

FECHA	23 de junio de 2008
-------	---------------------

NÚMERO RA	
PROGRAMA	Programa de Ingeniería Mecatrónica

AUTOR (ES)	BARAJAS MUÑOZ, Carlos Eduardo; CHOCONTÁ MARTÍNEZ, José María
TÍTULO	Diseño de una maquinaria de escarificación de semillas de tagua

PALABRAS CLAVES	Tagua, semilla, escarificación, maquinaria.

DESCRIPCIÓN	<p>Este trabajo tiene como fin el diseño de una maquinaria que permite la escarificación de semillas de tagua, por medio del cual se puedan beneficiar quienes manufacturan esta materia prima. La tagua seguramente tendrá un auge elevado, debido al reemplazo de materiales ecológicamente insostenibles, como lo son los derivados del petróleo (baquelita) y el marfil de elefante, por elementos renovables. El proyecto vislumbra una oportunidad de mercado que debe ser sopesada en todos los sentidos para producir mayores rendimientos en el aprovechamiento de la tagua.</p>
-------------	---

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS	<p>ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE FLEXIÓN Y EXTENSIÓN DEL ANTEBRAZO documento disponible en: http://www.mundokinesio.com.ar/inicio/index.php?option=com_content&task=view&id=188&Itemid=66 Descargado el 1 de Abril de 2008</p> <p>BARUH H. 1999. Analytical Dynamics. WCB Mc Graw Hill.</p> <p>CINPES 14ª Conferencia CITES culmina con sorprendentes acuerdos y decepciones Centro internacional de política económica. Disponible en: http://www.ictsd.org/puen_quince/07-06-26/art2.htm recuperado el 27 de abril de 2008</p> <p>ICANH. La economía extractiva en el pacífico colombiana. En: Geografía Humana de Colombia Afrocolombianos. ICANH. Instituto Colombiano de Antropología e Historia. 2006.</p> <p>IFAW. Se votará sobre el comercio internacional de elefantes, ballenas, tigres y tiburones en la reunión de la CITES. Fondo Internacional para la Protección de los Animales y su Hábitat. Disponible en: http://www.ifaw.org/ifaw/general/default.aspx?oid=213682 recuperado el 15 de febrero de 2008.</p> <p>JIMÉNEZ, Edwin. Sistema de escarificación de semillas de tagua para mejorar la germinación. En: Revista tecnológica. Vol. 17. No. 1. Junio 2004. Documento PDF Disponible en: www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2004/SISTEMA_DEESCARIFICACION.pdf recuperado el 3 de diciembre de 2007</p>
------------------------	--

NÚMERO RA	
PROGRAMA	Programa de Ingeniería Mecatrónica

MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR. Observatorio Nacional de Biocomercio. 2007.

NORTON, Robert L.. Diseño de Máquinas. Pretince Hall. 2004

OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION. 13 de abril de 2006. Documento PDF disponible en: <http://www.phthalates.com/upload/documents/document40.pdf> recuperado el 7 de diciembre de 2007

PIÑEROS CORTÉS, Francisco Investigación sobre la tagua. Artesanías de Colombia. Grupo de investigación de Colciencias. 2004. p. 27

SALAZAR, Jaime. Desarrollo de la capacidad de transformación de la tagua. Centro de Investigación y Documentación Artesanal "CENDAR". Ministerio de Comercio, industria y comercio. Bogotá D.C., 2002. p. 31

SCHROCK, J. Montaje ajuste y verificación de elementos de máquinas. Reverté, S.A. 1981

SIFORESTAL. "La tagua o yarina". Documento disponible en: <http://www.siforestal.org.pe/Yarina.htm> recuperado el 12 de enero de 2008

EWAKULAK. Tagua – Marfil Vegetal. Archivo electrónico on-line. Disponible en: http://www.ewakulak.com/colombia/asiescolombia/tagua_marfil_vegetal.html descargado el 15 de abril de 2008.

TORRES, Claudia. 2006. "Diagnóstico inicial sobre manejo in situ y protocolos de aprovechamiento de productos no maderables del bosque (werregue, damagua, tagua, iraca y paja blanca) que se utilizan con fines artesanales por parte de grupos apoyados desde AID to Artisans Colombia - ATAC". Convenio de Asociación N° 064 de 2005 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Fundación AID to Artisans Colombia – ATAC. Acompañamiento del Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá

CONTENIDOS
INTRODUCCIÓN
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
1.1 ANTECEDENTES
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA
1.3 JUSTIFICACIÓN
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN
1.4.1 Objetivo General,
1.4.2 Objetivos Específicos
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO
1.5.1 Alcances.
1.5.2 Limitaciones.
2 MARCO REFERENCIAL
2.1 MARCO CONCEPTUAL
2.1.1 Descripción del mercado de la Tagua.
2.1.2 Aplicaciones de la tagua.
2.1.3 Procesamiento de la tagua.
2.2 MARCO TEÓRICO
3 METODOLOGÍA
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

NÚMERO RA	
PROGRAMA	Programa de Ingeniería Mecatrónica

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUB-LÍNEA DE FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA
3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN
4. DESARROLLO INGENIERIL
4.1 ALTERNATIVAS DE DISEÑO
4.1.1 Alternativas para el sistema de quebrantado:
4.2 BASES DEL DISEÑO
4.2.1 Muestra de cálculos, selección de componentes estandarizados y materiales.
4.2.2 Cálculo resistivo del eje del rotor.
4.2.3 Selección de materiales.
4.3 CÁLCULOS CINEMÁTICOS Y DIMENSIONAMIENTO PARA UNA MAQUINA DE ESCARIFICACIÓN DE SEMILLAS DE TAGUA
4.3.1 Descripción general del funcionamiento de la máquina.
4.3.2 Especificaciones técnicas de la máquina
4.3.3 Cálculo y diseño estructural.
4.3.4 Descripción detallada del funcionamiento
CONCLUSIONES

METODOLOGÍA

- El enfoque de la investigación es de carácter empírico-analítico, ya que para su desarrollo ha sido preciso un conocimiento previo del funcionamiento de los diferentes componentes de la maquinaria, así como un análisis de la forma en que puede fracturarse la cáscara de la semilla de la tagua.
- La línea de investigación es Tecnologías actuales y sociedad, la sub-línea de la facultad es Control y Automatización de Procesos y el campo temático del programa es Automatización industrial.

CONCLUSIONES

El trabajo desarrollado permitió determinar la viabilidad de negocio de la tagua con miras a implementar una maquinaria que permita el procesamiento de la semilla, causando el menor daño posible al producto final.

Este proyecto se convierte en un aporte para los artesanos, ya que gracias a la formación como ingenieros mecatrónicos se puede afirmar que se está en la capacidad de colaborar en el proceso de producción de este producto.

Este trabajo es un aporte al equilibrio ambiental, ya que con la promoción de la comercialización de la tagua, así como su tecnificación en la producción, se incentiva el desarrollo sostenible, pues este material se convierte en una alternativa a fuentes de materiales parecidos que tienen un alto costo ecológico, como por ejemplo los derivados del petróleo o la caza indiscriminada e ilegal de elefantes.

NÚMERO RA	
PROGRAMA	Programa de Ingeniería Mecatrónica

El proceso de escarificación mediante el proceso mecánico propuesto, tiene las siguientes ventajas:

- Reducción en los tiempos de producción para el aprovechamiento óptimo del material.
- Reducción en costos de alimentación energética.
- Aumento de la seguridad industrial: lo que beneficia directamente a los trabajadores de la tagua, puesto que con el procedimiento automatizado propuesto se reducen ostensiblemente los accidentes, ya que la intervención humana se reduce a la alimentación de la máquina.

Como se ha insistido a lo largo del trabajo, la experimentación directa con un prototipo permitirá la mejora en cuanto a eficacia y eficiencia de la maquinaria, ya que de acuerdo a la experiencia directa se pueden hacer los ajustes del caso, como la calibración de la velocidad de los motores, entre otros.

Debido a las dimensiones de la máquina, se ha pensado en una escalera, mediante la cual el operario alimentaría la maquinaria. Debido a la condición de inestabilidad que puede dar esta escalera, se propone su reemplazo por una transportadora elevadora, que minimice el riesgo para el operario.

Para un procesamiento mayor continuo de materia prima, se sugiere el aumento de las dimensiones de la tolva superior.

DISEÑO DE UNA MAQUINARIA DE
ESCARIFICACIÓN DE SEMILLAS DE TAGUA



CARLOS EDUARDO BARAJAS MUÑOZ
JOSÉ MARÍA CHOCONTÁ MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
2008

DISEÑO DE UNA MAQUINARIA DE
ESCARIFICACIÓN DE SEMILLAS DE TAGUA



CARLOS EDUARDO BARAJAS MUÑOZ
JOSÉ MARÍA CHOCONTÁ MARTÍNEZ

Tesis presentada como
requisito para optar al título de
Ingenieros Mecatrónicos

DIRECTOR DE PROGRAMA
INGENIERO BALDOMERO MENDEZ

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
2008

AGRADECIMIENTOS

CARLOS EDUARDO BARAJAS MUÑOZ:

Agradezco a mi familia, a mis padres Carmenza Muñoz de Barajas y Julio César Barajas Niño, por su comprensión y permanente acompañamiento en estos años de ardua preparación. También muy especialmente a Andrés Felipe Barajas, mi sobrino, quien con su presencia me ha brindado grandes alegrías y permitido desempeñar una bonita responsabilidad. A mis hermanas Federica y Natalia, quienes son una razón más para seguir con esfuerzo en este largo camino de la vida. A Carmen Niño, mi abuelita, por sus sabios consejos y su dedicación que desde la cuna me acompañan. A Diana por su apoyo y compañía durante gran parte de la carrera.

JOSÉ CHOCONTÁ:

Gracias a mis padres, Marina Martínez y José María Chocontá Reyes, por el noble esfuerzo que han hecho conmigo al tener su apoyo incondicional, por el cual he avanzado en una etapa más de la vida. Por su dedicación y cariño, a ellos dos, infinitos agradecimientos. También de manera muy especial a mi hermana María José por su permanente ejemplo.

CONTENIDO

	Pag
INTRODUCCIÓN	10
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1 ANTECEDENTES	11
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.3 JUSTIFICACIÓN	16
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.4.1 Objetivo General,	18
1.4.2 Objetivos Específicos.....	19
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	19
1.5.1 Alcances.	19
1.5.2 Limitaciones.	20
2 MARCO REFERENCIAL	21
2.1 MARCO CONCEPTUAL	21
2.1.1 Descripción del mercado de la Tagua.....	21
2.1.2 Aplicaciones de la tagua.	22
2.1.3 Procesamiento de la tagua.	23
2.2 MARCO TEÓRICO	25
3 METODOLOGÍA	28
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	28

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUB-LÍNEA DE FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA.....	28
3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	28
4. DESARROLLO INGENIERIL	30
4.1 ALTERNATIVAS DE DISEÑO	31
4.1.1 Alternativas para el sistema de quebrantado:	31
4.2 BASES DEL DISEÑO	34
4.2.1 Muestra de cálculos, selección de componentes estandarizados y materiales.	34
4.2.2 Cálculo resistivo del eje del rotor.	55
4.2.3 Selección de materiales.	58
4.3 CÁLCULOS CINEMÁTICOS Y DIMENSIONAMIENTO PARA UNA MÁQUINA DE ESCARIFICACIÓN DE SEMILLAS DE TAGUA.....	59
4.3.1 Descripción general del funcionamiento de la máquina.....	60
4.3.2 Especificaciones técnicas de la máquina.....	61
4.3.3 Cálculo y diseño estructural.....	62
4.3.4 Descripción detallada del funcionamiento.....	66
CONCLUSIONES	85
BIBLIOGRAFÍA.....	87

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

	Pag
Tabla 1. Cálculo Factor de servicio	38
Tabla 2. Tabla para cálculo de diámetros.	40
Tabla 3. Selección de correas.	42
Tabla 4. Cálculo de C3	43
Tabla 5. Factores para el cálculo de los rodamientos rígidos de una hilera de bolas. Selección de Rodamiento.	46
Tabla 6. Selección de factor de calidad. Valor del factor a1.	48
Tabla 7. Selección de viscosidad cinemática.	49
Tabla 8. Selección de aditivos al aceite.	52
Tabla 9. Valores del factor de ajuste hc para diferentes grados de contaminación. Tabla: selección de hc para grados de contaminación.	53
Tabla 10. Selección de aditivos al aceite.	54
Figura1. Mazorca de Tagua	16
Figura 2. Palma de Tagua	18
Figura 3. Nuez de tagua – animelas	24
Figura 4. Esquema de la semilla de tagua	30
Figura 5. Cilindros concéntricos	31

Figura 6. Rodillos puntiagudos	32
Figura 7. Molino de bolas	32
Figura 8. Mordazas paralelas.	33
Figura 9. Mordazas paralelas.	33
Figura 10. Rotor de impacto.	34
Figura 11. Movimiento de brazo	35
Figura 12. Rotulamiento Hombro	36
Figura 13. Rotulamiento Codo	36
Figura 14. Gráfico de selección del perfil de correa	39
Figura 15. Selección de viscosidad conocida.	50
Figura 16. Selección de viscosidad contra temperatura.	51
Figura 17. Eje del Rotor	55
Figura 18. Esquema completo del diseño	61
Figura 19. Parte de la máquina soportada por el diseño estructural	63
Figura 20. Soporte estructural	65
Figura 21. Perfil isometrico, escarificadora de tagua con soporte estructural	66
Figura 22. Estructura básica del Dosificador	67
Figura 23. Dosificador	67
Figura 24. Esquema de dosificador modelado.	69

Figura 25. Detalle Dosificador modelado	70
Figura 26. Esquema del Rotor de impacto	71
Figura 27. Rotor de impacto, vista lateral	72
Figura 28. Rotor de impacto, vista isométrica.	73
Figura 29. Esquema del Sistema de cepillos	74
Figura 30. Detalle del Sistema de cepillos	75
Figura 31. Zaranda vibratoria.	76
Figura 32. Esquema del Sistema de zaranda	79
Figura 33. Recolector del sistema de clasificación. Vista lateral	79
Figura 34. Sistema de flujo de aire transversal. Vista Frontal	80
Figura 35. Esquema del montaje del sistema de clasificación 3D.	81
Figura 36. Sistema de flujo de aire transversal. Vista isométrica.	82
Figura 37. Sistema de flujo de aire transversal. Vista isométrica.	82
Figura 38. Sistema de flujo de aire transversal. Detalle.	83
Figura 39. Sistema de flujo de aire transversal	83

GLOSARIO

aSKF: Tabla de rodamientos por catálogo.

CONCIENCIA AMBIENTAL: Se trata del pensamiento social y personal que tiene en cuenta al entorno como la suma total de aquello que nos rodea y que afecta y condiciona, especialmente las circunstancias en la vida de las personas o la sociedad en su conjunto.

ESCARIFICACIÓN: Proceso mediante el cual se lleva a cabo la ruptura de la corteza de la semilla de tagua.

FTALATOS: Los ftalatos o ésteres de ftalato son un grupo de compuestos químicos principalmente empleados como plastificadores (sustancias añadidas a los plásticos para incrementar su flexibilidad). Uno de sus usos más comunes es la conversión del cloruro de polivinilo (PVC) de un plástico duro a otro flexible.

LNA: Vida nominal ajustada.

LNAA: Vida nominal ajustada SKF.

L10: Vida nominal

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la carrera de Ingeniería mecatrónica han sido muchos los conocimientos y herramientas que se nos han dado por parte de los profesores. Gracias a estos recursos y mediante la inquietud sembrada en algunas clases, hemos podido culminar las materias y adentrarnos en un proceso productivo que nos permita materializar nuestros sueños y capacidades.

Este esfuerzo va destinado al aprovechamiento de una importante opción de mercado, la cual no se ha empleado a fondo y la cual nos ha inquietado. En este sentido, se ha diseñado una máquina que permita el aprovechamiento en el menor tiempo posible, con criterios de eficiencia y eficacia, de la palma de la tagua, que provee un fruto muy particular y apreciado por sus condiciones de resistencia, belleza y dureza.

En este proyecto se pone a prueba la capacidad investigativa de la que nos ha provisto la Universidad de San Buenaventura, así como el ingenio y destreza en el campo específico de la ingeniería mecatrónica.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

A partir de la adquisición de una conciencia global ambiental, dada por el deterioro del medio ambiente, que incluso tiene consecuencias tan delicadas como la crisis alimentaria, el hombre ha optado por el uso de energías alternativas, que plantean una forma de pervivencia real en un mundo en el que uso irracional de los recursos ha acabado. Esta situación obliga a que se replantee la relación de las personas con su entorno, así como con sus semejantes, y con las nuevas generaciones por venir.

Este tipo de situaciones han marcado la aparición de un mercadeo ecológico, que tiene en cuenta los recursos naturales renovables, y que se abstiene en lo posible de afectar de manera irremediable a la naturaleza. Los productos "ecológicos" que con anterioridad, estaban reservados a un público especialmente "culto" en cuanto a sus conductas con el entorno, han tenido que reformarse y perder el academicismo en sus propuestas y reemplazarla por opciones más pragmáticas y novedosas, que lleguen a más personas. Este cambio no se ha limitado a la conformación de los "nichos de mercado", sino que cada vez tiende a demarcar un gran público.

Hechos como el exterminio de elefantes por el marfil plantean fuentes necesariamente alternativas, ante la toma de conciencia global en el respeto y conservación de la naturaleza. El elefante africano es especialmente codiciado por su marfil: *"Se calcula que miles de elefantes han sido matados en años recientes para alimentar al creciente mercado ilegal del comercio de marfil, y*

los expertos temen que esta cifra aumente en caso de permitirse cualquier comercio legal adicional”¹

El marfil se utiliza de manera ornamental, se le talla, esculpe en alto o bajo relieve, grabado o se le dibuja. Su sustitución, dada por una veda ordenada por el CITES² no ha sido fácil por cuanto su única fuente de origen es el elefante.

“La época dorada de la tagua data entre 1900 y 1920, cuando era exportada en grandes cantidades a Europa y Estados Unidos. El invento del plástico acabó con la popularidad de la tagua. Los elementos de alta calidad empezaron a ser elaborados del marfil animal. Gracias a los gritos de los ecólogos, en los últimos decenios la naturaleza vuelve a imponerse sobre lo artificial y los bosques tropicales de tagua que crecen en Colombia resultan ser la salvación de los elefantes.”

El estudio de otros materiales, ha permitido la consideración la tagua (tahua, yarina o corozo) cuyos frutos y que es designada como el “marfil vegetal”. De gran dureza y resistencia, la Tagua, Corozo o Yarina, es “*una almendra*

¹ IFAW. Se votará sobre el comercio internacional de elefantes, ballenas, tigres y tiburones en la reunión de la CITES. Fondo Internacional para la Protección de los Animales y su Hábitat. Disponible en: <http://www.ifaw.org/ifaw/general/default.aspx?oid=213682> recuperado el 15 de febrero de 2008.

² “*El caso del marfil de elefante africano fue sorprendente en el sentido de que se logró un acuerdo entre dos bloques de países con posiciones diametralmente opuestas: por un lado Botswana y Namibia que pujaban por más libertades para el comercio y por el otro, Kenya y Malí quienes estaban a favor de un período de 20 años de moratoria (ver Puentes Quincenal Volumen 4, Número 5, del 20 de marzo de 2007). Finalmente, se acordó permitir a cada país una sola venta internacional, en un único embarque de 60 toneladas de marfil, de reservas debidamente verificadas y registradas hasta el 31 de enero de 2007, las cuales pueden proceder de manera exclusiva de elefantes muertos por causas naturales*”. CINPES 14ª Conferencia CITES culmina con sorprendentes acuerdos y decepciones Centro internacional de política económica. Disponible en: http://www.ictsd.org/puen_quince/07-06-26/art2.htm recuperado el 27 de abril de 2008

celulósica compleja de la semilla de Phytelephas de color blanco, ebúrnea, dura, pesada, lisa y opaca'.³ Esta semilla brilla cuando se le pule. Tiene como ventaja que no tiene olor ni sabor, así como tampoco es elástica. Otra ventaja es que no es incorruptible, de la misma forma como el marfil. Tradicionalmente la tagua se ha utilizado en la fabricación de artesanías, pero se avizoran nuevas aplicaciones debido a la crisis del medio ambiente que ha propiciado el uso de materias primas alternativas.

Es de observar que los llamados "productos verdes", que colaboran en la protección del entorno, reciben una atención significativa de consumidores, de industrias, y del gobierno alrededor del mundo, lo que plantea posibilidades inmejorables, así como amplias perspectivas en cuanto a la comercialización. Las condiciones de grandes zonas selváticas en Colombia permiten su conservación silvestre en bosques ("taguales").

La tagua no solo puede reemplazar al marfil, sino que también se plantea como reemplazo de otros materiales considerados como peligrosos por las autoridades de sanidad ambiental, como el caso de la baquelita, con la que se fabrican los plásticos termoestables, que expulsan ftalatos, los cuales son considerados como riesgosos para la salud y son muy peligrosos especialmente en la elaboración de juguetes para niños.⁴ Incluso, con Tagua se pueden

³ PIÑEROS CORTÉS, Francisco Investigación sobre la tagua. Artesanías de Colombia. Grupo de investigación de Colciencias. 2004. p. 27

⁴ Los ftalatos son causa de preocupación por cuanto se han desarrollado investigaciones que han demostrado que altas dosis de este tipo de compuestos pueden causar comportamientos hormonales anormales en experimentos con ratones. Estos mismos estudios han mostrado daños en el hígado, riñones, pulmones y testículos. Por esta razón el Instituto de Sanidad y Protección al Consumidor de la Oficina Química Europea ha determinado dos ftalatos como peligrosos para el hombre y por tanto han sido proscritos: en la UE: el DINF o diisonilftalato y el DIDP o diisodecilftalato) no suponen un riesgo para la salud humana o para el medio ambiente en su formas de uso actuales. Official Journal of the European Union. 13 de abril de

realizar algunas piezas para maquinaria, incluso durante mucho tiempo su fuerte han sido los botones, que requieren una especial resistencia. Por tanto, hoy en día puede afirmarse que las condiciones para la comercialización son favorables, a tiempo que ofrece grandes perspectivas.

El fruto seco de la tagua tiene forma de nuez, pero de unos 40 cms. de diámetro. Su color varía desde azulada a ámbar y cuelga en una palmera similar a aquellas que producen cocos. Cuando es tierna, la fruta también llamada mococho, almacena en su interior una sustancia lechosa con sabor a coco.

Al madurar, la tagua se vuelve tan sólida que debe ser trabajada solamente con herramientas especiales para ser comercializada, principalmente para la elaboración de botones, figuras artísticas, decorativas, adornos que son bastante apreciados por su resistencia y belleza.

Antes del auge del petróleo, los combustibles y materias primas se basaban en materia orgánica. Tras la reducción de las reservas de petróleo y la toma de conciencia ambiental, el mundo ha vuelto la mirada hacia estos recursos naturales que no tienen un impacto tan alto en la pervivencia.

“La tagua fue en la misma época que el caucho... Las muestras de tagua fueron enviadas a Europa hacia 1850, un siglo después que las del caucho, en un intento exitoso por fomentar su comercio, que empezó más tardíamente que el del caucho. La industria derivada de la tagua sufrió una decaída en la década de 1930

debido a la producción de sustitutos sintéticos como el plástico. Whitten anota que "la tagua estaba en un período de auge antes de la Segunda Guerra Mundial" y que con ella se fabricaban botones, mientras "hoy se utiliza para la elaboración de piezas de ajedrez, trompos y otros juguetes"⁵

La tagua tiene como ventaja que es un bien altamente renovable y que para su aprovechamiento no es necesario causar daño a la planta. Así mismo su productividad, ya que produce grandes cantidades de semillas lo hace un producto atractivo y rentable.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La dificultad principal que presenta la tagua es su prolongada germinación: la tagua puede tardar hasta 15 años para dar los primeros frutos, para después arrojar tres cosechas o más por año durante, incluso, siglos. Ante esta necesidad por reducir tan largo lapso, se ha estudiado el proceso de escarificación de semillas, por medio del cual se puede mejorar su germinación y otorgar mejores rendimientos, en menos tiempo. La escarificación es un proceso por el que se hacen germinar las semillas tras pasarse generalmente por el tubo digestivo de algunos vertebrados lo que se desgasta su cubierta, cosa que activa el proceso. En el caso de la tagua, en esta escarificación se emplearán dos técnicas, de manera mixta, juntas abordadas por Jiménez (2004): el proceso físico mecánico.

⁵ La economía extractiva en el pacífico colombiana. En: Geografía Humana de Colombia Los Afrocolombianos. ICANH. Instituto Colombiano de Antropología e Historia.

Figura1. Mazorca de Tagua



Fuente: patrimoniovivo.org

1.3 JUSTIFICACIÓN

Este trabajo tiene como fin, justamente, el diseño de una maquinaria que permita la escarificación de semillas de tagua, por medio del cual se puedan beneficiar los productores de este prometedor producto. La tagua, como ya se ha mencionado, es una materia prima que seguramente tendrá un auge debido al reemplazo de los ecológicamente insostenibles, como los derivados del petróleo y el marfil de elefante, por materias primas renovables. En este sentido, se constituye una oportunidad de mercado que debe ser sopesada en todos los sentidos.

La tagua (*Phytelephas macrocarpa*) es también conocida por los nombres de Corozo, Yarina, Tahua. Es una especie de palma, que se da especialmente en la región del Amazonas como Brasil, Colombia, Ecuador y Perú, pero también en Panamá, en una altitud de 300 y 500 m.s.n.m.

Debido al reemplazo de materias primas que generan gran daño al medio ambiente, empieza a ser codiciada por sus especiales condiciones. No obstante a esta ventaja comparativa con otros productos similares, como los no – vegetales ni renovables, la producción y uso de la tagua aún no se ha estudiado a fondo. Como por ejemplo lo reconoce Edwin Jiménez (2004)⁶ *“El presente estudio profundiza el tema de la germinación de la tagua sobre el cual se tiene poco conocimiento y existe escasez de literatura científica”*. Tiene muchas utilidades este valioso recurso, como por ejemplo:

- a. Su fruto es comestible, tenuemente dulce y de atractivo aroma.
- b. Sus hojas son un material resistente, que es aprovechado por algunas comunidades para el techo de sus casas y otras construcciones como galpones y silos para el almacenamiento de productos agrícolas.
- c. La tagua es una importante fuente de ingreso monetario en la economía de los pobladores rurales que manejan poblaciones naturales de yarina.
- d. Esta planta también puede emplearse para producir “palmito de yarina”, pero debido a sus ventajas en el largo plazo, se da prioridad a otras de sus utilidades⁷.
- e. El tallo: como madera para piso
- f. Las espetas de las flores: son utilizadas en la confección de escobas⁸

⁶ JIMÉNEZ, Edwin. Sistema de escarificación de semillas de tagua para mejorar la germinación. En: Revista tecnológica. Vol. 17. No. 1. Junio 2004. Documento PDF Disponible en: www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2004/SISTEMADEESCARIFICACION.pdf recuperado el 3 de diciembre de 2007

⁷ SIFORESTAL. “La tagua o yarina”. Documento disponible en: <http://www.siforestal.org.pe/Yari-na.htm> recuperado el 12 de enero de 2008

⁸ http://www.ecuadorexporta.org/productos_down/perfil_de_tagua_en_ecuador375.pdf

Figura 2. Palma de Tagua



Fuente: gfrojas.blogspot.com

La tagua es una planta muy rentable, debido a que da tres o más cosechas por año y no requiere mayor cuidado que el de una especie silvestre. Una planta de tagua puede llegar a producir más de 15 mazorcas o frutos, cada uno de estos frutos tiene en su interior desde 20 hasta 30 semillas.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General, Diseño de una maquinaria que permita de manera práctica y económica, la escarificación de semillas de tagua, por medio del cual se aumente la producción y se disminuya el tiempo de preparación para posterior manufactura, de la semilla de tagua.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar una revisión documental sobre la tagua, con el fin de entender su proceso de producción y así averiguar la forma en que éste puede automatizarse.
- Diseño de la maquinaria que permita una disminución en los tiempos de preparación de la tagua para su manufactura.
- Realizar el desarrollo ingenieril de la maquinaria propuesta en todos los componentes de la maquinaria propuesta.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

1.5.1 Alcances.

- La propuesta permitirá una disminución en los tiempos de preparación de la semilla, con el fin de beneficiar a los productores y quienes precisan de una escarificación de buena calidad en el proceso productivo de la tagua.
- El consumo de la energía será el menor posible, las condiciones de durabilidad de la máquina serán óptimas, para que tenga una resistencia tanto a las condiciones de humedad, como a la posibilidad de que esta trabaje a la intemperie.
- Así mismo, su manejo será sencillo y amable.
- El mantenimiento de la escarificadora ha de ser fácil y económico.

1.5.2 Limitaciones.

- La producción debe ser de aproximadamente una tonelada diaria, que es el equivalente a lo realizado por tres operarios manualmente. El desarrollo se verá limitado a la disponibilidad de las cosechas de la tagua, la cual por su largo tiempo de germinación es limitada.
- Algunas especificaciones de la maquinaria, como la velocidad de los motores se regularán a través de la experiencia directa y práctica con el montaje.
- La máquina debe realizar la remoción del endocarpo dejando la semilla libre de este para su posterior utilización, por tanto preferiblemente se debe clasificar la semilla en tres tamaños diferentes para un mejor desempeño de la máquina y un mejor aprovechamiento de la semilla de la tagua.

2 MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 Descripción del mercado de la Tagua. La tagua se produce en Colombia, Panamá y Ecuador. Se dan otras especies similares, como la *Amandra decasperma* y *P. tumacana*, que se emplean para los mismos fines, en Perú, Bolivia, Brasil y Malasia, sin embargo debido a su escasez no tienen las posibilidades de mercado que ofrece la *Phytelephas macrocarpa*.

En Colombia la planta de tagua se encuentra ubicada en las siguientes zonas:

- La región pacífica
- Región del Catatumbo
- Magdalena Medio (entre Antioquia, Santander, Cundinamarca y Boyacá)

Las otras especies similares a la tagua también se encuentran en Colombia, por ejemplo *P. tumacana*, se da en Tumaco y *Amandra decasperma* se consigue en el Chocó y en el Magdalena Medio aunque en mucho menor cantidad que la tagua.⁹

⁹ Torres, Claudia. 2006. "Diagnóstico inicial sobre manejo in situ y protocolos de aprovechamiento de productos no maderables del bosque (werregue, damagua, tagua, iraca y paja blanca) que se utilizan con fines artesanales por parte de grupos apoyados desde AID to Artisans Colombia - ATAC". Convenio de Asociación N° 064 de 2005 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Fundación AID to Artisans Colombia – ATAC. Acompañamiento del Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá

Los sitios donde se destaca el trabajo de la tagua en el país son: Bahía Solano en el Chocó, y en Boyacá, en Chiquinquirá y Tinjacá, poblaciones con larga tradición artesanal.

"La actividad artesanal inicio en 1917, cuando el carpintero Horencio Bomilla viajó a la selvática zona del Carare y regresó con algunas semillas que encontró y le parecieron interesantes por que se dejaban trabajar de forma similar a la madera. Desde entonces y por más de tres generaciones en Chiquinquirá y Tinjacá se ha trabajado con este material."¹⁰

Según el Sistema de Información de mercados para bienes y servicios de la biodiversidad, otra parte donde se elaboran artesanías con el material es en Chocó, y se refiere al caso concreto de la Fundación Indegue que nace en 1995 con el propósito de posicionar la tagua en esta región, mediante la integración y capacitación de comunidades afrocolombianas en técnicas artesanales en los municipios de Nuquí y Valle.

2.1.2 Aplicaciones de la tagua. Generalmente se da en el uso artesanal: a través de ornamentos como aretes, collares, anillos, pulseras, entre otros productos. Los tallados también son importantes debido a las condiciones del material, con el cual se realizan dijes, y bisutería en general.

Además de figuras decorativas también se pueden realizar en tagua estuches miniatura, chapas, aros servilleteros y hebillas, entre muchos otros productos

¹⁰ Tagua – Marfil Vegetal. Archivo electrónico on-line. Disponible en: http://www.ewakulak.com/colombia/asiescolombia/tagua_marfil_vegetal.html descargado el 15 de abril de 2008.

Debido a su textura y por ser un elemento exótico, el uso de la tagua empieza a ser explorado y tenido en cuenta por los diseñadores nacionales en la industria de la moda.

"Las diseñadoras Andrea Correa, Dora Emilia Sánchez, Sandra Helena Uribe, Olga Quintana y los diseñadores Ricardo Durán, Alexis Rentarí y Alejandro Rincón, han trabajado en la innovación de las líneas que se trabajan con tagua".¹¹

La aplicación de la tagua en este momento solo se da a fondo en el campo de la manufactura artesanal, pero la dureza de este material permite utilizarle para diseño de herramientas y máquinas que requieran de un elemento de sus cualidades, como son la dureza y la resistencia.

2.1.3 Procesamiento de la tagua. La producción de la tagua atraviesa los siguientes procesos:

- **Germinación y siembra.** Uno de los procesos más dispendiosos debido a su larga duración. Una tagua se demora en germinar hasta 15 años, pero tal proceso puede acelerarse de acuerdo al proceso de escarificación que se emplee.
- **Recolección del producto.** Tiene que hacerse a mano por los campesinos, debido a la dificultad de acceso a sus frutos, generalmente encontrados en el suelo, en racimos y frutos caídos por madurez fisiológica, a los cuales se les extrae las pepas eliminando corteza y mesocarpo de la fruta. Luego de ser recolectado el producto es transportado a centros de acopio, donde luego es almacenado guarecido de manera apropiada para su secado.

¹¹ Observatorio Nacional de Biocomercio.

- **Secado.** Los frutos son secados al sol durante un período de cinco a seis semanas, incluso más tiempo de acuerdo a la temporada climática. Luego del secado la tagua se endurece para finalmente ser trabajada.
- **Pelado.** Luego de secado, el producto se pela, puede ser manualmente o por medio de una máquina peladora, que le retira la cáscara o “envoltura” de las pepas. El fruto cuenta con 3 capas que deben ser retiradas minuciosamente hasta quedar totalmente limpia.
- **Selección.** La pepa se selecciona según su tamaño para ser trabajada.

Figura 3. Nuez de tagua – animelas



Fuente: www.produconstru.com

- **Corte.** En esta parte del proceso, mediante sierras la tagua se corta en tajadas y cada una de estas se selecciona de acuerdo a su tamaño.
- **Torno.** Las tajadas producto del corte se tornean, para darle los diferentes lineados que se requieran. El calibrado de estos tornos es preciso y requiere de un control constante.

- **Selección final.** De acuerdo a sus colores o formas, el producto de este proceso o “animelas” o discos de tagua, se selecciona de manera manual, para su correspondiente comercialización.
- **Preparación final.** Ya la materia prima en manos de un artesano, se realizan los diferentes trabajos y retoques a la obra en sí: como por ejemplo figuras, emblemas, llaveros, botones, aretes, pulseras, collares, entre otras.

2.2 MARCO TEÓRICO

Diferentes investigaciones, como la de Salazar, Jaime (2002)¹² advierten que este problema puede convertirse en un elemento que reduzca las posibilidades en el mediano plazo para su producción. Igual conclusión a la que llega Edwin Jiménez¹³ (2004), quien consciente de esta problemática, estudia la forma cómo diferentes procesos químicos y físicos pueden lograr la germinación de semillas de tagua (*Phytelephas aecuatorialis*).

La investigación de Jiménez arrojó como conclusión general que en el método de escarificación química mediante la aplicación de ácidos y bases no causa escarificación alguna sobre las semillas y no logra estimular el proceso de germinación con porcentajes representativos, en cambio, esta investigación advierte cómo mediante los sistemas de escarificación física y mecánica tratados individualmente no aumentan de manera ostensible las perspectivas (entre 150 a 253 días hasta germinar).

¹² SALAZAR, Jaime. Desarrollo de la capacidad de transformación de la tagua. Centro de Investigación y Documentación Artesanal "CENDAR". Ministerio de Comercio, industria y comercio. Bogotá D.C., 2002. p. 31

¹³ Op. Cit. JIMÉNEZ, Edwin. p. 4

Concluye Jiménez que son la combinación de los sistemas de escarificación física y mecánica, los que producen resultados superiores a los observados con el uso de un sistema en forma individual y con lo cual se reduzca significativamente el periodo de germinación.

Con base en lo afirmado por Jiménez, este proyecto de investigación ha buscado una alternativa para reducir los tiempos de germinación, con el fin de incentivar la producción y comercialización de la tagua. Para tal fin se explorarán los diferentes métodos y técnicas mediante las cuales se pueda obtener una mejor escarificación de la tagua, cuales son:

a. Escarificación química. En la escarificación Química, los tratamientos básicos empleados pueden describirse como la realización de inmersiones en aproximadamente 1/4 de litro de solución, ácidos y bases durante 24 horas. Jiménez, expresa sus reservas con este procedimiento, al igual que investigaciones anteriores referenciadas en su investigación, como por ejemplo Loaiza (1979), señalando que *"los tratamientos de Escarificación Química con diferentes soluciones y concentraciones no favorecen significativamente la germinación de la semilla de tagua. Las máximas germinaciones de 4 semillas de un total de 10, se obtuvieron por inmersión 24 horas en ácido nítrico al 20% y en ácido fosfórico al 10 % de concentración respectivamente"*.¹⁴

b. Escarificación físico - mecánica. Con base de la experiencia lograda a través de la Escarificación Química, se sometieron las semillas de tagua a la escarificación física y dentro de ella se probaron varios tratamientos en los que se variaron tiempos de inmersión, agua caliente, agua fría, choques térmicos y la acción de microondas para lograr romper la testa dura de la semilla y su

¹⁴ Op. Cit. Jiménez, 2004, p. 48

posterior germinación. En la investigación de Jiménez (2004) las germinaciones del 10% obtenidas en varios tratamientos se consideraron significativas. El autor añade que:

"Según la prueba antes mencionada el mejor tratamiento es el de realizar una limpieza del arilo de la semilla con aguja y sumergirlas en agua durante un mes (T2), pero no difiere estadísticamente de los tratamientos de sumergir las semillas en agua por 24 horas (T0), por 72 horas (T1), ni con la inmersión en agua de la semilla eliminando la cobertura (T4). Los tratamientos anteriormente citados difieren del tratamiento de eliminar la cobertura de la semilla y sumergirla por tres días en agua (T5) con 3.00, con el tratamiento de eliminar la cobertura de la semilla y sumergirla por nueve días en agua (T6) con 2.50 y el tratamiento de eliminar la cobertura de la semilla y sumergirla por veinte días en agua (T7) con 1.0."

En síntesis, la investigación de Jiménez deduce que el sistema de escarificación por este medio brinda resultados más satisfactorios que cuando se la realiza solamente por medios químicos. Igualmente de manera combinada, agua caliente y otros sistemas mecánicos, permitirían una mayor y mejor producción en cuanto a la reducción de los tiempos de germinación. Los tratamientos mecánicos empleados fueron: esmerilado, taladrado y golpeado, e inmersión en agua caliente, y otras soluciones, por periodos de tiempo desde 10 minutos hasta 34 días.

3 METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque de la investigación es de carácter empírico-analítico, ya que para su desarrollo ha sido preciso un conocimiento previo del funcionamiento de los diferentes componentes de la maquinaria, así como un análisis de la forma en que puede fracturarse la cáscara de la semilla de la tagua.

Inicialmente se esbozan los procesos que en la actualidad requiere la tagua, los cuales se efectúan de una manera artesanal, y se plantea la forma en que estos se pueden automatizar.

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUB-LÍNEA DE FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA

La línea de investigación es Tecnologías actuales y sociedad, la sub-línea de la facultad es Control y Automatización de Procesos y el campo temático del programa es Automatización industrial.

3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la investigación se recopilará la información de la base de datos del ministerio de Comercio Exterior, así como trabajos monográficos los cuales son proveídos por Centro de Investigación y Documentación Artesanal "CENDAR" de Artesanías de Colombia. Para la investigación por Internet se utilizarán los

siguientes motores de búsqueda: www.conexcol.com, www.google.com.co, www.metacrawler.com y www.dogpile.com, los cuales combinados nos permitirán efectuar búsquedas específicas y discriminadas.

El desarrollo del diseño se hará mediante graficas trabajadas en el programa Solid Edge.

4. DESARROLLO INGENIERIL

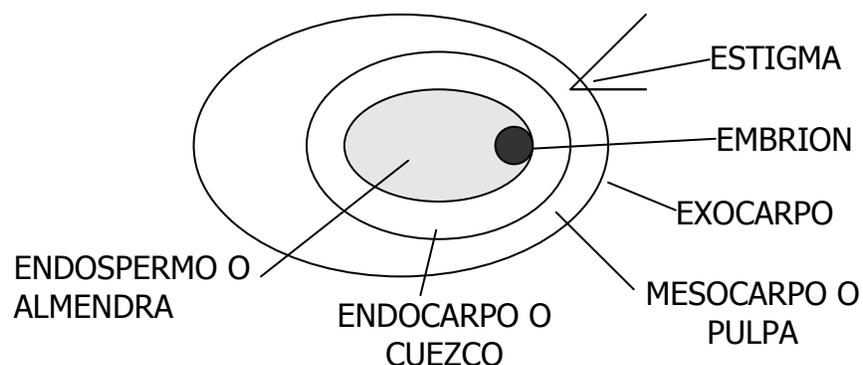
Las funciones básicas que debe cumplir la máquina son las siguientes:

- a. La primera función es quebrantar el endocarpo para lograr su posterior remoción.
- b. La segunda función es la *remoción* del endocarpo para dejar la semilla libre.
- c. La tercera función es *clasificar* las semillas en tres tamaños diferentes.

De las anteriores funciones se derivan otras inherentes al proceso y son las siguientes:

- a. Se debe contar con un sistema dosificador en el ingreso de las semillas a la máquina.
- b. Se debe contar con un sistema de separación entre las semillas y los residuos del endocarpo para su posterior disposición.

Figura 4. Esquema de la semilla de tagua



Fuente: Los autores

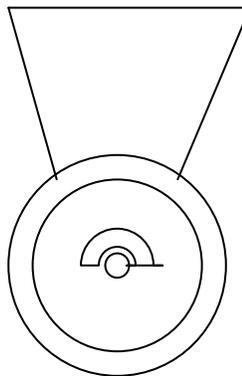
4.1 ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Para cada una de las funciones de la máquina se cuenta con diferentes alternativas. Estas alternativas surgen de la previa consulta bibliográfica sobre sistemas y mecanismos utilizados para fines similares en la agroindustria o la minería en algunos casos. Otras alternativas surgen del análisis del problema y la búsqueda creativa de soluciones. A continuación se esquematizan algunos de los mas apropiados para cada caso.

4.1.1 Alternativas para el sistema de quebrantado:

– Cilindros concéntricos. Un cilindro interno gira dentro de uno externo, la separación es ligeramente mayor al diámetro de las semillas, los cilindros están provistos de una superficie rugosa y por el movimiento relativo entre ellos se va desgarrando la superficie de las semillas.

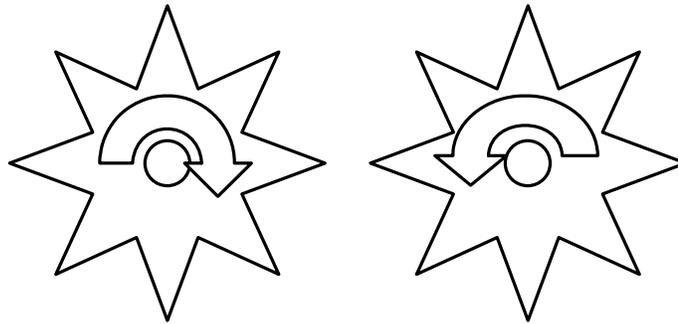
Figura 5. Cilindros concéntricos



Fuente: Los autores

– Rodillos puntiagudos. Descripción: Dos rodillos con puntas giran en sentido contrario y las semillas se hacen pasar entre ellos, logrando quebrantar la superficie por la presión al pasar en medio de los dos rodillos.

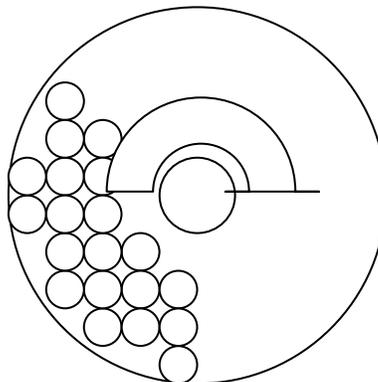
Figura 6. Rodillos puntiagudos



Fuente: Los autores

– Molino de bolas. Dentro de un cilindro hay esferas de acero que por la rotación del cilindro van cayendo unas sobre otras en forma de cascada. El material a moler o pelar está mezclado con las esferas que impactan sobre él.

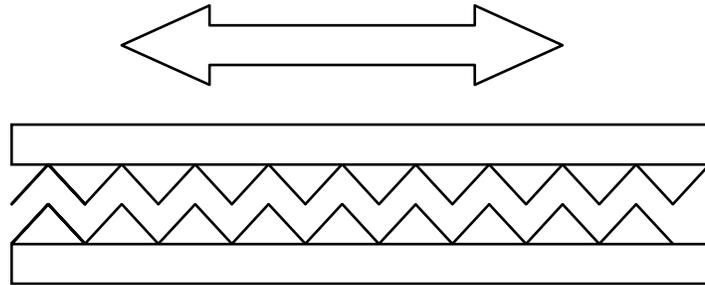
Figura 7. Molino de bolas



Fuente: Los autores

– Mordazas paralelas con movimiento relativo. La mordaza superior se mueve horizontalmente generando un movimiento relativo entre las dos y quebrantando la superficie de las semillas que se encuentran entre ellas.

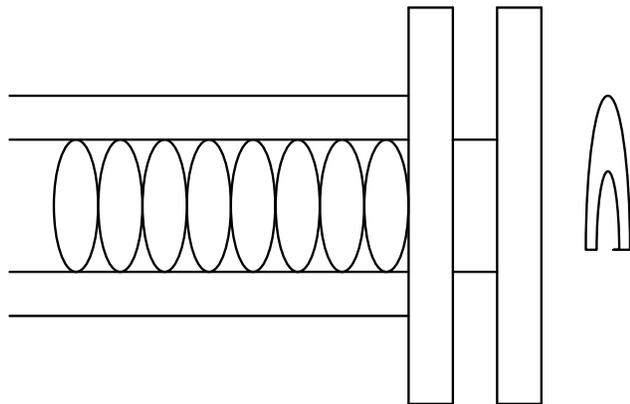
Figura 8. Mordazas paralelas.



Fuente: Los autores

- Tornillo transportador y discos. El tornillo transportador lleva las semillas hacia los discos. El disco exterior esta solidario al tornillo por lo cual se genera un movimiento relativo entre las superficies de los dos discos, estas superficies tienen ranuras radiales para generar la remoción de la superficie de las semillas.

Figura 9. Mordazas paralelas.

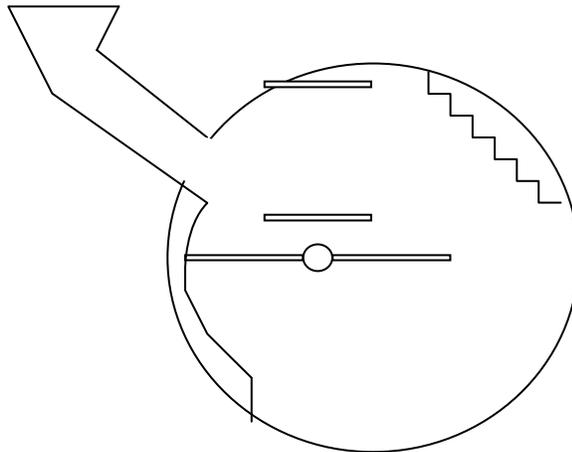


Fuente: Los autores

- Rotor de impacto. Las semillas ingresan por el ducto lateral superior y son impulsadas por las paletas del rotor que gira a gran velocidad, luego estas

chocan contra la pantalla rugosa y el impacto quebranta la superficie del endocarpo.

Figura 10. Rotor de impacto.



Fuente: Los autores

4.2 BASES DEL DISEÑO

4.2.1 Muestra de cálculos, selección de componentes estandarizados y materiales.

– **Cálculo de la energía para lograr la quebrantación.** Con el fin de determinar la energía necesaria para lograr la quebrantación, se realiza una analogía con el proceso manual, mediante el análisis de la investigación de Vélez (2007)¹⁵ que tuvo como propósito determinar la cantidad de energía empleada en una máquina de ejercicio mediante la descripción del movimiento de un brazo durante los dos ejercicios. Esta medición se hizo con el uso de 3 marcadores, ubicados en 3 prominencias óseas del brazo y antebrazo.

¹⁵ VÉLEZ G., Jorge Mario, ISAZA CADAVID. (2007) Análisis biomecánico de flexión y extensión del antebrazo. Medellín. 2007 Disponible en: http://www.mundokinesio.com.ar/inicio/index.php?option=com_content&task=view&id=188&Itemid=52

Figura 11. Movimiento de brazo



Fuente: Baruh H. 1999. Analytical Dynamics. WCB Mc Graw Hill.

En la figura se aprecia el manejo del brazo y antebrazo como dos segmentos corporales rígidos para el análisis del movimiento. Los marcadores se hicieron en material reflectivo para mejorar la visibilidad en la imagen, que se estudio mediante un video a 30 cuadros por segundo. Por medio de una aplicación en sistemas se procesaron los datos con la ayuda de la teoría general de pendientes. De la forma en que se representa en la figura 12, en la que con base en el punto fijo que representa el hombro se establece la pendiente $M1$, a partir de los dos puntos que determinan el segmento corporal del brazo. El ángulo de esta pendiente se establece con la horizontal (q_1) con el cual se constituye el triangulo. De este esquema es posible deducir el ángulo de interés dado por $90^\circ - q_1$.

Figura 12. Rotulamiento Hombro

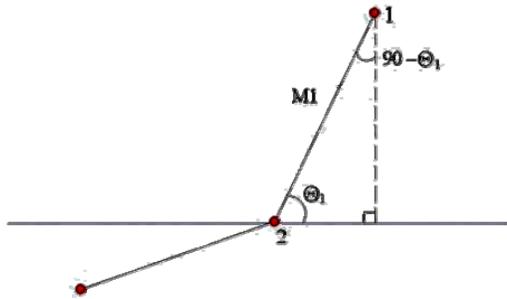
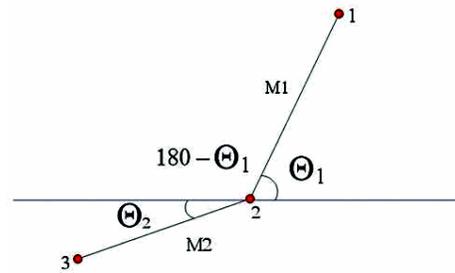


Figura 13. Rotulamiento Codo



Fuente: Jorge Mario Vélez, 2007.

La figura 13 representa el ángulo del codo, en el cual se establecieron tres puntos. Las pendientes, M1 y M2 se dan con respecto al horizonte dando los ángulos q_1 y q_2 . El ángulo de flexión-extensión del codo es $180 - q_1 + q_2$. Estos valores se almacenaron en un vector y procesados por el programa MATLAB, que filtra a la vez que suaviza las curvas de los ángulos.

Los resultados que esta investigación, desde la cinemática partiendo de la descripción geométrica, son en líneas generales los siguientes:

- El tiempo de recorrido completo fue de 2 segundos
- El tiempo de extensión de antebrazo en su fase concéntrica fue de 800 milisegundos.
- El tiempo de flexión de antebrazo 1100 milisegundos, fase excéntrica.
- Fase de acoplamiento o el tiempo necesario para la invertir la dirección del movimiento, dura aproximadamente 100 milisegundos.
- El Trabajo mecánico es de 176.58 julios, a partir de la fórmula $T_m = mgh$

$$T_m = 60 \text{ lb.} \times 9,81 \text{ m/seg.} \times 0,3 \text{ m} = 176.58 \text{ julios}$$

- La Potencia media = $176 \text{ J} / 2 \text{ seg} = 88 \text{ watos}$

Con base en el trabajo de Vélez (2007) se ha comparado el funcionamiento de la máquina para el trabajo de la tagua, para deducir la energía que emplea el brazo, la cual es:

$$\text{Trabajo mecánico} = mgh$$

Considerando un garrote de unos 5 kg y que la altura a la que este es levantado es de 1.5 m aproximadamente, en el caso concreto se tendría que:

$$\text{Trabajo mecánico} = mgh = 5\text{kg} \times 9,81\text{m/s}^2 \times 1.5\text{m} = 73,5 \text{ Julios.}$$

Estimando que esta operación sucede en aproximadamente 1 segundo. La potencia entregada sería:

$$\text{Potencia media} = 73,5 / 1 \text{ seg} = 73,5 \text{ Watios.}$$

Estimando que el trabajo sea realizado 10 veces más rápido que la labor manual, se debería tener 10 veces esta potencia, lo que equivale a 735 Watios. Con una eficiencia del 95% en el rotor y la transmisión se tendría una potencia del motor $P = 816$ Watios. Como los motores estándar vienen en HP en donde $1\text{HP} = 745,6$ Watios. Necesitaríamos un motor de 1HP ó 1.25 HP.

La forma de comprobar estos datos es mediante la ejecución de pruebas físicas para romper el endocarpo de la semilla, con base en los cuales se ajusta el movimiento al momento de construir el prototipo real de la máquina.

– **Cálculo de la transmisión.** Para saber qué tipo de transmisión se debe utilizar entre dos ejes, con correas de sección trapecial y poleas acanaladas, revisamos la literatura de Renold Chain (2007), gracias a lo cual identificamos las siguientes necesidades de información:

- Potencia requerida en la máquina conducida [HP]
- Tipo de máquina motora y máquina conducida
- Velocidad de la máquina motora [rpm]
- Velocidad de la máquina conducida [rpm]
- Distancia tentativa entre ejes

Estos supuestos no tienen en cuenta contingencias, debidas a fallos por golpes, vibraciones o tirones, ni las condiciones específicas de cada máquina motor, estas se determinan a partir del establecimiento de un coeficiente, llamado factor de servicio (C1), el cual puede deducirse de la siguiente tabla.

Tabla 1. Cálculo Factor de servicio

FACTOR DE SERVICIO C_1 PARA CADENAS DE NORMA BS	MOTORES DE FUNCIONAMIENTO SUAVE	MOTORES DE FUNCIONAMIENTO MEDIO IMPULSIVO	MOTORES DE FUNCIONAMIENTO IMPULSIVO
	MOTORES ELÉCTRICOS	MOTORES DE COMBUSTIÓN MULTICILÍNDRICOS	MOTORES DE COMBUSTIÓN MONOCILÍNDRICOS
Máquinas de carga constante			
Agitadores y mezcladores de líquidos y semilíquidos Alternadores y generadores Sopladores, extractores y ventiladores (centrífugos y de tamaño mediano) Compresores centrífugos Elevadores y transportadores con carga uniforme Maquinaria de industria de alimentos Bombas centrífugas Máquinas de imprentas	1,00	1,25	1,50
Máquinas de carga no constante			
Agitadores y mezcladores de soluciones sólido-líquido. Sopladores, extractores y ventiladores de gran tamaño. Mezcladoras de cemento. Compresores de más de 3 cilindros. Grúas Transportadores y elevadores con carga no uniforme. Bombas de dragado. Maquinaria de lavandería. Máquinas, Herramientas, Molinos	1,25	1,50	1,75
Máquinas de funcionamiento disperejo			
Alternadores y generadores de soldadoras Compresores de uno o dos cilindros Excavadoras, Trituradoras, Alimentadoras vibratorias, Sierras circulares y lineales, Molinos de martillos y de mandíbula, Maquinaria minera	1,75	2,00	2,25

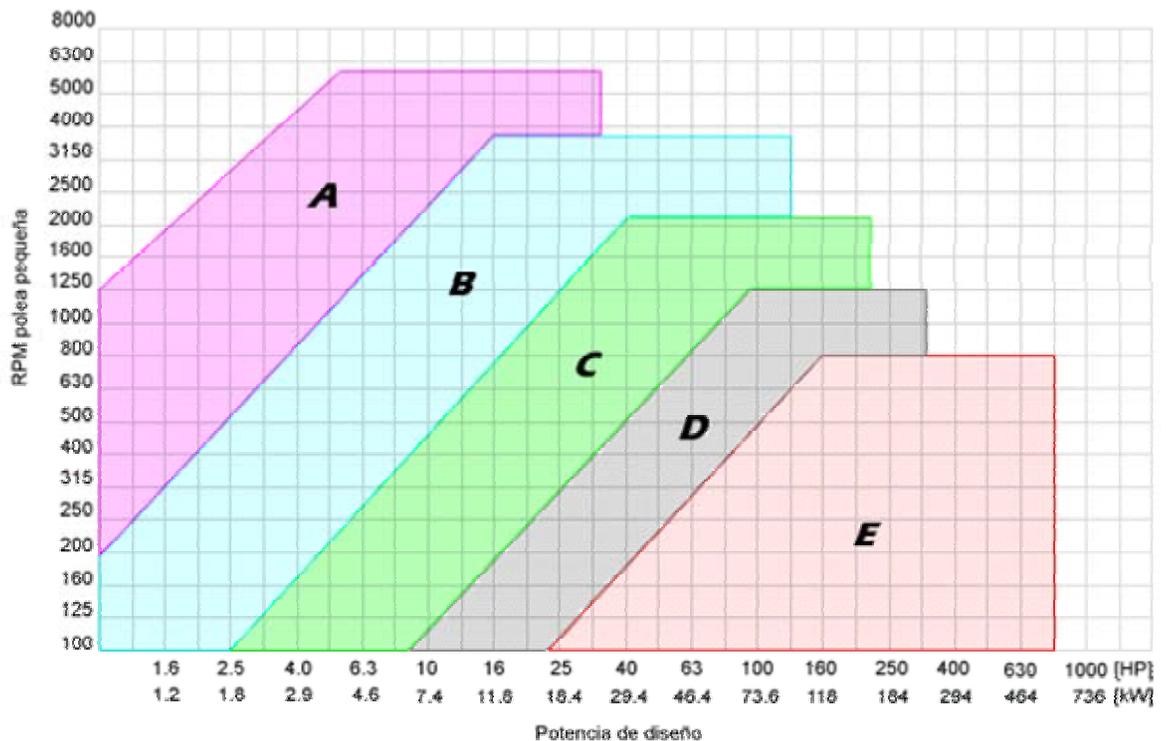
Fuente: Catálogo Renold, Transmission Chains.

Nuestra máquina se asemeja a un molino por lo que tomaremos una potencia de diseño = 1,3 que según la potencia estimada de 1,25 HP nos daría 1,625 HP.

Con la potencia de diseño y la velocidad del eje más rápido se consulta el siguiente gráfico en el cual se aprecia las 5 secciones más típicas de las correas. Cada sección aparece como una zona de un color particular.

Con los datos ya indicados se observa en que zona se encuentra. Esto determina la sección de correa que se recomienda usar.

Figura 14. Gráfico de selección del perfil de correa



Fuente: Diseño de Máquinas.Norton

Para un eje rápido girando a 1500 rpm (motores estandar) y una potencia de diseño de 1,6 HP, se recomienda usar correas de sección A.

Conociendo la sección a utilizar se procede a obtener la relación de transmisión entre ejes "i". Se define como relación "1:i" a la razón entre las velocidades del eje rápido dividido por el eje lento.

Para nuestro caso: Si el eje rápido gira a 1500 rpm y el eje lento a 800 rpm, la relación es "1:1.8"

Esta relación debe darse entre los diámetros de las poleas a utilizar:

$$i = D_p / d_p$$

D_p: diámetro primitivo de la polea lenta.

d_p: diámetro primitivo de la polea rápida

Conociendo la relación de transmisión "i" se procede a calcular los diámetros D_p y d_p. Se recomienda usar como mínimo los siguientes valores:

Tabla 2. Tabla para cálculo de diámetros.

Sección	A	B	C	D	E
Diámetro primitivo mínimo [mm]	63	100	160	280	400

Fuente: Montaje ajuste y verificación de elementos de máquinas. Schrock, J.

Se procede dándose un valor para d_p y se calcula D_p de la forma siguiente:

$$D_p = i * d_p$$

Con estos valores se puede calcular el largo L aproximado de la correa que se necesita.

$$L = (2 * C) + (1,57 * (D_p + d_p)) + (D_p - d_p)^2 / (4 * C)$$

L: longitud de la correa

C: distancia tentativa entre ejes

Dp ,dp: diámetros primitivos de las poleas

Para nuestro caso tendríamos:

$$L = 2(400 \text{ mm}) + 1,57(117 \text{ mm} + 65 \text{ mm}) + (117 - 65)^2 / (4 \times 400)$$

$$L = 1087,43 \text{ mm.}$$

Conociendo este valor y la sección utilizada, se consulta la tabla siguiente, que entrega la identificación de la correa adecuada.

Esta identificación es una letra y un número, la letra indica el tamaño de la sección transversal de la correa (A, B, C, D, E) y el número representa el largo de la correa cuyo largo se aproxima lo más posible al largo **L** calculado. Como es muy probable que la correa seleccionada tenga un largo diferente de **L** se debe ajustar la distancia entre centros **C** acercado o alejando los ejes.

Tabla 3. :Selección de correas.

Nº	Perfil A (13 x 8)	Perfil B (17 x 10,5)	Perfil C (22 x 13.5)	Perfil D (32 x 19)	Perfil E (40 x 25)
26	690				
28	741				
31	817				
35	919	932			
38	995	1008			
42	1097	1110			
46	1198	1211			
51	1325	1338	1347		
55	1427	1440			
60	1554	1567	1576		
64	1656	1669			
68	1757	1770	1779		
71	1833	1846			
75	1935	1948	1957		
80	2062	2079	2084		
81		2100	2109		
85	2189	2202	2211		
90	2316	2329	2338		
96	2468		2490		
97	2494	2507	2516		
105	2697	2710	2719		
112	2875	2888	2897		
120	3078	3091	3100	3117	
128	3281	3294	3303	3320	
136		3497	3506		
144		3701	3710	3727	
158		4055	4065	4082	
162		4158	4167	4184	
173		4437	4446	4463	
180		4615	4624	4641	4656
195		4996	5005	5022	5037
210		5377	5386	5403	5418
240		6106	6105	6102	6109
270		6868	6867	6864	6871
300		7630	7629	7626	7633
330			8391	8388	8395
360			9153	9150	9157
390			9915	9912	9919
420			10677	10674	10681
480				12198	12205
540				13722	13729
600				15246	15253

Fuente: Diseño de Máquinas. Rober L. Norton

Conociendo la velocidad del eje rápido, la relación de transmisión "i" y la sección usada, se consulta la tabla correspondiente a la sección de correa utilizada. Se obtiene de ella la potencia que es capaz de conducir una sola correa P1, este valor se comparará con la potencia de diseño para calcular cuántas correas serán necesarias en su transmisión.

Para realizar el cálculo final se necesitan dos factores de corrección. El primero es el factor C2 que considera la longitud de la correa. Se obtiene de una tabla pequeña ubicada en la parte baja de la tabla correspondiente a la sección, se ingresa a ella por el número de correa o por la longitud, de la siguiente forma:

<u>Diámetro polea pequeña (mm)</u>	<u>Relación de velocidad Velocidad</u>	<u>Polea pequeña(1450rpm)</u>
63	1:1.8	1450
<u>Potencia</u>	<u>Factor de corrección</u>	
0,67	0.9	

El último factor de corrección C3 considera el arco de contacto entre la correa y las poleas que en definitiva limita la capacidad de transmisión ya que este es un sistema que trabaja por roce. Con los valores de Dp y dp se consulta la tabla siguiente y se obtiene

Tabla 4. Cálculo de C3

(Dp-dp)/C	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40
Arco de contacto	180°	174°	169°	163°	157°	151°	145°	139°	133°	127°	120°	113°	106°	99°	91°
Factor de corrección	1.00	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.89	0.87	0.85	0.82	0.80	0.77	0.73	0.70

Fuente: Selección de Dp. Diseño de Máquinas. Robert L. Norton

Finalmente se calcula:

$$Z = \text{Potencia de Diseño} / (C2 * C3 * P1)$$

Donde Z se aproxima al entero superior.

Los datos resultantes son:

- Identificación de la correa a utilizar: A 1097
- Cantidad de correas en paralelo a utilizar: 2
- Distancia entre ejes definitiva (se debe dejar holgura para instalar la correa y para tensarla): 400 mm.
- Diámetros primitivos de las poleas a utilizar: $d=65$ mm $D=117$ mm.

Las demás correas se seleccionan de forma similar, cambiando los parámetros de distancia entre ejes y diámetros de las poleas.

– **Procedimiento de selección de rodamientos.** El cálculo de la vida útil es dependiente del rodamiento en particular, esto lo convierte en un cálculo iterativo en el cual se escoge un rodamiento y se comprueba su vida útil, si el resultado es satisfactorio, la selección ha terminado, pero si la vida es menor o muy mayor de lo recomendado debe escogerse otro rodamiento y recalcular la vida.

Las tablas siguientes entregan recomendaciones para la vida útil que debería tener un rodamiento para las aplicaciones que se detallan, este es el punto de partida.

–Guía de valores requeridos de vida nominal L10h para diferentes clases de máquinas

GUÍA DE VALORES REQUERIDOS DE VIDA NOMINAL L10H PARA DIFERENTES CLASES DE MÁQUINAS	
CLASES DE MÁQUINAS	L10H HORAS DE SERVICIO
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, aparatos para uso médico.	300 a 3 000
Máquinas usadas intermitente o por cortos períodos : Máquinas-herramienta portátiles, aparatos elevadores para talleres, máquinas para la construcción.	3 000 a 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos períodos o intermitentemente : Ascensores, grúas para mercancías embaladas.	8 000 a 1 2000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario no totalmente utilizadas : Transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos para uso industrial, machacadoras giratorias.	10 000 a 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas : Máquinas-herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria mecánica general, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipo de imprenta, separadores y centrífugas.	20 000 a 30 000
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día : Cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil.	40 000 a 50 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria de propulsión para trasatlánticos.	60 000 a 100 000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, ventiladores y bombas para minas, rodamientos para la línea de eje de trasatlánticos.	≈ 100 000

Una vez ubicada la vida sugerida, se procede a escoger un rodamiento del catálogo considerando el tipo de carga a soportar y las limitaciones dimensionales del problema. Una vez ubicados algunos candidatos se extraen los valores de C, Pu, D y d. De las condiciones del problema se obtienen el tipo de aceite utilizado, la temperatura de operación, la velocidad del eje, la fiabilidad requerida y el grado de contaminación. Con estos valores se procede a realizar los cálculos que a continuación se detallan.

En particular, la carga equivalente sobre el rodamiento se obtiene de fórmulas como la siguiente:

$$P = X Fr + Y Fa$$

Donde:

Fr es la carga radial que se aplica sobre el rodamiento

Fa es la carga axial que se aplica sobre el rodamiento

X e Y son valores adimensionales que varían para cada tipo de rodamiento.

En la tabla siguiente se consignan los valores de estas variables para el caso de rodamientos radiales de bolas con juego normal. Para el cálculo de otro tipo de rodamiento debe consultarse el catálogo de rodamientos en el capítulo correspondiente, para obtener los valores de: e, Y , X.

Tabla 5. Factores para el cálculo de los rodamientos rígidos de una hilera de bolas. Selección de Rodamiento.

Juego Normal			
F_a/C_0	E	X	Y
0,025	0,22	0,56	2
0,04	0,24	0,56	1,8
0,07	0,27	0,56	1,6
0,13	0,31	0,56	1,4
0,25	0,37	0,56	1,2
0,5	0,44	0,56	1

Fuente: Diseño de Máquinas. Robert L. Norton

Se desarrollaran tres fórmulas para la vida útil: Vida Nominal [L10]; Vida Nominal Ajustada [Lna] y Vida Nominal Ajustada SKF [Lnaa].

– Vida Nominal.

$$L10 = (C / P)^p$$

Donde:

L10 es la vida estimada en millones de revoluciones

C es la capacidad de carga dinámica

P es la carga equivalente sobre el rodamiento, se calcula en función de las cargas radiales y axiales que afectan al rodamiento su fórmula depende del tipo de rodamiento a utilizar

p es 3 para los rodamientos de bolas y 10/3 para los rodamientos de rodillos

La vida nominal puede expresarse en otras unidades mas adecuadas al problema que se analiza, de esta forma se tiene:

$$L10h = (1000000 / 60 n) L10$$

Donde:

L10h es la vida estimada en horas de funcionamiento

n es la velocidad del eje en r.p.m.

$$L10s = (p D / 1000)$$

Donde:

L10s es la vida estimada en millones kilómetros recorridos

D es el diámetro de las ruedas en metros

– Vida Nominal Ajustada

$$L_{na} = a_1 a_{23} L_{10}$$

Donde:

a_1 es el factor correspondiente a la fiabilidad del rodamiento, este factor se obtiene de la tabla siguiente, se puede observar que la fiabilidad mínima es de 90% y que es imposible asegurar un 100%.

Tabla 6. Selección de factor de calidad. Valor del factor a_1 .

FIABILIDAD %	a_1
90	1
95	0,62
96	0,53
97	0,54
98	0,33
99	0,21

Fuente: Diseño de Máquinas. Robert L. Norton

a_{23} es un factor que considera la calidad de la lubricación y su obtención requiere el uso de dos gráficos que a continuación se muestran.

Se necesita conocer las dimensiones básicas del rodamiento: su diámetro exterior D y su diámetro interior d . Esto significa que es preciso darse un rodamiento y calcular su vida útil según las condiciones del problema.

Con las dimensiones principales del rodamiento se calcula el promedio $d_m = (D + d) / 2$ y se entra al gráfico por el eje horizontal. A continuación se sube hasta tocar la línea inclinada correspondiente a la velocidad de giro del eje en

r.p.m. Se sale horizontalmente hasta cortar el eje vertical del gráfico, obteniendo el valor de la viscosidad cinemática n_1 requerida por el rodamiento.

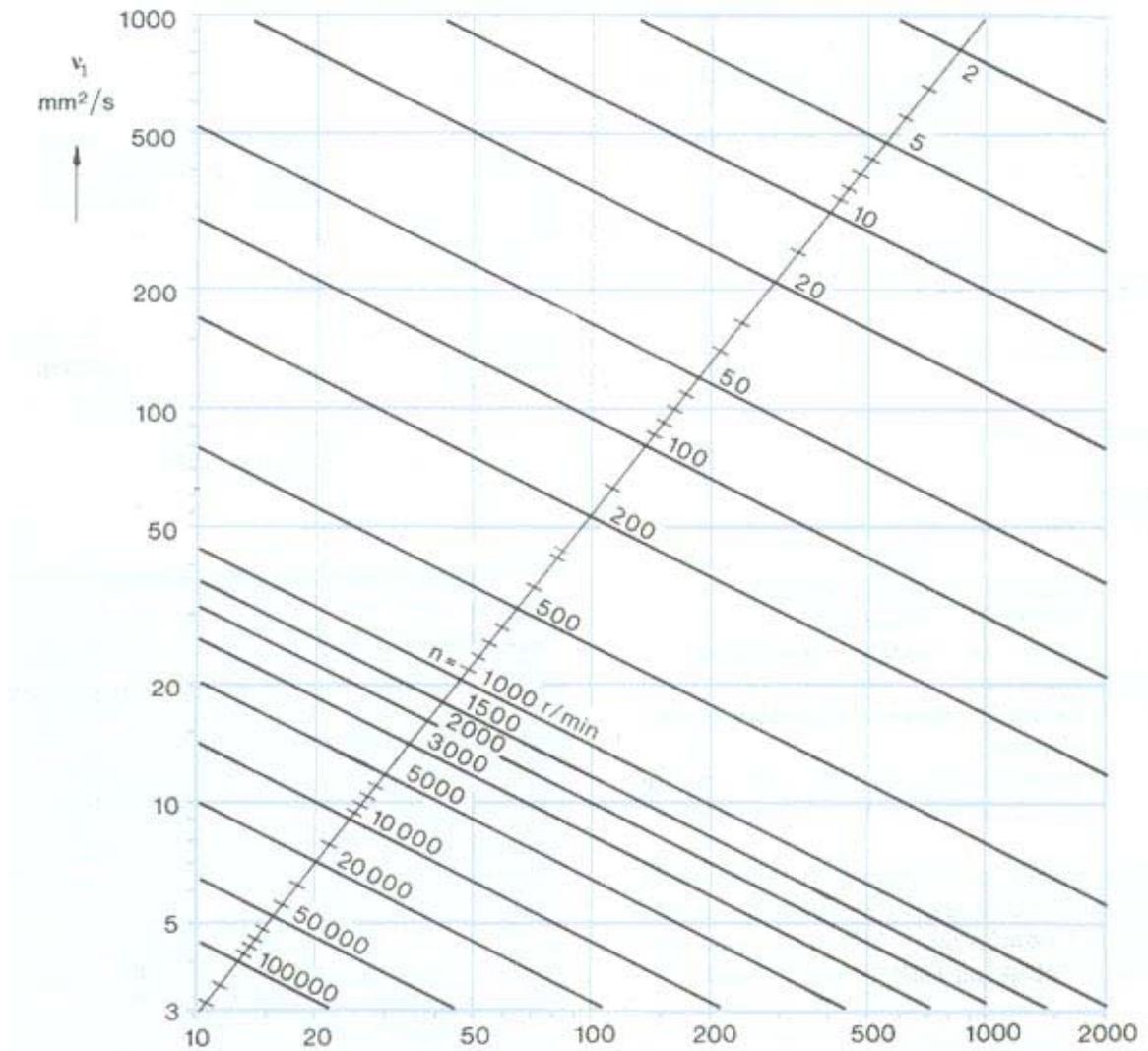
Tabla 7. Selección de viscosidad cinemática.

CLASE ISO DE VISCOSIDAD	MEDIA	MINIMA	MAXIMA
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1500	1 350	1 650

Fuente: Diseño de Máquinas. Robert L. Norton

El siguiente gráfico representa la viscosidad cinemática que se tiene en la realidad, considerando el lubricante utilizado y la temperatura de operación. Para iniciar el proceso, se ubica el valor de la viscosidad del lubricante a utilizar en la siguiente tabla.

Figura 15. Selección de viscosidad conocida.

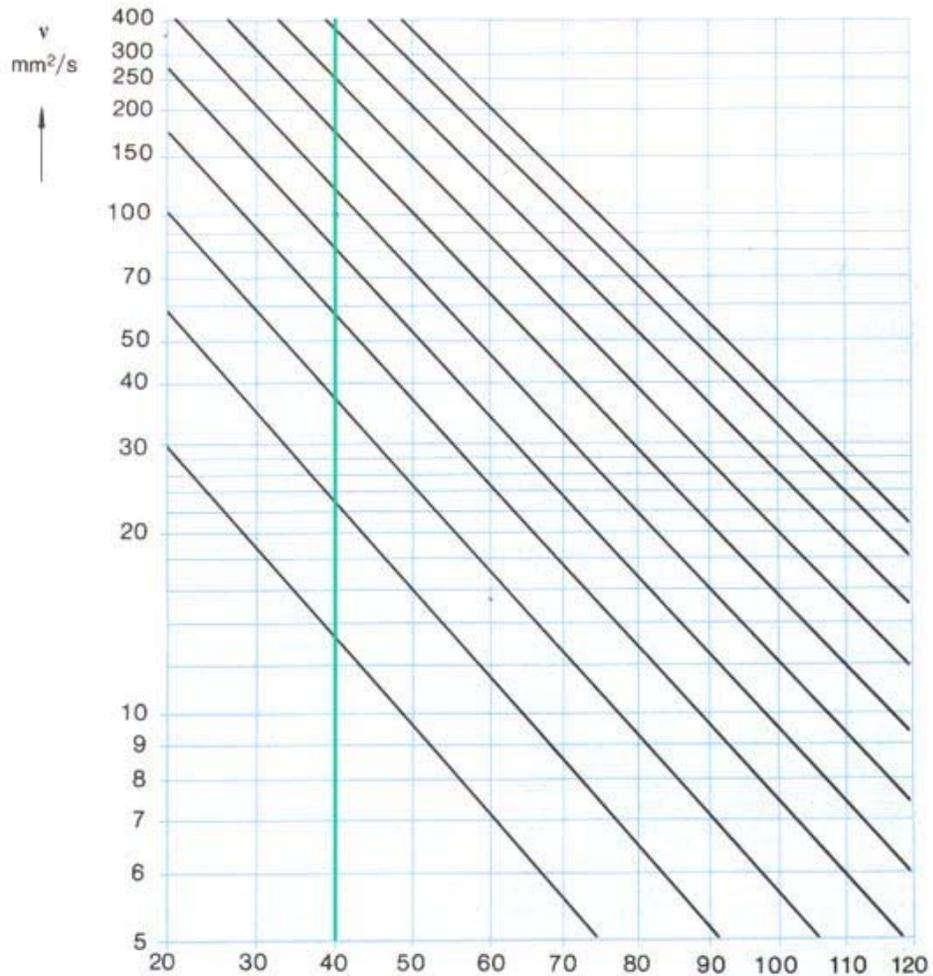


Fuente: Diseño de Máquinas. Robert L. Norton

Conocida la viscosidad se observa que este valor se entrega para una temperatura de referencia de 40°C , por ello, se ubica en el gráfico siguiente la línea vertical que representa 40°C y sobre ella se ubica la viscosidad nominal del aceite utilizado. Realizado esto, se mueve sobre una línea inclinada paralela a las líneas inclinadas que se muestran en el gráfico hasta cortar con la temperatura de operación de la máquina. Una vez ubicado el punto en cuestión se lee en el eje vertical la viscosidad cinemática n de que se dispone. Por

ejemplo un aceite ISO VG 68 tiene una viscosidad media de 68 mm²/s a 40°C, si la temperatura sube a 70 °C la viscosidad media desciende a 19 mm²/s aproximadamente, si en cambio, la temperatura baja a 30°C, la viscosidad media sube a 115 mm²/s aproximadamente.

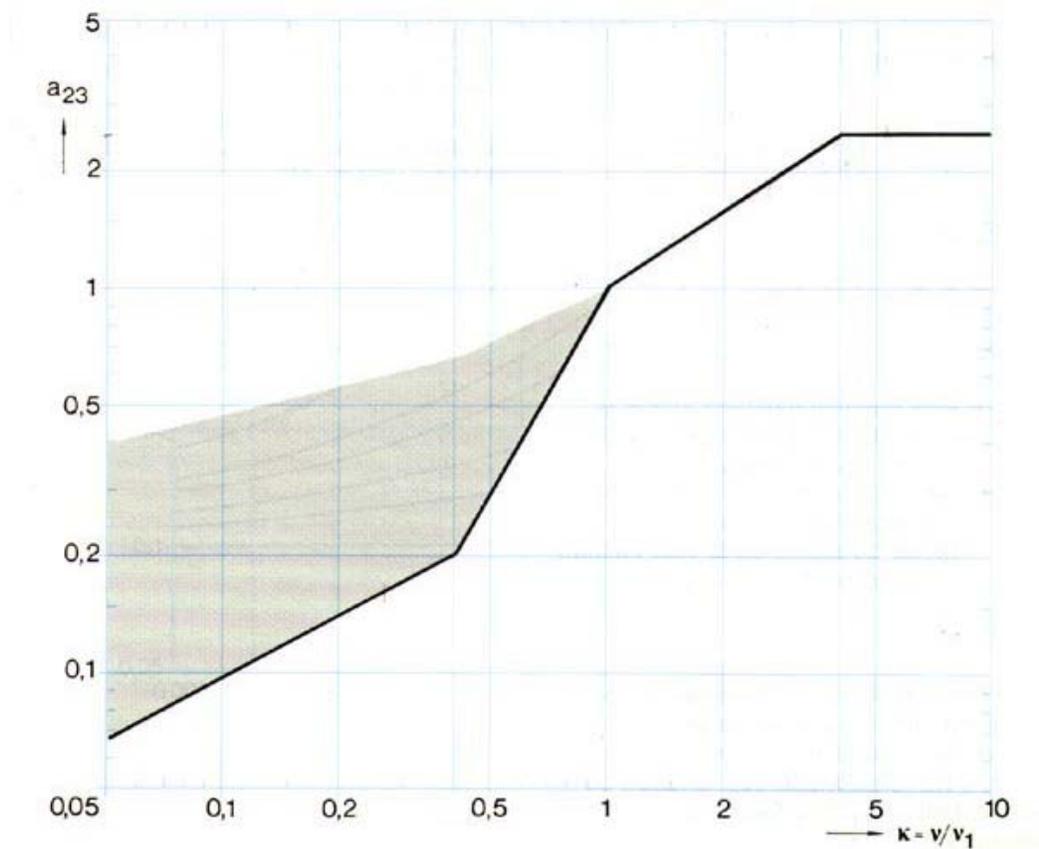
Figura 16. Selección de viscosidad contra temperatura.



Fuente: Diseño de Máquinas. Robert L. Norton

Finalmente en el gráfico que sigue a continuación se ingresa por el eje horizontal con $K = n / n_1$ hasta cortar la línea quebrada y se lee en el eje vertical el valor del factor a_{23} .

Tabla 8. Selección de aditivos al aceite.



Fuente: Diseño de Máquinas. Robert L. Norton

La zona sombreada que aparece el gráfico anterior corresponde a una zona alcanzable con la aplicación de aditivos al aceite.

Vida Nominal Ajustada SKF

$$L_{naa} = a_1 a_{SKF} L_{10}$$

Donde a_1 es el factor de confiabilidad utilizado en el cálculo anterior a_{SKF} es un nuevo factor introducido por la fábrica SKF. Para conocer su valor se debe

primeramente evaluar el valor h_c que varia en función al grado de contaminación, este valor se puede obtener de la tabla siguiente:

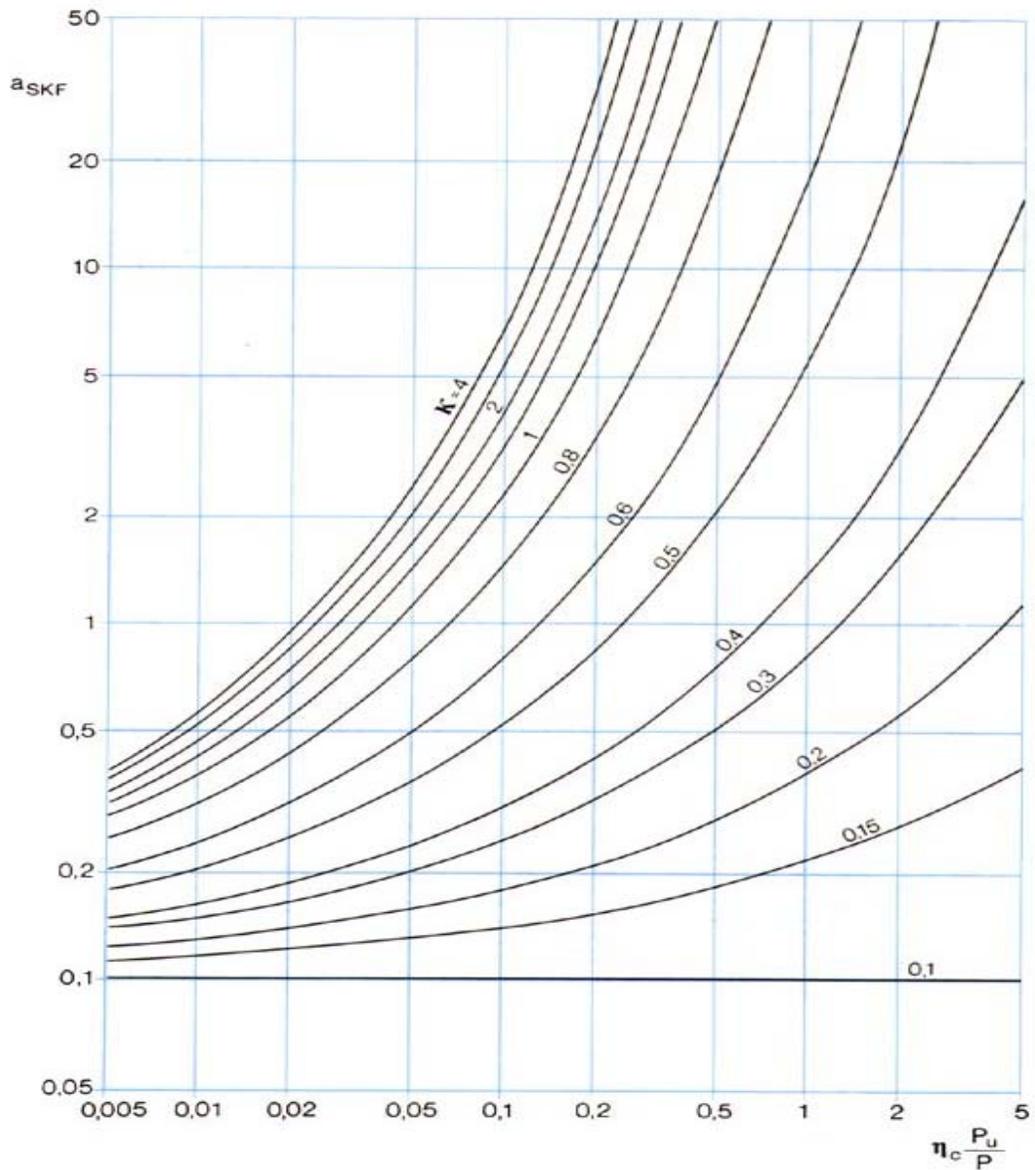
Tabla 9. Valores del factor de ajuste h_c para diferentes grados de contaminación. Tabla: selección de h_c para grados de contaminación.

CONDICIÓN (1)	h_c
Muy limpio Tamaño de partículas del orden del espesor de la película de lubricante.	1
Limpio Condiciones típicas de rodamientos con obturaciones engrasados por vida.	0,8
Normal Condiciones típicas de rodamientos con protecciones engrasados por vida.	0,5
Contaminado Condiciones típicas de rodamientos sin obturaciones integradas; filtros de paso grueso para lubricante y/o entrada de partículas desde el entorno.	0,5 a 0,1
Fuertemente contaminado ²⁾	0
1.La escala para h_c se refiere sólo a contaminantes sólidos típicos. La disminución de la vida del rodamiento por contaminación por agua u otros fluidos no está incluida. 2.Para fuerte contaminación, los valores h_c pueden estar fuera de la escala resultando una más severa reducción de la vida que la predicha por la ecuación L_{na} .	

Fuente: Diseño de Máquinas.Robert L. Norton

Ahora se requiere el valor de P_u obtenido del catalogo para el rodamiento en cuestión y el valor de la carga equivalente P obtenido de las condiciones del problema.

Tabla 10. Selección de aditivos al aceite.



Fuente: Diseño de Máquinas. Robert L. Norton

Con todo esto se evalúa $(\eta_c P_u / P)$ y se ingresa por el eje horizontal en el gráfico que sigue a continuación.

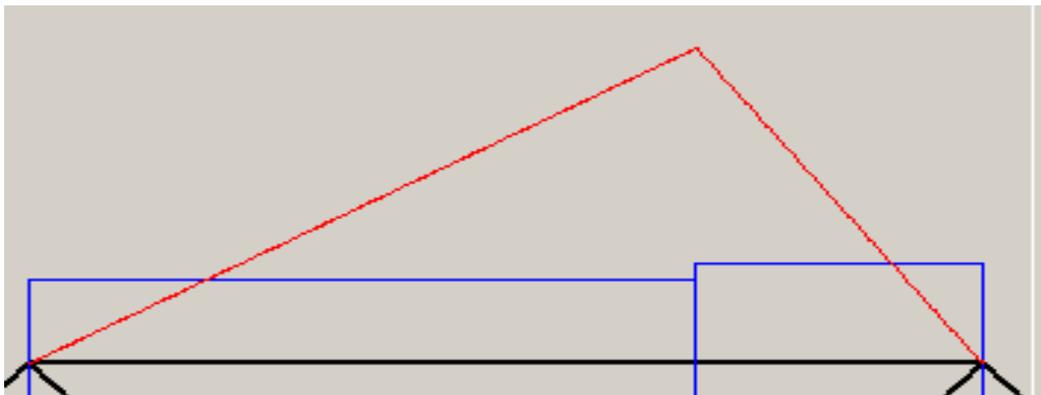
Se sube hasta cortar con la curva correspondiente al valor de K obtenido en el cálculo anterior. Una vez cortado, se lee en el eje vertical el valor de a_{SKF} .

Obtenido el valor a_{SKF} se procede a evaluar L_{naa} . De esta forma se han obtenido 3 resultados para la vida útil del rodamiento.

Es preciso aclarar que la selección de todos los rodamientos sigue este mismo procedimiento. La referencia de cada uno de ellas se da en los planos de construcción de la máquina.

4.2.2 Cálculo resistivo del eje del rotor. Procedemos a continuación a realizar el cálculo resistivo (estática, fatiga, torsión, deflexión) del eje que sostiene al rotor, acompañado del cálculo de la cuña que une al eje con la polea y los rodamientos que sostienen al eje. El procedimiento de cálculo se realiza en hoja de cálculo de forma iterativa, procurando que el valor de diámetro y escalonamiento seleccionado sea conveniente para el rodamiento seleccionado, y la cuña estudiada. Se obvia la iteración y se coloca el resultado final. Para el cálculo del eje se considero la masa del mismo. Se proyecta un eje de la siguiente forma:

Figura 17. Eje del Rotor



Fuente: Diseño de Máquinas. Robert L. Norton

El eje, elaborado en un material acero 1020 Normalizado en agua a 875 °C, el eje transmite una potencia de 1HP a 1500 r.p.m., con los apoyo sitios en los extremos del mismo distando 300 mm.

La carga se transmite a través de un de polea situada 35 mm del apoyo izquierdo, con un $d = 117$ mm y un ángulo de contacto de 22° .

El eje tiene dos tramos: del apoyo izquierdo hasta una distancia de 35mm y de aquí al final. La diferencia de diámetros es de 2 mm.

El coeficiente de seguridad es de 1,8 y el radio de la muesca es de 1,5 mm.

Para un coeficiente de fiabilidad del 99%, obtenemos un diámetro aproximado de 15 mm.

Realizamos los cálculos, empleando el programa de cálculo de ejes, y manualmente.

– Solución.

a. Cálculo de esfuerzos:

$$M_t = Ft * R = \frac{71720CV}{n} = 382.5kgf * cm \rightarrow Ft = 100,6kgf$$

$$Fr = Ft * Tg\alpha = 40,7kgf$$

b. Esfuerzos Debidos a la Ft:

$$Ra = 30,18kgf \quad Rb = 70,42kgf \quad Mf(3,5cm) = 105,6 \text{ kgf cm}$$

Debidos a la Fr:

$$Ra = 12,21 \text{kgf} \quad Rb = 28,49 \text{kgf} \quad Mf(3,5 \text{cm}) = 42,73 \text{ kgf cm}$$

- Resultante:

$$Mf = \sqrt{Mf_{Ft}^2 + Mf_{Fr}^2} = 113,9 \text{kgf} * \text{cm}$$

$$Ra(=Qa) = 32.5 \text{ kgf} \quad Rb(=Qa) = 75.9 \text{kgf}$$

Cálculo de coeficientes, K.

$$Ka = 0.638 \text{ maquinado}$$

$$Kb = 0.926$$

$$Kc = 1 \text{ flexión } 0.577 \text{ cortante}$$

$$Kd(20^\circ) = 1$$

$$Ke(99\%) = 0.82$$

$$Kf = 1 + q(Kt - 1) = 1.637 \quad 1/Kf = 0.610$$

$$q(16000)f = 0.91$$

$$Kt: r/d = 1.5/15 = 0.1 ; D/d = (15+4)/15 = 1.26 \quad Ktf = 1,7$$

$$q(16000)t = 1$$

$$Kt: r/d = 1.5/15 = 0.1 ; D/d = (15+4)/15 = 1.26 \quad Ktt =$$

- Tensiones:

$$\sigma = \frac{32 * Mf}{\pi * D^3}$$

$$\tau = \frac{32 * Mt}{\pi * D^3} + \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

Despejando el diámetro y haciendo las iteraciones correspondientes llegamos a un valor de 15mm par el diámetro del eje, hecho en el material seleccionado. El calculo de los demás ejes tiene un procedimiento similar cambiando los valores y ubicación de las cargas y del torque a transmitir.

4.2.3 Selección de materiales. La industria de construcción de maquinaria agrícola cuenta con una amplia experiencia que le permite establecer con claridad cuales son los materiales mas utilizados par ala construcción de dicha maquinaria. Esta selección se basa en el principio de robustes, trabajo pesado y bajo costo que debe tener dicha maquinaria. Por medio de una extensa investigación con proveedores y fabricantes se pudo establecer que los materiales mas utilizados para estas aplicaciones son los siguientes:

- a. Tolvas ductos y bandejas: Lámina cold rolled de 2 mm.
- b. Carcazas y recipientes: Lámina cold rolled de 3 mm.
- c. Componentes estructurales sometidos a impactos: Lamina cold rolled de 3 mm
- d. Sistemas de transmisión por poleas: Aluminio
- e. Ejes y engranajes: Acero 1020

Este tipo de maquinaria exige acero inoxidable cuando se manejan alimentos o productos que deban permanecer en condiciones asépticas. Para este diseño se considera que no es necesario utilizar este material ya que no se trata de un alimento. También se debe aclarar que el costo del acero inoxidable es mayor, así como la manufactura del mismo lo que incrementaría considerablemente el costo de la máquina.

4.3 CÁLCULOS CINEMÁTICOS Y DIMENSIONAMIENTO PARA UNA MÁQUINA DE ESCARIFICACIÓN DE SEMILLAS DE TAGUA

Como se ha mencionado, uno de los obstáculos que tiene la comercialización de la tagua es la alta exigencia que tiene su proceso de pelado o escarificación, que dependiendo de la forma en que este se realice, puede dar materia prima de una manera más eficiente, o semillas más productivas que germinan más rápido.

Dentro del campo de la Ingeniería mecatrónica este aparte diseña una máquina que cumple ante todo con un proceso con operaciones bien definidas en cada paso, debido a lo cual se hace una descripción detallada de cada parte del proceso. Este esfuerzo tiene como objetivo lograr un funcionamiento apropiado de la máquina que permita el mayor aprovechamiento de la materia prima, así como la posibilidad de proveer el cuidado suficiente como para que no se dañe de manera irremediable el material.

Es importante resaltar la necesidad de realizar pruebas que validen el funcionamiento óptimo ya que no existe un método diferente al del ensayo directo, que nos permita asegurar con certeza, anticipadamente, el correcto desempeño que se debe tener en cada fase.

Cada uno de los sistemas que comprenden la máquina son independientes en su sistema de generación y transmisión de movimiento, esto permite que se puedan ajustar parámetros de funcionamiento en cada proceso de forma independiente sin afectar a los demás, logrando de esta manera que el proceso completo sea lo mas óptimo posible. El sistema de generación de movimiento en cada sistema es un motor AC de 1800 RPM con control de

velocidad y potencia estandarizadas, tomando como referencia un modelo que se consigue comercialmente en el país.

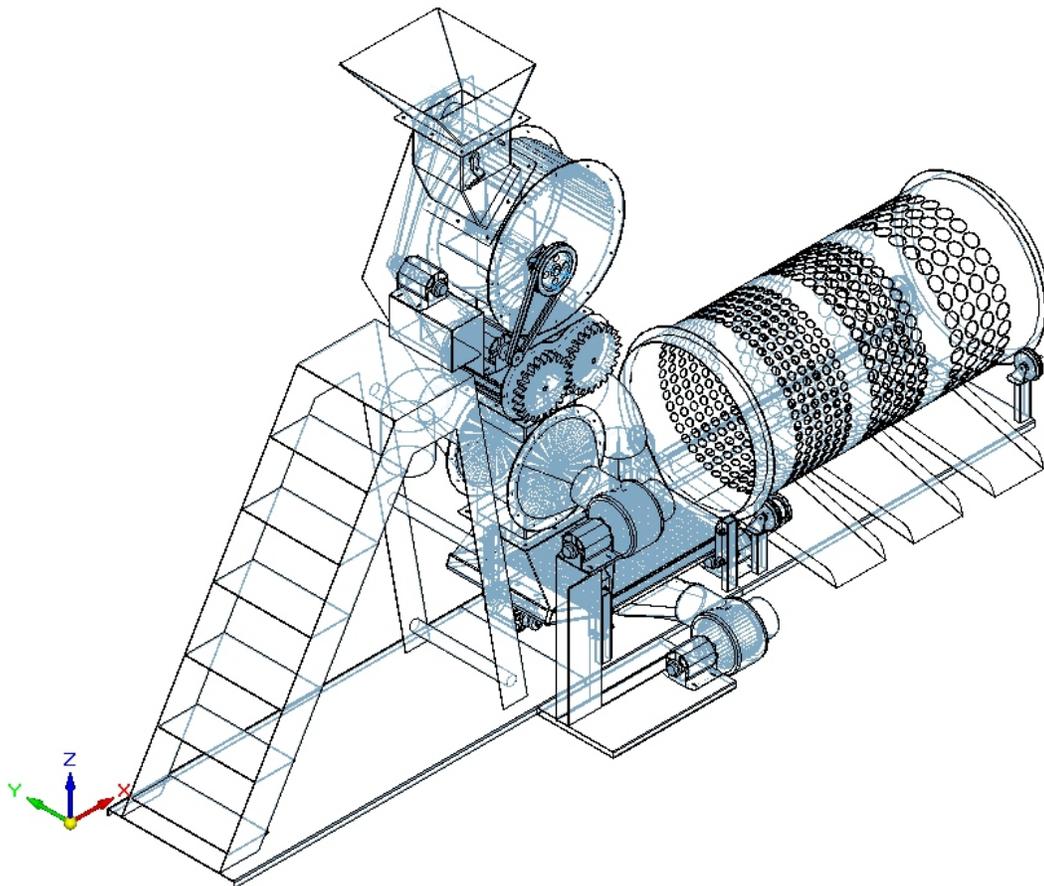
4.3.1 Descripción general del funcionamiento de la máquina. El sistema básicamente contempla que las semillas entren por la tolva superior en la que son dosificadas de acuerdo a la necesidad. Luego entran al rotor de impacto, donde son proyectadas a gran velocidad por la acción giratoria del rotor, sobre una pantalla metálica dotada de aristas transversales que tienen como fin lograr el rompimiento del endocarpo de la semilla tras su impacto. Luego las semillas caen dentro del sistema de cepillos que las deslizan sobre una superficie metálica rugosa para desprender los residuos del endocarpo adheridos a la semilla. Luego las semillas y residuos del endocarpo pasan a través de un flujo transversal de aire, el cual extrae las partículas finas con el fin de limpiar la semilla y evitar que estas partículas lleguen a la zaranda, porque estas pueden dificultar el proceso de separación. Las semillas y residuos gruesos del endocarpo caen a la zaranda, en la que mediante vibración se segregan, discriminándose de esta manera el material mas denso (semillas) en la parte inferior, y el mas ligero (residuos del endocarpo) en la superior. En la parte inferior de la zaranda se implementa un sistema de aire que por medio de un ventilador radial imprime un flujo a través de la zaranda mediante el cual los residuos del endocarpo se extraen para que sean impulsados hacia la campana extractora, dejando finalmente las semillas libres de cualquier residuo y listas para pasar al proceso de clasificación.

En el cilindro de clasificación mediante la rotación del cilindro y una pequeña pendiente, las semillas pasan de acuerdo a su dimensión a través de los respectivos orificios que van aumentando de tamaño a medida que las semillas

avanzan, logrando así su clasificación en tres tamaños diferentes, que van saliendo por cada una de las bandejas dispuestas para tal fin.

A continuación se muestra en esquema completo del modelo hecho en el software de diseño CAD.

Figura 18. Esquema completo del diseño



Fuente: Los autores

4.3.2 Especificaciones técnicas de la máquina

Tamaño:	Largo 4.100 mm
	Ancho 1.412 mm
	Alto: 2.815 mm

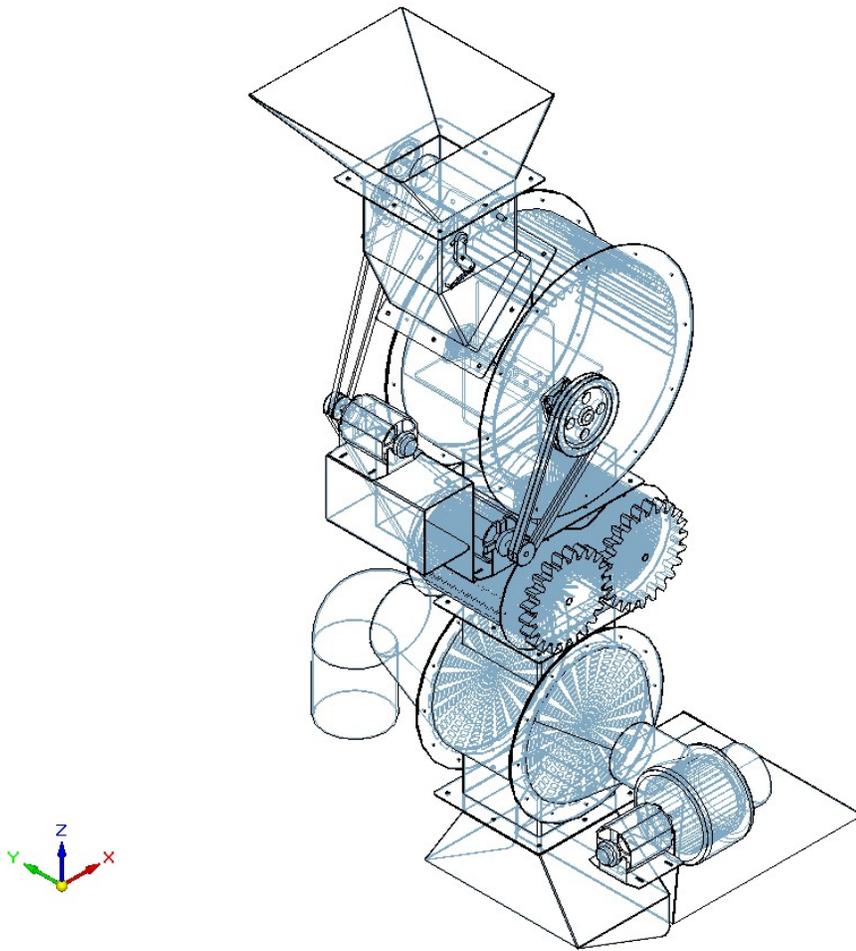
Peso	546,67 Kg.
Sistema Motor:	6 motores AC con control de potencia PWM
Alimentación:	110 V A.C.
Consumo de potencia máxima	4,47 Kw
Control:	Control PWM independiente en cada motor
Operación:	Dial manual para controlar la velocidad de cada motor
Sistemas de transmisión:	Correas Trapezoidales
Rendimiento:	10 m ³ de semillas.
Mantenimiento:	Mantenimiento preventivo cada 2 meses de operación.

4.3.3 Cálculo y diseño estructural. Debido a las condiciones de resistencia del material, y por tanto a la robustez de la maquinaria, se requiere efectuar el cálculo y diseño de una estructura lo suficientemente fuerte como para que soporte la parte superior de la máquina. Con este fin se calculó el peso de la máquina desde la tolva de entrada hasta la campana que descarga las semillas en la zaranda solamente, ya que de ahí en adelante los componentes de la máquina quedan soportados por la placa base.

Se sugiere una estructura compuesta por cuatro columnas y travesaños entre ellas para soportar esta parte y dar rigidez a la máquina en general.

La parte de la máquina que requiere dicho soporte es la que expresa la siguiente figura:

Figura 19. Parte de la máquina soportada por el diseño estructural



Fuente: Los autores

Utilizando las herramientas de propiedades físicas en Solid Edge, encontramos que esta parte tiene un peso de 239.8 Kg. Seguidamente consideramos que el acero estructural tiene una resistencia mecánica de 262 MPa.

Como el esfuerzo sobre cada columna es un cuarto del peso total tendríamos una carga de $59.95 \text{ kg} = 60 \text{ kg}$. Tomando un factor de seguridad de 3 para dar mayor rigidez a la estructura tendríamos una Carga = 180 kg

Como el esfuerzo sobre el material es igual a la carga dividida por el área de la sección transversal de las columnas, podemos calcular el área de esta sección.

$$S=C/A \text{ despejando el área tenemos } A= C/S$$

Tomando los valores de $C= 180 \text{ kg}$ y de $S= 262 \text{ Mpa} = 260 \times 10^6 \text{ kg.m}^2$.

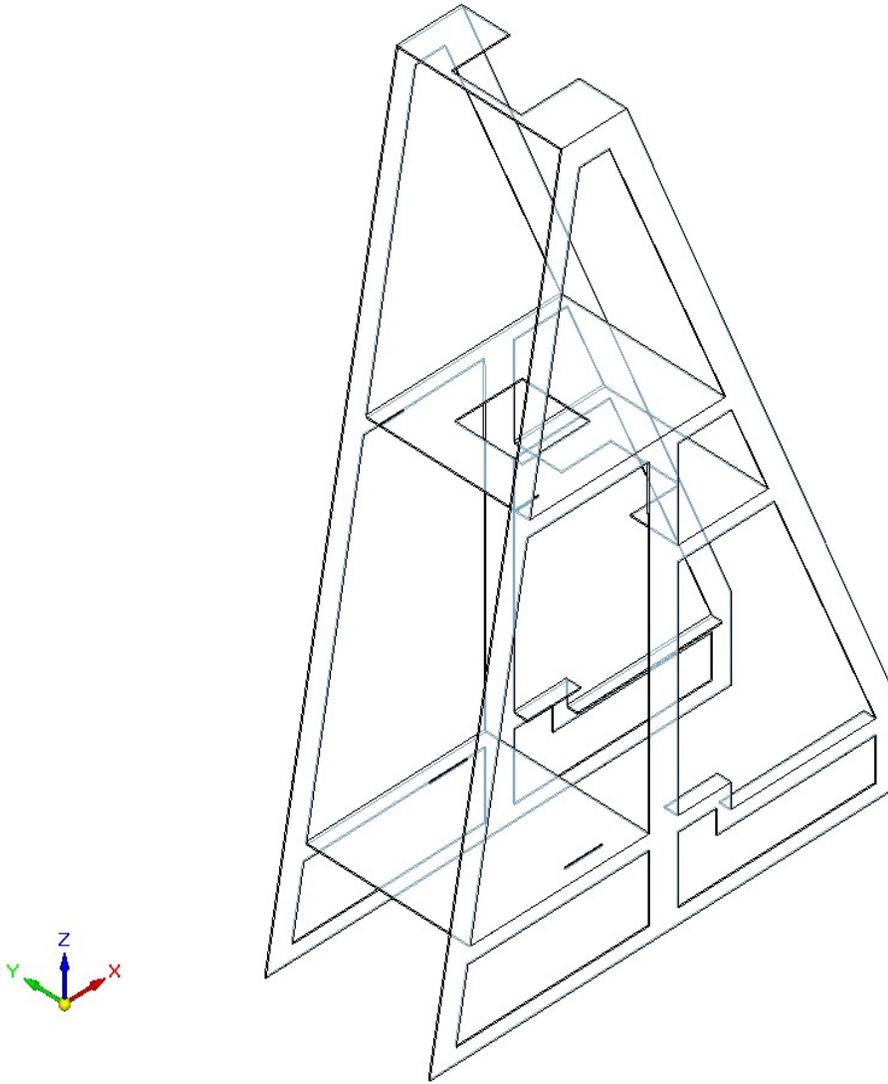
Entonces tendríamos un área transversal para cada columna de:

$$A= 180\text{kg}/260 \times 10^6 \text{ kg.m}^2. A= 6,9 \times 10^{-7} \text{ m}^2.$$

Este es el área mínima que debe tener la sección de las columnas del bastidor. Como vemos el cálculo estático arroja un valor muy pequeño para el área, pero sabemos que por rigidez esbeltez y estabilidad debemos construir una estructura mucho mas robusta. Para este fin utilizaremos lámina de acero estructural de 5mm de espesor, y con ayuda del software de diseño construiremos una estructura que soporte los componentes, brinde estabilidad y absorba las vibraciones.

A continuación se muestra el diseño con la ayuda del software Solid Edge, de la estructura o bastidor de la máquina.

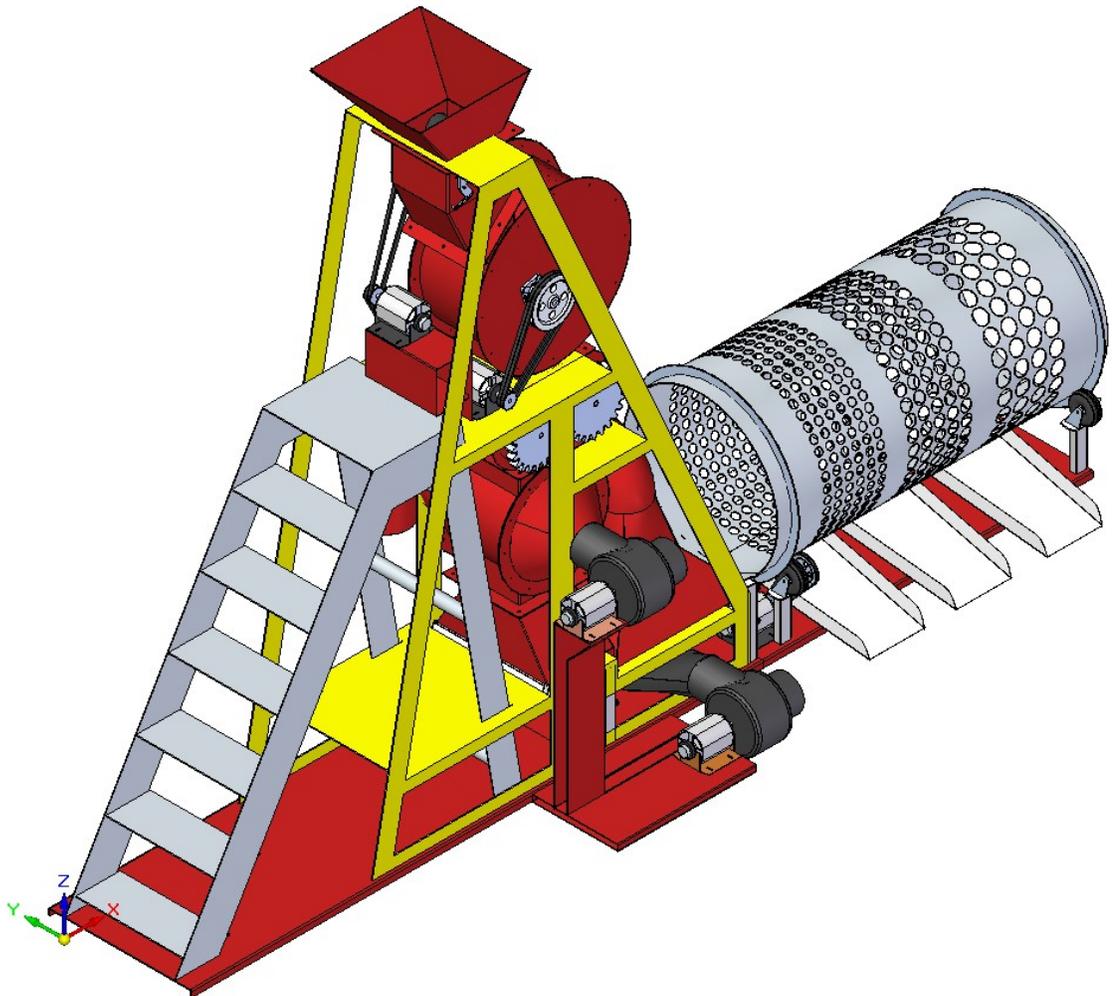
Figura 20. Soporte estructural



Fuente: Los autores

La siguiente figura detalla cómo queda el ensamble completo con el bastidor incluido

Figura 21. Perfil isometrico, escarificadora de tagua con soporte estructural

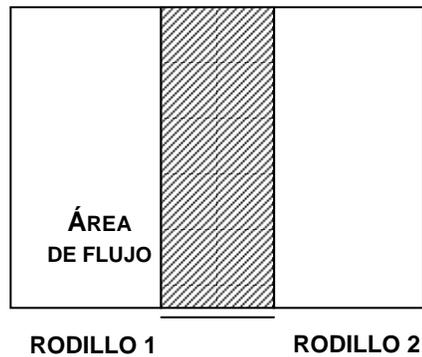


Fuente: Los autores

4.3.4 Descripción detallada del funcionamiento

– **Sistema dosificador.** Estos planteamientos parten del supuesto de un procesamiento por día de al menos 10 m^3 de semilla. Así, se establece por tanto una separación promedio de los rodillos de $4,4 \text{ cm}$ aproximadamente. El ancho de los rodillos es de 24 cm ., por tanto el área de flujo es de $108 \text{ cm}^2 = 10.800 \text{ mm}^2$.

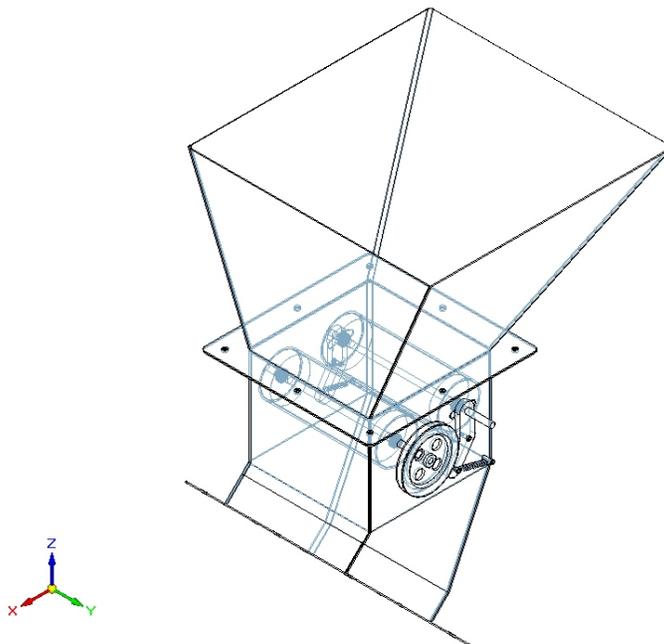
Figura 22. Estructura básica del Dosificador



Fuente: Los autores

El sistema dosificador cuenta con dos rodillos, uno de los cuales es fijo y cuenta con una polea que le proporciona el movimiento al sistema. El otro rodillo es retráctil ya que está soportado en un mecanismo de palanca en cada uno de sus extremos que le permite por medio de resortes irse acomodando a medida que los diferentes tamaños de semillas hacen contacto con los rodillos.

Figura 23. Dosificador



Fuente: Los autores

Calculando el área de flujo, se multiplica por la velocidad tangencial (V_t) de los rodillos, con el fin de obtener el flujo volumétrico de las semillas.

Como el flujo total esperado es de $10 \text{ m}^3/8 \text{ horas}$, luego,

$$= 10 \times 10^9 \text{ mm}^3 / 28.800 \text{ seg.}$$

Con lo que se tiene que:

$$F_T = A \cdot V_t \quad \text{Despejando: } V_t = F_T/A \quad \underline{V_t = 10 \times 10^9 \text{ mm}^3 / 28.800 \text{ s.}}$$

$$10.800 \text{ mm}^2$$

$$V_t = 32,15 \text{ mm/s.}$$

Como el radio de los rodillos es $r = 45 \text{ mm}$. Entonces calculamos la velocidad angular de estos.

$$\omega = V_t/r \quad \omega = \frac{32,15 \text{ mm/s}}{45 \text{ mm}} \quad \omega = 0.71 \text{ rad/seg}$$

$$\text{RPM} = 60 \cdot (\omega / 2\pi) \quad \text{RPM} = 6,78$$

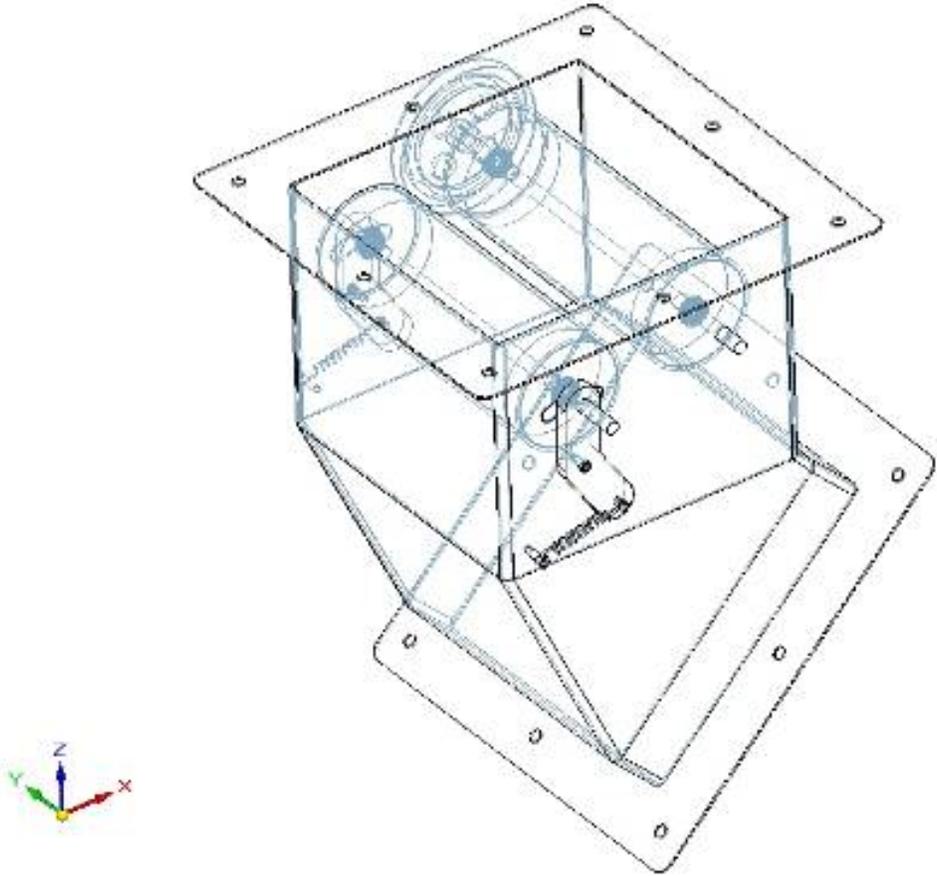
De lo cual se deduce que con una reducción de 4:1 el motor debe girar a 27 RPM.

Como el flujo de volumen no es 100% efectivo, se asume por defecto que solo el 25% es material efectivo de semilla, razón por la cual se debe tener en cuenta la contingencia de que el motor gire cuatro veces más rápido, a por lo menos 108 RPM.

El diseño tiene en cuenta un motor con variador de velocidad el cual tiene que ajustarse a la velocidad óptima de operación, de acuerdo con el resultado

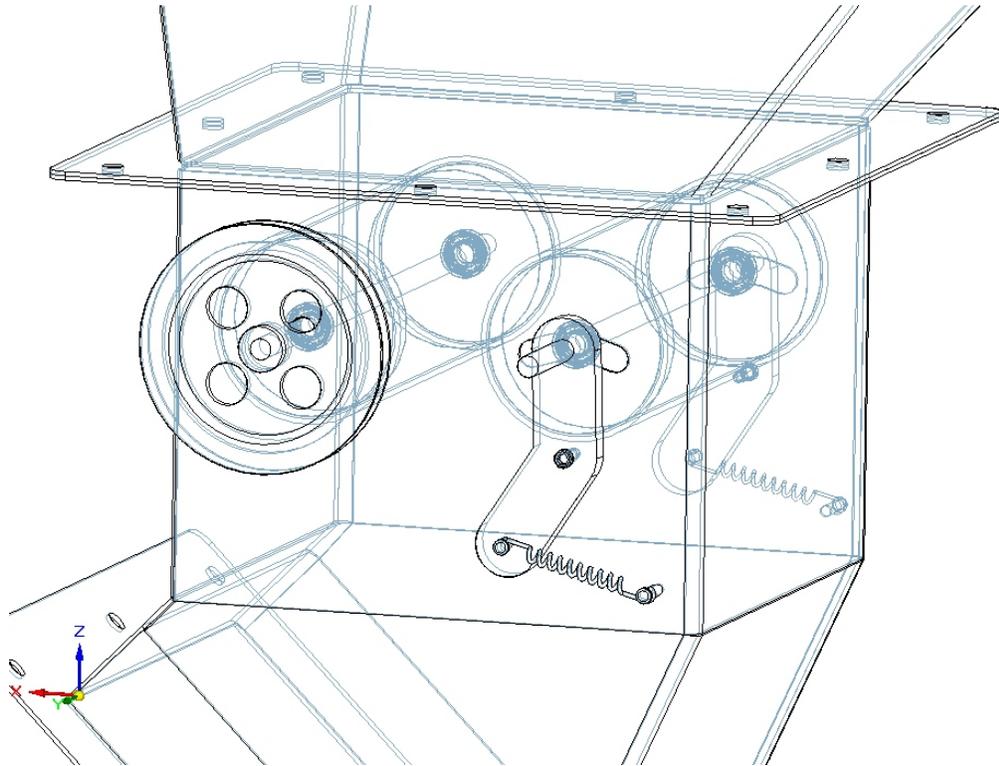
obtenido también por pruebas de efectividad hechas sobre el prototipo real de la máquina. El siguiente es el esquema del dosificador modelado en 3D.

Figura 24. Esquema de dosificador modelado.



Fuente: Los autores

Figura 25. Detalle Dosificador modelado

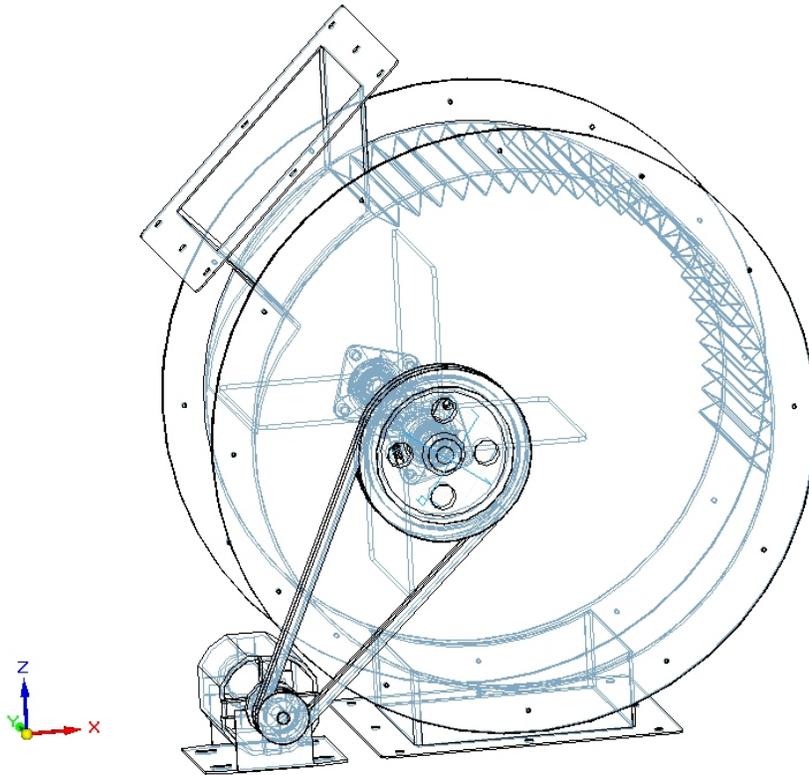


Fuente: Los autores

– **Rotor de impacto.** El rotor de impacto es una parte fundamental de la máquina propuesta. Por medio de este rotor de impacto se realiza una de las operaciones más importantes, como es el debilitamiento de la cáscara externa de la mazorca.

Para este fin es necesario establecer una velocidad de impacto de las semillas hacia la superficie rugosa. Esto servirá para posteriormente junto con las pruebas de funcionamiento establecer cual debe ser el régimen de trabajo para una operación óptima.

Figura 26. Esquema del Rotor de impacto

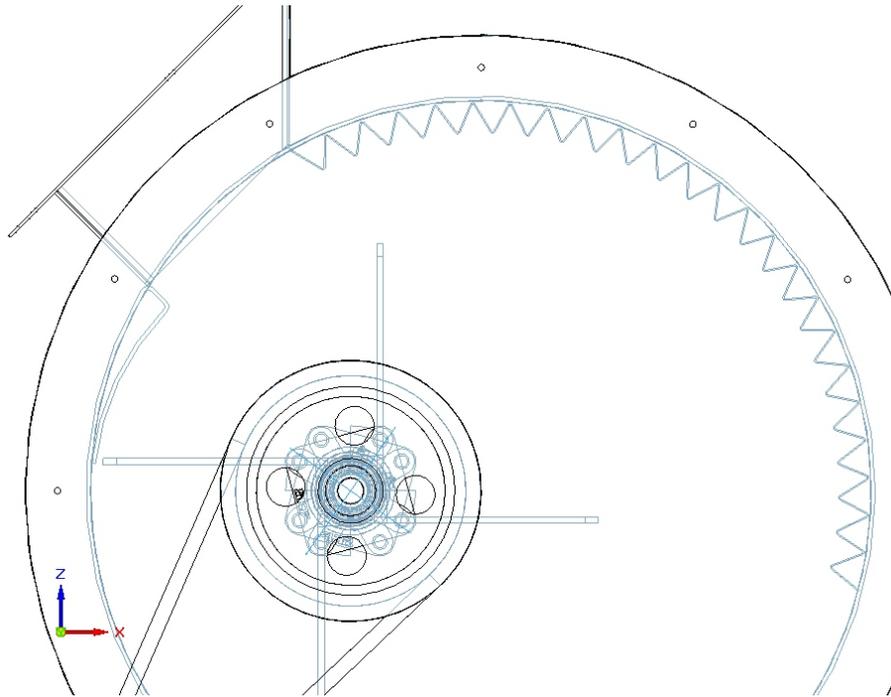


Fuente: Los autores

Las semillas que entran por la parte superior se encuentran con las aspas del rotor y son impulsadas a gran velocidad sobre la pantalla rugosa. Este impacto provoca el resquebrajamiento del endocarpo.

El rotor se encuentra descentrado dentro de la carcasa para evitar que las semillas caigan sin chocar con las aspas y para lograr un buen ángulo de impacto contra la pantalla y lograr el objetivo deseado.

Figura 27. Rotor de impacto, vista lateral



Fuente: Los autores

– **Dimensionamiento del rotor de impacto.** Se debe precisar que a energía de impacto deseada para cumplir el cometido de quebrar la cáscara, debe ser igual a la energía cinética que tiene la semilla al impactar con la superficie rugosa. De lo que se deduce:

$$E_i = \frac{1}{2} m \cdot V^2$$

La velocidad que adquiere la semilla se calcula estableciendo que debe ser igual a la velocidad tangencial de las aspas del rotor, por lo que se deduce la siguiente igualdad.

$$V = V_t = \omega \cdot r .$$

El radio del rotor es $r = 191 \text{ mm} = 0,19 \text{ m}$. Asumiendo que el giro del motor es de 1800 RPM= 188,5 rad/s.

De este modo tendríamos una velocidad tangencial máxima V_t , de

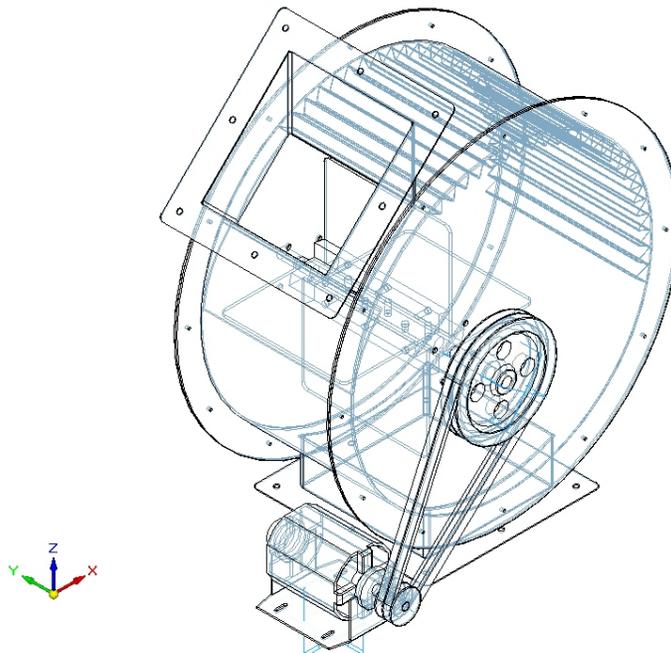
$$V_t = 188 \text{ rad/s} \cdot 0,19 \text{ m} \quad V_t = 35,8 \text{ m/s}.$$

Asumiendo que la masa sea de 20 gramos = 0,02 Kg, se tendría que:

$$E_i = \frac{(0,02 \text{ Kg}) \cdot (35,8 \text{ m/s})^2}{2} = 12,8 \text{ J}.$$

Este valor 12,8 J, es la máxima energía calculada de impacto que se puede dar a la semilla. Estableciendo pruebas podrán ajustarse los parámetros de funcionamiento óptimos. La siguiente figura, modelada en 3D, esquematiza el esquema del rotor de impacto.

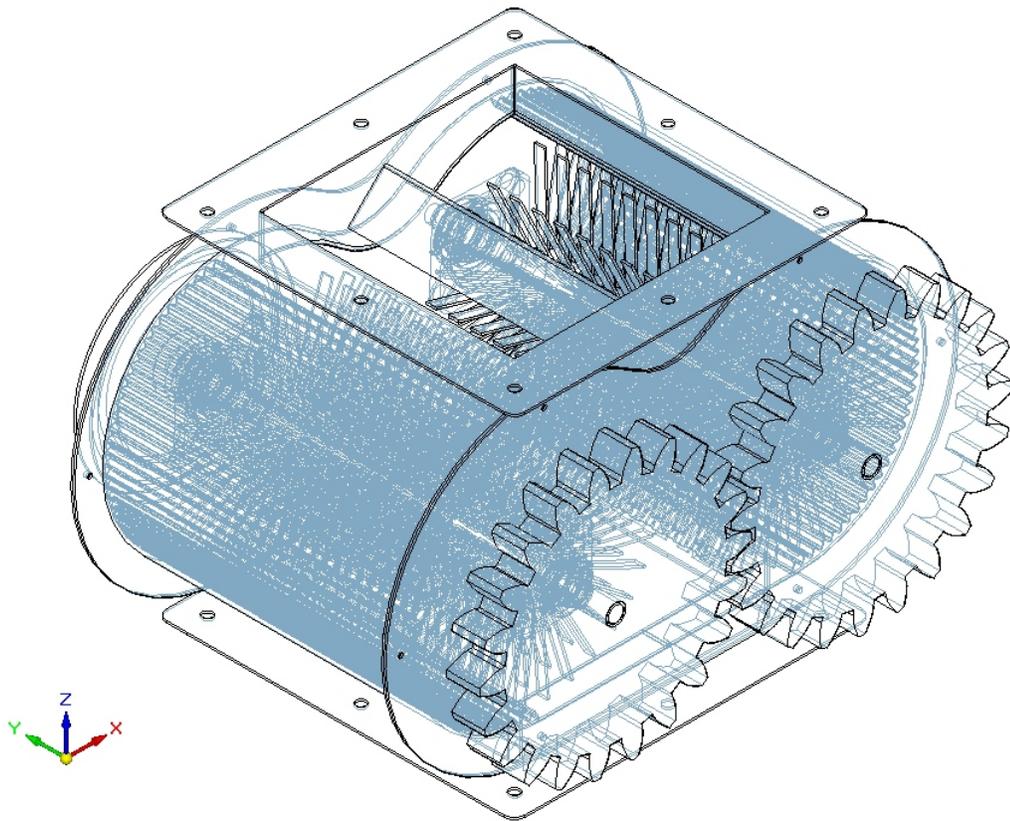
Figura 28. Rotor de impacto, vista isométrica.



Fuente: Los autores

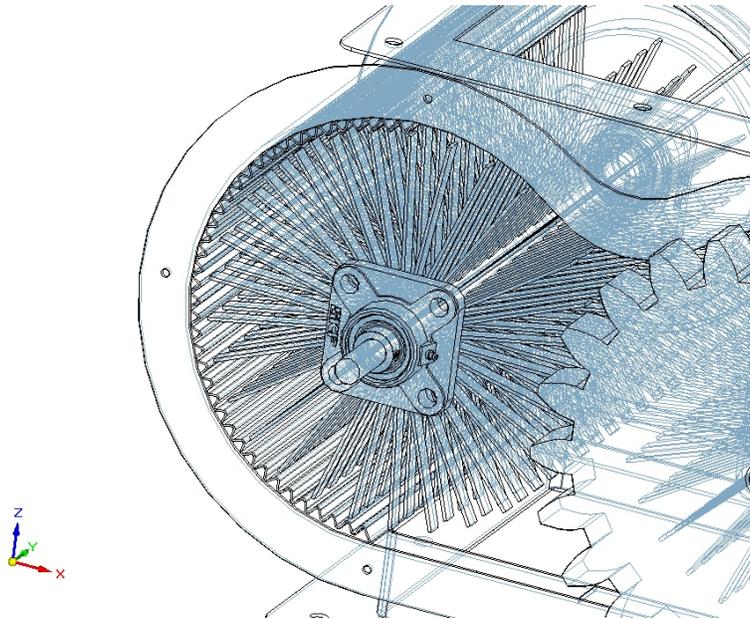
– **Sistema de cepillos.** Las semillas ingresan por la parte superior y se encuentran con un difusor que reparte las semillas hacia la izquierda y hacia la derecha sobre cada uno de los cepillos. Los cepillos giran en sentidos opuestos gracias al sistema de engranes y arrastran las semillas con sus aspas. La superficie interna de la carcaza esta recubierta por una superficie rugosa para lograr un efecto de rastrillado sobre las semillas y lograr así el desprendimiento del endocarpo que ha sido resquebrajado en el proceso anterior.

Figura 29. Esquema del Sistema de cepillos



Fuente: Los autores

Figura 30. Detalle del Sistema de cepillos



Fuente: Los autores

– **Dimensionamiento de los cepillos.** El sistema de cepillos no requiere de más cálculos, puesto que maneja el mismo flujo del dosificador. No obstante, a diferencia del dosificador los cepillos poseen un diámetro 2,5 veces mayor al de los rodillos, razón por la cual se deben hacer girar 2,5 veces más lento.

Debido a que la polea de los rodillos se calcula en un diámetro de 116 mm, la polea de los cepillos deberá tener una extensión proporcionalmente más amplia, es decir 290 mm. Esta, irá acoplada por medio de la correa al mismo eje del motor del dosificador mediante una polea conductora de igual diámetro (60 mm).

Se ha diseñado que el sistema de cepillos cuente además con un sistema de engranajes, esto con el fin de permitir la rotación inversa relativa entre los

cepillos y de esta manera lograr que las semillas sean deslizadas contra la superficie rugosa.

Esto tiene como propósito que se remueva la cáscara, que hasta esa etapa del proceso la acompaña. Los mencionados engranes no soportan mayores cargas, por lo que solo se diseñaron para cumplir con los requerimientos geométricos y cinemáticos del diseño. El esquema del sistema de cepillos, diseñado, modelado en 3D se aprecia en la figura 30.

–Zaranda vibratoria. Esta parte de la maquinaria tiene como fin poner un cedazo rectangular con fondo de red de tomiza, que se emplea con el fin de lograr la separación del material, el más cribado del más grueso. Para tal fin se propone implementar un sistema vibratorio, que en este caso emplea un volante excéntrico, apto y viable por su facilidad de manufactura y montaje. Este volante se acopla directamente al eje del motor, el que a su vez anclado a la estructura de la zaranda. La zaranda se encuentra soportada por resortes y su movimiento se restringe gracias al empleo de guías y de rodamientos que limitan la vibración solo en el sentido vertical.

Figura 31. Zaranda vibratoria.



Fuente: Los autores

La zaranda cuenta con un sistema vibratorio compuesto por un volante excéntrico y un sistema de resortes y guías verticales. La función de esta es segregar las semillas hacia el fondo y los residuos de endocarpo hacia la parte superior.

– **Dimensionamiento de la zaranda.** La fuerza vertical que genera el volante es igual a la aceleración centrípeta de este multiplicada por la masa del mismo.

La aceleración centrípeta es la magnitud relacionada con la razón de cambio de dirección de la velocidad de las partículas en movimiento y se define como igual a la velocidad tangencial del centro de masa al cuadrado dividida por el radio de giro, lo que se expresa de la siguiente forma:

$$a_c = \frac{V_t^2}{R}$$

El radio de giro es igual a la excentricidad que tiene el volante,

$$e = 6 \text{ mm} = 0,006 \text{ m.}$$

Si el motor gira a 1800 RPM, se deduce que la velocidad tangencial es:

$$V_t = 188,5 \text{ rad/s.} \times 0,006 \text{ m} \quad V_t = 1,131 \text{ m/s.}$$

De lo cual puede deducirse la aceleración centrípeta, así:

$$a_c = \frac{V_t^2}{R} \quad \frac{a_c = (1,131 \text{ m/s})^2}{0,006 \text{ m}} = 213.19 \text{ m/s}^2$$

La fuerza centrípeta se calcula con la fórmula $F_c = a_c m$.

Considerando que el valor de la masa del volante es de 0.367 Kg. La fuerza centrípeta se calcula,

$$F_c = (213.19 \text{ m/s}^2) \cdot (0.367 \text{ Kg}). \quad F_c = 78\text{N}.$$

Este valor nos permite deducir la fuerza que los resortes deben contrarrestar. Se calcula que el desplazamiento vertical no debe ser mas de 10 mm = 0,01 m para evitar el choque de las piezas.

Otro cálculo necesario es el de la fuerza de los resortes, que se realiza mediante la fórmula $F = k \cdot x$. Teniendo en cuenta que se requiere de 4 resortes en cada sentido del movimiento, cada uno debe soportar $\frac{1}{4}$ de la fuerza centrípeta ejercida por el volante. El cálculo de la fuerza sobre cada resorte es de $F_r = 19,5 \text{ N}$.

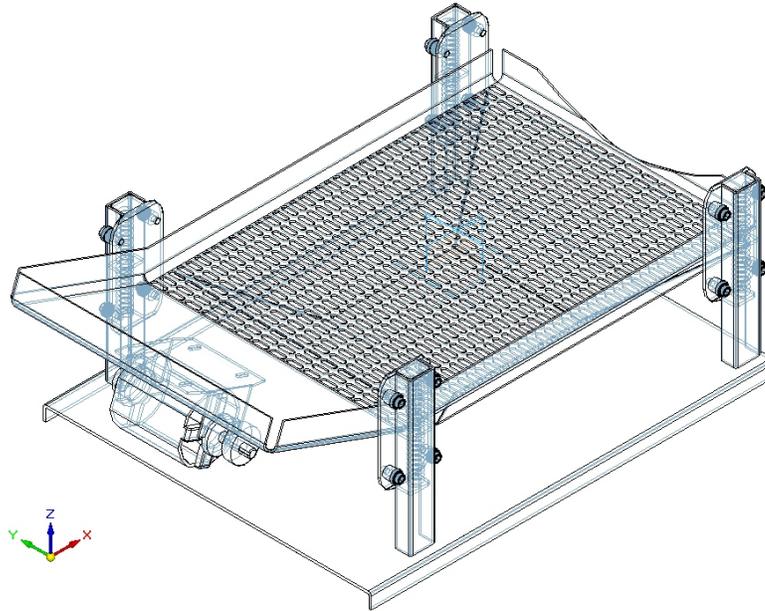
La constante del resorte se encuentra de la siguiente forma:

$$K = F_r/x \qquad K = 19,5 \text{ N} / 0,01 \text{ m} \qquad k = 1956 \text{ N/m}.$$

Gracias al software de diseño, obtenemos las dimensiones de los resortes, introduciendo los parámetros de constante diámetro y longitud.

En la siguiente figura se expone el esquema del diseño modelado para el sistema de zaranda.

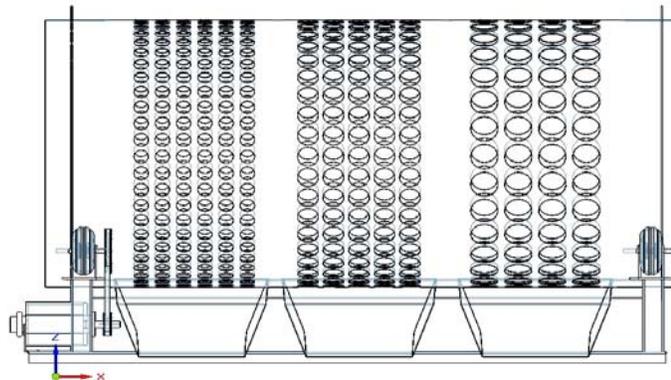
Figura 32. Esquema del Sistema de zaranda



Fuente: Los autores

– **Transmisión del sistema de clasificación.** Para el sistema de clasificación se emplea un sistema de tracción accionado mediante correa que gira una de las ruedas en las que se soporta el cilindro. El cilindro cuenta con un diámetro de 0,7 m.

Figura 33. Recolector del sistema de clasificación. Vista lateral



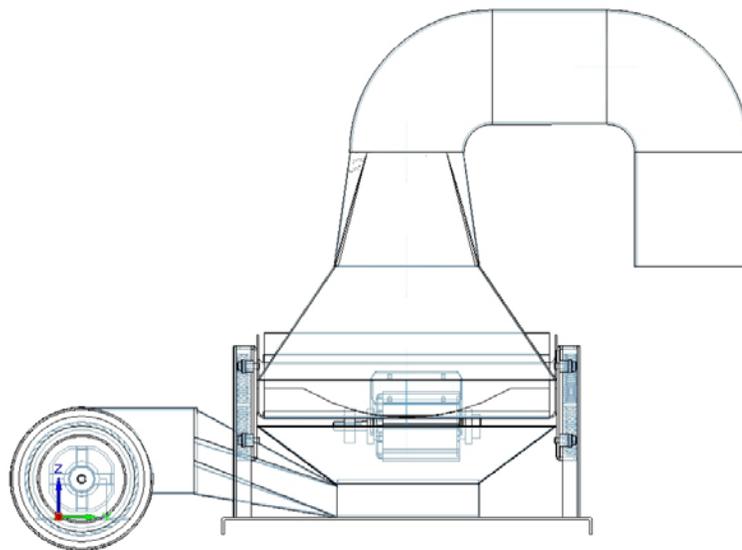
Fuente: Los autores.

La rueda que hace girar el cilindro tiene un diámetro de 0,123 m, con lo que se obtiene en su correlación una reducción de velocidad de 5,7:1.

Para la transmisión por correa se ha establecido una polea conductora la cual tiene un diámetro de 60 mm = 0,06 m, así como una polea conducida de 0,12 m, con lo que se espera obtener una reducción de velocidad de 2:1.

En total se obtiene una reducción de velocidad total en el sistema de transmisión de 11,4:1. De contar con un giro máximo del motor a 1800 RPM, es posible tener una velocidad de rotación de 157 RPM. Se reitera la necesidad de realizar pruebas con el fin de determinar la velocidad óptima de funcionamiento y calibrar su desempeño.

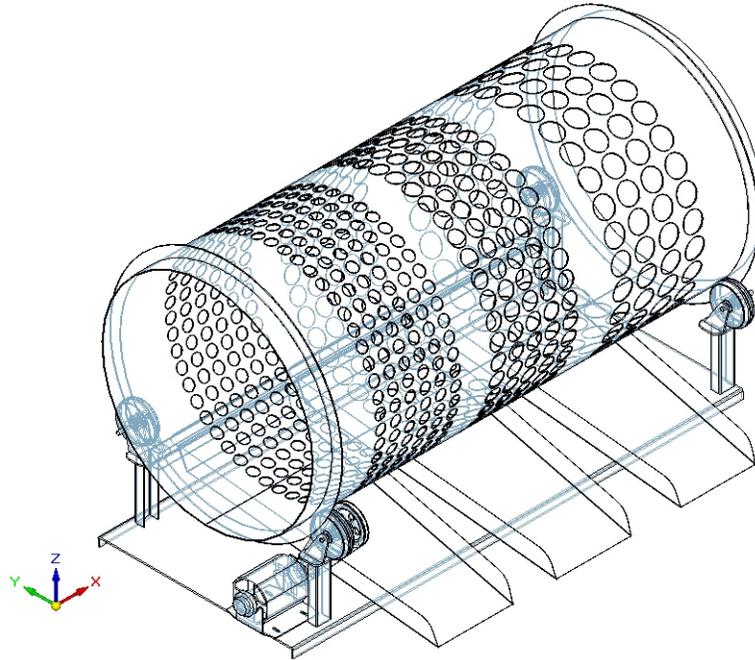
Figura 34. Sistema de flujo de aire transversal. Vista Frontal



Fuente: Los autores.

A continuación se muestra un esquema del montaje del sistema de clasificación.

Figura 35. Esquema del montaje del sistema de clasificación 3D.

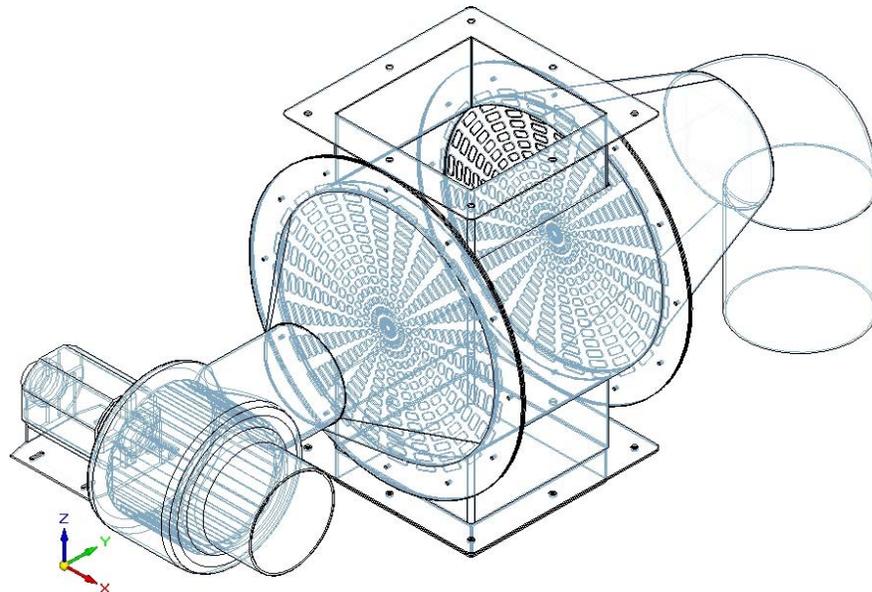


Fuente: Los autores

Este sistema posee un cilindro con tres secciones de agujeros correspondientes a los tres tamaños que se quieren clasificar. Las semillas entran por el lado izquierdo del cilindro y van recorriendo la superficie de este por la acción de rotación y una pequeña pendiente en el sentido izquierda derecha. Cada sección de agujeros cuenta con una bandeja que recolecta las semillas del respectivo tamaño, para su posterior uso.

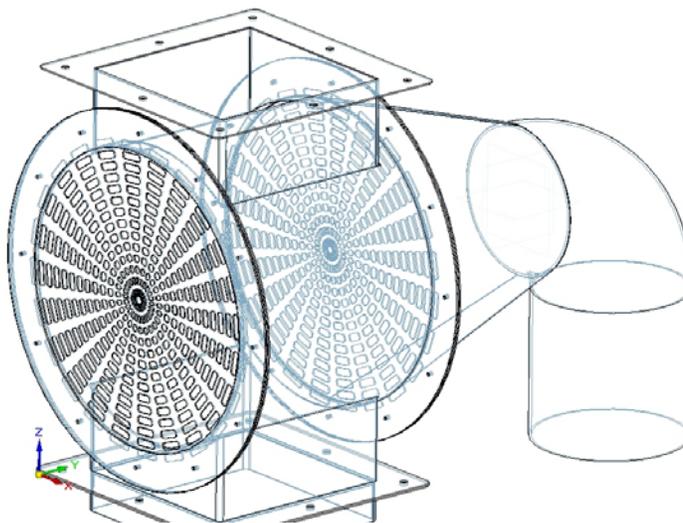
– **Sistema de flujo de aire transversal.** Al salir de los cepillos, las semillas pasan a través de este sistema de aire que extra las partículas finas de los residuos del endocarpo que han sido removidas en los anteriores procesos. Las rejillas impiden que las semillas sean arrastradas y expulsadas por el ducto de aire, logrando extraer solo las partículas finas.

Figura 36. Sistema de flujo de aire transversal. Vista isométrica.



Fuente: Los autores

Figura 37. Sistema de flujo de aire transversal. Vista isométrica.

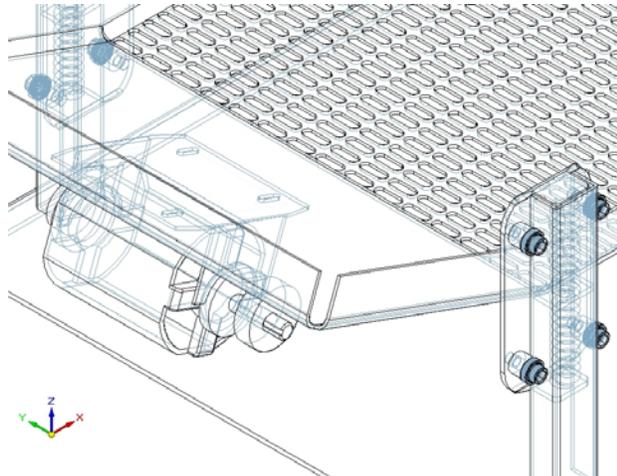


Fuente: Los autores

– Sistema Extractor. Este sistema tiene como función hacer pasar un flujo de aire a través de la zaranda , logrando enviar los residuos del endocarpo hacia la

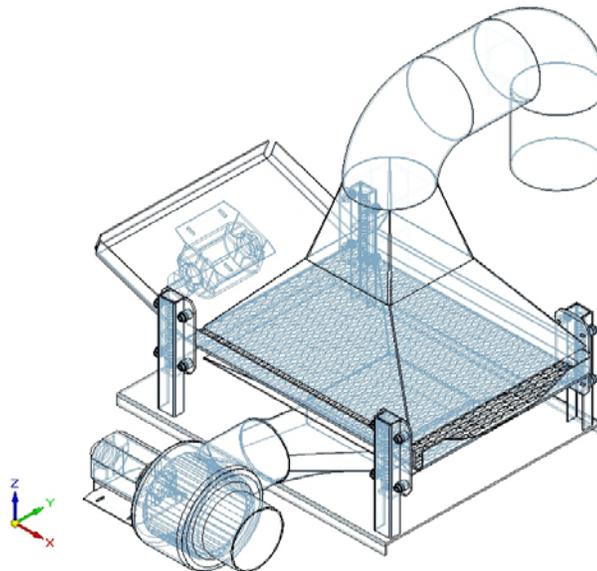
campana extractora ya que estos se encuentran en la parte superior por acción del movimiento vibratorio de la zaranda. Con este procedimiento se obtiene la limpieza total de la semilla.

Figura 38. Sistema de flujo de aire transversal. Detalle.



Fuente: Los autores

Figura 39. Sistema de flujo de aire transversal



Fuente: Los autores

Los costos se evaluaron con precios de componentes materiales y procesos cotizados en la ciudad de Bogotá D.C. Y tienen una vigencia de 60 días.

ÍTEM	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL
Motores AC con control de potencia PWM.	6	\$250.000.	\$1.500.000
Sistemas de transmisión por correa	5	\$180.000	\$900.000
Sistema de engranajes	1	\$150.000	\$300.000
Rodamientos Radiales con Brida	6	\$90.000	\$540.000
Rodamientos Radiales de bolas	20	\$10.000	200.000
Ventiladores Radiales	2	\$120.000	\$240.000
Tuberia de aire	2	\$300.000	\$600.000
Tornillería	1	\$200.000	\$200.000
Ruedas de polipropileno	4	\$25.000	\$100.000
Materiales y manufactura ejes	5	\$200.000	\$1.000.000
Materiales y manufactura otros componentes	1	\$1.200.000	\$1.200.000
Lamina cold-roll de 3 mm	5	\$250.000	\$1.250.000
Lamina cold-roll de 2 mm	2	\$200.000	\$400.000
Costo corte láminas	1	\$2.500.000	\$2.500.000
Costo Punzonado de láminas	1	\$2.800.000	\$2.800.000
Costo Doblado de láminas	1	\$1.800.000	\$1.800.000
Otros elementos estructurales	1	\$450.000	\$450.000
Costo Ensamble	1	\$1.500.000	\$1.500.000
Costo planos y documentos	1	\$1.200.000	\$1.200.000
Costo Diseño	1	\$4.800.000	\$4.800.000
COSTO TOTAL			\$23.480.000

CONCLUSIONES

El trabajo desarrollado permitió determinar la viabilidad de negocio de la tagua con miras a implementar una maquinaria que permita el procesamiento de la semilla, causando el menor daño posible al producto final.

Este proyecto se convierte en un aporte para los artesanos, ya que gracias a la formación como ingenieros mecatrónicos se puede afirmar que se está en la capacidad de colaborar en el proceso de producción de este producto.

Este trabajo es un aporte al equilibrio ambiental, ya que con la promoción de la comercialización de la tagua, así como su tecnificación en la producción, se incentiva el desarrollo sostenible, pues este material se convierte en una alternativa a fuentes de materiales parecidos que tienen un alto costo ecológico, como por ejemplo los derivados del petróleo o la caza indiscriminada e ilegal de elefantes.

El proceso de escarificación mediante el proceso mecánico propuesto, tiene las siguientes ventajas:

- Reducción en los tiempos de producción para el aprovechamiento óptimo del material.
- Reducción en costos de alimentación energética.

– Aumento de la seguridad industrial: lo que beneficia directamente a los trabajadores de la tagua, puesto que con el procedimiento automatizado propuesto se reducen ostensiblemente los accidentes, ya que la intervención humana se reduce a la alimentación de la máquina.

Como se ha insistido a lo largo del trabajo, la experimentación directa con un prototipo permitirá la mejora en cuanto a eficacia y eficiencia de la maquinaria, ya que de acuerdo a la experiencia directa se pueden hacer los ajustes del caso, como la calibración de la velocidad de los motores, entre otros.

Debido a las dimensiones de la máquina, se ha pensado en una escalera, mediante la cual el operario alimentaría la maquinaria. Debido a la condición de inestabilidad que puede dar esta escalera, se propone su reemplazo por una transportadora elevadora, que minimice el riesgo para el operario.

Para un procesamiento mayor continuo de materia prima, se sugiere el aumento de las dimensiones de la tolva superior.

BIBLIOGRAFÍA

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE FLEXIÓN Y EXTENSIÓN DEL ANTEBRAZO
documento disponible en: http://www.mundokinesio.com.ar/inicio/index.php?option=com_content&task=view&id=188&Itemid=66 Descargado el 1 de Abril de 2008

BARUH H. 1999. Analytical Dynamics. WCB Mc Graw Hill.

CINPES 14ª Conferencia CITES culmina con sorprendentes acuerdos y decepciones
Centro internacional de política económica. Disponible en:
http://www.ictsd.org/puen_quince/07-06-26/art2.htm recuperado el 27 de abril de 2008

ICANH. La economía extractiva en el pacífico colombiana. En: Geografía Humana de Colombia Afrocolombianos. ICANH. Instituto Colombiano de Antropología e Historia. 2006.

IFAW. Se votará sobre el comercio internacional de elefantes, ballenas, tigres y tiburones en la reunión de la CITES. Fondo Internacional para la Protección de los Animales y su Hábitat. Disponible en: <http://www.ifaw.org/ifaw/general/default.aspx?oid=213682> recuperado el 15 de febrero de 2008.

JIMÉNEZ, Edwin. Sistema de escarificación de semillas de tagua para mejorar la germinación. En: Revista tecnológica. Vol. 17. No. 1. Junio 2004. Documento PDF Disponible en: [www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2004/SISTEMA DEESCARIFICACION.pdf](http://www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2004/SISTEMA_DEESCARIFICACION.pdf) recuperado el 3 de diciembre de 2007

MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR. Observatorio Nacional de Biocomercio. 2007.

NORTON, Robert L.. Diseño de Máquinas. Pretince Hall. 2004

OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION. 13 de abril de 2006. Documento PDF disponible en: <http://www.phthalates.com/upload/documents/document40.pdf> recuperado el 7 de diciembre de 2007

PIÑEROS CORTÉS, Francisco Investigación sobre la tagua. Artesanías de Colombia. Grupo de investigación de Colciencias. 2004. p. 27

SALAZAR, Jaime. Desarrollo de la capacidad de transformación de la tagua. Centro de Investigación y Documentación Artesanal "CENDAR". Ministerio de Comercio, industria y comercio. Bogotá D.C., 2002. p. 31

SCHROCK, J. Montaje ajuste y verificación de elementos de máquinas. Reverté, S.A. 1981

SIFORESTAL. "La tagua o yarina". Documento disponible en: <http://www.siforestal.org.pe/Yari-na.htm> recuperado el 12 de enero de 2008

EWAKULAK. Tagua – Marfil Vegetal. Archivo electrónico on-line. Disponible en: http://www.ewakulak.com/colombia/asiescolombia/tagua_marfil_vegetal.html descargado el 15 de abril de 2008.

TORRES, Claudia. 2006. "Diagnóstico inicial sobre manejo in situ y protocolos de aprovechamiento de productos no maderables del bosque (werregue, damagua, tagua, iraca y paja blanca) que se utilizan con fines artesanales por parte de grupos apoyados desde AID to Artisans Colombia - ATAC". Convenio

de Asociación N° 064 de 2005 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Fundación AID to Artisans Colombia – ATAC. Acompañamiento del Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá

ANEXOS