la tabla UNIM 84)

Medidas en mm

Ejemplo de designación de una chaveta recta, de sección 24 x 14 y de longitud 140 mm: 24 x 14 x 140 UNIM 84.

Grupo de diámetros D	Chavetas				Chaveteros	
	b	h	z	l	l ₁	t ₁
de 10 a 12	4	4	0,3	de 10 a 30	2,5	D + 1,5
desde 12 a 17	5	5	0,3	a 10 a 40	3	D + 2
a 17 a 22	6	6	0,3	a 12 a 50	3,5	D + 2,5
a 22 a 30	8	7	0,3	a 20 a 70	4	D + 3
a 30 a 38	10	8	0,3	a 25 a 90	4,5	D + 3,5
a 38 a 44	12	8	0,3	a 30 a 120	4,5	D + 3,5
a 44 a 50	14	9	0,4	a 35 a 140	5	D + 4
a 50 a 58	16	10	0,4	a 45 a 180	5	D + 5
a 58 a 68	18	11	0,4	a 50 a 200	6	D + 5
a 68 a 75	20	12	0,4	a 60 a 220	6	D + 6
a 75 a 92	24	14	0,4	a 70 a 280	7	D + 7
a 92 a 110	28	16	0,5	a 80 a 300	8	D + 8
a 110 a 130	32	18	0,5	a 90 a 350	9	D + 9
a 130 a 150	36	20	0,5	a 100 a 400	10	D + 10

DIMENSIONES CHAVETEROS Y CHAVETAS S/DIN 6885/1 - 6886 y 6887
STANDARD KEYWAYS S/DIN 6885/1 - 6886 and 6887



Ø eje d mm desde-hasta	Medidas chaveta b x h mm	Medidas del chavetero en el cubo				Medidas del chavetero en el eje para chavetas paralelas y de cuña		Medidas de los ejes en el cubo de la rueda	
		Chaveta paralela S/DIN 6885/1	Tol. admisible (en altura)mm	Chaveta de cuña S/DIN 6886 y 6887	Tol. admisible (en altura)mm	l ₁ mm	Tol. admisible (en altura)mm	Ø mm desde-hasta	Tol. H-7 mm
17-22	6x6	d+2,6	+0,1	d+2,1	+0,1	3,5	+0,2	10-18	+0,018 0
22-30	8x7	d+3,0		d+2,4		4,1			
30-38	10x8	d+3,4		d+2,8		4,7			
38-44	12x8	d+3,2		d+2,6		4,9			
44-50	14x8	d+3,6		d+2,9		5,5			
50-58	16x10	d+3,9		d+3,2		6,2			
58-65	18x11	d+4,3		d+3,5		6,8			
65-75	20x12	d+4,7		d+3,9		7,4			
75-85	22x14	d+5,6		d+4,8		8,5			
85-95	25x14	d+5,4		d+4,6		8,7			
95-110	28x16	d+6,2	d+5,4	9,9	+0,3	120-180	+0,040 0		
110-130	32x18	d+7,1	d+6,1	11,1		180-250	+0,046 0		
130-150	36x20	d+7,9	d+6,9	12,3		250-315	+0,052 0		
150-170	40x22	d+8,7	d+7,7	13,5		315-400	+0,057 0		
170-200	45x25	d+9,9	d+8,9	15,3		400-500	+0,063 0		
200-230	50x28	d+11,2	d+10,1	17					
230-260	56x32	d+12,9	d+11,8	19,3					
260-290	63x32	d+12,6	d+11,5	19,6					

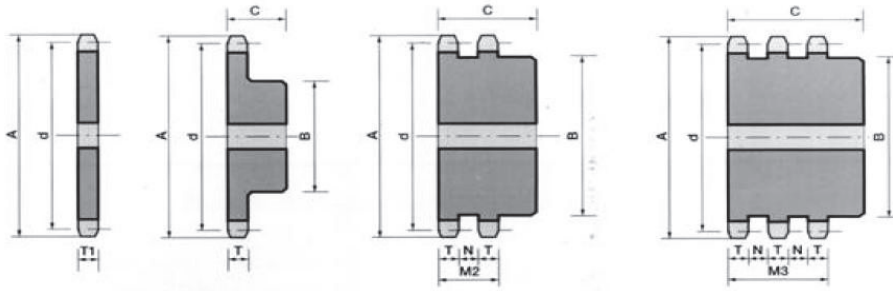
Selección del chavetero

Diámetro del eje d		Sección de la chaveta a b x h	Ancho b. Tolerancias						Profundidad				Chaflán R1.	
Min	Max		Nominal	Clase de Ajuste del enchavetado			Eje h1		Cubo h2					
38	44	12x8	12	Libre	Normal		Ajustado	Nominal	Toler	Nominal	Toler	Min.	Max.	
44	50	14x9	14	Eje h9.	Cubo D10	Eje N9	Cubo Js9	Eje y Cubo P9	5		3,3		0,25	0,40
50	58	16x10	16	0,043	0,12	-0,043	±0,0215	-0,018	5,5		3,8		0,25	0,40
									6		4,3		0,25	0,40
58	65	18x11	18	0	0,05	0		-0,061	7	0,2	4,4	0,2	0,25	0,40

Fuente: www.google.com.ec

ANEXO 4 SELECCIÓN DE PIÑONES

Selección de los piñones.



Paso de Cadena	T	N	M2	M3	T1
ASA-35 (3/8")	4,1	6	14,2	24,3	4,3

PASO 3/8"		ASA 35	Rodillo 5,08 mm					
		BS	Rodillo 6,35 mm					
Dientes	Diámetro Primitivo (d)	Diámetro Exterior (A)	Diámetro Cubo (B)			Largo Total (C)		
			S	D	T	S	D	T
10	30.83	35.05	20	20	20	22	30	42
11	33.81	38.15	23	23	23	22	30	42
12	36.80	41.27	26	26	26	22	30	42
13	39.80	44.37	29	29	29	25	30	42
14	42.80	47.45	32	32	32	25	30	42
15	45.80	50.55	35	35	35	25	30	42
16	48.82	53.62	38	38	38	25	30	42
17	51.84	56.67	41	41	41	25	30	42
18	54.84	59.74	44	44	44	25	30	42
19	57.86	62.81	47	47	47	25	30	42
20	60.88	65.86	50	50	50	25	30	42
21	63.91	68.91	53	53	53	25	30	42
22	66.93	71.96	56	56	56	25	30	42
23	69.95	75.03	59	59	59	25	30	42
24	72.97	78.08	62	62	62	25	30	42
25	76.00	81.13	65	65	65	25	30	42
26	79.02	84.18	68	68	68	25	30	42
27	82.04	87.22	70	70	70	25	30	42
28	85.06	90.27	70	70	70	25	30	42
29	88.09	93.29	70	70	70	25	30	42
30	91.13	96.34	75	75	75	25	30	42
35	106.25	111.56	60	65	75	30	35	55
38	115.34	120.67	65	70	75	33	35	55
40	121.41	126.75	65	70	75	33	40	55
45	136.55	141.93	68	75	75	40	40	55
50	151.69	157.12	68	75	75	40	40	55
57	172.90	178.36	72	75	80	40	40	55
60	181.99	187.48	72	72	80	40	40	55
76	230.48	236.02	72	90	90	40	42	58
95	288.09	293.65	90	90	100	42	42	60
114	345.67	351.26	90	100	100	42	50	65

ANEXO 5 SELECCIÓN DE CADENA

ANEXO 6 PROTOCOLO DE PRUEBAS

PROTOCOLO DE PRUEBAS

Protocolo de Pruebas (hojas 1 de 2)

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL				
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA				
PRUEBAS DE CAMPO				
FECHA DE LA PRUEBA:				
FECHA DE APROBACIÓN:				
NOMBRE DE LA EMPRESA:				
NOMBRE DE LA MÁQUINA:				
CAPACIDAD DE LA MÁQUINA:				
PERSONAL RESPONSABLE:				
DIMENSIONES DE LA MÁQUINA				
VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA MÁQUINA				
ELEMENTOS	PASA		NO PASA	
Eje de Trituración				
Tambor				
Tolva de Ingreso				
Tolva de Salida				
Estructura Soporte				
Sistema de Control				
VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES TOTALES DE LA MÁQUINA				
PARÁMETROS	DIMENSIONES	PASA		NO PASA
Largo				
Ancho				
Alto				

Protocolo de Pruebas (hoja 2 de 2)

FUNCIONAMIENTO EN VACIO			
SISTEMAS	TIEMPO DE PRUEBA	FALLA	NO FALLA
Eléctrico			
Transmisión			
Estructura			
VERIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BAGAZO DE CAÑA MOLIDO			
PARÁMETROS	ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	
Longitud del bagazo			
Calidad			
Capacidad por hora			
Nivel de Ruido			
CONCLUSIONES:			
OBSERVACIONES:			
El Prototipo Pasa: Si Pasa		El Prototipo No Pasa:	
FIRMA DE PERSONA(S) RESPONSABLES		FIRMA DE AUTORIZACIÓN	

ANEXO 7 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CAMPO

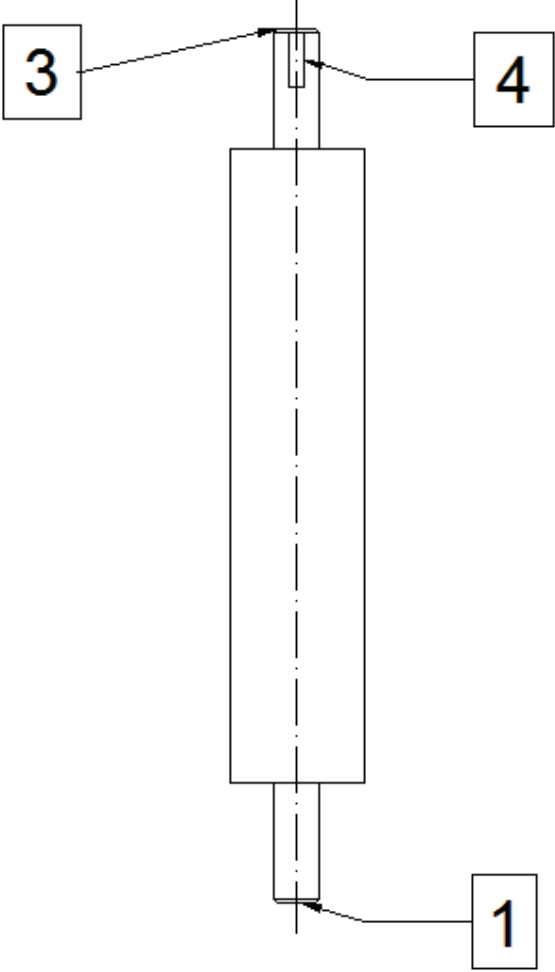
Protocolo de pruebas (hoja 1 de 2).

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL			
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA			
PRUEBAS DE CAMPO			
FECHA DE LA PRUEBA:	19 de Agosto del 2011		
FECHA DE APROBACIÓN:	26 de Noviembre del 2011		
NOMBRE DE LA EMPRESA:	INVEDELCA S.A.		
NOMBRE DE LA MÁQUINA:	Molino de bagazo de caña		
CAPACIDAD DE LA MÁQUINA:	600 Kg/h		
PERSONAL RESPONSABLE:	Ing. Jaime Vargas Oscar Ramos		
DIMENSIONES DE LA MÁQUINA			
VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA MÁQUINA			
ELEMENTOS	PASA	NO PASA	
Eje de Trituración	X		
Tambor	X		
Tolva de Ingreso	X		
Tolva de Salida	X		
Estructura Soporte	X		
Sistema de Control	X		
VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES TOTALES DE LA MÁQUINA			
PARÁMETROS	DIMENSIONES	PASA	NO PASA
Largo	2400 mm	X	
Ancho	1900 mm	X	
Alto	2300 mm	X	

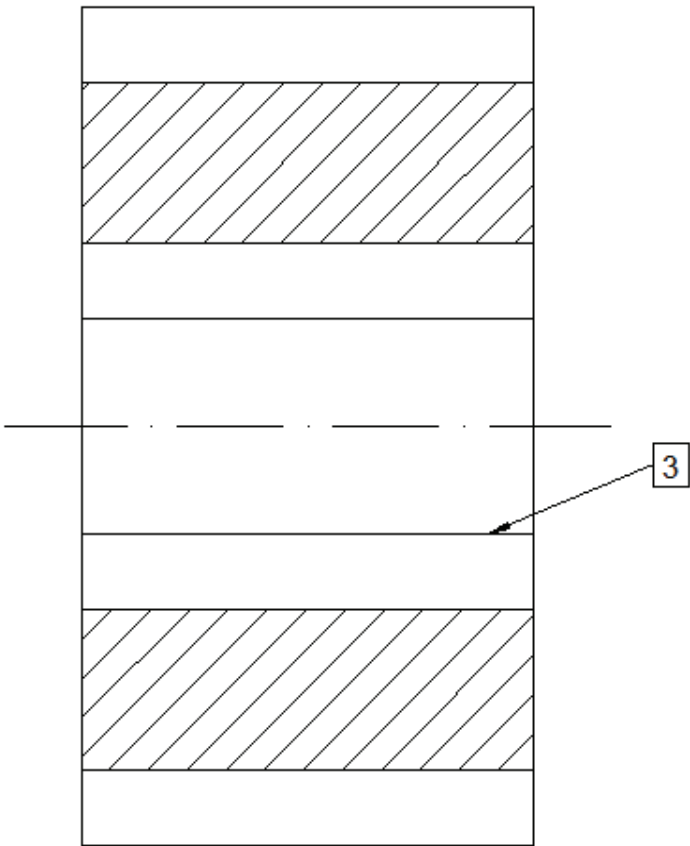
Protocolo de Pruebas (hoja 2 de 2)

FUNCIONAMIENTO EN VACIO			
SISTEMAS	TIEMPO DE PRUEBA	FALLA	NO FALLA
Eléctrico	60 minutos		X
Transmisión			X
Estructura			X
VERIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BAGAZO DE CAÑA MOLIDO			
PARÁMETROS	ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	
Longitud del bagazo	X		
Calidad	X		
Capacidad por hora	X		
Nivel de Ruido	X		
CONCLUSIONES:			
<ul style="list-style-type: none"> Luego de la evaluación del molino de bagazo de caña con el protocolo de pruebas, se concluye que la geometría de sus elementos constitutivos y componentes cumplen con los parámetros y especificaciones con los cuales se realizó su diseño. El motor usado para las pruebas satisface las necesidades de la máquina. La homogeneidad de la longitud del bagazo de caña esta dentro de los parámetros exigidos por la empresa. La cantidad de bagazo entregado por hora por la máquina, supero las expectativas del diseño y la empresa. 			
OBSERVACIONES: La máquina necesita de al menos dos personas que alimenten con material para que cumpla con los parámetros exigidos por la empresa.			
El Prototipo Pasa: Si Pasa		El Prototipo No Pasa:	
FIRMA DE PERSONA(S) RESPONSABLES		FIRMA DE AUTORIZACIÓN	

ANEXO 8 HOJAS DE PROCESOS

HOJA DE PROCESOS 1				EJE DE TRITURACIÓN	
Nombre de la unidad: Máquina Prototipo Molino de Bagazo de Caña				Tiempo de duración 90 minutos.	
Posición	Cantidad	Denominación	Material	Dimensiones en bruto	Observación
	1	Eje trituración	AISI 1020	50.8X300	Ninguna
					
Superficie	Operación	Velocidad (rpm)	N° Pasadas	Profundidad (mm)	Tiempo (min)
1	Refrentado	500	2	2	10
2	Medición trazado y corte				10
3	Refrentado	500	2	2	10
4	Maquinado del chavetero		3	3	10
5	Acople a eje de mayor diametro				50

HOJA DE PROCESOS 2				EJE DE TRITURACIÓN	
Nombre de la unidad: Máquina Prototipo Molino de Bagazo de Caña				Tiempo de duración 240 minutos.	
Posición	Cantidad	Denominación	Material	Dimensiones en bruto	Observación
	3	Tambor	ASTM A 36 / JIS G 3141 SPCC - SD / SAE 1010	1220X2440	2 planchas se usan como el cuerpo y 1 para las tapas.
Superficie	Operación	Velocidad (rpm)	N° Pasadas	Profundidad (mm)	Tiempo (min)
1	Medición y trazado				40
2	Corte con oxicorte				120
3	Limpieza de aristas vivas				40
4	Barolado		10		120
5	Unión de tapas				80

HOJA DE PROCESOS 3				EJE DE TRITURACIÓN	
Nombre de la unidad: Máquina Prototipo Molino de Bagazo de Caña				Tiempo de duración 25 minutos.	
Posición	Cantidad	Denominación	Material	Dimensiones en bruto	Observación
	2	Polea conducida y conductora	Fundición DIN 1691	Diámetro 250mm y 150mm	Ninguna
					
Superficie	Operación	Velocidad (rpm)	N° Pasadas	Profundidad (mm)	Tiempo (min)
1	Centrado		1		10
2	Medición y trazado		1		10
3	Cilindrado	500	1	2	5

ANEXO 9 PLANOS