

**EVALUACIÓN DE UN CORTADOR TIPO TIJERA PARA EL PROCESAMIENTO
DE CAÑA PANELERA.**

**EDINSON MORENO RINCON
LEONARDO ANDRES ORTIZ CORTES**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

**EVALUACIÓN DE UN CORTADOR TIPO TIJERA PARA EL PROCESAMIENTO
DE CAÑA PANELERA.**

EDINSON MORENO RINCON
LEONARDO ANDRÉS ORTIZ CORTÉS

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO MECÁNICO

DIRECTOR: ING. MIGUEL ANGEL REYES OROZCO
CO-DIRECTOR: ING. ARIEL RENE CARREÑO OLEJUA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2014

Nota de aceptación



Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Enero de 2014

DEDICATORIA

En primer lugar este triunfo se lo dedico a Dios, ya que estoy seguro que siempre ha estado presente en mi vida.

A mis padres Isolina Rincón y Urbano Moreno, quienes con su apoyo me permitieron ser estudiante de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, también dedicó este logro a mis hermanos, Nancy Moreno, Ronald Andrey Moreno y William Moreno ya que gracias a su compañía y consejos, han contribuido en mi formación como persona y además les agradezco que hayan creído en mí.

(MORENO RINCON, EDINSON)

DEDICATORIA

Estoy totalmente convencido de que cada cosa que sucede en nuestra vida es por gracia de Dios a quien en primera instancia quiero dedicar este gran triunfo, porque siempre ha sido y será ese sustento que necesito hoy y en todos los demás desafíos que vendrán.

A mi Padre Leonardo Ortiz Cubides por ser mi amigo y consejero, por el apoyo incondicional y su gran esfuerzo al permitirme poder ser estudiante y ser formado como profesional en tan excelente Institución como lo es La Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. También dedico este logro a mi abuela Alcira Suarez, quien con sus atenciones y dedicación durante todo este tiempo hicieron parte fundamental de lo que hasta hoy he alcanzado. A mi Hermana Yenny Alexandra Ortiz Cortés por su compañía, apoyo emocional y moral. Finalmente a toda la familia que siempre ha creído en mí.

(ORTIZ CORTES, LEONARDO ANDRES)

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer inmensamente a Dios por sus infinitas bendiciones al permitirnos tener vida y poder hacer uso de nuestras facultades y mejorarlas en cada momento.

A la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga por contar con tan altos e importantes elementos y mecanismos de desarrollo para formar profesionales, personas con valores y sentido humano. Por facilitarnos las instalaciones, uso de todos los instrumentos y equipos necesarios para el desarrollo del proyecto de investigación.

Muy agradecidos con los Ingenieros Ariel Rene Carreño Olejua, Miguel Ángel Reyes Orozco y de igual manera a Juan Manuel Argüello Espinosa-Diseñador Industrial, al grupo de investigación y desarrollo tecnológico en mecatrónica y agroindustria-GIDeTechMA y a todo el cuerpo de docentes de la facultad de Ingeniería mecánica por su aporte en el desarrollo formativo como profesionales de esta área.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	13
1. ALCANCE	16
2. JUSTIFICACIÓN	17
3. OBJETIVOS	18
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4. MARCO TEÓRICO	19
4.1. CAÑA DE AZÚCAR	19
4.2. PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL JUGO DE CAÑA.....	22
4.2.1. Descripción proceso convencional de extracción.....	23
4.2.2. Descripción del proceso con nueva etapa de corte.....	24
4.3. TIPOS DE TRITURADORES.....	25
4.3.1. Triturador de rodillos.....	25
4.3.2. Molino de rodillos.....	26
4.3.3. Triturador de mandíbula.	26
4.3.4. La prensa.	27
4.3.5. Triturador tipo tijera.	27
5. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO DE CORTE	30
5.1. ELEMENTOS SUMINISTRADOS.....	30
5.1.1. Eje de corte.....	31
5.1.2. Cuchilla de corte.....	31
5.2. MATERIAL SELECCIONADO	32
5.3. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO.....	33
5.3.1. Mantenimiento.....	33
5.3.2. Movilidad.....	33
5.3.3. Limpieza.....	34
5.3.4. Seguridad.....	34

5.3.4.1. Guarda engranes.....	34
5.4.3.2. Cubierta para alimentación de caña.....	34
5.4. CONSIDERACIONES MECÁNICAS PROTOTIPO DE CORTE	35
5.4.1. Carcaza.....	35
5.4.2. Selección de rodamientos.....	36
5.4.3. Selección de Engranes.....	39
5.4.4. Moto-reductor.....	41
5.4.5. Selección Acople.....	42
5.4.6. Variador de Frecuencia.....	46
5.4.7. Estructura general de ensamble.....	46
5.4.8. Tablero de control eléctrico.....	50
5.5. MAQUINADO DE ELEMENTOS.....	50
5.6. ENSAMBLE PROTOTIPO	51
6. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	53
6.1. PRUEBA ETAPA 1- OBSERVACIÓN.....	54
6.2. PRUEBA ETAPA 2 – PUESTA A PUNTO PROTOTIPO	55
6.2.1. Según orientación de la caña.....	55
6.2.2. Comportamiento según longitud, frecuencia Hz y cantidad de caña.....	56
6.3. PRUEBA ETAPA 3 – CAÑA SIN CASCARA.....	59
6.4. PRUEBA ETAPA - 4 DETERMINACIÓN NÚMERO DE PRUEBAS	63
6.4.1. Tamaño de la muestra para la media.....	63
6.5. MEJORA EN OPERACIÓN DE CORTE	66
7. CARACTERIZACIÓN	67
7.1. DESARROLLO DE PRUEBAS	67
7.1.1. Datos característicos.....	67
7.1.1.2 Datos preliminares.....	69
8. CÁLCULOS Y RESULTADOS	72
8.1. POTENCIA CONSUMIDA.....	72
8.2. VELOCIDAD DE CORTE.....	72
8.3. FLUJO VOLUMÉTRICO	73
8.4. BALANCE DE MASA.....	73
8.5. RESULTADOS FINALES.....	76
9. CURVAS DE CARACTERIZACIÓN	79

9.1. GRAFICAS FINALES.....	79
9.2. COMPARATIVO TRITURADORES MANDÍBULA VS TIJERA.	83
10. OBSERVACIONES.....	85
11. RECOMENDACIONES.....	86
CONCLUSIONES.....	87
BIBLIOGRAFÍA.....	88
ANEXOS.....	90

LISTA DE FIGURAS

Figura. 1 Componentes morfológicos.	20
Figura. 2 Variedad POJ 28-78.	22
Figura. 3 Motor diésel y eléctrico para accionar molinos	23
Figura. 4 Diagrama comparativo del proceso extracción jugo de caña.....	24
Figura. 5 Triturador de rodillos.	25
Figura. 6 Molino de rodillos.	26
Figura. 7 Triturador de mandíbula.....	27
Figura. 8 Cuchilla de corte patentada.	28
Figura. 9 Modelo triturador Muffin Monster.	28
Figura. 10 Propuesta inicial Eje de corte estriado.....	30
Figura. 11 Ejes de corte con sección pentagonal.	31
Figura. 12 Cuchilla de corte.	31
Figura. 13 Cuchillas de corte con separador y con desfase.	32
Figura. 14 Guarda engranes.	34
Figura. 15 Cubierta instalada en el prototipo.	35
Figura. 16 Caras de carcasa cortador.....	36
Figura. 17 Rodamiento de Bolas.....	37
Figura. 18 Rodamientos con eje y soporte	39
Figura. 19 Engrane recto prototipo de corte.	40
Figura. 20 Par de engranes rectos prototipo de corte.....	41
Figura. 21 Acople en el sistema.....	46
Figura. 22 Estructura inicial módulo de procesamiento de caña.....	47
Figura. 23 Estructura final proceso caña de azúcar.....	48
Figura. 24 Nivel I – Prototipo de corte.....	48
Figura. 25 Nivel II – Extrusión.....	49
Figura. 26 Nivel III – Unidad Hidráulica y compactadora.	49
Figura. 27 Tablero eléctrico de control.....	50
Figura. 28 Nomenclatura de ensamble.	51
Figura. 29 Diagrama de Ensamble del prototipo.....	52
Figura. 30 Caña aprontada para las pruebas.	53
Figura. 31 Pila de cuchillas.	53
Figura. 32 Resultado caña picada.	54
Figura. 33 Varas de caña sin cascara.....	59
Figura. 34 Caña triturada.	60
Figura. 35 Grafica corriente prototipo de corte.	61
Figura. 36 Nuevos engranes.....	66
Figura. 37 Potencia (kw) VS Índice de extracción.....	75
Figura. 38 Frecuencia (Hz) Vs Índice de extracción (%).	75
Figura. 39 Potencia (kw) Vs Flujo volumétrico (cm ³ /s) 50Hz	79
Figura. 40 Potencia (kw) Vs Flujo volumétrico (cm ³ /s) 55 Hz.	80
Figura. 41 Potencia (kw) Vs Flujo volumétrico (cm ³ /s) 60 Hz.	80
Figura. 42 Potencia (kw) Vs Diámetro (cm) 50 Hz.	81

Figura. 43 Potencia (kw) Vs Diámetro (cm) 55 Hz.82
Figura. 44 Potencia (kw) Vs Diámetro (cm) 60 Hz.82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Variedades de panela de las diferentes regiones agroecológicas.	21
Tabla 2 Dimensiones rodamiento.	37
Tabla 3 Ajuste Forzado.....	38
Tabla 4 Datos para cálculo de engranes	40
Tabla 5 Diseño de engranes - software.	41
Tabla 6 Información básica de selección según RENOLD	42
Tabla 7 Factor de servicio fD	43
Tabla 8 Factor Arranque/hr fS.....	44
Tabla 9 Resultados para seleccionar acople	44
Tabla 10 Comparación acoples	45
Tabla 11 Ensayo No.1 - Observación	54
Tabla 12 Ensayo No 2 - caña perpendicular a los ejes de corte a 35 Hz.....	56
Tabla 13 Ensayo No 3 - caña inclinada perpendicular ejes de corte a 35 Hz.	56
Tabla 14 Ensayo No 4 - alimentación una caña a 45 Hz.	56
Tabla 15 Ensayo No 5 - alimentación dos cañas a 35 Hz.....	57
Tabla 16 Ensayo No 6 - alimentación dos cañas a 45 Hz.....	57
Tabla 17 Ensayo No 7 - alimentación dos cañas a 55 Hz.....	58
Tabla 18 Ensayo No 8 - alimentación con tres cañas a 55 Hz.....	58
Tabla 19 Ensayo No 9 - alimentación con caña larga a 55 Hz.....	58
Tabla 20 Ensayo No 10 - alimentación con caña sin cascara a 60 Hz.	60
Tabla 21 Datos de picos de corriente moto-reductor.	62
Tabla 22 Factores de confiabilidad.	64
Tabla 23 Datos de variable a evaluar.	65
Tabla 24 Número de pruebas según Error máximo.	65
Tabla 25 Relación de velocidad.....	66
Tabla 26 Datos a 50 Hz.	68
Tabla 27 Datos a 55 Hz.	68
Tabla 28 Datos a 60Hz.	69
Tabla 29 Datos obtenidos a 50Hz.....	70
Tabla 30 Datos obtenidos a 55 Hz.....	70
Tabla 31 Datos obtenidos a 60 Hz.....	71
Tabla 32 Cálculos estadístico para los índices de extracción.....	74
Tabla 33 Consumo y extracción.....	74
Tabla 34 Datos calculados a 50 Hz.	76
Tabla 35 Datos calculados a 55 Hz.	77
Tabla 36 Datos calculados a 60 Hz.	77
Tabla 37 Comparación Flujo Volumétrico.....	81
Tabla 38 Características del triturador BLAKE de mandíbula de VAIVEN.....	83
Tabla 39 Comparativo trituradores no convencionales	84

RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

TITULO: Evaluación de un cortador tipo tijera para el procesamiento de caña panelera.

AUTORES: EDINSON MORENO RINCON; LEONARDO ANDRÉS ORTIZ CORTÉS

FACULTAD: INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR: ING. MIGUEL ANGEL REYES OROZCO

CO-DIRECTOR: ING. ARIEL RENE CARREÑO OLEJUA

RESUMEN

La presente propuesta hace parte de un proyecto de investigación relacionado con el procesamiento de caña de azúcar en la etapa de extracción de jugos, el cual se encuentra matriculado en la Dirección General de Investigaciones-DGI e impulsado por el Prof. Dr. Ing. René Carreño Olejua. El grupo de investigación y desarrollo tecnológico en mecatrónica y agroindustria de la Universidad Pontificia Bolivariana, busca activamente mecanismos que lleven al desarrollo de herramientas que permitan un mejor procesamiento de la materia prima del sector agrícola.

El resultado que se quiere obtener es la mayor cantidad de datos característicos a través de un prototipo no convencional de corte implementado en el proceso de caña panelera. Se desarrollará en primera instancia sobre un diseño de las cuchillas de corte suministrado por el grupo de investigación GIDeTechMA, además será construido, se hará una proyección en la estructura de ensamble donde se puedan acoplar otros sistemas que sirvan para complementar la etapa de beneficio de la extracción del fluido de dicho elemento, se instrumentara debidamente el proyecto y finalmente mediante trabajo de observación en el transcurso del proceso se levantarán los datos suficientes para elaborar las curvas de la variable de potencia consumida en relación a las particularidades dimensionales de la masa de entrada como también de salida, operando con velocidad de corte variable, en una cantidad de pruebas determinadas.

PALABRAS CLAVE: Caracterización, Extracción, Caña de azúcar, Prototipo, Cuchillas.

GENERAL ABSTRACT

TITLE: Evaluation of a scissor cutter for processing sugarcane.

AUTHORS: EDINSON MORENO RINCON; LEONARDO ANDRÉS ORTIZ CORTÉS

FACULTY: INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR: ING. MIGUEL ANGEL REYES OROZCO

CO-DIRECTOR: ING. ARIEL RENE CARREÑO OLEJUA

ABSTRACT

The present proposal is part of a research project related to sugar cane processing as far as the juice extraction stage, which is registered at Universidad Pontificia Bolivariana at Bucaramanga's Research General Direction (DGI) and promoted by Professor Dr. Eng. René Carreño Olejua. Universidad Pontificia Bolivariana's Technological Development in Mechatronics and Agricultural Business Research Group is actively searching for mechanisms leading to the development of techniques allowing a better processing of raw material in the agricultural field.

The result expected to be obtained is the highest amount of characteristic data through a cutting unconventional prototype implemented in sugarcane processing. It will be developed on a design provided by GIDeTechMA Research Group. Besides, it will be constructed and a projection on the assembly structure where other systems can be coupled serving to complement the benefit phase of sugarcane extraction fluid will be made. The project will be properly instrumented and, in the end, enough data will be obtained by means of observation tests during the process, in order to elaborate the variable curves of consumed power concerning dimensional characteristics of input and output mass, operating with variable cutting speed in a number of determined tests.

KEY WORDS: Characterization, Extraction, Sugar cane, Prototype, Cutters.

INTRODUCCIÓN

EL propósito de este libro es documentar el proceso de desarrollo de un prototipo de corte, partiendo de un esquema inicial propuesto por el grupo investigador de la facultad de Ingeniería mecánica, GIDeTechMA, con el cual se genera, la construcción de un triturador no convencional. Los primeros capítulos presentan la razón por la cual se decidió desarrollar la investigación.

En el cuarto capítulo se dará a conocer conceptos básicos de la caña de azúcar, la forma tradicional de procesar dicho elemento por el método de rodillos, los tipos de trituradores emergentes en las diferentes aplicaciones agrícolas, y finalmente las razones por las cuales se quiere probar el proceso con un cortador tipo tijera.

Los capítulos 5, 6 y 7 muestran todo el proceso de construcción del equipo, teniendo en cuenta criterios de diseño, consideraciones mecánicas requeridas para el prototipo, pruebas y posterior caracterización. Finalmente se registra los resultados obtenidos.

1. ALCANCE

La finalidad del proyecto está orientado a la construcción de un prototipo de corte, para ser desarrollado en asocio con el grupo GIDeTechMA, tomando como base el esquema suministrado en planos, a su vez su ensamble en una estructura general, así como su caracterización a la luz de las variables del proceso de corte de caña panelera, entregando finalmente las respectivas curvas de rendimiento del proceso.

2. JUSTIFICACIÓN

Colombia es uno de los mayores productores de panela en el mundo, convirtiéndose en el segundo después de la India en producción. A pesar del nivel en la cantidad de producción su procesamiento a través de los años sigue siendo rudimentario y carente de técnicas que permitan un mejor procesamiento de dicha fuente alimentaria. Debido a su poca tecnificación la panela seguirá siendo un producto fuerte solo a nivel nacional en la canasta familiar.

El grupo de investigación y desarrollo tecnológico en mecatrónica y agroindustria de la Universidad Pontificia Bolivariana con miras de solucionar estas falencias, participa activamente en la búsqueda de mecanismos, que impulsen modelos para el sector productivo en nuestro país mediante la caracterización de los procesos tendientes a mejorar los índices de productividad del sector rural, en este caso particular en una etapa de extracción de la caña panelera. Este proyecto se encuentra totalmente avalado por el departamento General de Investigaciones-DGI e impulsado por el Prof. Dr. Ing. René Carreño Olejua, lo cual permitirá con mayor facilidad y libertad su desarrollo.

Finalmente el trabajo de evaluación busca hacer mejoras del proceso el cual se encuentra principalmente relacionado con un estudio del comportamiento del elemento de corte, por medio del cual se pretende observar el comportamiento del triturado de la caña panelera al implementar dicho prototipo no convencional, también sus variables de operación como son la potencia de consumo en relación a la masa y la capacidad volumétrica en las pruebas que se establezcan mediante análisis estadístico.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar el proceso de un cortador tipo tijera múltiple, utilizando caña panelera como elemento de prueba, a través de la observación de la potencia consumida en relación a la velocidad de corte, las particularidades dimensionales del producto a la entrada así como también a la salida.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir el prototipo de corte de caña panelera para el laboratorio de control de procesos agroindustriales ubicado en el edificio I-105, debidamente instrumentado que permita la adquisición de datos en el transcurso del proceso. **Resultado:** Prototipo instrumentado para el corte de caña de azúcar. **Indicador:** Prototipo según planos de GIDeTechMA.
- Caracterizar el prototipo tomando como base el rendimiento de corte (masa y energía /Tiempo) en relación a la velocidad de giro de los ejes (variación de frecuencia de motor), particularidades del producto de entrada y el tiempo de proceso utilizando como elemento de prueba caña panelera de la región de Piedecuesta. **Resultado:** Curvas de observación de la variable de potencia en relación a la masa de entrada y el tiempo de proceso. **Indicador:** Curvas del Rendimiento del prototipo por lo menos en 5 puntos diferentes de operación del motor.
- Elaborar un balance de masa basado en un análisis estadístico que permita establecer en diferentes rangos de operación del motor la cantidad de jugo de caña extraído en la primera etapa de corte. **Resultado:** Curvas de observación de la masa de flujo sobre la masa total en diferentes puntos de operación del motor. **Indicador:** Curva de rendimiento en función de la frecuencia.

4. MARCO TEÓRICO

Como una de las líneas de investigación del grupo *GIDeTechMA* de la Facultad de Ingeniería Mecánica, se estudia la caña de azúcar como elemento de prueba, a la luz de unas variables que se obtienen por medio de la caracterización de un prototipo de corte, destinado como alternativa para intervenir en el método convencional de extracción de jugos de caña en una nueva etapa para dicho procesamiento.

4.1. CAÑA DE AZÚCAR

Es una planta monocotiledónea que pertenece a la familia de las gramíneas (*Saccharum officinarum* L.), de la cual se obtiene productos como la panela. Como pasto perenne que es, puede multiplicarse a partir de semilla verdadera, yemas nodales y en algunos casos a partir de rizomas. Su ciclo de vida se caracteriza por un largo periodo vegetativo y una fase reproductiva altamente dependiente de las condiciones ambientales imperantes.

La bioproductividad de la caña en una zona agro-climática depende de la radiación total recibida durante la estación de crecimiento y la eficiencia en su utilización. El rendimiento puede ser entonces analizado en términos de: desarrollo de hojas y capacidad fotosintética de la planta y producción de biomasa, nutrientes y acumulación de sacarosa. Comercialmente, el rendimiento de la caña es expresado en función del peso fresco de los tallos que pueden ser molidos; lo cual corresponde básicamente a la fracción de la biomasa total destinada a tallos. A su vez el rendimiento de sacarosa es determinado por la partición de biomasa a sacarosa. Cada uno de los órganos de la planta y, ella en su conjunto, poseen mecanismos adaptativos o estrategias que le permiten la utilización de los recursos disponibles.¹

La caña de azúcar es una gramínea tropical, emparentada con el sorgo y el maíz en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto, que al ser extraído y cristalizado en el ingenio se forma el azúcar. El tallo se constituye en el órgano de almacenamiento de azúcares y por lo tanto desde el punto de vista comercial, es el más importante. El número, diámetro, color, crecimiento y longitud de los tallos dependen de la variedad, condiciones ambientales de la zona y el

¹ (CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA-CORPOICA. Guía Tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera. [En Línea]. 2007. [Citado 05-Ago-2013]. Disponible en:<http://www.agronet.gov.co/BibliotecaDigital.html>)

manejo del cultivo. Los tallos se forman a partir de la yema preexistente en el material de siembra y de las yemas de los nuevos brotes.

La calidad del jugo de la caña está determinada por la concentración de sacarosa. Se espera entonces que su concentración sea alta, mientras que la de otros azúcares, ácidos orgánicos y sales minerales sea baja. La máxima concentración de sacarosa y el momento en el cual se alcanza dicha concentración puede ser una característica varietal, pero también de alguna manera regulada por condiciones ambientales o prácticas culturales.²

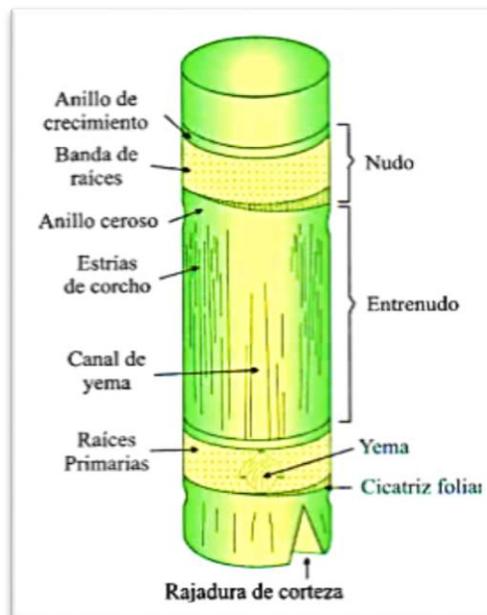


Figura. 1 Componentes morfológicos.²

Por el momento los países productores de caña de azúcar ecológica más importantes son Brasil, Paraguay, Filipinas, EE.UU., Mauricio, Colombia y la República Dominicana.³

² (CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA-CORPOICA. Catálogo de variedades de caña para la producción de panela en la hoyo del río Suarez. [En Línea]. 2003. [Citado 24-Jul-2013], Disponible en: <http://corpomail.corpoica.org.co/bacdigital/Contenidos/catalogo.asp?CA=25955>)

³ (CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA CORPOICA. Buenas prácticas agrícolas y Buenas prácticas de manufactura. [En línea]. 2007. [Citado 07-Ago-2013]. Disponible en: <http://www.fao.org.co>)

Tabla 1 Variedades de panela de las diferentes regiones agroecológicas.⁴

Variedad	Producción potencial de panela, t/ha		Región geográfica y unidad agro-ecológica
	Min.	Max.	
RD 75-11 PR 61-632 POJ 28-78	20,3 14,2 11,5	24,1 17,5 15,4	Hoya del Río Suárez y Chicamocha (Me-Mf) - Corte por parejo
My 54-65 RD 75-11 POJ 28-78	17,3 18,5 9,8	19,7 20,6 13,7	Cundinamarca y Norte de Santander (Mf-Mg) - Corte por entresaque.
RD 75-11 PR 11-41	19,8 19,4	23,7 22,5	Antioquia (Me- Mf- Mg) Corte por parejo.
SP701284 My 54-65 MZC 74-275 PR 62-66 RD 75-11	20,2 18,4 19,4 21,2 20,1	23,3 20,4 22,6 23,7 24,3	Llanos Orientales y Cimitarra Santander (Cg- Cj) - Corte por parejo.

Tabla 1 Variedades de panela de las diferentes regiones agroecológicas.⁴

Las variedades de caña actualmente cultivadas en Colombia provienen en gran parte de hibridaciones introducidas de otros países y de algunas producidas en el país. Las introducciones más importantes provienen de JAVA (POJ), Barbados (B), Hawái (H), Puerto Rico (PR), India (CO, coimbatore), Estados Unidos (CP), Venezuela (V), Brasil (S.P., C.B) y República Dominicana (RD).

La variedad POJ 28-78, fue obtenida en la Isla de Java e introducida a Colombia en 1929. Tiene tallos largos, diámetro mediano a grueso, color amarillo verdoso y entrenudos de longitud media y cubiertos con cerosina; su hábito de crecimiento es semirecto y sus hojas abiertas (figura 2). Contiene bastante pelusa, se deshoja fácilmente y se adapta bien a diferentes agro-ecosistemas. La maduración es tardía, la floración es escasa y genera jugos de buena calidad; con un equipo que cumpla con una BPM de mantenimiento y calibración adecuada, se puede lograr un 55 a 60% de extracción (CORPOICA – Sena, 1998).⁵

⁴ (CENTRO REGIONAL DE ESTUDIOS ECONOMICOS BUCARAMANGA. El cultivo de la caña panelera en Santander y la groindustria panelera en el departamento de Santander. [En Línea]. 2004. [Citado 30-Jul-2013]., Disponible en: http://banrep.gov.co/documentos/publicaciones/regional/ESER/bucaramanga/2004_diciembre.pdf)

⁵ (CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA CORPOICA. Buenas prácticas agrícolas y Buenas prácticas de manufactura. [En línea]. 2007. [Citado 07-Ago-2013]. Disponible en: <http://www.fao.org.co>)



Figura. 2 Variedad POJ 28-78.⁶

En condiciones óptimas de maduración, puede ser utilizada en la fabricación de panela instantánea, granulada pastillada, panelin y redonda. Los jugos son de fácil clarificación, y por su buena producción de caña como forraje para alimentación animal. Es resistente al pisoteo.⁷

4.2. PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL JUGO DE CAÑA

La historia del proceso de caña en el departamento de Santander, se remonta al año 1939, época en la cual un buen número de campesinos santandereanos derivaron su sustento de la venta de panela, que se elaboraba de manera rústica en viejos trapiches. Muchas tierras de Bucaramanga, Piedecuesta, Rionegro, Floridablanca, Girón y especialmente la zona conocida como la Hoya del Río Suárez, en donde convergen municipios del Sur de Santander y el norte de Boyacá,

⁶ (CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA-CORPOICA. Catálogo de variedades de caña para la producción de panela en la hoya del río Suarez. [En Línea]. 2003. [Citado 24-Jul-2013], Disponible en: <http://corpomail.corpoica.org.co/bacdigital/Contenidos/catalogo.asp?CA=25955>)

⁷ (CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA CORPOICA. Buenas prácticas agrícolas y Buenas prácticas de manufactura. [En línea]. 2007. [Citado 07-Ago-2013]. Disponible en: <http://www.fao.org.co>)

se cultivaron con caña. De hecho, en esta última zona se estima una producción que oscila entre 45.000 y 60.000 hectáreas sembradas.⁸

En Colombia en la actualidad se sigue desarrollando este proceso de forma convencional mediante el uso de rodillos, ubicado en la zona de molienda. Para la investigación en desarrollo, los entes interesados patrocinan nuevas tecnologías, en su defecto, se quiere implementar una etapa de corte que beneficie dicho proceso y de esta manera se convierta en un proceso mejorado y sea útil en el sector agrícola.⁹

4.2.1. Descripción proceso convencional de extracción.

La caña es traída y aprontada en la zona de molienda. El proceso se inicia utilizando rodillos o molinos (Figura 3). El molino es el equipo destinado a extraer el jugo de la caña mediante la compresión que se produce cuando se hace pasar la caña por entre los rodillos o mazas que giran a una determinada velocidad y están ajustados convenientemente.

Para tener una idea de la eficiencia de este proceso de extracción se calcula el porcentaje que resulta de dividir el peso del jugo extraído y el peso de la caña molida. Se consideran buenos las que estén entre 58% y 63% es decir cuando se obtiene de 580 a 630 kg de jugo por tonelada de caña.⁸



Figura. 3 Motor diésel y eléctrico para accionar molinos⁸

⁸ (CENTRO REGIONAL DE ESTUDIOS ECONOMICOS BUCARAMANGA. El cultivo de la caña panelera en Santander y la groindustria panelera en el departamento de Santander. [En Línea]. 2004. [Citado 30-Jul-2013]., Disponible en:

http://banrep.gov.co/documentos/publicaciones/regional/ESER/bucaramanga/2004_diciembre.pdf)
⁹ (CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA-CORPOICA. Guía Tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera. [En Línea]. 2007. [Citado 05-Ago-2013]. Disponible en:<http://www.agronet.gov.co/BibliotecaDigital.html>)

Del molino también sale el bagazo verde que en la mayoría de los trapiches se usa como combustible y requiere un proceso de secado, el cual generalmente se realiza en forma natural almacenándolo en cobertizos llamados bagaceras.¹⁰

La diferencia con el proceso convencional radica en el implemento de una etapa (figura 4) denominada de corte o triturado. El trabajo de evaluación del prototipo de corte de caña de azúcar con miras a mejorar el rendimiento del proceso de la extracción del jugo de la caña, es una alternativa con la que quizás se pueda sustituir y mejorar el método tradicional o convencional de molienda por medio de rodillos.

4.2.2. Descripción del proceso con nueva etapa de corte.

Este método consiste en extraer el jugo de caña por medio de un extrusor, pero para ello se hace necesario cortar en pequeños trozos la caña para así poderlos llevar a la cámara de entrada del tornillo de potencia. Este cambio se convierte en un desafío para todos los agentes investigadores en el tema esperando resultados satisfactorios implementando los mecanismos que den una luz de solución a dicha necesidad.

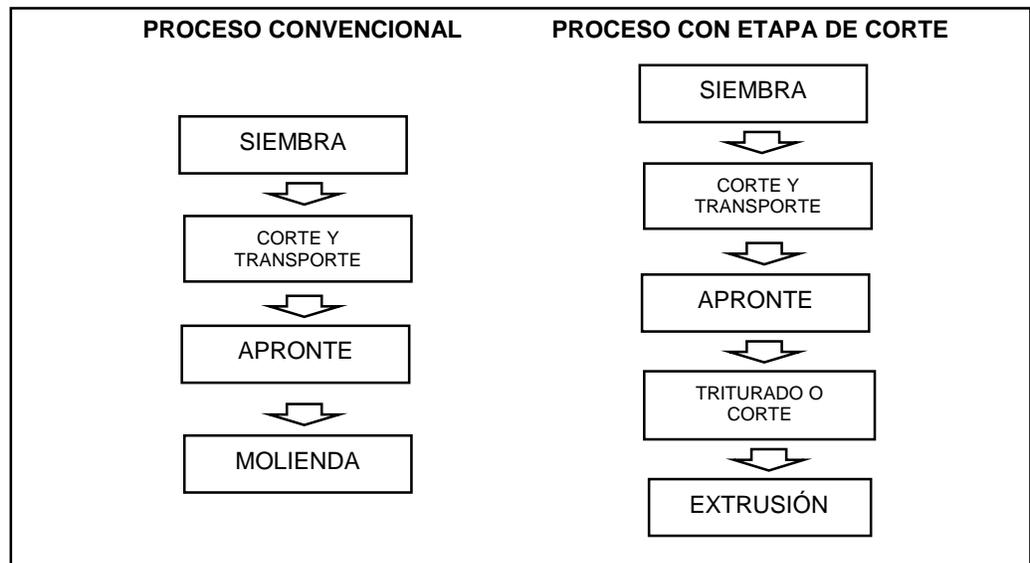


Figura. 4 Diagrama comparativo del proceso extracción jugo de caña.¹¹

¹⁰ (CENTRO REGIONAL DE ESTUDIOS ECONOMICOS BUCARAMANGA. El cultivo de la caña panelera en Santander y la groindustria panelera en el departamento de Santander. [En Línea]. 2004. [Citado 30-Jul-2013]., Disponible en: http://banrep.gov.co/documentos/publicaciones/regional/ESER/bucaramanga/2004_diciembre.pdf)

¹¹ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Diagrama comparativo del proceso extraccion jugo de caña. Bucaramanga. 2013)

4.3. TIPOS DE TRITURADORES

Algunas consideraciones que se deben tener en cuenta de los trituradores, es que sean capaz de cumplir condiciones y tamaños de troceado de acuerdo a la necesidad, que sea mínimo el consumo energético en relación a la capacidad de extraer jugo del producto, que sus costos de adquisición tanto como mano de obra, desgaste y reposición sean mínimos y que necesiten la mínima mano de obra auxiliar.

4.3.1. Triturador de rodillos.

Han sido los preferidos para triturar materiales gruesos, pero han venido siendo desplazados por trituradores de mandíbula y giratorias. Pueden ser de rodillo múltiple o sencillo (figura 5). Las de rodillo sencillo son las más comunes para la trituración primaria, y las de rodillo múltiple para trituración secundaria. Consiste en una tolva robusta con una placa de rompimiento removible, montada internamente, opuesta al rodillo de trituración montado en el bastidor. El material es triturado entre el rodillo removible y la placa de rompimiento. La acción de trituración con un cilindro dentado es una combinación de impacto, corte y compresión.¹²

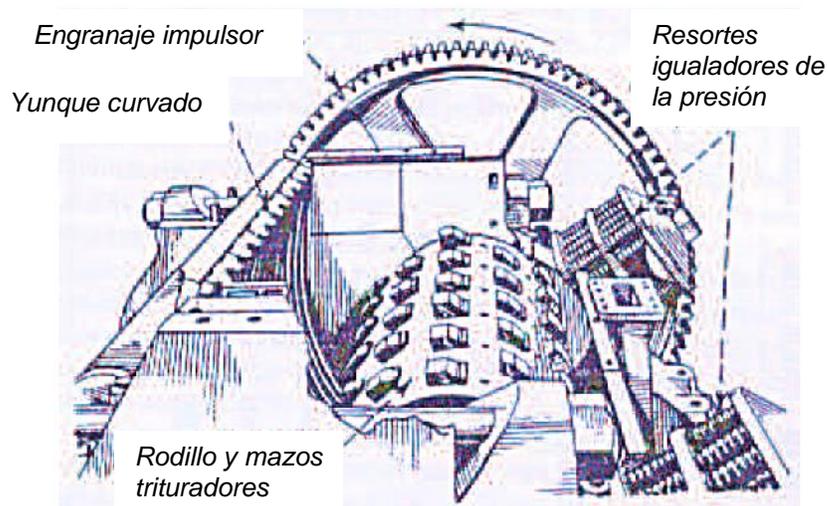


Figura. 5 Triturador de rodillos.¹²

¹² (TRUJILLO. M; PAZMINO. V. Diseño, cálculo y construcción de un trapiche. Ecuador. Riobamba. 2008)

4.3.2. Molino de rodillos.

La molienda es el proceso mediante el cual se extrae el jugo de la caña. Esta operación es llevada a cabo en molinos de hierro verticales, movidos con tracción animal, u horizontales (figura 6) de tracción mecánica o hidráulica. La mayoría de los molinos que existen son horizontales de tres masas.¹³



Figura. 6 Molino de rodillos.¹³

4.3.3. Triturador de mandíbula.

Tiene una placa removible, casi siempre corrugada y fija en una posición vertical en el extremo frontal de un marco hueco rectangular (figura 7) . Tiene una placa similar, colocada en un ángulo adecuado, que va unida a una palanca oscilatoria (mandíbula móvil) suspendida en un eje que se apoya en los lados del marco. El movimiento se realiza a través de una biela que es portada por un eje excéntrico. El movimiento vertical se comunica horizontalmente por medio de dos placas articuladas.¹³

Se aplican a la trituración primaria de materiales duros y generalmente van seguidas de otras clases de trituradora o molino. En tamaños pequeños se utilizan como maquinaria de una sola etapa. El ajuste de la trituradora es la abertura cerrada o abierta entre las quijadas móviles en el extremo de salida. Se clasifican de acuerdo

¹³ (TRUJILLO. M; PAZMINO. V. Diseño, cálculo y construcción de un trapiche. Ecuador. Riobamba. 2008)

con las dimensiones del área de alimentación, es decir el ancho de las mandíbulas de trituración y de abertura, que es la máxima distancia entre las mandíbulas.¹⁴

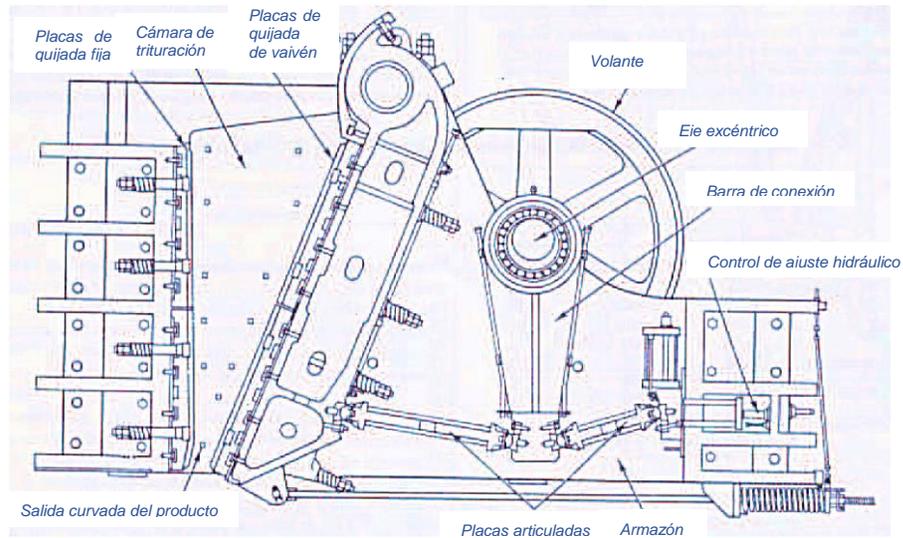


Figura. 7 Tritrador de mandíbula¹⁴

4.3.4. La prensa.

Tiene un funcionamiento hidráulico, ya sea manual o con motor. Puede desarrollar fuerzas de 24000 lb. Su funcionamiento es un pistón adecuado en un cilindro. La desventaja principal es que una vez que se deja de aplicar presión el bagazo vuelve a reabsorber considerablemente el jugo.¹⁴

4.3.5. Tritrador tipo tijera.

En el mercado existen trituradores de doble eje (figura 8), capaz de triturar una variedad amplia de sólidos. El alto par de funcionamiento permite al triturador manejar piedras, palos, tejidos, plásticos, textiles y todo tipo de objetos sin atascarse y entre otras más características, como: Diseño compacto y eficiente, control y supervisión automatizada y facilidad para la instalación lo convierte en un producto de gran rendimiento en procesos de molienda (figura 9) que puedan perturbar el sistema donde se quiere evitar presencia de elementos de tamaños considerables que afecten su desarrollo.¹⁵

¹⁴ (TRUJILLO. M; PAZMINO. V. Diseño, cálculo y construcción de un trapiche. Ecuador. Riobamba. 2008)

¹⁵ (MONO.NOV Muncher-mono. [En línea]. 2008. [Citado 15-Oct-2013]. Disponible en: <http://www.mono-pumps.com/es/trituradoras.>)

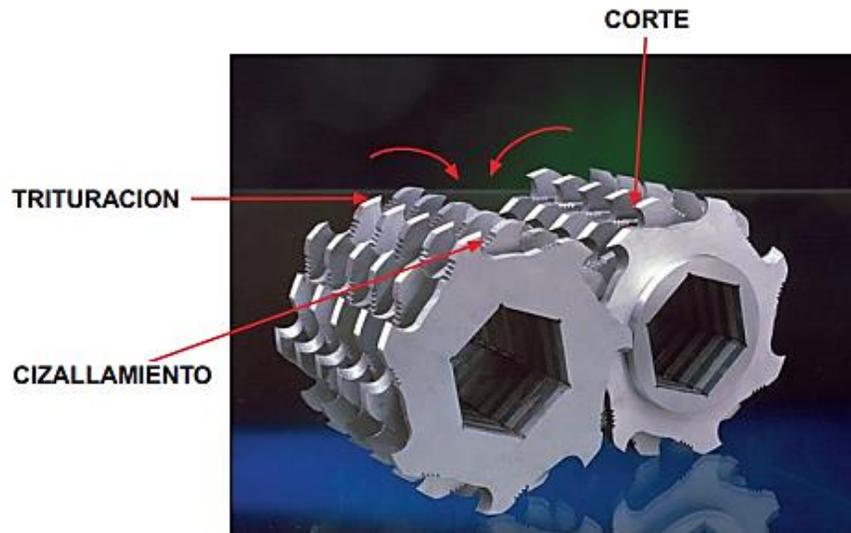


Figura. 8 Cuchilla de corte patentada.¹⁶

Este tipo de dispositivos han demostrado durante décadas en las aplicaciones más exigentes de reducción de aguas residuales sólidos incluyendo estaciones de bombeo, líneas de lodos, estaciones de recepción, instalaciones de transformación del pescado, las prisiones, cárceles y más un excelente aporte y buen desempeño.¹⁵



Figura. 9 Modelo triturador Muffin Monster.¹⁷

¹⁶ (MONO.NOV Muncher-mono. [En línea]. 2008. [Citado 15-Oct-2013]. Disponible en: <http://www.mono-pumps.com/es/trituradoras.>)

En vista del excelente comportamiento del triturador en dichas áreas de aplicación, se quiere adoptar este tipo de sistema a los procesos del sector agrícola, más exactamente en el proceso de extracción del jugo de la caña. Cabe destacar el querer desarrollar una pila de cuchillas para el prototipo de corte similar a los modelos existentes en el mercado, pero que trabajen en el triturado con elementos del sector agrícola, convirtiéndose en una tarea importante de la investigación.

¹⁷ (JWC-LATINAMERICA. MuffinMonster. [En Línea]. 2008. [Citado 10-Oct-2013]. Disponible en: <http://www.jwcla.com>)

5. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO DE CORTE

Después de acordar con el grupo de investigación y definir el tipo de cortador, fue necesario construir un prototipo el cual se ajuste a las necesidades de la etapa posterior de extracción, entregando trozos pequeños de caña y de esta manera obtener resultados de mejoras en el proceso de la caña de azúcar. En el capítulo se presentara el desarrollo del prototipo, elementos necesarios, consideraciones mecánicas, criterios de diseño y otros factores.

5.1. ELEMENTOS SUMINISTRADOS

Los elementos mecánicos suministrados por planos en Solid Works por el grupo de Investigación GIDeTechMA inicialmente estaban conformados por un par de ejes (figura 10) de sección estriada y cuchillas (figura 12) con centro estriado. Debido al alto costo del maquinado de dichos elementos y mayor dificultad en el ensamble de las cuchillas en dichos ejes, se modificó su sección transversal estriada por una de sección trasversal pentagonal (figura 11) que otorga las mismas características.

La investigación parte del prototipo triturador diseñado, tomando la modificación de los dos Ejes paralelos de sección pentagonal, que trabajan a bajas revoluciones y ofrecen un alto par. Cada eje está equipado con una serie o pila de cuchillas (figura 28, figura 31) y espaciadores interpuestos, para proporcionar un efecto real de desplazamiento positivo de las cuchillas sobre los trozos que resultaran del triturado de la caña.

Una vez que las varas de caña son atrapadas por el prototipo GIDeTechMA, no tiene escape dicho elemento de prueba, así como cualquier otro tipo de elemento típico agrícola que necesite ser cortado en trozos pequeños.



Figura. 10 Propuesta inicial Eje de corte estriado.¹⁸

¹⁸ (GIDETECHMA. Grupo de investigacion Facultad de Ingenieria Mecanica. Colombia. Bucaramanga. 2013.) (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografias. Bucaramanga. 2013)

5.1.1. Eje de corte.

Los ejes pentagonales (figura 11) trabajan a distinta velocidad, para obtener una mejor trituración a una baja velocidad de giro (70 – 100 rpm), adicionalmente puede proporcionar un alto par de trabajo.¹⁹



Figura. 11 Ejes de corte con sección pentagonal.¹⁹

5.1.2. Cuchilla de corte.

La idea original del tipo de cuchillas (figura 12) secuenciales se usa en aplicaciones de reducción de aguas negras, donde se han obtenido resultados de rendimiento muy satisfactorios, por tal razón se ha tomado el modelo y se ha adaptado, cambiando sus dimensiones, como: espesor, diámetro, número de dientes, para usarlas en el corte de la caña de azúcar y analizar su comportamiento.

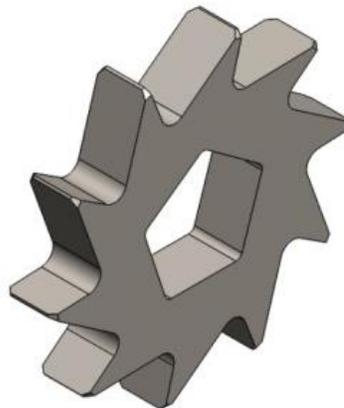


Figura. 12 Cuchilla de corte.¹⁹

¹⁹ (GIDETECHMA. Grupo de investigación Facultad de Ingeniería Mecánica. Colombia. Bucaramanga. 2013.) (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

Se suministraron dos clases de cuchillas para contar con un desfase de 18 grados con relación a la posición en el eje (figura 13), las cuales están conformadas por 10 dientes de corte. La velocidad diferencial de las cuchillas se encarga de este elemento sólido de fibras irregulares, mientras que los laterales y los filos de los dientes se encargan de trozar y aplastar los nudos y toda la sección de la caña, en pequeños trozos, siendo las zonas circunferenciales exteriores de las cuchillas las que rompen y parten dicho elemento sólido, duro y quebradizo.

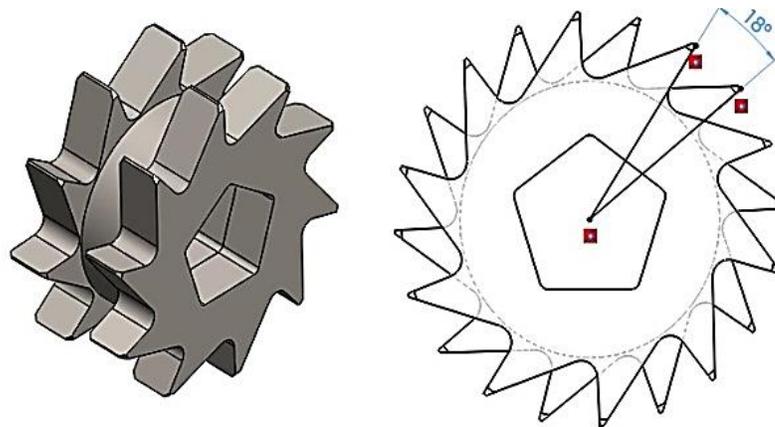


Figura. 13 Cuchillas de corte con separador y con desfase.²⁰

5.2. MATERIAL SELECCIONADO

Se seleccionó como material de corte el **ACERO INOXIDABLE AISI 304** ya que es apto para trabajar en procesos alimentarios, económico en comparación de otros materiales de grado alimenticio y de fácil adquisición en el mercado. Su principal característica es su alta resistencia a la corrosión. También es un material adecuado porque la dureza que presenta es suficiente para las exigencias del proceso.²¹

²⁰ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013) (GIDETECHMA. Grupo de investigación Facultad de Ingeniería Mecánica. Colombia. Bucaramanga. 2013.)

²¹ (INDURA. Manual de Aceros Inoxidables. [En Línea]. 2010. [Citado 20-May-2013]. Disponible en: <http://www.indura.net>)

Acero inoxidable AISI 304 es el más versátil y uno de los más usados de esta familia de aceros de la serie 300. Tiene excelentes propiedades para el conformado y el soldado. Se puede usar para aplicaciones de embutición profunda, de rolado y de corte. Tiene buenas características para la soldadura, no requiere recocido tras la soldadura para que se desempeñe bien en una amplia gama de condiciones corrosivas. La resistencia a la corrosión es excelente, excediendo al tipo 302 en una amplia variedad de ambientes corrosivos incluyendo productos de petróleo calientes o con vapores de combustión de gases. Tiene excelente resistencia a la corrosión en servicio intermitente hasta 870 °C y en servicio continuo hasta 925°C. No se recomienda para uso continuo entre 425 - 860°C pero se desempeña muy bien por debajo y por encima de ese rango.

Son muy variados, se destacan los equipos para procesamiento de alimentos, enfriadores de leche, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, tanques para almacenamiento de vinos y cervezas, partes para extintores de fuego.

Tiene una resistencia a la fluencia de 310 MPa (45 kSI); Resistencia máxima 620 MPa (90 kSI); Elongación 30 % (en 50mm); Reducción de área 40 %; Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 kSI). La Norma involucrada ASTM A 276.²²

5.3. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO.

No solo a través de cálculos se puede desarrollar criterios al momento de diseñar elementos o maquinas, por tal razón se tuvo en cuenta otras consideraciones.

5.3.1. Mantenimiento.

Pensando en su fácil mantenimiento, se decidió hacer un prototipo que se pueda desmantelar totalmente, permitiendo así hacer el cambio de cualquier pieza averiada sin necesidad de desarmar por completo, esto se traduce en ahorro de tiempo y mano de obra.

5.3.2. Movilidad.

Su tamaño compacto y liviano en comparación a los molinos tradicionales facilita su movilización al lugar que se requiera.

²² (INDURA. Manual de Aceros Inoxidables. [En Línea]. 2010. [Citado 20-May-2013]. Disponible en: <http://www.indura.net>)

5.3.3. Limpieza.

El dispositivo permite fácil limpieza por medio de chorro de aire y chorro de agua sin tener problema de agua depositada que pueda afectar el sistema.

5.3.4. Seguridad.

Cuenta con elementos que brindan seguridad al operarla.

5.3.4.1. Guarda engranes.

Este componente (figura 14) adicional, minimiza el riesgo que pueda tener el operario de contacto con los engranes. Consta de una malla metálica que facilita observar el estado de dicho elemento y su lubricación. Este elemento se ancla con los mismos tornillos de la tapa.



Figura. 14 Guarda engranes.²³

5.4.3.2. Cubierta para alimentación de caña.

Este elemento brinda un espacio de seguridad entre el operario y cuchillas de corte, impidiendo así cualquier accidente al introducir (figura 15) las muestras al prototipo. Este elemento es también indispensable para poder canalizar el material de prueba, en este caso caña de azúcar.

Este dispositivo es similar a un embudo de gran tamaño, también destinado al depósito de materiales granulares o pulverizados, entre otros pero haciendo su respectivo análisis de aplicación. Son muy utilizados en procesos en agricultura.

²³ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

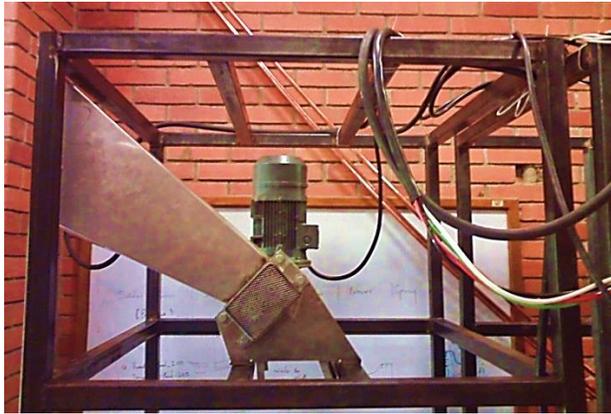


Figura. 15 Cubierta instalada en el prototipo.²⁴

Para la investigación se destinó al prototipo de corte una cubierta de forma de compuerta rectangular, con las paredes inclinadas, de tal forma que la carga se efectuó por la parte superior y así mismo la descarga se presente por la parte inferior.

Se requiere tener en cuenta aspectos relevantes, a manera de consideraciones de los elementos mecánicos complementarios para el prototipo.

5.4. CONSIDERACIONES MECÁNICAS PROTOTIPO DE CORTE

Algunos de los elementos que hacen parte de la investigación son producto de la necesidad de tener un prototipo compacto, que ofrezca las mejores características para su fin, el corte de caña. Las partes se desarrollaron con la ayuda del grupo de Investigación GIDeTechMA.

5.4.1. Carcaza.

Después de una consulta de prototipos de corte existentes se llegó a un mutuo acuerdo con el grupo GIDeTechMA de desarrollar una cámara de corte adecuada, con doble soporte para rodamientos, constituida principalmente por seis (6) tapas en Acero inoxidable, fabricadas con láminas de 8 mm y 10 mm de espesor.

²⁴ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

5.4.1.1. Criterio de selección de las láminas.

Se seleccionaron las láminas del prototipo (figura 16) con dichas características dimensionales, por ser comerciales, lo que facilita su adquisición en el mercado. Además son lo suficientemente resistentes para los bajos esfuerzos a las que serán sometidas, ya que la cubierta, demás elementos y posibles atascamientos en el proceso, no generan cargas significativas.

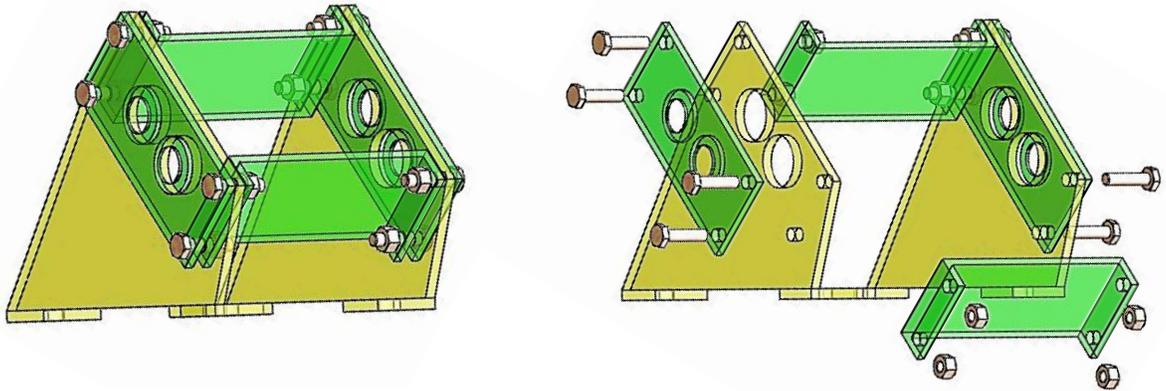


Figura. 16 Caras de carcasa cortador.²⁵

5.4.2. Selección de rodamientos.

Una disposición de rodamientos no se compone sólo de los rodamientos, sino que incluye los componentes adyacentes a éstos como son el eje y el soporte. Por tratarse de una investigación algunos elementos han sido trabajados en conjunto con el grupo investigador, en este caso un par de ejes de sección pentagonal con diámetro de 25 mm y una pila de cuchillas distribuidas uniformemente en cada eje obligando a tener una separación entre ellos de 64 milímetros.

Cabe resaltar la esperada velocidad baja de corte, lo que hace necesario tener en cuenta estas condiciones de diseño suministradas a la hora de hacer la selección de los rodamientos. Otro parámetro importante para la selección del rodamiento es el tipo y dirección de carga a soportar. La aplicación en este caso es un par de ejes paralelos y por medio de ellos se hará el movimiento para el corte de la caña como elemento de prueba, donde las cargas resultantes considerables serán radiales a sus puntos de apoyo o soporte.²⁶

²⁵ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Diagrama comparativo del proceso extracción jugo de caña. Bucaramanga. 2013)

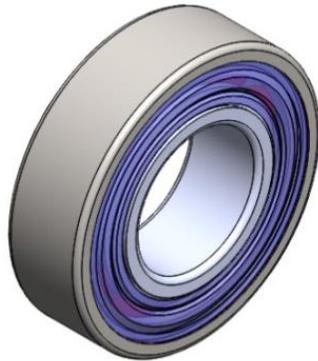


Figura. 17 Rodamiento de Bolas.²⁷

Se seleccionó un rodamiento de bolas (Tabla 2) de ranura profunda de una sola hilera en Acero Inoxidable adquirido en la casa NSK, No de referencia 6205 (Anexo D).

Tabla 2. Dimensiones rodamiento.

DIAMETRO DE EJE:	25 mm
DIAMETRO MAYOR	52 mm
ESPEJOR	15 mm
TIPO DE CARGA RADIAL	2463.7 N
RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO CAÑA	92222 Kg/m ²

Tabla 2 Dimensiones rodamiento.²⁷

El tipo de ajuste forzado FN2 (ajuste a presión media) es el que (Tabla 3) se utiliza con más frecuencia para piezas de acero de sección transversal de tamaño medio.

Para los cálculos de ajuste hay que partir del tamaño del agujero del rodamiento que es 25 mm. Se encuentra en el intervalo (0.95-1.19) pulg, véase anexo ajustes.²⁸

²⁷ (NSK, Catalogo general de rodamientos.[Citado en Mayo de 2013], Disponible: <http://www.sicoris-sa.com/pdf/catalogos/nsk-rodamientos-catalogo-general-catalogo.pdf>)

²⁸ (L. MOTT, Robert. Diseño y elementos de máquinas. cuarta edición, 2006 . pag 585-586)

Tabla 3. Ajuste forzado

Limites nominales milésimas de pulgadas	
Agujero	Eje
+0.8	+1.9
-0	+1.4

Tabla 3 Ajuste Forzado²⁹

Ajuste orificio rodamiento, solo se toma el valor mínimo ya que se puede maquinar el rodamiento:

$$\frac{25}{25.4} + \frac{0.8}{1000} = 0.985052 \text{pulg} = 25.02 \text{ mm valor maximo}$$

$$\frac{25}{25.4} + 0 = 0.98425196 \text{pulg} = 25 \text{ mm valor minimo}$$

Ajuste diámetro eje,

$$\frac{25}{25.4} + \frac{1.9}{1000} = 0.986152 \text{pulg} = 25.048 \text{ mm valor maximo}$$

$$\frac{25}{25.4} + \frac{1.4}{1000} = 0.985652 \text{pulg} = 25.035 \text{ mm valor minimo}$$

Valores tomados, Diámetro agujero =25 mm; Diámetro eje: 25.04 ya que se encuentra entre 25.035 y 25.048 que son los valores mínimos y máximos.

²⁹ (L. MOTT, Robert. Diseño y elementos de máquinas. cuarta edición, 2006 . pag 585-586)

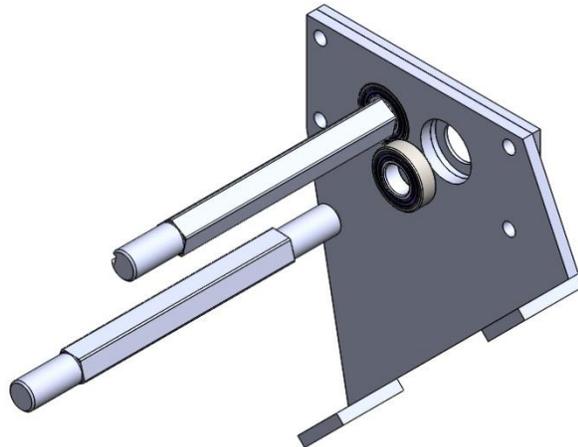


Figura. 18 Rodamientos con eje y soporte³⁰.

5.4.3. Selección de Engranés.

Para transmitir la potencia de un eje a otro existen diversos mecanismos de transmisión de potencia como: Cadenas, bandas, engranes y otros. Los engranes rectos se utilizan para transmitir movimientos de rotación entre ejes paralelos.

Uno de los principales factores a tener en cuenta es el sentido de giro contrario que debe tener un eje con respecto al otro, por tal razón el elemento más adecuado para invertir el giro y transmitir la potencia es a través de engranes.

5.4.3.1. Características de Engranés Rectos.

Estos son algunos datos importantes en el momento de calcular un (figura 19) engrane recto: p , paso circular (medido en la circunferencia de paso en mm entre 2 dientes); m , módulo $m = d/Z$; Z , número de dientes; a , adendo; t , dedendo.

³⁰ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Diagrama comparativo del proceso extracción jugo de caña. Bucaramanga. 2013)



Figura. 19 Engrane recto prototipo de corte.³¹

Según el software de diseño Solid Edge y algunos datos referentes se calculó la geometría del par de engranes rectos.

5.4.3.2. Datos suministrados por software.

Para poder obtener los engranes se acudió al software de diseño Solid Edge, donde se suministraron datos característicos (Tabla 4) dimensionales del prototipo construido y datos de potencia y velocidad de operación.

Tabla 4. Datos para cálculo de engranes

Potencia máx. esperada (placa)	3 Hp
Distancia entre centros	64 mm
Relación de velocidad	1:1
Velocidad de giro esperada	233 rpm
Material	Acero AISI 1045

Tabla 4 Datos para cálculo de engranes³¹

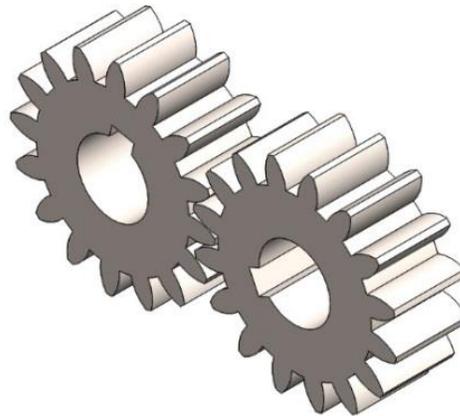
³¹ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Diagrama comparativo del proceso extraccion jugo de caña. Bucaramanga. 2013)

De igual manera se obtuvieron datos característicos (Tabla 5) para poder usarlos en el maquinado con el material seleccionado, Acero 1045.

Tabla 5. Diseño de engranes – software.

Modulo	4
Numero de dientes, Z	16
Ángulos de presión,	20
Anchura de cara	25 mm
Diámetro primitivo	64 mm
Diámetro mayor	62 mm
Diámetro menor	54 mm

*Tabla 5 Diseño de engranes - software.*³²



*Figura. 20 Par de engranes rectos prototipo de corte.*³²

5.4.4. Moto-reductor.

En primera instancia se pensó hacer uso de un motor que entregara una potencia de 7 Hp para la operación del prototipo de corte y otros elementos emergentes en el desarrollo de la investigación.

³² (ORTIZ. L ; MORENO. E. Diagrama comparativo del proceso extraccion jugo de caña. Bucaramanga. 2013)

Finalmente el grupo colaborador *GIDeTechMA* sugirió suministrar potencia con un motor independiente para el prototipo de corte, con una capacidad menor.

La potencia se suministró a través de un motor trifásico de 3 Hp de la casa fabricante SIEMENS, con caja reductora sinfín-corona con eje macizo con una relación 7.5 , disponible en el laboratorio de procesos Agroindustriales

5.4.5. Selección Acople.

Hay varios factores en el momento de seleccionar un elemento mecánico (Tabla 6) , en este caso un acople. Estas son las recomendaciones de la casa fabricante *RENOLD* a la hora de seleccionar una acople y los parámetros de operación y características dimensionales a tener en cuenta:

Máquina Conductora, máquina conducida, potencia continua, potencia máxima, velocidad de funcionamiento, velocidad máxima, diámetro del eje motriz, diámetro del eje máquina conducida, largo del eje motriz, largo del eje máquina conducida, restricciones en los diámetros, restricciones en el largo y distancia entre los extremos de los ejes.³³

Con el fin de seleccionar el tipo y tamaño de acoplamiento, la siguiente información básica debe ser conocida:

Tabla 6. Información básica de selección según *RENOLD*

Elemento	Datos reales de operación
Maquina conductora	Motor eléctrico
Maquina conducida	Prototipo de corte
Potencia Nominal (Hp)	3
Velocidad (rpm)	233
Torque nominal (N-m)	91,7
Diámetro eje motriz (mm)	25
Diámetro eje conducido (mm)	25

Tabla 6 Información básica de selección³⁴

³³ (RENOLD HITEC COUPLINGS. Catalogo industrial acoplamientos RB y PM. [En línea]. 2000. [Citado 15-Dic-2013]. Disponible en: http://www.renold.com/upload/renoldswitzerland/IndustrialCatg_Spanish.pdf)

³⁴ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Diagrama comparativo del proceso extraccion jugo de caña. Bucaramanga. 2013)

Procedimiento de Selección:

1. Potencia Nominal en (kw) a transmitir = K
2. Selección de la clasificación de carga adecuada de la Tabla, correspondiente, ya sea S (Steady), M (Medium impulsive) o H (High impulsive).
3. Establecer Factor de servicio (Tabla 7) a aplicar, teniendo en cuenta las horas de funcionamiento/día y el motor principal = fD .
4. Del factor de selección para la frecuencia requerida de Arranques/hora = fS (Tabla 8) .
5. Selección de Potencia $K_s = K \times fD \times fS$
6. Potencia equivalente a 100 RPM $= \frac{K_s \cdot 100}{RPM}$
7. Compruebe que el acoplamiento elegido este en el rango de diámetro de los ejes requerido (Tabla 9).³⁵

Tabla. 7. Factor de servicio fD

Prime mover (Drive input)	Driven machinery characteristics			
	Duration Service hours/day	Steady load	Medium impulsive	Highly impulsive
Electric, Air & Hydraulic Motors or Steam Turbine (Steady input)	Intermittent-			
	3hrs/day max	0.90	1.00	1.50
	3 - 10	1.00	1.25	1.75
	over 10	1.25	1.50	2.00
Multi-cylinder I.C. engine (Medium impulsive input)	Intermittent-			
	3hrs/day max	1.00	1.25	1.75
	3 - 10	1.25	1.50	2.00
	over 10	1.50	1.75	2.25
Single-cylinder I.C. engine (Highly impulsive input)	Intermittent-			
	3hrs/day max	1.25	1.50	2.00
	3 - 10	1.50	1.75	2.25
	over 10	1.75	2.00	2.50

Tabla 7 Factor de servicio fD³⁵

³⁵ (RENOLD HITEC COUPLINGS. Catalogo industrial acoplamientos RB y PM. [En línea]. 2000. [Citado 15-Dic-2013]. Disponible en: http://www.renold.com/upload/renoldswitzerland/IndustrialCatg_Spanish.pdf)

Tabla.8. Factor Arranque/hr fS

No of Starts Per Hour	0-1	1-30	30-60	60-
Factor	1,0	1,2	1,3	1,5

Tabla 8 Factor Arranque/hr fS.³⁶

Tabla 9. Resultados para seleccionar acople

Datos	Símbolo	Resultado
Potencia Nominal (kw)	K	2.23
Tipo de carga	M	Medium impulsive
Factor de servicio	fD	1.5
Factor Arranque/hr	fS	1.3
Potencia Ks (kw)	Ks	4.35
Potencia equivalente (kw)	@100rpm	1.86

Tabla 9 Resultados para seleccionar acople³⁷

Las siguientes son algunas de las ventajas de seleccionar un acople RENOLD tipo cadena:

1. Rígido a la torsión para su uso como una unidad positiva y compacta.
2. Facilidad en instalación y mantenimiento.
3. Funciones de desalineación permitiendo flexibilidad en la instalación.
4. Los dientes endurecidos dan larga vida con alta capacidad de par.
5. Apto para su uso en ambientes de entornos hostiles.

³⁶ (RENOLD HITEC COUPLINGS. Catalogo industrial acoplamiento RB y PM. [En línea]. 2000. [Citado 15-Dic-2013]. Disponible en: http://www.renold.com/upload/renoldswitzerland/IndustrialCatg_Spanish.pdf)

³⁷ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

Tabla 10. Comparación acoples

TIPO DE ACOUPLE	Power / 100rpm Kw	Torque Nominal N-m	Speed Max RPM	Type B		Type F & H		
				Bore		Bush size	bore	
				MAx	MIn		Max	MIn
CADENA C43 # # K	2.25	215	2250	40	14	TB1008	28	9
PINFLEX RSC130	3.30	315	4100	60	0	TB1610	42	14
ARAÑA S37B	1.12	107	3500	42	0	N/4	-	-

Tabla 10 Comparación acoples³⁸

Calculo del torque nominal,

$$T = \frac{P}{\omega} ; T = \frac{3 \text{ Hp} * 0.746 \frac{\text{Kw}}{\text{Hp}}}{24.39 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} \quad \text{Eq: 1}$$

$$T = 201 \text{ N-m}$$

Los acoplamientos de cadena son capaces de transmitir mayores pares que los ejes que lo soportan. Esto los hace ideales para transmisiones de elevado par.

Por tal razón se seleccionó un acople tipo cadena (Tabla 10) ya que sigue las especificaciones de los proveedores y cumple con los parámetros de operación (Tabla 10) y las condiciones dimensionales, es decir el espacio que ofrece los ejes del prototipo de corte y el eje del moto-reductor para operar (figura 21).

³⁸ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

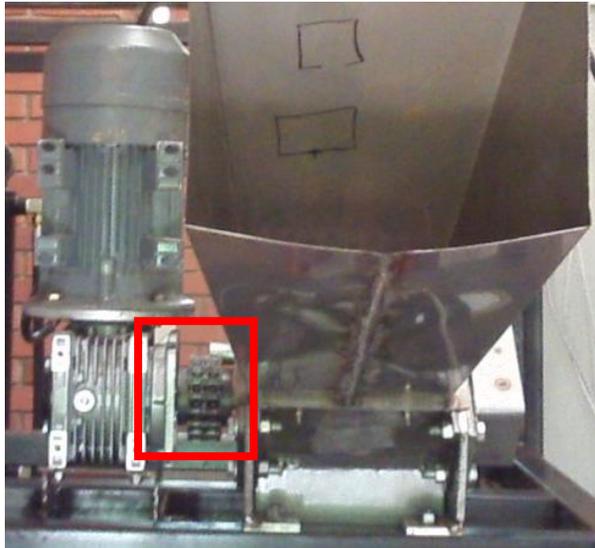


Figura. 21 Acople en el sistema.³⁹

5.4.6. Variador de Frecuencia.

Para realizar las pruebas se usó un variador de frecuencia para así trabajar a las velocidades de giro preestablecidas, la adquisición de datos y la caracterización del prototipo de corte.

Para el proceso se hizo uso del variador SIEMENS Micro-Master MM420 /3 HP con Voltaje de alimentación 220 AC, por su disponibilidad en el laboratorio.

5.4.7. Estructura general de ensamble.

Inicialmente se pensó en un módulo de tres niveles: corte, extrusión y compactación de trabajo secuencial (figura 22) con dimensiones estándar 120 x 120 centímetros, siendo las características de una euro-paleta o estiba, hablando en términos de normatividad. Más adelante se opta por ampliar la estructura para poder tener el espacio necesario en la etapa de compactación contemplada (figura 23) en la estructura general del procesamiento de caña.

³⁹ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

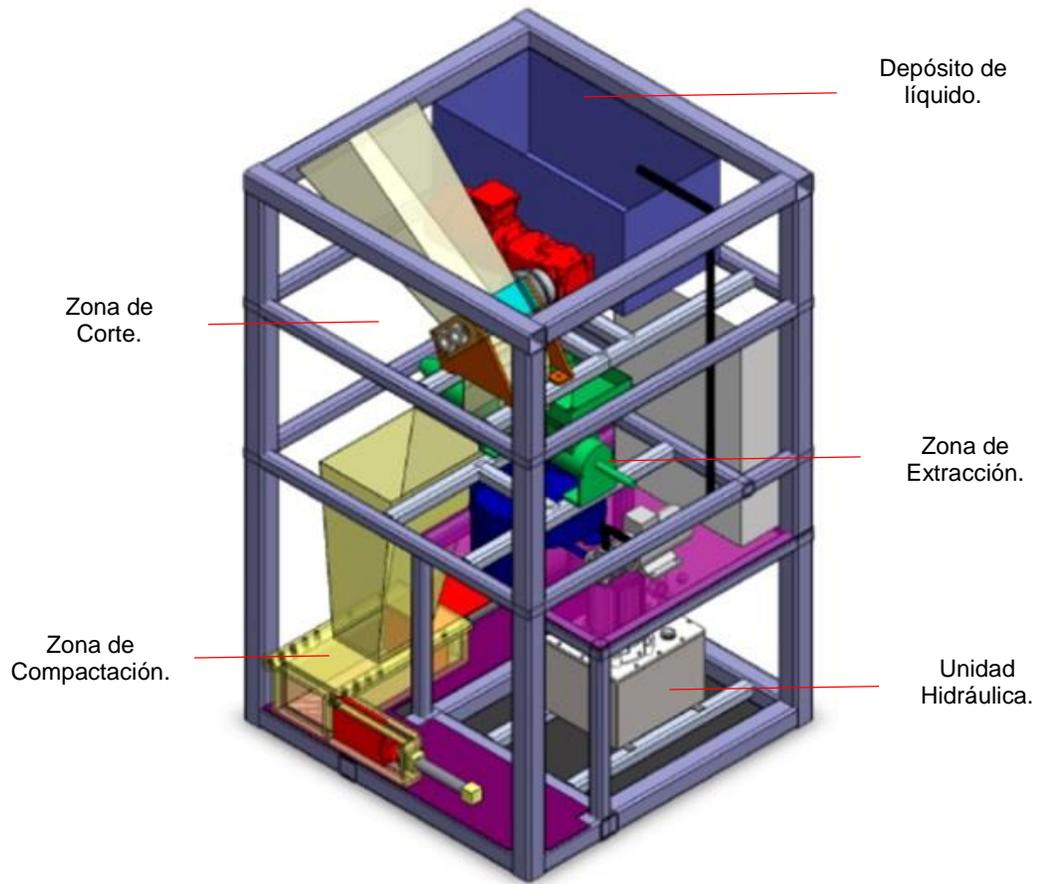


Figura. 22 Estructura inicial módulo de procesamiento de caña.⁴⁰

El ensamble final de la estructura del proceso muestra un desarrollo de forma secuencial en escala en dos módulos de dimensiones semejantes, permitiendo así cumplir con cada etapa y observar fácilmente el comportamiento de las variables a estudiar y los posibles fenómenos que se presenten.⁴⁰

⁴⁰ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

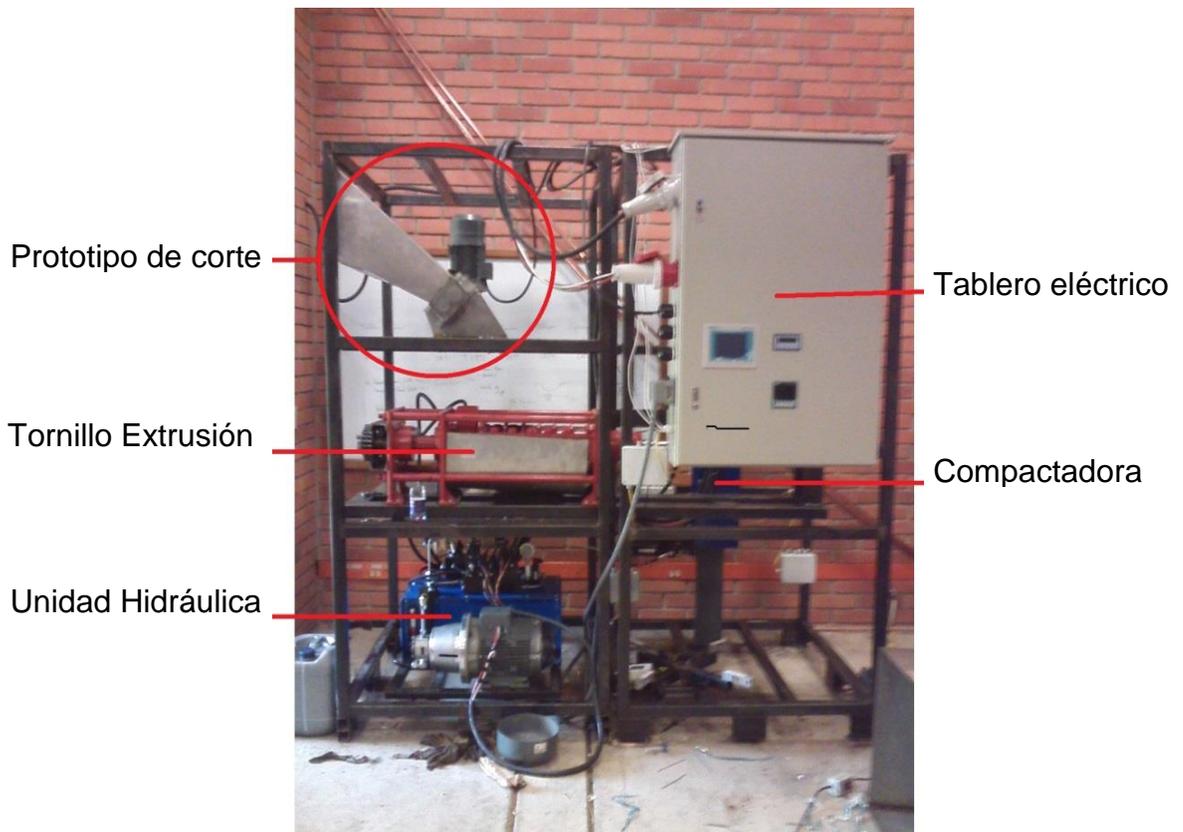


Figura. 23 Estructura final proceso caña de azúcar⁴¹

En el primer nivel del proceso (figura 24) la estructura soporta el prototipo de corte destinado para el análisis de las variables de interés, obtenidas por el triturado realizado a la caña.⁴¹



Figura. 24 Nivel I – Prototipo de corte.⁴¹

⁴¹ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

El nivel dos en el proceso (figura 25), está destinado para la extracción del jugo de la caña por medio de un tornillo de potencia que trabaja con energía hidráulica.



Figura. 25 Nivel II – Extrusión.⁴²

El nivel tres (figura 26) hace parte del proceso en una forma especial, tiene como elemento principal una unidad de generación hidráulica que controla la operación del tornillo extrusor y adicional el movimiento de los cilindros en la zona de compactación.⁴²



Figura. 26 Nivel III – Unidad Hidráulica y compactadora.⁴²

⁴² (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

5.4.8. Tablero de control eléctrico.

A través del tablero general eléctrico (figura 27) se controla todo el sistema de procesamiento de caña, brindando información relevante de datos característicos y permitiendo ser operado a diferentes condiciones.



Figura. 27 Tablero eléctrico de control.⁴³

5.5. MAQUINADO DE ELEMENTOS.

El lugar escogido para maquinar las cuchillas se encuentra en la ciudad de Bogotá, INMEC CNC DE COLOMBIA LTDA, el cual se encargó de cortar con el método por chorro de agua, ya que este método garantiza conservar las propiedades del material usado. Los ejes, tapas carcasa y engranes rectos fueron maquinados en, FRESADO SANTANDER, en la ciudad de Bucaramanga.

⁴³ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

5.6. ENSAMBLE PROTOTIPO

Todo sistema o maquina debe ser ideada para tener facilidad de armar y desarmar, la figura 28 y la figura 29, presentan la nomenclatura y el procedimiento para el ensamble del prototipo.

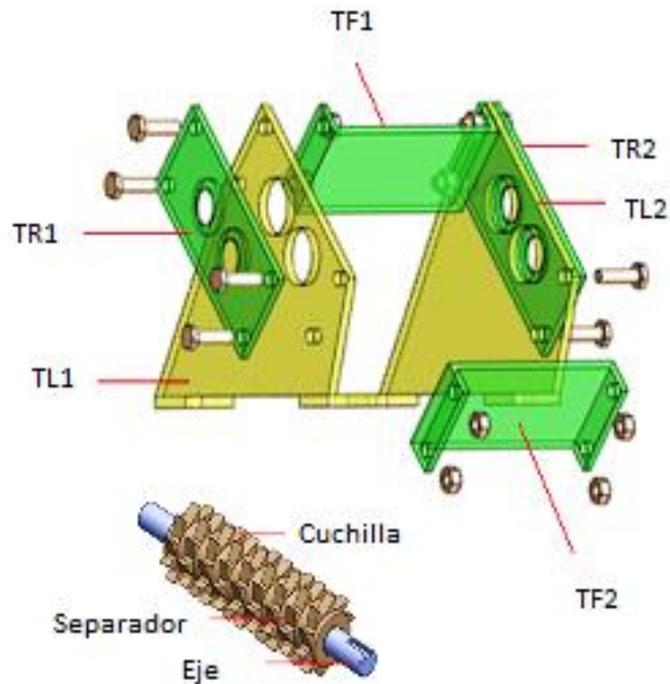


Figura. 28 Nomenclatura de ensamble.⁴⁴

⁴⁴ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografias. Bucaramanga. 2013)

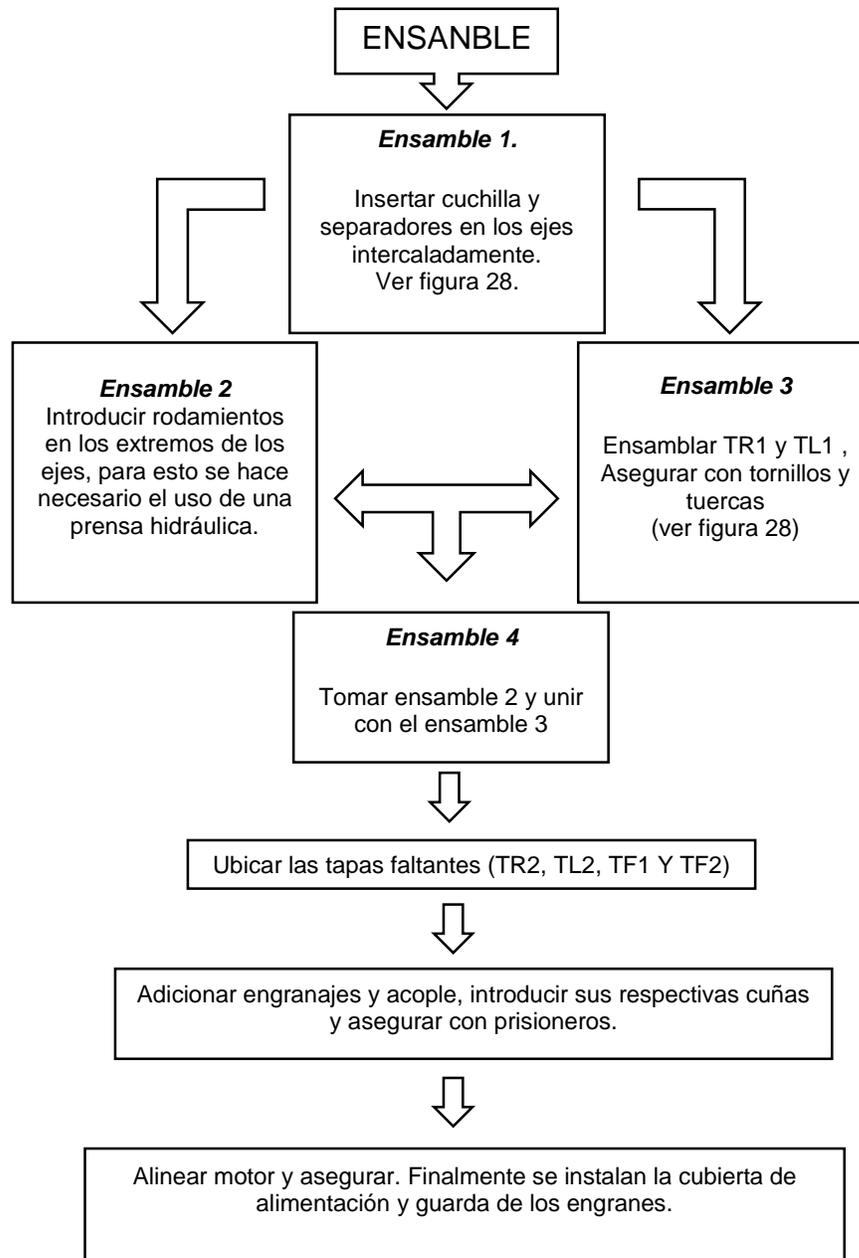


Figura. 29 Diagrama de Ensamble del prototipo⁴⁵

⁴⁵ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

6. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Se desarrollaron pruebas preliminares de reconocimiento del prototipo de corte (figura 31) con el fin de poder observar el funcionamiento, acondicionar o cambiar, tener claro su mejor disposición para asegurar la operación en un buen entorno para la adquisición de datos particulares en la caracterización propuesta.

En total se dispusieron de varias etapas en diferentes condiciones de operación y número de ensayos: Trabajo de observación, acondicionamiento, toma de datos y determinación de número de pruebas.⁴⁶



Figura. 30 Caña aptada para las pruebas.⁴⁶



Figura. 31 Pila de cuchillas.⁴⁶

⁴⁶ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

6.1. PRUEBA ETAPA 1- OBSERVACIÓN

Consistió en una prueba corta de reconocimiento del prototipo, sin cubierta en la alimentación y descarga, usando el elemento de prueba, caña de azúcar, donde se obtuvieron las primeras impresiones (Tabla 11) y se hicieron las observaciones pertinentes en términos de capacidad y reacción del conjunto de corte, sin tener en consideración la toma de datos de operación de la cortadora y del moto-reductor, tales como: Consumo de energía, frecuencia, tiempo y dimensiones.

Para el análisis se usaron cañas de la región de Piedecuesta. Solo se tuvo en cuenta las siguientes características dimensionales:

Tabla 11. Ensayo No1 Observación.

Caña No	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
1	26 mm	850
2	29 mm	780

Tabla 11 Ensayo No.1 - Observación⁴⁷

Lo observación realizada, dio como evidencia, que la caña en su defecto es cortada en trozos irregulares (figura 32) en su mayoría, específicamente la parte interna de dicho elemento de prueba, adicional, de su morfología se puede mencionar como otro componente, la cascara, la cual no es cortada en su totalidad y sale en tiras según el tamaño usado en la alimentación.



Figura. 32 Resultado caña picada.⁴⁷

⁴⁷ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

No se tuvo en cuenta en la prueba la cantidad de masa del extracto obtenido de jugo de caña, en este primer ensayo de la etapa de corte, pero cabe resaltar el beneficio para el proceso general de la extracción del jugo, la evidencia en observación, cierta cantidad de fluido limpio que se pudo y se obtendrá para almacenar en los tanques planeados para dicho fin.

Esta etapa preliminar se concluye sabiendo que de algunas variables no se tomaron datos, solo por esta prueba, porque se consiguió lo planeado: pequeños trozos en la totalidad del elemento de prueba y como se mencionó en el párrafo anterior, la extracción parcial del jugo de la caña. No obstante el corte requiere mejoras para evitar trozos largos existentes por las fibras de la cascara.

La siguiente prueba facilitó hacer un análisis más detallado donde se involucraron parámetros importantes de operación; corriente, frecuencias, tiempos y dimensiones que permitió hacer consideraciones de la puesta en marcha del prototipo y la satisfactoria adquisición de datos característicos.

6.2. PRUEBA ETAPA 2 – PUESTA A PUNTO PROTOTIPO

Para esta segunda fase de prueba se tuvieron en cuenta varios aspectos para hacer mediante recolección de datos de operación del conjunto cortadora, moto-reductor y variador de frecuencia, las consideraciones y cambios pertinentes para el desarrollo de la caracterización, tema principal de la investigación.

Algunos datos recolectados, fueron: Corriente de consumo, variación en la frecuencia, tiempo de corte, orientación en la alimentación del prototipo, masa y dimensiones del elemento de prueba.

6.2.1. Según orientación de la caña.

Se consideró realizar pruebas buscando la mejor disposición en la alimentación (Tabla 12, Tabla 13) con el elemento de prueba y con la variación de la frecuencia del moto-reductor.

Tabla 12. Ensayo No 2 - caña perpendicular a los ejes de corte a 35 Hz

Alimentando con una caña perpendicular a los ejes de corte					
Muestra	Masa (kg)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Corriente (A)	Frecuencia (Hz)
1	0.5	85	2.5	4.23	35
2	0.48	78	2.6	4.60	35

Tabla 12 Ensayo No 2 - caña perpendicular a los ejes de corte a 35 Hz.⁴⁸

Tabla .13. Ensayo No 3- caña inclinada perpendicular a los ejes de corte a 35 Hz

Alimentación con una caña inclinada perpendicular a los ejes de corte					
Muestra	Masa (kg)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Corriente (A)	Frecuencia (Hz)
1	0.48	80	2.4	4.51	35
2	0.46	76	2.6	4.68	35

Tabla 13 Ensayo No 3 - caña inclinada perpendicular a los ejes de corte a 35 Hz.⁴⁸

6.2.2. Comportamiento según longitud, frecuencia Hz y cantidad de caña.

La longitud y el número de varas (Tabla 14) a cortar es otra de las consideraciones que se tuvieron en cuenta para buscar beneficiar el proceso de corte del elemento de prueba, caña de azúcar.

Tabla .14. Ensayo No 4 - alimentación una caña a 45 Hz

Prueba alimentando con una caña					
Muestra	Masa (kg)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Corriente (A)	Frecuencia (Hz)
1	0.80	97	3.1	6.70	45
2	0.75	95	3.2	6.45	45

Tabla 14 Ensayo No 4 - alimentación una caña a 45 Hz.⁴⁸

⁴⁸ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

Tabla .15. Ensayo No 5 - alimentación dos cañas a 35 Hz

Prueba alimentando con dos cañas					
Muestra	Masa (kg)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Corriente (A)	Frecuencia (Hz)
1	0.70	82	2.9	-	35
2	0.75	97	3.3	-	35

Tabla 15 Ensayo No 5 - alimentación dos cañas a 35 Hz.⁴⁹

La frecuencia a 35 Hz no es suficiente para cortar dos cañas (Tabla 15) de longitud considerablemente larga en estas pruebas. El térmico se dispara por sobre corriente, ocasionando el atascamiento del motor.

Tabla .16. Ensayo No 6 - alimentación dos cañas a 45 Hz

Prueba con dos cañas					
Muestra	Masa (kg)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Corriente (A)	Frecuencia (Hz)
1	0.82	99	3.5	-	45
2	0.73	96	3.3	-	45

Tabla 16 Ensayo No 6 - alimentación dos cañas a 45 Hz⁴⁹

Aumentar la frecuencia a 45 Hz (Tabla 16) permitió realizar un corte en las varas de caña, sin embargo es un corte parcial, no se pudo realizar sobre toda la longitud de la muestra, ya que persiste el atascamiento por la sobre carga de corriente en el térmico. Cabe resaltar que presenta un avance mayor en la velocidad de trituración de la caña pero llega a un punto en que se bloquea el motor. La corriente pico tomada antes del atascamiento fue, 8.9 A.

⁴⁹ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

Tabla .17. Ensayo No 7 - alimentación dos cañas a 55 Hz

Prueba con dos cañas					
Muestra	Masa (kg)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Corriente (A)	Frecuencia (Hz)
1	0.85	57	3.3	6.9	55
2	0.83	54	2.9		55
Tiempo de corte = 2.1 Seg					

Tabla 17 Ensayo No 7 - alimentación dos cañas a 55 Hz.⁵⁰

Tabla .18. Ensayo No 8 - alimentación con tres cañas a 55 Hz

Prueba con tres cañas					
Muestra	Masa (kg)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Corriente (A)	Frecuencia (Hz)
1	0.42	56	3.3	8.6	55
2	0.44	50	3.3		55
3	0.39	52	3.2		55
Tiempo de corte = 3.44 s					

Tabla 18 Ensayo No 8 - alimentación con tres cañas a 55 Hz⁵⁰

Tabla .19. Ensayo No 9 - alimentación con caña larga a 55 Hz

Prueba con cañas largas						
Muestra	Masa (kg)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Corriente (A)	Tiempo (s)	Frecuencia (Hz)
1	1.15	182	3.1	4.90	3.74	55
2	1.05	179	3.3	4.57	3.45	
3	1.35	200	3.2	4.64	3.98	
4	1.10	180	3.3	4.67	3.51	

Tabla 19 Ensayo No 9 - alimentación con caña larga a 55 Hz.⁵⁰

⁵⁰ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

Se varió la frecuencia del motor y se usaron muestras largas (Tabla 17), observado que la regulación de la velocidad específicamente en aumento (Tabla 18) viene siendo proporcional y necesario para la mejoría en la capacidad de corte que puede ofrecer la pila de cuchillas al elemento de prueba, sin embargo se obtuvo un efecto similar sobre la cascara (Tabla 19), es decir en su mayoría las tiras salieron del tamaño de la caña sin importar dicho cambio, hablando en términos de longitud con la que se alimentó el prototipo.

Más adelante y como recomendación se mencionara los ajustes que se consideraron pertinentes para corregir dichas falencias.

6.3. PRUEBA ETAPA 3 – CAÑA SIN CASCARA.

Buscando mejorar las condiciones de operación del prototipo de corte, sin tener la certeza en cuanto a viabilidad a trabajar en estas condiciones, sin embargo se optó por tomar algunas muestras de caña sin cascara, esperando cambios satisfactorios en el desarrollo de la prueba.



Figura. 33 Varas de caña sin cascara.⁵¹

⁵¹ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

Tabla 20. Ensayo No 10 - alimentación con caña sin cascara a 60 Hz

Frecuencia 60 Hz						
Muestra	Masa (kg)	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Tiempo de corte (s)	Corriente (A)	Potencia (KW)
1	1.00	3.34	112	2.64	4.7	1.790
2	0.900	3.65	115	2.38	5.4	2.057
3	0.350	2.82	49.0	0.73	2.9	1.104
4	0.450	2.56	65.0	1.10	3.4	1.295

Tabla 20 Ensayo No 10 - alimentación con caña sin cascara a 60 Hz.⁵²



Figura. 34 Caña triturada.⁵²

Se observa mejor corte en términos de trozos (figura 34) de menor tamaño, ya que la cascara por su composición morfológica de fibras, presenta mayor resistencia al corte, y además también necesita menor consumo (Tabla 20) en comparación a cañas de igual diámetro.

⁵² (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

Se realizó una prueba de corte a una frecuencia de 60 Hz, con 10 kg de caña para visualizar el consumo de corriente en las líneas L1, L2 y L3, en el tiempo que se llevó a cabo la prueba.

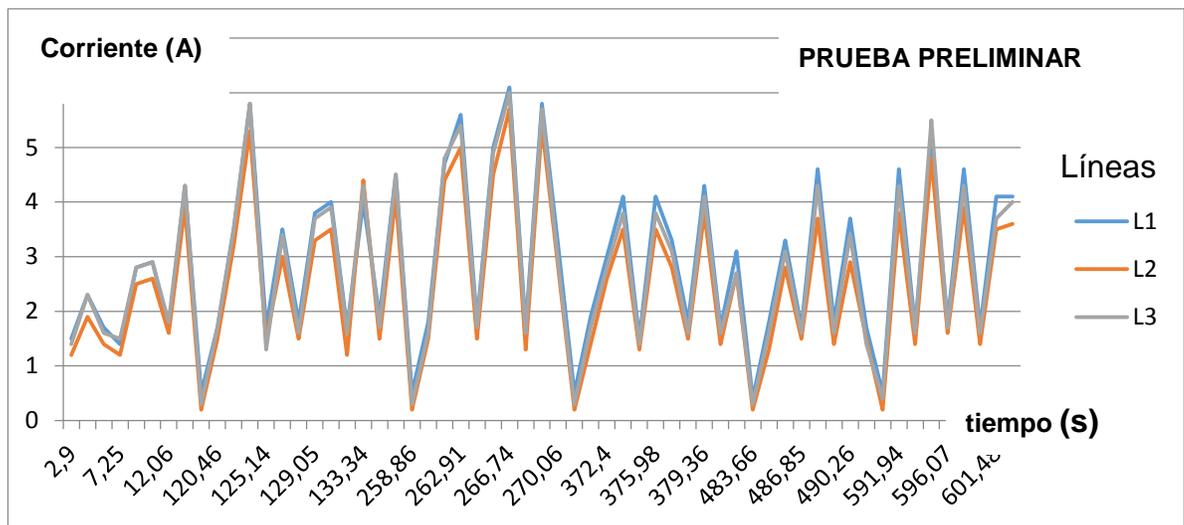


Figura. 35 Grafica corriente prototipo de corte.⁵³

Se registran datos (Tabla 21) en un tiempo de 10 minutos donde está incluido el amperaje (figura 35) en lapsos de operación, en vacío y también cuando la maquina debía ser parada para limpiar la acumulación de fibras de la caña en la pila de cuchillas. También se pudo ver que las líneas de corriente están en equilibrio.

⁵³ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

Tabla.21. Datos de picos de corriente moto-reductor.

tiempo (s)	L1(A)	L2 (A)	L3 (A)
2,9	1,5	1,2	1,4
4,05	2,3	1,9	2,3
5,15	1,7	1,4	1,6
7,25	2,8	2,5	2,8
8,5	1,4	1,2	1,5
9,76	2,9	2,6	2,9
12,06	1,7	1,6	1,8
13,41	4,3	3,9	4,3
119,41	0,3	0,1	0,1
120,46	1,7	1,5	1,7
121,78	3,5	3,2	3,5
123,91	5,8	5,3	5,8
125,14	1,7	1,5	1,3
126,46	3,5	3	3,4
127,71	1,8	1,5	1,6
129,05	3,8	3,3	3,7
130,4	4	3,5	3,9
131,96	1,7	1,2	1,6
133,34	4	4,4	4,3
134,49	1,9	1,5	1,7
135,86	4,5	4,1	4,5
258,86	0,3	0,1	0,1
260	1,8	1,5	1,6
261,45	4,7	4,4	4,8
262,91	5,6	5	5,4
263,77	1,8	1,5	1,7
265,29	5	4,5	4,9
266,74	6,1	5,7	6
267,41	1,7	1,3	1,6

268,54	5,8	5,4	5,7
270,06	3,2	2,8	2,9
370,06	0,3	0,1	0,1
370,92	1,9	1,4	1,7
372,4	3	2,6	2,8
373,65	4,1	3,5	3,8
374,63	1,5	1,3	1,4
375,98	4,1	3,5	3,8
377,34	3,3	2,8	3,1
378,12	1,8	1,5	1,6
379,36	4,3	3,8	4,1
380,21	1,7	1,4	1,6
381,66	3,1	2,7	2,7
483,66	0,3	0,1	0,1
484,49	1,8	1,3	1,6
485,73	3,3	2,8	3,1
486,85	1,7	1,5	1,6
488,11	4,6	3,7	4,3
489,03	1,8	1,4	1,6
490,26	3,7	2,9	3,4
491,46	1,7	1,5	1,4
590,46	0,3	0,1	0,1
591,94	4,6	3,8	4,3
593,04	1,7	1,4	1,6
594,93	5,1	4,8	5,5
596,07	1,8	1,6	1,7
598,21	4,6	3,9	4,3
599,33	1,7	1,4	1,6
601,48	4,1	3,5	3,7
603,02	4,1	3,6	4

APAGADO



VACIO



OPERANDO
(CORTE)



Tabla 21 Datos al arranque de corriente moto-reductor.⁵⁴

⁵⁴ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografias. Bucaramanga. 2013)

6.4. PRUEBA ETAPA - 4 DETERMINACIÓN NÚMERO DE PRUEBAS

Para la determinación de la cantidad de pruebas se tomó como guía el Manual de Estadística Handbook.⁵⁵ El cual contempla el siguiente procedimiento.

6.4.1. Tamaño de la muestra para la media.

Es necesario conocer ciertas características que determinen la calidad (anchura) y la confiabilidad de los datos.⁵⁵

$$e = \frac{z \sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Eq. 2}$$

e = Error máximo, incertidumbre

z = coeficiente de confianza

σ = desviación estándar

n = número de pruebas.⁵⁵

Despejando n_0 , considerando como población infinita, obtenemos:

$$n_0 = \frac{z^2 \sigma^2}{e^2} \quad \text{Eq.3}$$

Con la ecuación podemos determinar el número de pruebas, pero es necesario tener en cuenta las siguientes condiciones de los componentes de la fórmula: Error

⁵⁵ (Hernandez arroyo.Emil, Manual de Estadística (Handbook of statistics), Universidad Cooperativa de Colombia, 2006.)

máximo (e), en un rango de aproximación puede ser 2% - 12% y el coeficiente de confianza se estima en un 95%, equivale a (Z=1,96).⁵⁶

La desviación estándar está dada por la Eq. 4

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.228 \quad \text{Eq: 4}$$

Según las especificaciones y los cálculos (Tabla 22) realizados el número de pruebas obtenido, permite tomar la decisión de realizar la caracterización (Tabla 23) con 13 pruebas, donde el rango permitido se cumple, arrojando un valor de 7 % de error Máximo. En la tabla se puede observar que a menor error, mayor es el número de pruebas, (Tabla 24), por lo tanto para la investigación del análisis del prototipo es conveniente trabajar bajo esas condiciones, por tiempo, costos y rigurosidad de las pruebas.

Tabla. 22. Factores de confiabilidad

Datos Estadísticos	
Media	1,804
Desviación estándar	0,228
Factor de cobertura Confiabilidad 95 %	1,960

*Tabla 22 Factores de confiabilidad.*⁵⁷

⁵⁶ (Hernandez arroyo.Emil, Manual de Estadística (Handbook of statistics), Universidad Cooperativa de Colombia, 2006.)

⁵⁷ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013),

Tabla .23. Datos de variable a evaluar

Frecuencia 60 Hz	
Número de pruebas	Variable a evaluar (potencia kw)
1	1,549
2	1,600
3	1,574
4	1,630
5	1,739
6	1,638
7	1,714
8	1,676
9	1,950
10	2,032
11	2,070
12	2,095
13	2,190

Tabla 23 Datos de variable a evaluar.⁵⁸

Tabla 24. Número de pruebas según Error máximo

e%	número de pruebas
2%	153
3%	68
4%	38
5%	25
6%	17
7%	13
8%	10
9%	8
10%	6
11%	5
12%	4

Tabla 24 Número de pruebas según Error máximo.⁵⁸

⁵⁸ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

6.5. MEJORA EN OPERACIÓN DE CORTE

Después de realizar la mayoría de pruebas preliminares y en búsqueda de mejorar el corte, se optó por hacer un rediseño en los engranes, buscando con el cambio de diámetros una mayor relación de velocidad y proporcionar así a las cuchillas una mejora en el rendimiento, en términos de corte, es decir mayor desgarramiento en las fibras de la caña.

La mayor relación de velocidad conseguida está limitada por la distancia entre ejes.

Tabla .25. Relación de velocidad

	Engrane conducido	Engrane conductor
Numero de dientes, Z	18	14
Relacion de velocidad 1: (14/18)		

Tabla 25 Relación de velocidad.⁵⁹

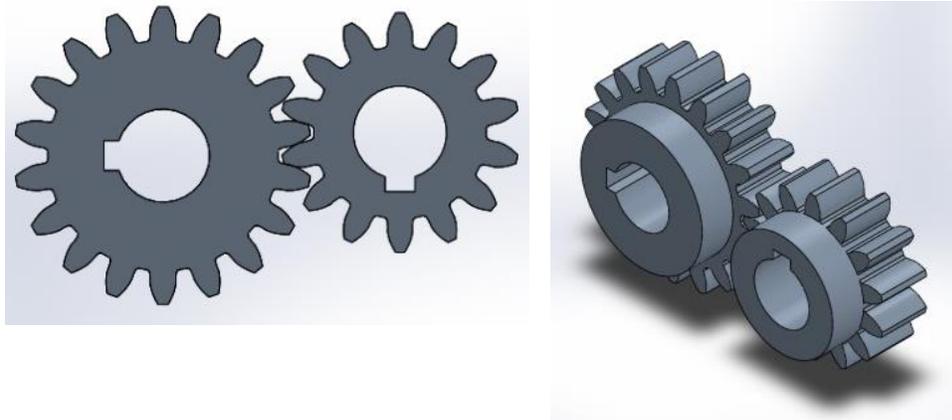


Figura. 36 Nuevos engranes.⁵⁹

⁵⁹ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

7. CARACTERIZACIÓN

En este capítulo se define la importancia del desarrollo de este prototipo a la luz de las variables, potencia, masa y capacidad volumétrica. Analizar sus características dará como muestra los resultados verídicos del comportamiento en operación de dicho mecanismo en el corte de la caña panelera.

7.1. DESARROLLO DE PRUEBAS

Dentro de los objetivos planteados a desarrollar está encontrar los datos característicos del prototipo de corte a diferentes velocidades de operación, por lo menos en 5 puntos.

Al momento de operar la cortadora con los nuevos engranajes presento atascamiento porque el motor usado, disponible en el laboratorio no tiene la potencia requerida, no obstante se trabajó con frecuencias por debajo de 50 Hz, por consiguiente se determinó hacer la tomas de datos tan solo con las frecuencias donde no presenta ningún tipo de problema, en su defecto 50Hz, 55Hz y 60 Hz, ya que en intervalos más cercanos no presenta cambios significativos.

7.1.1. Datos característicos.

Para desarrollar la caracterización se tuvo en cuenta los siguientes datos: masa de entrada, masa de salida, diámetro de la muestra y longitud.

Se desarrollaron 13 pruebas establecidas como las mínimas requeridas en el capítulo 6 para el desarrollo de la caracterización. Se usaron muestras de 1 kg a diferentes frecuencias para determinar el balance de masa, pero para tomar el tiempo de corte solo se seleccionaron las varas más largas por la dificultad de obtener varas de la misma masa.

7.1.1.1. Datos tomados de las muestras.

Se optó por trabajar a partir de 50Hz, 55Hz y 60Hz dentro de los rangos (Tabla 26,27 y 28) de operación permitidos. Los datos característicos de la caña de prueba son; longitud, diámetro y masa.

Tabla .26. Datos a 50 Hz

No prueba	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	masa entrada (kg)
1	2,50	124	1
2	2,55	128	1
3	2,60	112	1
4	2,65	122	1
5	2,70	122	1
6	2,80	94	1
7	2,85	106	1
8	3,00	140	1
9	3,05	127	1
10	3,10	80	1
11	3,20	96	1
12	3,25	118	1
13	3,30	121	1

Tabla 26 Datos a 50 Hz.⁶⁰

Tabla .27. Datos a 55 Hz

No prueba	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	masa entrada (kg)
1	2,54	104	1
2	2,60	107	1
3	2,74	130	1
4	2,76	118	1
5	2,77	116	1
6	2,78	133	1
7	2,88	125	1
8	2,91	109	1
9	3,05	122	1
10	3,12	125	1
11	3,13	101	1
12	3,25	108	1
13	3,50	107	1

Tabla 27 Datos a 55 Hz.⁶⁰

⁶⁰ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografias. Bucaramanga. 2013)

Tabla .28. Datos a 60Hz

No prueba	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	masa entrada (kg)
1	2,11	140	1
2	2,17	124	1
3	2,20	122	1
4	2,28	123	1
5	2,30	133	1
6	2,37	120	1
7	2,45	106	1
8	2,55	153	1
9	2,59	119	1
10	2,80	120	1
11	2,86	136	1
12	3,05	117	1
13	3,26	121	1

Tabla 28 Datos a 60Hz.⁶¹

7.1.1.2 Datos preliminares.

Después de haber tabulado los datos dimensionales se tomaron datos (Tabla 29,30 y 31) a partir del corte: amperaje tomado por el variador de frecuencia, tiempo de corte tomado mediante un cronometro convencional.

⁶¹ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografias. Bucaramanga. 2013)

Tabla. 29. Datos obtenidos a 50Hz

No prueba	tiempo de corte (s)	Corriente (A)			masa salida (kg)
		L1	L2	L3	
1	3,05	4,5	3,7	4,2	0,85
2	3,27	4,7	3,9	4,1	0,95
3	2,79	4,2	3,5	3,7	0,90
4	2,95	5,0	4,3	5,0	0,90
5	3,43	4,7	3,9	4,2	0,95
6	2,41	4,0	3,2	3,5	0,85
7	2,83	4,7	4,3	4,7	0,90
8	3,36	4,8	4,3	4,6	0,95
9	3,00	5,7	5,2	5,3	0,95
10	2,57	5,0	4,5	4,9	0,90
11	2,55	5,3	4,6	5,0	0,85
12	2,76	5,8	5,2	5,4	0,95
13	3,44	6,0	5,5	5,6	0,95

Tabla 29 Datos obtenidos a 50Hz.⁶²

Tabla .30. Datos obtenidos a 55 Hz

No prueba	tiempo de corte (s)	Corriente (A)			masa salida (kg)
		L1	L2	L3	
1	2,44	5,2	4,7	4,8	0,95
2	2,60	5,4	5,0	5,2	0,95
3	3,20	5,5	5,0	5,3	0,90
4	2,93	5,7	5,2	5,3	0,90
5	2,88	5,9	5,5	5,6	0,85
6	3,30	6,0	5,1	5,4	0,95
7	2,70	6,0	5,5	5,7	0,95
8	2,10	6,1	5,4	5,8	0,85
9	2,79	6,0	5,6	5,7	0,85
10	2,81	6,0	5,5	5,9	0,95
11	2,46	6,1	5,7	5,7	0,90
12	2,33	6,0	5,7	5,7	0,90
13	2,30	6,0	5,6	5,9	0,90

Tabla 30 Datos obtenidos a 55 Hz.⁶²

⁶² (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografias. Bucaramanga. 2013)

Tabla .31. Datos obtenidos a 60 Hz

No prueba	tiempo de corte (s)	Corriente (A)			masa salida (kg)
		L1	L2	L3	
1	2,90	4,4	4.0	3,8	0,95
2	2,27	4,5	4.0	4,1	0,90
3	2,26	4,3	4.0	4,1	0,95
4	2,91	4,6	4,1	4,2	0,95
5	2,50	5.0	4,4	4,3	0,85
6	2,29	4,7	4,2	4.0	0,90
7	2,25	4,8	4,2	4,5	0,85
8	2,77	4,8	4,2	4,2	0,90
9	2,19	5,5	4,9	4,6	0,85
10	2,28	5,7	5,1	5,2	0,90
11	2,46	5,9	5,2	5,2	0,90
12	2,24	5,8	5,2	5,5	0,90
13	2,33	6.0	5,6	5,7	0,85

Tabla 31 Datos obtenidos a 60 Hz.⁶³

⁶³ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografias. Bucaramanga. 2013)

8. CÁLCULOS Y RESULTADOS

En este capítulo se mencionan las ecuaciones teóricas para desarrollar la caracterización mediante el cálculo de Potencia, flujo volumétrico, Velocidad de corte y un análisis de balance de masas

8.1. POTENCIA CONSUMIDA

La representación matemática de la potencia activa en un sistema trifásico equilibrado (las tres tensiones de fase tienen idéntico valor y las tres intensidades de fase también coinciden) está dada por la ecuación, Eq. 5

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \phi \quad \text{Eq. 5}$$

V: Tensión

I: Corriente

Φ : Dato del motor

Según los datos tomados a través del variador, la corriente en las líneas tiene valores diferentes, se hizo un promedio para tener un valor cercano de líneas en equilibrio de la potencia consumida

8.2. VELOCIDAD DE CORTE

Hace referencia de la longitud de caña cortada en un determinado tiempo, Eq. 6

$$V = \frac{l}{t} \quad \text{Eq 6}$$

l = longitud de caña

t = tiempo de corte

8.3. FLUJO VOLUMÉTRICO

Cantidad de volumen de caña que es procesada por el prototipo de corte, Eq 7

$$\dot{v} = A * V \quad \text{Eq. 7}$$

A: Área vara de caña

V= Velocidad de corte

$$\dot{v} = \frac{\pi D^2}{4} * \frac{l}{t} \quad \text{Eq. 8}$$

8.4. BALANCE DE MASA

Para determinar el índice de fluido extraído por el corte realizado a través de la pila de cuchillas se tomaron 13 muestras del cual podemos obtener el valor medio.

$$\text{Índice de extracción de jugo} = \frac{m_{ent} - m_{sal}}{m_{ent}} * 100 \quad \text{Eq. 9}$$

Tabla 32. Cálculos estadísticos para los índices de extracción

Frecuencia (Hz)	Media (kg)	Desv. Estándar	Valor máx. (kg)	Valor min. (kg)
50	0.0846	0.042	0.15	0.05
55	0.0923	0.040	0.15	0.05
60	0.103	0.037	0.15	0.05

Tabla 32 Cálculos estadístico para los índices de extracción.⁶⁴

Analizando los datos de la tabla se puede observar que se presenta una desviación estándar amplia en los tres (3) puntos de operación, debido a que el dispositivo de medición de masa tiene un intervalo alto para lo que es requerido, lo que dificulta tomar con mayor precisión el índice de extracción por prueba. A manera de recomendación será necesario hacer una mayor cantidad de pruebas en posteriores estudios.

Tabla .33. Consumo y extracción

Balance de masa		
Frecuencia (Hz)	Extracción (%)	Potencia (kw)
50	8,85	1,763
55	9,23	2,12
60	10,38	1,804

Tabla 33 Consumo y extracción⁶⁴

⁶⁴ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

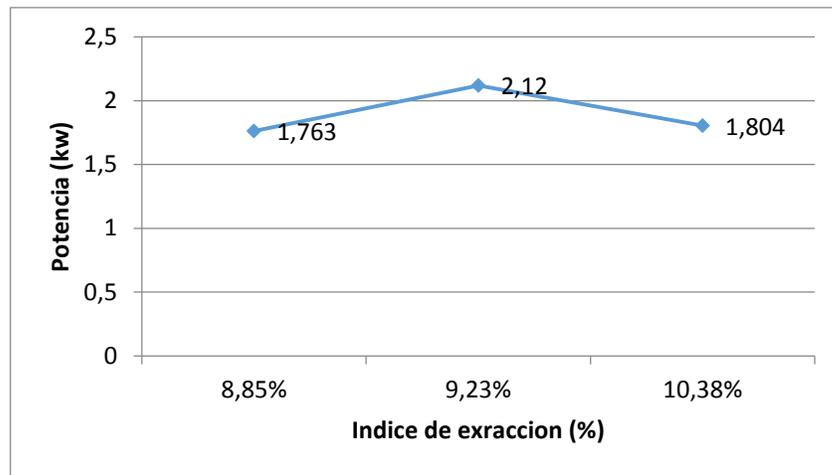


Figura. 37 Potencia (kw) VS Índice de extracción.⁶⁵

La extracción obtenida en cada punto de operación va en aumento al igual que la frecuencia de operación del prototipo.

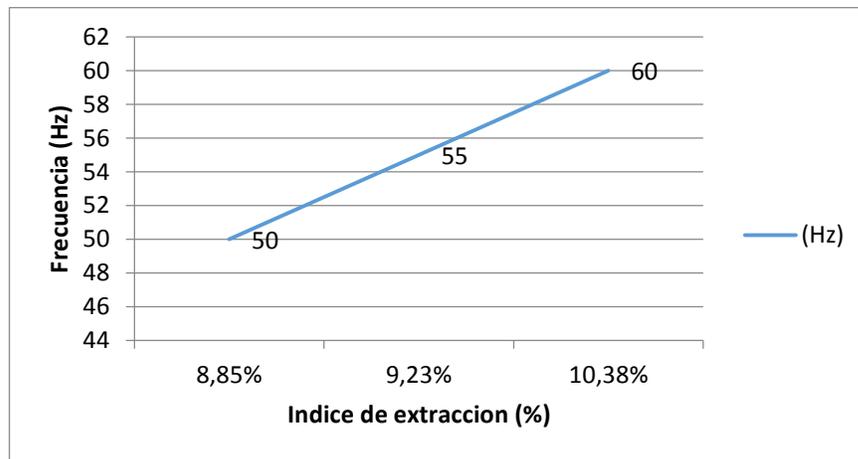


Figura. 38 Frecuencia (Hz) Vs Índice de extracción (%).⁶⁵

La extracción parcial conseguida por el prototipo de tijera múltiple, oscila entre 8.85% al 10.38%, según el punto de operación. Este es un indicador obtenido en la etapa de corte, beneficiando así el proceso general de extracción. Por lo tanto no es pertinente compararlo directamente con un molidor convencional por rodillos, donde la extracción es total y oscila entre 55 y 60%. Para completar la extracción del proceso general, hace falta tener en cuenta el porcentaje obtenido por medio de un tornillo de potencia y conjunto compactador.

⁶⁵ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

8.5. RESULTADOS FINALES

Las tablas 34,35 y 36 reflejan los resultados, calculados con la formulas teóricas ya mencionadas.

Tabla.34. Resultados finales a 50 Hz

No Pruebas	Potencia (kw)	Capacidad Vol. (cm ³ /s)	Vel. corte (cm/s)	Extracción (%)
1	1,573	199,57	40,655	15
2	1,611	199,91	39,143	5
3	1,446	213,13	40,143	10
4	1,814	228,10	41,355	10
5	1,624	203,65	35,561	5
6	1,357	240,17	39,004	15
7	1,738	238,95	37,455	10
8	1,738	294,53	41,666	5
9	2,055	309,30	42,333	5
10	1,827	234,95	31,128	10
11	1,890	302,78	37,647	15
12	2,080	354,67	42,753	5
13	2,169	300,85	35,174	5
PROMEDIO	1,763	255.43	38,771	8.84

Tabla 34 Datos calculados 50 Hz.⁶⁶

⁶⁶ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografias. Bucaramanga. 2013)

Tabla .35. Resultados finales a 55 Hz

No Pruebas	Potencia (kw)	Capacidad Vol. (cm ³ /s)	Vel. corte (cm/s)	Extracción (%)
1	1,864	215,97	42,622	5
2	1,978	218,50	41,153	5
3	2,004	239,54	40,625	10
4	2,055	240,95	40,273	10
5	2,156	242,73	40,277	15
6	2,093	244,63	40,303	5
7	2,181	301,59	46,296	5
8	2,194	345,21	51,904	15
9	2,194	319,48	43,727	15
10	2,207	340,10	44,483	5
11	2,219	315,91	41,056	10
12	2,207	384,53	46,351	10
13	2,219	447,59	46,521	10
PROMEDIO	2,121	296.67	43,507	9.23

Tabla 35 Datos calculados 55 Hz.⁶⁷

Tabla .36. Resultados finales a 60 Hz

No Pruebas	Potencia (kw)	Capacidad Vol (cm ³ /s)	Vel. corte (cm/s)	Extracción (%)
1	1,549	168,81	48,275	5
2	1,600	202,03	54,625	10
3	1,574	205,20	53,982	5
4	1,630	172,57	42,268	5
5	1,739	221,03	53,234	15
6	1,638	231,17	52,401	10
7	1,714	222,10	47,111	15
8	1,676	282,09	55,234	10
9	1,950	286,28	54,337	15
10	2,032	324,08	52,631	10
11	2,070	355,16	55,284	10
12	2,095	381,62	52,232	10
13	2,190	433,47	51,931	15
PROMEDIO	1,804	268,12	51,808	10.38

Tabla 36 Datos calculados 60 Hz.⁶⁷

⁶⁷ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografias. Bucaramanga. 2013)

En los resultados de las tablas 34,35 y 36 mostradas anteriores, no siempre a mayor flujo volumétrico el consumo tiende a aumentar, ya que hay otros factores que intervienen, como: dimensiones, tiempo de apronte, variedad de caña entre otros.

9. CURVAS DE CARACTERIZACIÓN

Según los datos tabulados de las pruebas realizadas con el prototipo se han podido obtener gráficas de potencia Vs capacidad volumétrica en los puntos de operación preestablecidos.

9.1. GRAFICAS FINALES

Las figuras 39,40 y 41 se observan comportamientos aleatorios del consumo energético frente a la capacidad volumétrica del prototipo, debido a la diferencia de diámetros de las cañas en las muestras utilizadas.

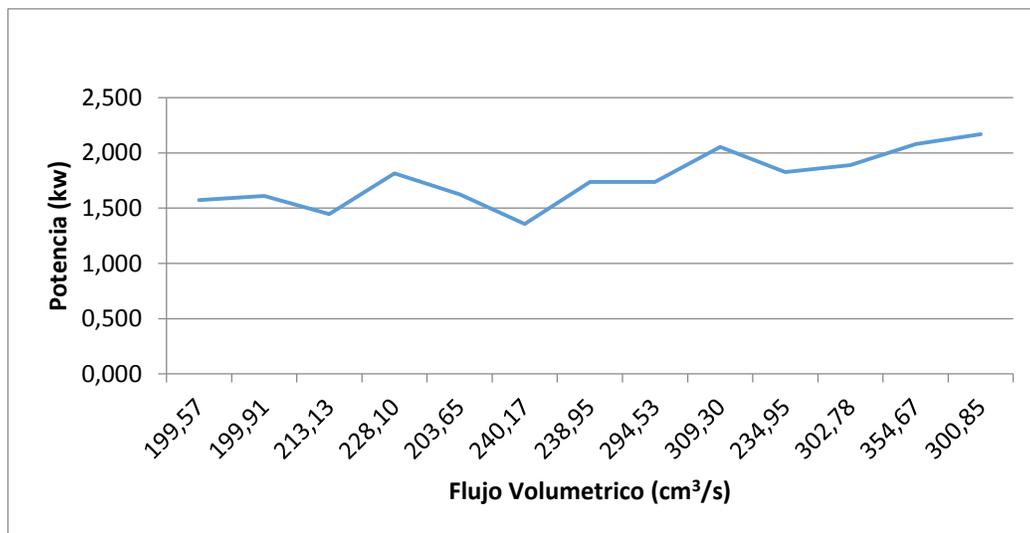


Figura. 39 Potencia (kw) Vs Flujo volumétrico (cm³/s) 50Hz⁶⁸.

⁶⁸ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

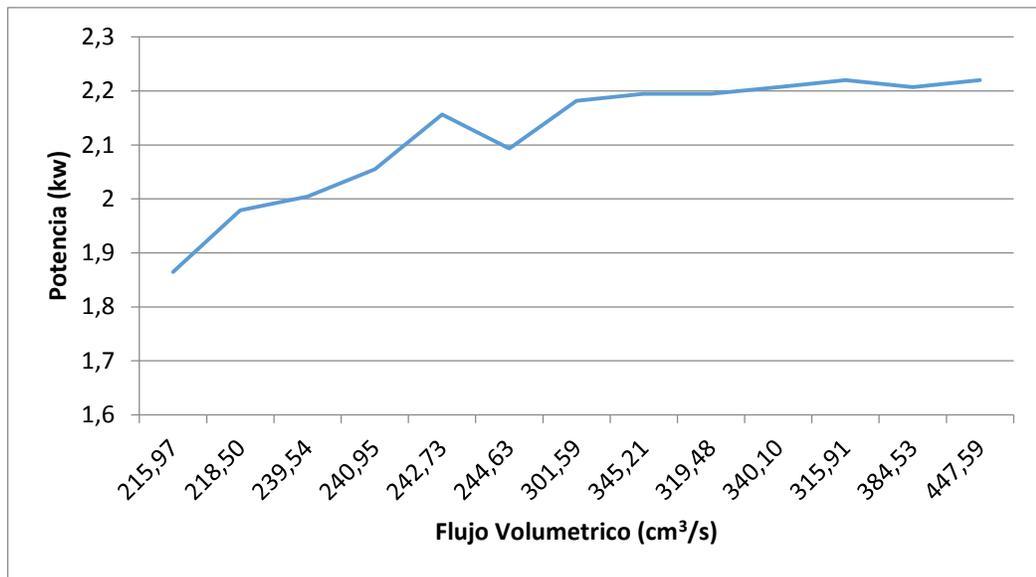


Figura. 40 Potencia (kw) Vs Flujo volumétrico (cm³/s) 55 Hz.⁶⁹

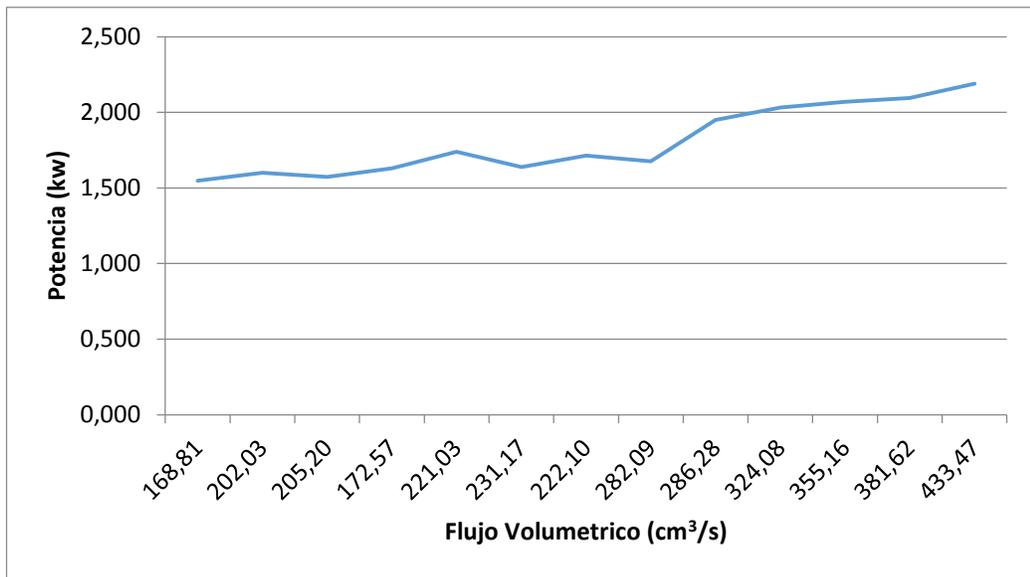


Figura. 41 Potencia (kw) Vs Flujo volumétrico (cm³/s) 60 Hz.⁶⁹

⁶⁹ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografias. Bucaramanga. 2013)

Las figuras 39,40 y 41, de flujo volumétrico en los 3 puntos de operación, se observa que la capacidad es directamente proporcional al incremento en la velocidad de los ejes, los valores registrados en la tabla.36, con diámetro de 3,05 cm son los siguientes.

Tabla.37. Comparación Flujo Volumétrico

Frecuencia (Hz)	Flujo Volumétrico (cm ³ /s)
50	309.30
55	319.48
60	381.60

Tabla 37 Comparación Flujo Volumétrico.⁷⁰

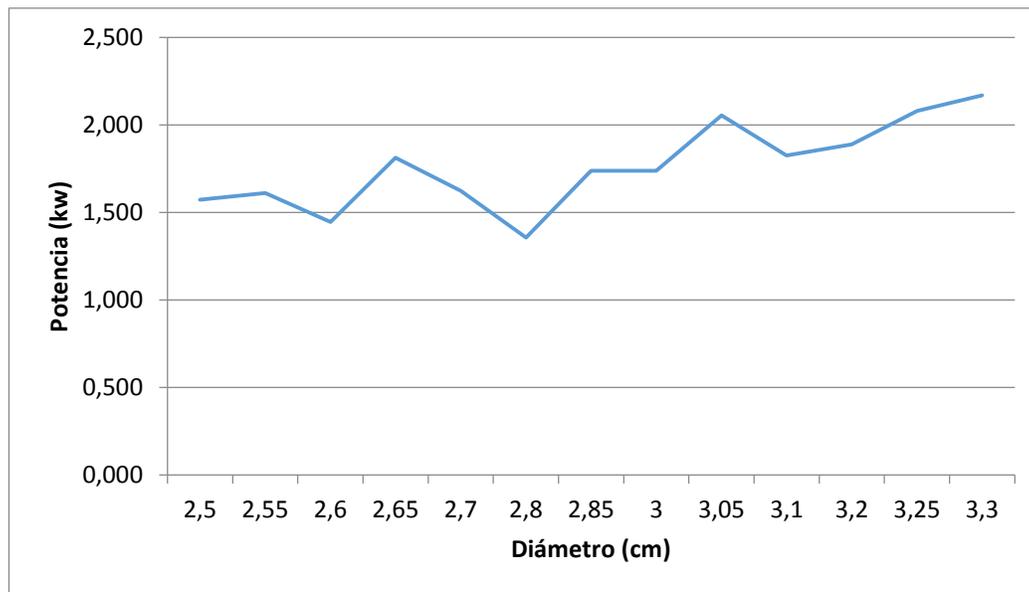


Figura. 42 Potencia (kw) Vs Diámetro (cm) 50 Hz.⁷⁰

⁷⁰ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

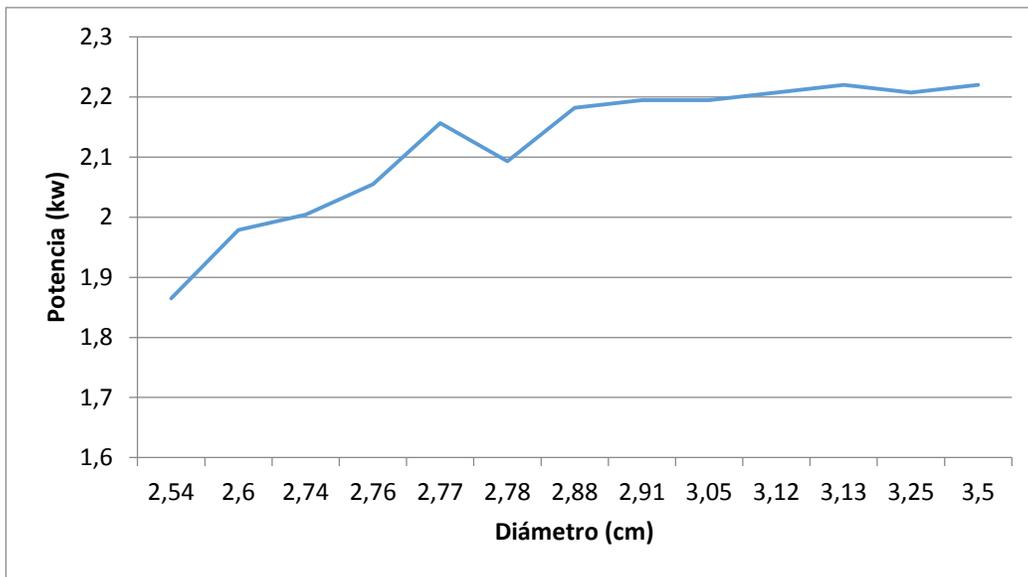


Figura. 43 Potencia (kw) Vs Diámetro (cm) 55 Hz.⁷¹

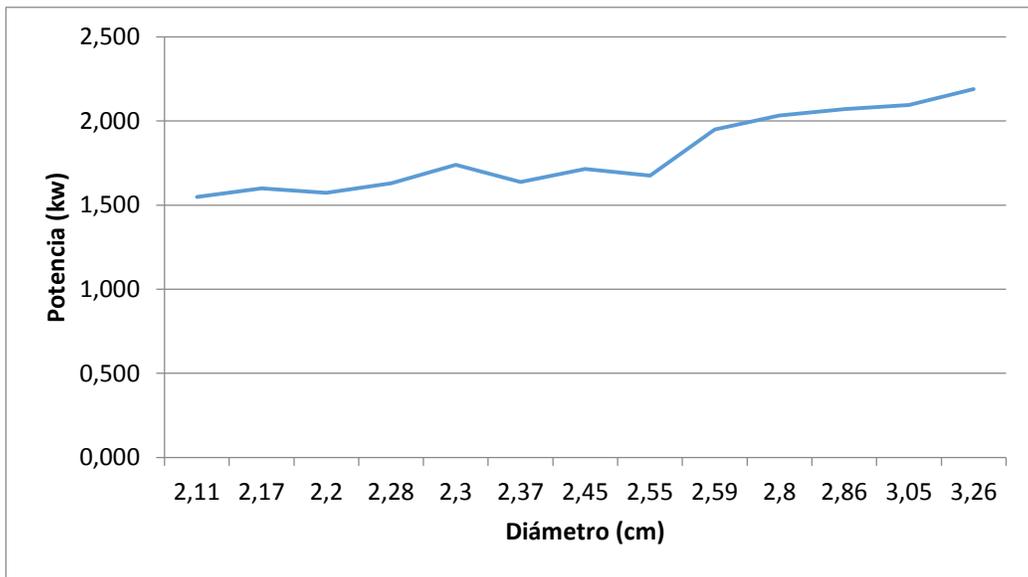


Figura. 44 Potencia (kw) Vs Diámetro (cm) 60 Hz.⁷¹

⁷¹ (ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografías. Bucaramanga. 2013)

Las figuras 42,43 y 44 muestran que el comportamiento en los 3 puntos de operación, son similares en la tendencia de consumo. No siempre el consumo más alto se obtuvo por una muestra con mayor diámetro y no siempre la muestra de menor diámetro arrojó un consumo menor de potencia. Esto permite pensar que existen otros factores que influyen en la irregularidad de comportamiento de consumo de energía en el corte de las muestras de caña.

9.2. COMPARATIVO TRITURADORES MANDÍBULA VS TIJERA.

Tomando como base que este proyecto no está enfocado en la etapa de extracción y por falta de información sobre resultados, tales como: consumo energético y capacidad (tabla .38.) Se vio la necesidad de hacer un análisis comparativo con datos encontrados de un triturador de mandíbula no convencional, frente al prototipo de tijera construido.

Tabla.38.Características del triturador BLAKE de mandíbula de VAIVEN

Tamaño de abertura de recepción del triturador (in)	Velocidad aprox. (rpm)	Potencia necesaria (HP)	Capacidad a la graduación especificada (ton/h)	Ajuste (in)
7 x 10	275	7	7 - 10	2.5
10 x 24	275	15	25 - 30	2.5
14 x 24	275	25	45 - 55	4
18 x 36	250	40	70 - 90	5
24 x 36	200	75	150 - 175	5
			180 - 210	7
30 x 42	200	100	190 - 230	6
			240 - 270	8
36 x 48	200	125 - 150	230 - 270	6
			280 - 320	8
48 x 60	175	175 - 200	400 - 475	6
			525 - 600	8

Tabla 38 Características del triturador BLAKE de mandíbula de VAIVEN.⁷²

⁷² (TRUJILLO. M; PAZMINO. V. Diseño, cálculo y construcción de un trapiche. Ecuador. Riobamba. 2008)

Tabla .39. Comparativo trituradores no convencionales

TIPO DE TRITURADOR	POTENCIA REQUERIDA (Hp)	CAPACIDAD (Ton/h)
Mandíbula de Vaivén	7.0	7.0
Prototipo - tipo tijera	3.0	1.4

Tabla 39 Comparativo trituradores no convencionales

Se observa que el prototipo (Tabla 39) de tijera presenta una capacidad menor, pero el prototipo requiere de una potencia más baja de operación que el triturador de mandíbula. Cabe resaltar que las pruebas se hicieron, con una capacidad más baja, con una sola caña, lo que indica un posible aumento si se mejora el flujo volumétrico en el prototipo.

10. OBSERVACIONES

1. La potencia suministrada por el motor eléctrico disponible en el laboratorio de procesos Agroindustriales no fue suficiente, presentando atascamiento, impidiendo así realizar las pruebas en la totalidad de los puntos de operación preestablecidos.
2. El prototipo con corte tipo tijera presenta limitaciones al momento de cortar elementos fibrosos, debido a la separación obligatoria que requiere tener las cuchillas y separadores entre ejes, permitiendo así el paso de trozos largos de caña.
3. La acumulación de fibra (bagazo) en la zona de descarga ocasiona un mayor consumo de energía, mayor tiempo invertido en las pruebas para la limpieza y en el caso más crítico finalmente presenta atascamiento.
4. Al momento de realizar el corte, los resultados fueron pequeños trozos de fibra y trozos largos de cascara.
5. El consumo de energía no solo depende del diámetro del elemento de prueba, como se estimó inicialmente, sino de otras propiedades morfológicas, adicional se considera que el tiempo de cosecha y de apronte altera la dureza de la caña.
6. El tamaño de las cuchillas suministradas por el grupo de investigación, obligó a tener distancia entre ejes definida, limitando la relación posible de velocidades que podría beneficiar el comportamiento de desgarre de las fibras de la caña a través del corte de la pila de cuchillas.

11. RECOMENDACIONES

1. Debido al atascamiento que presento el motor el eléctrico, se recomienda utilizar un motor mayor a 3 Hp. Por tamaño y como se pudo probar, un motor hidráulico facilita la instalación y entrega un gran torque , no presenta atascamiento y puede ser una buena alternativa, adicional para poder aprovechar la unidad hidráulica del sistema del módulo general del proceso.
2. Para lograr el corte en trozos más pequeños se recomienda construir cuchillas de menor espesor y reducir el espacio entre cuchillas y separadores para evitar que pase la menor cantidad de material a cortar.
3. Tener en cuenta que la sección transversal de los ejes sea comercial, para reducir costos en el maquinado ya que en el mercado se encuentran ejes de sección hexagonal.
4. Hacer pruebas con distinta variedad de caña para poder hacer un mejor análisis estadístico y posteriores caracterizaciones.
5. Aumentar el diámetro de las cuchillas para poder obtener una distancia entre ejes mayor y así poder garantizar una diferencia de velocidades amplia en el par de engranes rectos a suministrar. Esto permitirá un mejor comportamiento en el corte de las fibras de la caña.
6. Usar muestras con diámetros iguales en las pruebas para que las curvas características obtenidas sean más regulares.
7. Realizar un estudio en cuanto al resultado obtenido del jugo, de la caña sin cascara, para así determinar qué beneficios se pueden conseguir, y así mismo determinar que viabilidad tendrá construir un sistema de pelado de caña.

CONCLUSIONES

- ✓ Los 3 rangos de frecuencia, 50Hz, 55Hz y 60Hz presentan datos con índice de extracción, 8.85%, 9.23% y 10.38 %, son directamente proporcional a la velocidad de corte, 38,77 cm/s, 43.50 cm/s y 51.80 cm/s, respectivamente, van aumentado a mayor frecuencia. También se puede considerar que el consumo energético mayor en los 3 rangos es 2.12 kW a 55 Hz frente a 1.78 kW a 50 Hz y 1.804 kW a 60Hz, pero es debido a que cada prueba se realizó con diferentes diámetros, es decir la media en las muestras de diámetros es; 2.88 cm a 50Hz, 2.92 cm a 55Hz y 2.53 cm a una frecuencia de 60Hz, por tal razón el consumo a 55Hz es el mayor.
- ✓ El sistema presenta un comportamiento aleatorio en cuanto consumo energético se refiere, viéndolo solo desde la importancia del tamaño en diámetro de las muestras. Pero se observó en las gráficas de caracterización que no siempre a mayor diámetro el consumo aumenta. Esto quiere decir que hay otros factores que influyen en la resistencia que ofrece la caña a ser cortada. Para poder determinarlas se hace necesario impulsar una nueva investigación que profundice en las posibles razones que ocasionan dicho comportamiento.
- ✓ El fluido parcial obtenido por el prototipo de tijera múltiple, oscila entre 8.85% al 10.38%, según el punto de operación del motor (frecuencia Hz). Este es un indicador alcanzado en la etapa de corte, beneficiando así el proceso general de extracción. Por lo tanto no es pertinente compararlo directamente con un molidor convencional por rodillos, donde se tiene datos del rendimiento total, que está entre 55% y 60%. Sin embargo, para poder hacer el paralelo como extracción total, sería necesario tener en cuenta el porcentaje obtenido en otros elementos del módulo global, donde actúan un tornillo de potencia y un conjunto compactador, que forman parte del proceso total de la caña de azúcar.

BIBLIOGRAFÍA

- CENTRO REGIONAL DE ESTUDIOS ECONOMICOS BUCARAMANGA. El cultivo de la caña panelera en Santander y la groindustria panelera en el departamento de Santander. [En Línea]. 2004. [Citado 30-Jul-2013]. (Disponible en: http://banrep.gov.co/documentos/publicaciones/regional/ESER/bucaramanga/2004_diciembre.pdf).
- CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA CORPOICA. Buenas prácticas agrícolas y Buenas prácticas de manufactura. [En línea]. 2007. [Citado 07-Ago-2013]. Disponible en: <http://www.fao.org.co>. (s.f.).
- CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA-CORPOICA. Catálogo de variedades de caña para la producción de panela en la hoya del río Suárez. [En Línea]. 2003. [Citado 24-Jul-2013]. (Disponible en: <http://corpomail.corpoica.org.co/bacdigital/Contenidos/catalogo.asp?CA=25955>).
- CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA-CORPOICA. Guía Tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera. [En Línea]. 2007. [Citado 05-Ago-2013]. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/BibliotecaDigital.html>. (s.f.).
- GIDETECHMA. Grupo de investigación Facultad de Ingeniería Mecánica. Colombia. Bucaramanga. 2013. (s.f.).
- Hernandez arroyo. Emil, Manual de Estadística (Handbook of statistics), Universidad Cooperativa de Colombia, 2006. (s.f.).
- INDURA. Manual de Aceros Inoxidables. [En Línea]. 2010. [Citado 20-May-2013]. Disponible en: <http://www.indura.net>. (s.f.).
- JWC-LATINAMERICA. MuffinMonster. [En Línea]. 2008. [Citado 10-Oct-2013]. Disponible en: <http://www.jwcla.com>. (s.f.).
- L. MOTT, Robert. Diseño y elementos de máquinas. cuarta edición, 2006 . pag 585-586. (s.f.).
- MONO.NOV Muncher-mono. [En línea]. 2008. [Citado 15-Oct-2013]. Disponible en: <http://www.mono-pumps.com/es/trituradoras>. (s.f.).

NSK, Catalogo general de rodamientos.[Citado en Mayo de 2013], Disponible: <http://www.sicoris-sa.com/pdf/catalogos/nsk-rodamientos-catalogo-general-catalogo.pdf>. (s.f.).

ORTIZ. L ; MORENO. E. Base de datos Fotografias. Bucaramanga. 2013. (s.f.).

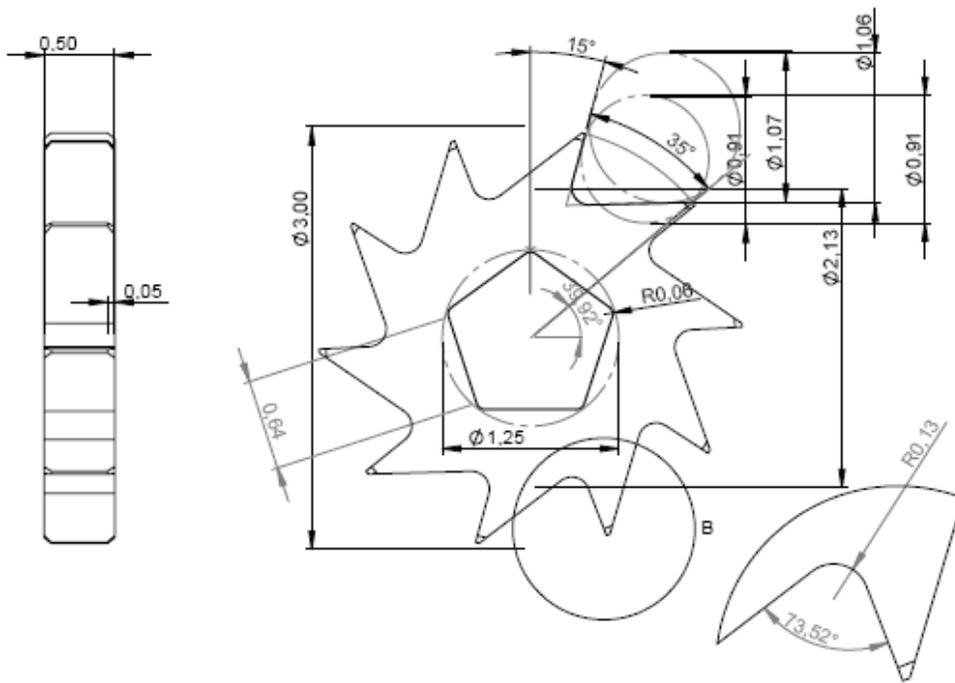
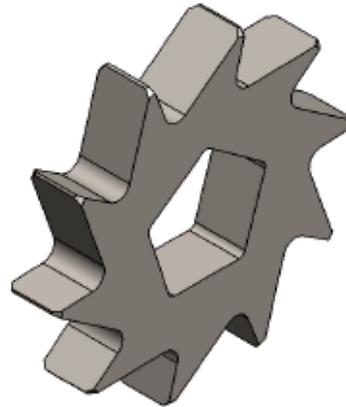
RENOLD HITEC COUPLINGS. Catalogo industrial acoplamiento RB y PM. [En línea]. 2000. [Citado 15-Dic-2013]. Disponible en: http://www.renold.com/upload/renoldswitzerland/IndustrialCatg_Spanish.pdf. (s.f.).

TRUJILLO. M; PAZMINO. V. Diseño, cálculo y construcción de un trapiche. Ecuador. Riobamba. 2008. (s.f.).

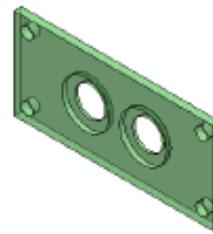
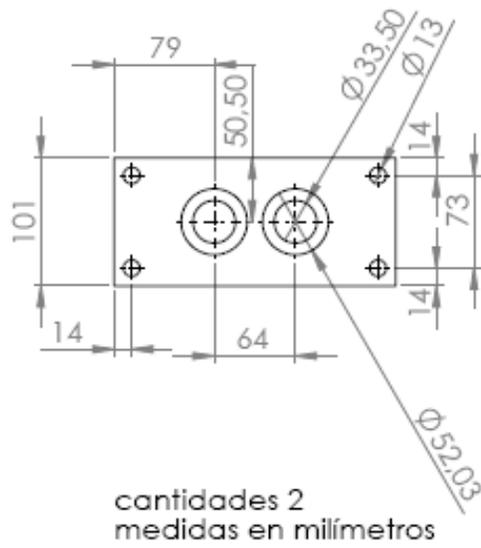
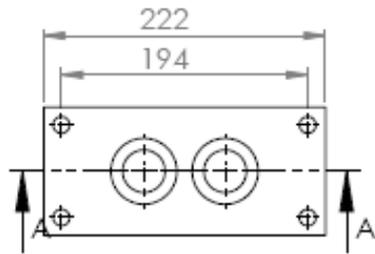
-

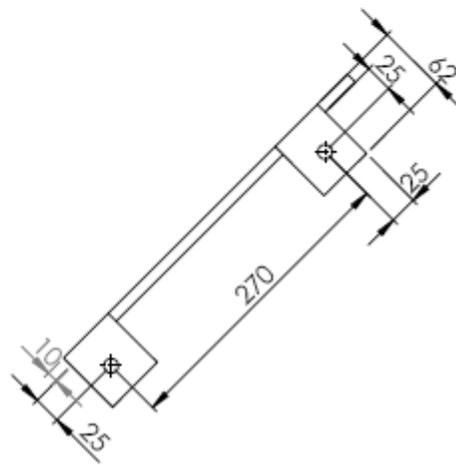
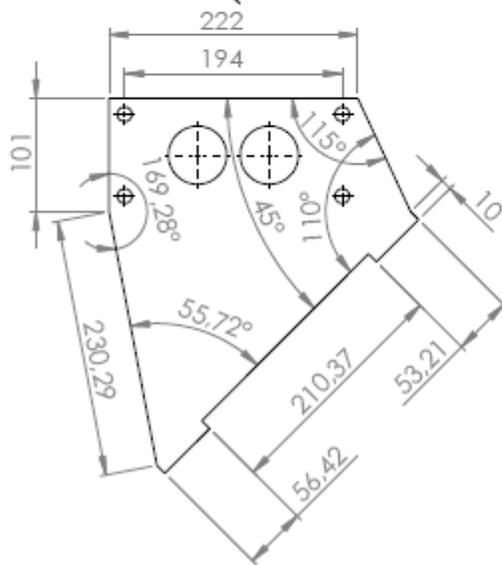
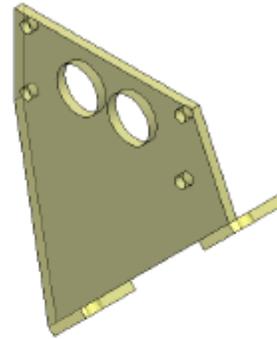
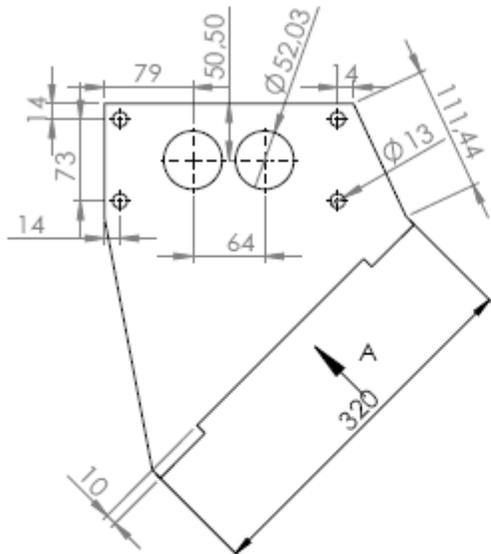
ANEXO A

PLANOS PROTOTIPO DE CORTE

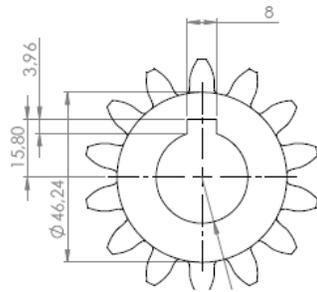
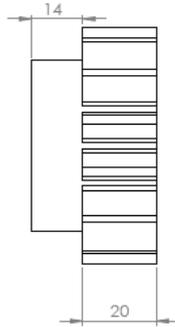
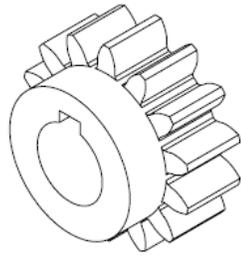


DETALLE B
ESCALA 2 : 1

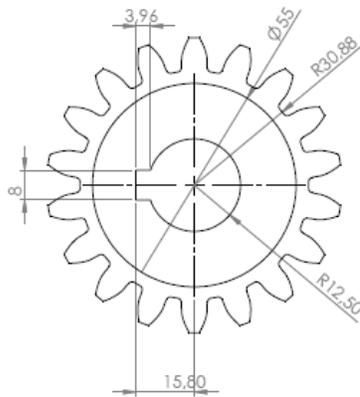
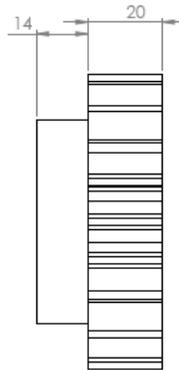
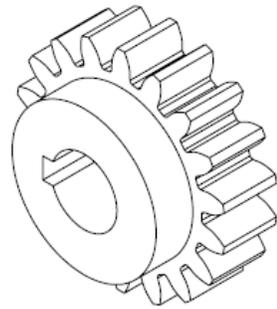




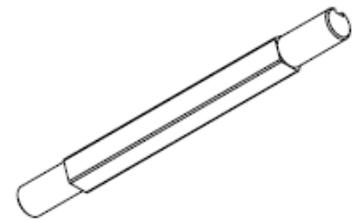
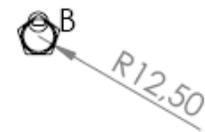
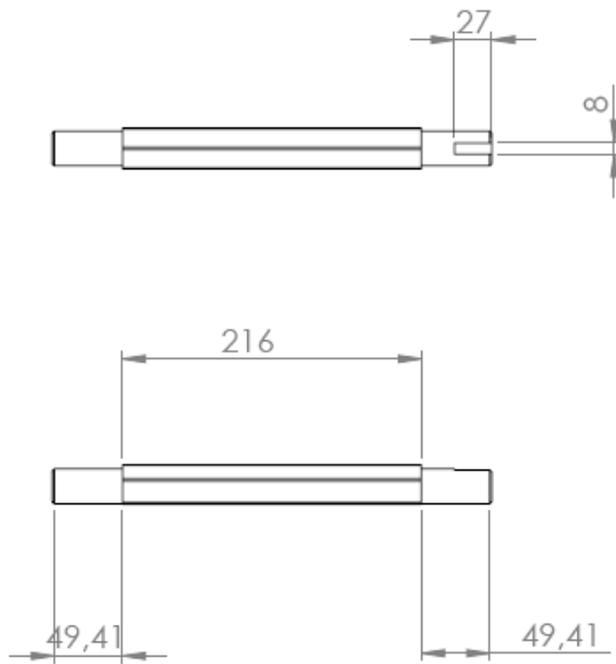
VISTA A
ESCALA 1 : 5

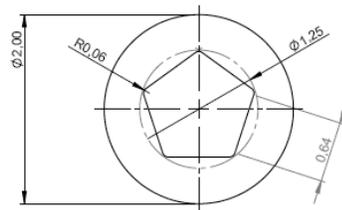
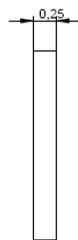
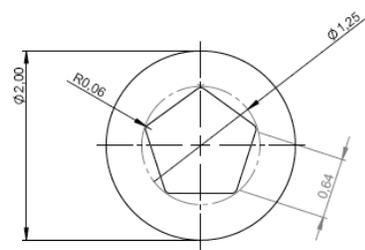
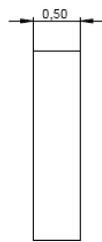


Piñón:
 No. de dientes: 14
 Módulo: 4,00 mm
 (a) Angulo de presión: 20,00 °
 (ab) Diámetro base: 52,62 mm
 (da) Diámetro exterior: 64,24 mm
 (d) Diámetro primitivo: 56,00 mm
 (dr) Diámetro de raíz: 46,24 mm
 (DM) Diámetro de agujero de montaje: 25,00 mm
 (b) Anchura de cara: 20,00 mm
 (CD) Distancia entre centros: 64,00 mm



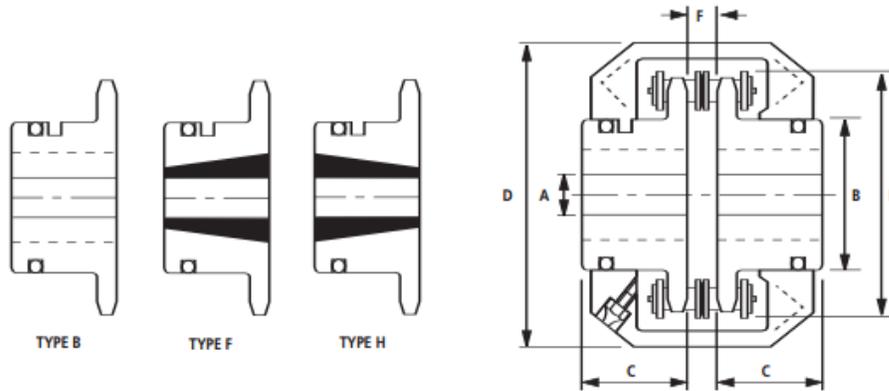
Engranaje:
 No. de dientes: 18
 (ab) Diámetro base: 67,66 mm
 (da) Diámetro exterior: 79,76 mm
 (d) Diámetro primitivo: 72,00 mm
 (dr) Diámetro de raíz: 61,76 mm
 (a) Angulo de presión: 20,00 °
 Módulo: 4,00 mm
 Diámetro medio de eje: 25,00 mm
 (b) Anchura de cara: 23,00 mm





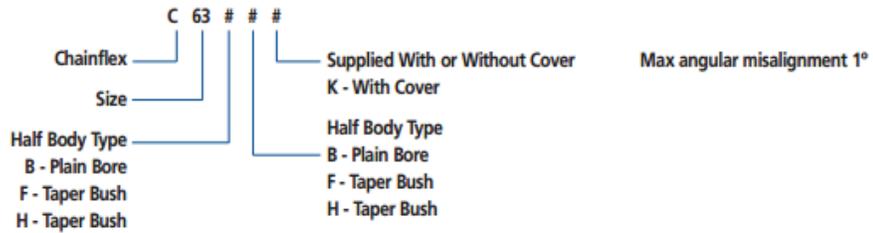
ANEXO B

ACOPLE TIPO CADENA



Coupling Size With Cover	Power /100rpm Kw	Torque Nominal Nm	Speed Max rpm	Type B		Type F & H			Dimensions						Offset Max mm	End Float mm
				Bore		Bush Size	Bore		B mm	C mm	D mm	E mm	F mm	Mass kg		
				Max	Min		Max	Min								
C28BB K	0.55	52.5	3500	25	12	N/A	-	-	42	21	72	62	3	0.5	0.25	0.7
C33BB K	1	95.5	3000	30	12	N/A	-	-	50	25	83	74	5.1	1.0	0.25	1.0
C43 # # K	2.25	215	2250	40	14	TB1008	28	9	59	32	108	99	6.9	2.1	0.25	1.3
C63 # # K	7.5	716	1500	60	19	TB1615	42	14	91	51	159	148	8.9	7.1	0.30	2.0
C81 # # K	17.5	1671	1200	80	24	TB2525	60	19	117	63	206	197	16.2	16	0.38	2.5
C101BB K	33.5	3200	960	100	32	N/A	-	-	144	76	258	245	18.8	30	0.38	3.3
C122BB K	60	5730	750	130	50	N/A	-	-	182	101	311	295	25.1	61	0.50	3.8
C140BB K	90	8595	700	140	55	N/A	-	-	195	114	357	343	31.2	85	0.50	4.6

Ordering Code



ANEXO C

TABLA DE AJUSTES Y TOLERANCIAS

TABLA 13-4 Ajustes forzados y de contracción (FN)

Intervalo de tamaños nominales (puig)	Clase FN1			Clase FN2			Clase FN3			Clase FN4			Clase FN5		
	Límites de interferencia	Límites normales		Límites de interferencia	Límites normales		Límites de interferencia	Límites normales		Límites de interferencia	Límites normales		Límites de interferencia	Límites normales	
		Orificio	Eje		Orificio	Eje		Orificio	Eje		Orificio	Eje		Orificio	Eje
Hasta A															
0-0.12	0.05 0.5	+0.25 -0	+0.5 +0.3	0.2 0.85	+0.4 -0	+0.85 +0.6				0.3 0.95	+0.4 -0	+0.95 +0.7	0.3 1.3	+0.6 -0	+1.3 +0.9
0.12-0.24	0.1 0.6	+0.3 -0	+0.6 +0.4	0.2 1.0	+0.5 -0	+1.0 +0.7				0.4 1.2	+0.5 -0	+1.2 +0.9	0.5 1.7	+0.7 -0	+1.7 +1.2
0.24-0.40	0.1 0.75	+0.4 -0	+0.75 +0.5	0.4 1.4	+0.6 -0	+1.4 +1.0				0.6 1.6	+0.6 -0	+1.6 +1.2	0.5 2.0	+0.9 -0	+2.0 +1.4
0.40-0.56	0.1 0.8	+0.4 -0	+0.8 +0.5	0.5 1.6	+0.7 -0	+1.6 +1.2				0.7 1.8	+0.7 -0	+1.8 +1.4	0.6 2.3	+1.0 -0	+2.3 +1.6
0.56-0.71	0.2 0.9	+0.4 -0	+0.9 +0.6	0.5 1.6	+0.7 -0	+1.6 +1.2				0.7 1.8	+0.7 -0	+1.8 +1.4	0.8 2.5	+1.0 -0	+2.5 +1.3
0.71-0.95	0.2 1.1	+0.5 -0	+1.1 +0.7	0.6 1.9	+0.8 -0	+1.9 +1.4				0.8 2.1	+0.8 -0	+2.1 +1.6	1.0 3.0	+1.2 -0	+3.0 +2.2
0.95-1.19	0.3 1.2	+0.5 -0	+1.2 +0.8	0.6 1.9	+0.8 -0	+1.9 +1.4	0.8 2.1	+0.8 -0	+2.1 +1.6	1.0 2.3	+0.8 -0	+2.3 +1.8	1.3 3.3	+1.2 -0	+3.3 +2.5
1.19-1.58	0.3 1.3	+0.6 -0	+1.3 +0.9	0.8 2.4	+1.0 -0	+2.4 +1.8	1.0 2.6	+1.0 -0	+2.6 +2.0	1.5 3.1	+1.0 -0	+3.1 +2.5	1.4 4.0	+1.6 -0	+4.0 +3.0
1.58-1.97	0.4 1.4	+0.6 -0	+1.4 +1.0	0.8 2.4	+1.0 -0	+2.4 +1.8	1.2 2.8	+1.0 -0	+2.8 +2.2	1.8 3.4	+1.0 -0	+3.4 +2.8	2.4 5.0	+1.6 -0	+5.0 +4.0
1.97-2.56	0.6 1.8	+0.7 -0	+1.8 +1.3	0.8 2.7	+1.2 -0	+2.7 +2.0	1.3 3.2	+1.2 -0	+3.2 +2.5	2.3 4.2	+1.2 -0	+4.2 +3.5	3.2 6.2	+1.8 -0	+6.2 +5.0
2.56-3.15	0.7 1.9	+0.7 -0	+1.9 +1.4	1.0 2.9	+1.2 -0	+2.9 +2.2	1.8 3.7	+1.2 -0	+3.7 +3.0	2.8 4.7	+1.2 -0	+4.7 +4.0	4.2 7.2	+1.8 -0	+7.2 +6.0
3.15-3.94	0.9 2.4	+0.9 -0	+2.4 +1.8	1.4 3.7	+1.4 -0	+3.7 +2.8	2.1 4.4	+1.4 -0	+4.4 +3.5	3.6 5.9	+1.4 -0	+5.9 +5.0	4.8 8.4	+2.2 -0	+8.4 +7.0
3.94-4.73	1.1 2.6	+0.9 -0	+2.6 +2.0	1.6 3.9	+1.4 -0	+3.9 +3.0	2.6 4.9	+1.4 -0	+4.9 +4.0	4.6 6.9	+1.4 -0	+6.9 +6.0	5.8 9.4	+2.2 -0	+9.4 +8.0
4.73-5.52	1.2 2.9	+1.0 -0	+2.9 +2.2	1.9 4.5	+1.6 -0	+4.5 +3.5	3.4 6.0	+1.6 -0	+6.0 +5.0	5.4 8.0	+1.6 -0	+8.0 +7.0	7.5 11.6	+2.5 -0	+11.6 +10.0
5.52-6.30	1.5 3.2	+1.0 -0	+3.2 +2.5	2.4 5.0	+1.6 -0	+5.0 +4.0	3.4 6.0	+1.6 -0	+6.0 +5.0	5.4 8.0	+1.6 -0	+8.0 +7.0	9.5 13.6	+2.5 -0	+13.6 +12.0

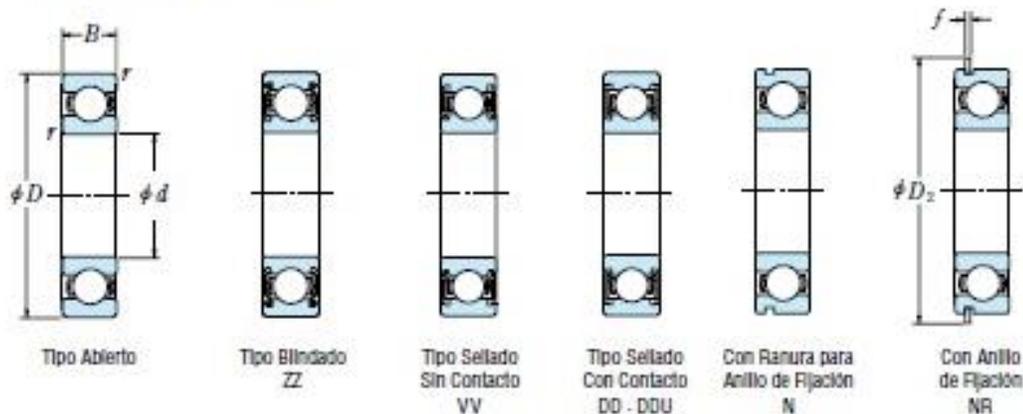
Fuente: Reimpreso de la Norma ANSI B4.1-1967, con autorización de The American Society of Mechanical Engineers. Todos los derechos reservados.

ANEXO D

TABLA DE RODAMIENTO

RODAMIENTOS DE BOLAS DE RANURA PROFUNDA DE UNA SOLA HILERA

Diámetro Interior 25~45 mm



Dimensiones (mm)	Índice de Carga Básica (N)		Índice de Carga Básica (kgf)		Factor f_0	Velocidad Límite (rpm)			Números de Rodamiento						
	d	D	B	r_{min}		C_r	C_{or}	C_r	C_{or}	Grasa Abierto Z: ZZ Q: QQ	Aceite Abierto Z	Abierto	Blindado	Sellado	
25	37	7	0.3	4 500	3 150	465	320	16.1	19 000	10 000	22 000	6e05	ZZ	VV	DD
	42	9	0.3	7 050	4 550	715	480	15.4	16 000	10 000	19 000	6905	ZZ	VV	DDU
	47	8	0.3	8 850	5 600	905	570	15.1	15 000	—	18 000	16005	—	—	—
	47	12	0.6	10 100	5 850	1 030	595	14.5	15 000	9 500	18 000	6005	ZZ	VV	DDU
	52	15	1	14 000	7 850	1 430	800	13.9	13 000	9 000	15 000	6205	ZZ	VV	DDU
	62	17	1.1	20 600	11 200	2 100	1 150	13.2	11 000	8 000	13 000	6305	ZZ	VV	DDU
28	52	12	0.6	12 500	7 400	1 270	755	14.5	14 000	8 500	16 000	60/28	ZZ	VV	DDU
	58	16	1	16 600	9 500	1 700	970	13.9	12 000	8 000	14 000	62/28	ZZ	VV	DDU
	68	18	1.1	26 700	14 000	2 730	1 430	12.4	10 000	7 500	13 000	63/28	ZZ	VV	DDU
30	42	7	0.3	4 700	3 650	480	370	16.4	15 000	9 000	18 000	6e06	ZZ	VV	DD
	47	9	0.3	7 250	5 000	740	510	15.8	14 000	8 500	17 000	6906	ZZ	VV	DDU
	55	9	0.3	11 200	7 350	1 150	750	15.2	13 000	—	15 000	16006	—	—	—
	55	13	1	13 200	8 300	1 350	845	14.7	13 000	8 000	15 000	6006	ZZ	VV	DDU
	62	16	1	19 500	11 300	1 980	1 150	13.8	11 000	7 500	13 000	6206	ZZ	VV	DDU
32	72	19	1.1	26 700	15 000	2 720	1 530	13.3	9 500	6 700	12 000	6306	ZZ	VV	DDU
	58	13	1	15 100	9 150	1 530	935	14.5	12 000	7 500	14 000	60/32	ZZ	VV	DDU
	65	17	1	20 700	11 600	2 120	1 190	13.6	10 000	7 100	12 000	62/32	ZZ	VV	DDU
	75	20	1.1	29 900	17 000	3 050	1 730	13.2	9 000	6 300	11 000	63/32	ZZ	VV	DDU
35	47	7	0.3	4 900	4 100	500	420	16.7	14 000	7 500	16 000	6e07	ZZ	VV	DD
	55	10	0.6	10 600	7 250	1 080	740	15.5	12 000	7 500	15 000	6907	ZZ	VV	DDU
	62	9	0.3	11 700	8 200	1 190	835	15.6	11 000	—	13 000	16007	—	—	—
	62	14	1	16 000	10 300	1 630	1 050	14.8	11 000	6 700	13 000	6007	ZZ	VV	DDU
	72	17	1.1	25 700	15 300	2 620	1 580	13.8	9 500	6 300	11 000	6207	ZZ	VV	DDU
40	80	21	1.5	33 500	19 200	3 400	1 960	13.2	8 500	6 000	10 000	6307	ZZ	VV	DDU
	52	7	0.3	6 350	5 550	650	585	17.0	12 000	6 700	14 000	6e08	ZZ	VV	DD
	62	12	0.6	13 700	10 000	1 390	1 020	15.7	11 000	6 300	13 000	6908	ZZ	VV	DDU
	68	9	0.3	12 600	9 650	1 290	985	16.0	10 000	—	12 000	16008	—	—	—
	68	15	1	16 800	11 500	1 710	1 180	15.3	10 000	6 000	12 000	6008	ZZ	VV	DDU
45	80	18	1.1	29 100	17 900	2 970	1 820	14.0	8 500	5 600	10 000	6208	ZZ	VV	DDU
	90	23	1.5	40 500	24 000	4 150	2 450	13.2	7 500	5 300	9 000	6308	ZZ	VV	DDU
	58	7	0.3	6 600	6 150	670	625	17.2	11 000	6 000	13 000	6e09	ZZ	VV	DD
	68	12	0.6	14 100	10 900	1 440	1 110	15.9	9 500	5 600	12 000	6909	ZZ	VV	DDU
	75	10	0.6	14 900	11 400	1 520	1 160	15.9	9 000	—	11 000	16009	—	—	—
	75	16	1	20 900	15 200	2 140	1 550	15.3	9 000	5 300	11 000	6009	ZZ	VV	DDU
	95	19	1.1	31 500	20 400	3 200	2 080	14.4	7 500	5 300	9 000	6209	ZZ	VV	DDU
100	25	1.5	53 000	32 000	5 400	3 250	13.1	6 700	4 800	8 000	6309	ZZ	VV	DDU	

Notas (1) Para tolerancias dimensionales de las ranuras y de los anillos de fijación, consulte las Páginas A50 a A53.

(2) Cuando se aplican cargas axiales pesadas, aumente d_s y disminuya D_s respecto a los valores indicados.

ANEXO E

CATALOGO MOTOR



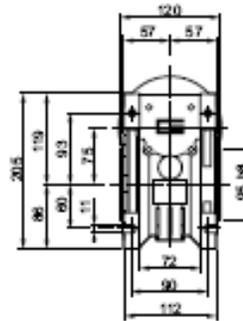
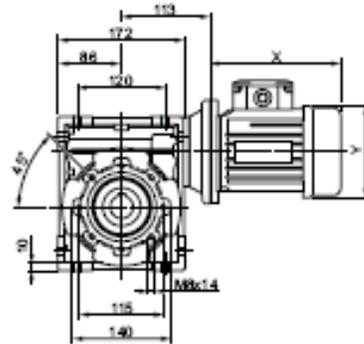
CM

RIDUTTORI A VITE SENZA FINE
WORMGEARBOXES

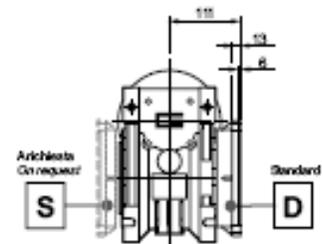
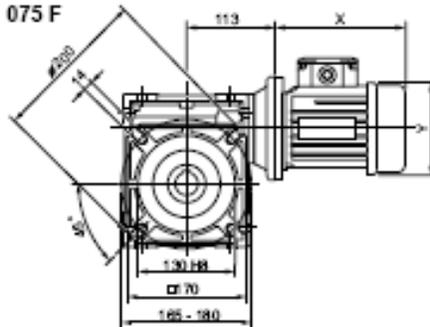
Dimensioni

Dimensions

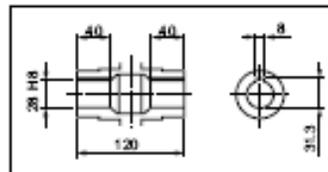
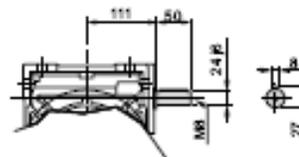
CM 075 U



CM 075 F



CMIS 075 ..



Albero latta cavo / Hollow output shaft

ANEXO F

PROTOCOLO DE OPERACIÓN.

PROTOCOLO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.		
EQUIPO	Cortador tipo tijera	
COMPROBACION DEL SISTEMA		
MOTOR ELECTRICO y PANEL DE CONTROL		
Comprobar que no se encuentren conexiones sueltas en el motor	SI	NO
Comprobar que no se encuentren conexiones sueltas en el tablero de control	SI	NO
Comprobar que el sistema este desenergizado.	SI	NO
CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD		
No usar ningún tipo de elemento que ocasione accidente: joyas, pulseras, entre otros	SI	NO
Utilizar elementos de seguridad; Guantes, Gafas, Botas y Overol.	SI	NO
Corroborar que no haya elementos en el prototipo que ocasionen atascamiento.	SI	NO
Verificar que los engranes esté lubricados.	SI	NO
PUESTA EN FUNCIONAMIENTO		
Energizar el sistema, activar solo el variador del prototipo.	SI	NO
Ajustar la frecuencia de trabajo deseada.	SI	NO
Encender el prototipo y verificar que no haya ruidos anormales.	SI	NO
ALIMENTACION DEL PROTOTIPO		
Adecuar la altura de trabajo del operario en la zona de alimentación	SI	NO
Depositar las muestras dentro de la cubierta de alimentación, no meter las manos.	SI	NO
Tomar datos requeridos.	SI	NO
APAGADO		
Apagar el prototipo	SI	NO
Limpiar el prototipo internamente y sus alrededores.	SI	NO
Desenergizar el sistema.	SI	NO