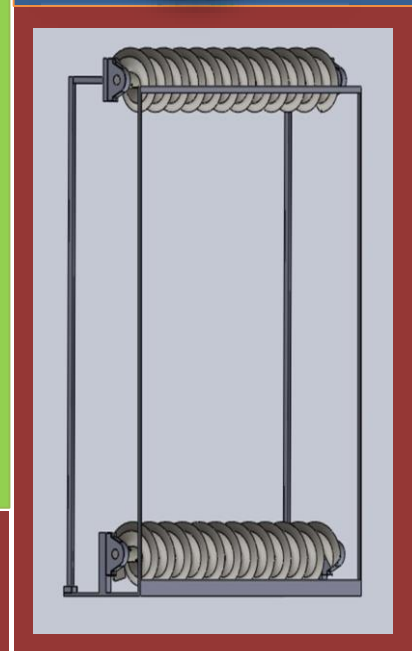


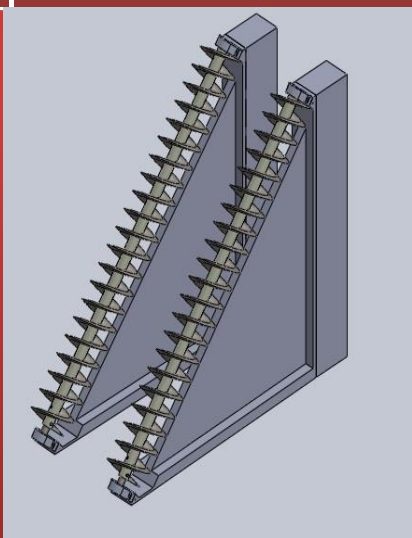
“PRIMERA ETAPA, DISEÑO  
DE MECANISMO DE  
CONDUCCION Y SEGADO  
PARA COSECHADORA DE  
CAÑA DE AZUCAR EN  
VERDE”



ING. MECANICA

**PRESENTA:**

**EXON ROBLES CABALLERO**



## INDICE

Introducción

### CAPITULO 1

1.1 Definición del problema.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos	
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivo específico.....	3
1.4 Alcances y limitaciones	
1.4.1 Alcances.....	3
1.4.2 Limitaciones.....	4
1.5 Hipótesis.....	4

### CAPITULO 2: HISTORIA DEL ARTE

2.1 Antecedentes.....	6
2.1.2 Historia de las máquinas cosechadoras de caña de azúcar.....	7
2.1.3 Prototipo de cosechadora de caña de azúcar en verde.....	8

### CAPITULO 3: FUNDAMENTO TEORICO

3.1 Sistema de cosecha de la caña de azúcar.....	12
3.1.1 Desventajas de la quema de la caña de azúcar.....	13
3.1.2 Desventajas de la cosecha en verde.....	18
3.1.3 Ventajas de la cosecha en verde.....	19

---



“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

---

3.2 Tornillo sinfín.....	21
3.2.1 Clasificación.....	22
3.2.2 Aplicaciones.....	25
3.2.3 Ventajas.....	28
3.2.4 Desventajas.....	28
3.3 Disco para el corte mecánico de la caña.....	29
3.3.1 Tipos de materiales.....	29
3.3.2 Tipos de discos.....	30
3.4 Modelo de cálculo para los tornillos de transporte.....	31
3.5 Modelo de cálculo para los tornillos sinfín de levantamiento	
3.5.1 Teoría de fallas para carga estática.....	34
3.5.2 Teoría de la energía de distorsión (TED).....	35
3.5.3 Teoría del esfuerzo cortante máximo (TECM).....	37
3.5.4 Teoría del esfuerzo normal máximo (TENM).....	39
3.5.5 Teoría de la fricción interna (TFI).....	40
3.5.6 Teoría modificada de Mohr (TMM).....	40
3.6 Diseño de ejes	
3.6.1 Análisis por resistencia bajo carga estática.....	41
3.7 Flecha de una viga.....	44

---



## CAPITULO 4: MEMORIA DE CÁLCULO

4.1 Cálculos tornillo sinfín de trasporte.....	48
4.1.2 Selección de chumaceras.....	54
4.2 Calculo tornillos de levantamiento.....	56
4.2.1 Análisis estático del eje que soportara nuestro sinfín.....	58
4.2.2 Selección de chumaceras.....	63
4.3 Selección del disco de corte.....	64
4.4 Bastidor.....	65
4.5 Analizando el pandeo en el eje que soportara el tornillo sinfín.....	67

Conclusión y recomendación

Referencias bibliográficas y virtuales

Tablas



## Introducción

La residencia profesional es la actividad realizada mediante el desarrollo de un proyecto especializado a la aplicación de un modelo de ingeniería, que los estudiantes de un Instituto Tecnológico a nivel profesional deben realizar para efecto de un desarrollo en el ámbito laboral donde se aplican los conocimientos adquiridos durante el curso de la carrera profesional.

En el mercado existen maquinarias que realizan el corte de la caña en verde troceada lo que genera pérdidas para el industrial. Básicamente porque se acelera la inversión de azúcares y pérdida de sacarosa antes de ser industrializada, además se inicia el proceso de degradación orgánica, favoreciendo la proliferación de microorganismos y hongos que contribuyen a la generación de azúcares reductores.

El proyecto de residencia profesional “Primera etapa, diseño de mecanismo de conducción y segado para cosechadora de caña de azúcar en verde”, el cual tiene su desarrollo en este reporte, muestra claramente la realización del diseño de un mecanismo para la conducción y cegado de la caña de azúcar en verde.

En este reporte se resaltan las ventajas que tiene nuestro dispositivo diseñado para el corte de la caña de azúcar en verde.



# CAPITULO

# 1

## 1.1 Definición del problema

La actualidad de la gramínea en el estado la podemos distinguir desde dos ópticas, la social económica y la social ambiental. Cabe destacar que en nuestra región el mosaico productivo lo integran básicamente pequeños y medianos productores, los cuales, por si fuera poco carecen, en su gran mayoría, de sentido empresarial.

Socialmente, observamos la necesidad del productor generar ingresos para su sustento familiar teniendo que ingresar su caña para fabricación de azúcar y para poder realizar dicha actividad se requiere de personal para poder cosechar esa caña, misma que por su naturaleza tiene follaje con espinas diminutas llamadas comúnmente aguates que se incrustan en la piel y extremidades de los encargados de realizar la cosecha (cortadores de caña); de ahí que, para que los cortadores, no tengan problemas para realizar el corte a la altura deseada de la caña, el productor prefiere quemar el cañaveral en forma controlada y con ello mantener a sus trabajadores y asegurar su ingreso económico al ingresar la caña al Ingenio.

La quema es una práctica antigua que pese a ofrecer ligeros beneficios contribuye en gran medida a la generación de gases de efecto invernadero, contaminando el ambiente y generando el malestar social; si bien la fabricación de azúcar es el motor económico de la zona es necesario realizar cambios en pro tanto del medio ambiente como del beneficio social.

Las quemas en la agricultura son una práctica remota en nuestras tierras, existen manifestaciones de ellas anteriores al momento de nuestra colonización no obstante, la manera como la realizan nuestros indígenas no produce tan severas consecuencias en el ambiente.

Es en los últimos años y debido a la concienciación de la protección al ambiente que las mismas vuelven a adquirir importancia, generando una serie de roles entre los productores de caña de azúcar, los legisladores responsables de la regulación tanto del sector agrícola, el energético, el sector ambiental y el industrial azucarero.

## 1.2 Justificación

En el cañaveral se ha observado que en los surcos siempre hay varas o cañas que se encuentran tiradas por ello la necesidad del diseño de los tornillos de levantamiento para aprovechar el 100% de las cañas.

Actualmente en el mercado existen cosechadoras que realizan el corte de la caña en verde pero en forma troceada lo que genera perdida para el industrial debido a que se acelera la inversión de azucares y perdida de sacarosa antes de ser industrializada, además de que se inicia el proceso de degradación orgánica generando microorganismos y hongos que contribuyen a la generación de azucares reductores.

Por tal motivo el industrial prefiere que la caña sea fresca, entera y con gran cantidad de sacarosa útil.

Así también contribuimos al cuidado del medio ambiente y evitamos el deterioro del suelo evitando la quema de la caña realizada desde hace un tiempo atrás.



## **1.3Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

“Diseño de un implemento agrícola para la cosecha de caña entera en estado verde sin quema”.

### **1.3.2 Objetivo especifico**

Diseñar la primera etapa de un implemento agrícola, para la cosecha de caña de azúcar en verde entera; que permita levantar y conducir la vara de caña hacia la cuchilla segadora para el corte de caña a un nivel mínimo permisible del suelo.

## **1.4 Alcances y limitaciones**

### **1.4.1 Alcances**

- El presente trabajo considera el diseño de la primera etapa de un implemento agrícola, desde la toma y conducción de la vara de caña en verde hacia el corte o segado hasta el traslado vertical de la misma a la segunda etapa.
- Los dispositivos, elementos y accesorios se consideran dentro del mercado local, y considera la normatividad vigente.
- Obtener la mayor cantidad de sacarosa debido a que la cosecha de la caña de azúcar será en verde.
- Facilitar el trabajo a los agricultores.
- Disminuir los tiempos muertos, ya que se tendrá la disponibilidad del equipo.

### 1.4.2 Limitaciones

- Unas de las limitaciones seria que los tornillos sinfín únicamente se han usado para el transporte de polvos o granos no en el transporte de caña de azúcar.
- Otra de las limitantes son las diferentes dimensiones de la caña en verde debido a que las variedades de la caña pueden diferenciar sus tamaños y eso afectaría en el corte.
- El exceso de caña en verde puede generar amontonamiento entre los tornillos de levantamiento y los de transporte ocasionando daño sobre la superficie de la caña de azúcar.
- La topografía, tipología y geología del terreno se han considerado idealmente para las condiciones prevalecientes en pujiltic.

### 1.5 Hipótesis

Realizar un diseño mecánico de unos tornillos sinfín para el transporte vertical de la caña cortada en verde además de los tornillos de levantamiento de la caña que se encuentra tirada para aprovechar el 100% de esta.

# CAPITULO 2

# HISTORIA

# DEL

# ARTE

## 2.1 Antecedentes

La caña de azúcar es uno de los principales cultivos agrícolas de nuestro país que alcanza hasta tres metros de altura de acuerdo a las condiciones a las que se exponga. La caña de azúcar crece en las zonas de clima húmedo cálido.

La productividad de la industria azucarera nacional ha estado limitada por el nivel tecnológico empleado por el campo cañero mexicano en el aprovechamiento de las potencialidades propicias para el cultivo de la caña de azúcar y la obtención de rendimientos sustanciales de biomasa que le permita competir al Sistema Producto de la Caña de Azúcar, con otros cultivos de la misma región. La cosecha de volúmenes elevados de biomasa fresca con alto contenido de azúcares, es el punto crítico de este sistema de producción y en especial de la industria azucarera del país.

Desde el punto de vista geográfico, los ingenios del país se ubican en las regiones climáticas tropicales y subtropicales donde el clima y los suelos posibilitan rendimientos de más de 40 toneladas de caña por hectárea bajo condiciones de temporal.

Sin embargo, la presión que ejercen los insumos e intensidad de mecanización agrícola aplicados al cultivo reflejados en los costos de producción, en un afán de los productores por lograr cosechas más elevadas, es motivo de que en la actualidad algunos ingenios cosechen más de 120 ton/ha de caña por año.

Esta situación ha originado un amplio rango tecnológico y de productividad entre los ingenios del país.

### 2.1.1 Historia de las máquinas cosechadoras de caña de azúcar

El primer prototipo de máquina cosechadora de caña de azúcar fue creado en Australia en el año 1940 por los hermanos Harold y Colin Toft como consecuencia de la costosa mano de obra a causa del inicio de la Segunda Guerra Mundial. La máquina inicial era un cargador mecánico para caña con cortadora de base constituido esencialmente por un brazo móvil con una pinza o gancho para izar manojos de caña en un camión. Posteriormente se adaptó un montacargas mecánico de caña entera.

En 1968, los Toft lanzaron su primera cosechadora de caña picada tipo chooper, la cual se construyó básicamente con partes de tractores, cajas de transmisión y diferenciales mecánicos. En el año 1977 se sustituyeron todos los complejos mecanismos mecánicos por mecanismos hidráulicos y en 1985 se adaptaron sistemas de rodillo picador rotativo y sistemas extractores de hojas que permitieron recoger una materia prima bastante limpia cuando se trataba de corte en verde.

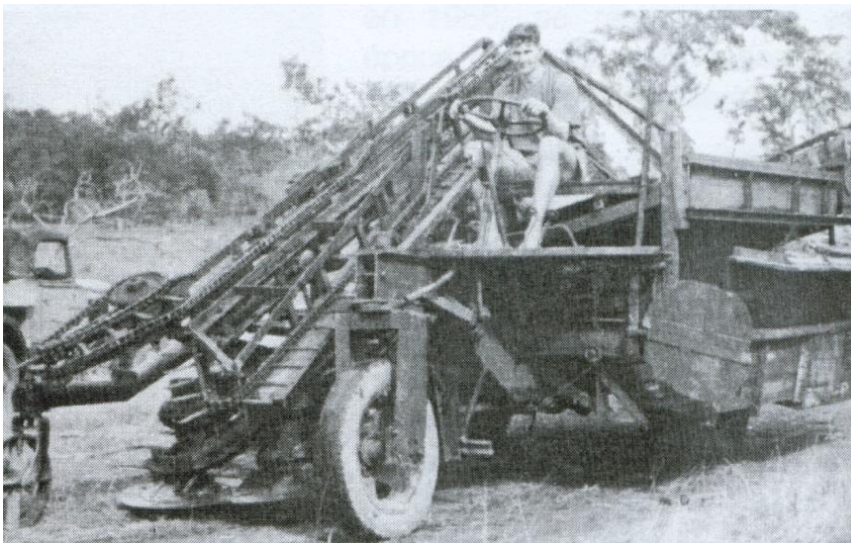


Figura No. 1 maquina cosechadora de caña de azúcar

### 2.1.2 Prototipo de cosechadora de caña de azúcar en verde

Autoridades del INTA y el Gobierno realizaron la entrega formal del 1º modelo de Cosechadora de Caña en Verde construido en la Provincia para la Cooperativa San Antonio de La Tuna Ltda., del departamento Simoca de la provincia de Tucumán.



Figura No. 2: Cosechadora de caña en verde

La máquina fue desarrollada por el INTA y construida por el Consorcio Metalmecánico de Tucumán (integrado por los Talleres González & Fortini, Mecánica y Mecanizados Mesón y Metalúrgica Col-Ixon Metal SA.) con el financiamiento del Gobierno de la Provincia.

Si bien es un modelo que tiene modificaciones con respecto a los prototipos desarrollados por el INTA Reconquista desde el año 2009, “todavía se considera un modelo preindustrial en función de las etapas de ajuste y confiabilidad que seguirán en evaluación al inicio de la próxima cosecha, ya en predios de los productores”, explicó el Ing. Agr. Carlos Aragón, Jefe de la AER Aguilares del INTA Famaillá.

La cosechadora es un equipo que va acoplado al tractor y realiza el despunte, corte basal y pelado de la caña para enviarla a un carro de transporte que tiene un sistema con posibilidad de vuelco. “Parte de la innovación fue adaptarla a los tipos de terreno y a la altura de los surcos que tenemos en los predios de los cañeros de la Provincia”, señaló Aragón.

Durante el acto se definieron las pautas de mantenimiento, servicios y puesta en funcionamiento de la máquina, así como su acondicionamiento a las capacidades de tracción por parte de la Cooperativa y la capacitación de los operarios.

La máquina va a ser una gran cosa para nosotros porque hasta ahora siempre hemos hecho todo manual y estos últimos años ha sido un retroceso porque ya no hay gente para hacer este tipo de trabajo. Y si mañana se hace el no quemado de caña estaríamos quedando en el aire, pero con esto, gracias a dios y a la gente que de una u otra forma nos ha colaborado, creo que vamos a salir de este aprieto. Agradezco a todos los que han hecho mucho por nosotros”.

Por su parte, el Ing. Horacio Jáñez destacó la gran expectativa y alegría que genera haber llegado a este día, después de 3 o 4 años de trabajo desde que todo comenzó como una idea hasta convertirse hoy en un hecho concreto. “Se trata de una máquina desarrollada para los pequeños productores, y no adoptada de ninguna otra tecnología, que tiene principios técnicos que no tienen nada que envidiarle a otras máquinas que claramente no responden a las necesidades del pequeño productor cañero. Este esfuerzo demuestra cómo desde las posibilidades y capacidades que tiene cada una de las instituciones pueden juntarse para resolver un problema del hombre del campo”.

El Director del Centro Regional Tucumán-Santiago del Estero del INTA explicó que “así llegamos a esta maquineta que nos enorgullece a todos los que participamos en ella. Esperamos que a su tiempo brinde sus frutos y sea una herramienta reconocida porque es útil. Y si no es así, esperamos las críticas para seguir mejorándola porque nuestra idea es que no debe haber ningún productor que no tenga la posibilidad de acceder a la mejor tecnología posible”.

“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

---

El Ing. Miguel Cerviño, en representación del Gobierno de la Provincia, sostuvo que el hecho de estar entregando la primera máquina es un momento esperado por todos, en un proceso que arranco hace más de 3 años en la primera reunión en el INTA Famaillá donde se hablaba de una de las problemáticas del sector cañero, la quema en la cosecha, sabiendo que hay una ley en la provincia que permite la quema hasta el 2011 y, por lo tanto, el apuro de generar una tecnología adaptada al pequeño productor que vaya en el sentido de la conservación del medio ambiente y de mejorar su trabajo.

Así, después de todas las pruebas se logró el objetivo de que la máquina esté funcionando en un proceso que, como cualquier prototipo, es de mejora continua.

“Quiero resaltar que el INTA tomo la decisión de realizar el primer prototipo en el INTA Reconquista con gente muy valiosa y comprometida. A partir allí comenzó a gestarse la posibilidad de tenerla. También agradecer al Consorcio Metalmecánico de Tucumán porque esta fue una decisión de empresas pequeñas y medianas locales que tomaron la posta de volver a hacer una máquina de estas características en la provincia.

Por último, destacar que el INTA haya accedido al pedido del gobierno de fabricar la maquina en Tucumán para volver a realizar nuevos productos y actualizar los conocimientos, además de la posibilidad de generar mano de obra”, destacó el funcionario.

Después de la entrega de la 1º máquina, ya se encuentran en construcción un segundo y tercer modelo que serán destinados a las Cooperativas Los Barrientos y 20 de Junio, dando continuidad al proceso iniciado con el desarrollo de la cosechadora.



# **CAPITULO 3:**

# **MARCO**

# **TEÓRICO**

### 3.1 Sistemas de cosecha de la caña de azúcar

La cosecha de la caña de azúcar es realizada por diferentes métodos o sistemas, el uso de uno o varios sistemas de cosecha en una región va a depender de una serie de factores como la topografía y condiciones del terreno, características climáticas, nivel tecnológico, disponibilidad económica y contexto social entre otros.

Inicialmente, indica Humbert (1976), a nivel mundial la caña de azúcar se cortaba a mano limpiando cuidadosamente las cañas, las puntas o cogollos eran atados en manojos para su uso como forraje y los tallos de caña eran cargados a mano para ser transportados a la fábrica. Conforme avanza la expansión del cultivo y el desarrollo tecnológico, se cambió primero al alce mecanizado y más tarde al corte y alce mecanizado con cosechadoras combinadas de caña de azúcar. Este avance tecnológico ocasionó un aumento de la materia extraña a nivel de las fábricas, lo que causó problemas en la extracción de la sacarosa, por lo que se adoptó como práctica rutinaria la quema de los campos de caña antes de su cosecha.

Cárdenas (1995) acota que la cosecha de caña de azúcar, que al comienzo se realizaba por métodos simples, se cosecha actualmente por procesos tecnológicos más complejos donde la caña sufre una transformación física y química, razón por la cual se debe prestar atención a la hora de la utilización de estas nuevas técnicas.

Gómez (1983) indica que la caña de azúcar se puede cosechar de dos formas: una quemando la caña y otra sin quemarla o cruda, agrega además que la gran mayoría de las zonas donde se cultiva la caña de azúcar queman los campos antes de proceder a su cosecha con la finalidad de reducir la cantidad de materia extraña que va a los centrales y facilitar el trabajo de los corteros y de las cosechadoras.

De igual forma Cárdenas (1995) señala que la caña de azúcar se puede cosechar en verde o realizando una quema previa a su cosecha, además indica que existen dos tipos de corte el manual y el mecanizado con cosechadora combinada.

En relación al corte manual en verde, Viveros (1999) describe dos tipos: el corte convencional y el corte limpio. El corte convencional es aquel en el cual el cortero corta el tallo de la caña de azúcar por la base, lo despunta eliminando el cogollo y lo coloca en forma perpendicular a los surcos formando un motón, para que más tarde sea cargado a la unidad de transporte por una cargadora o "jaiba".

En este sistema los tallos de caña de azúcar llevan las hojas adheridas a este.

En el corte manual verde limpio el cortero remueve las hojas adheridas al tallo, corta el tallo en la base, descogolla y coloca la caña en el motón; adicionalmente realiza una completa limpieza de la cama y de la zona lateral entre los motones de caña para evitar que los residuos sean cargados junto con los tallos de caña de azúcar.

En cuanto a la cosecha mecanizada actualmente se utilizan cosechadoras que pueden realizar una labor combinada, es decir, estas despuntan los tallos de caña, los cortan en por su base, seccionan los tallos en pequeños trozos, extraen impurezas y descargan la caña a la unidad de transporte. Estas cosechadoras pueden cosechar la caña de azúcar quemada o sin quemar.

Cárdenas (1995) expone que al usar cosechadoras combinadas de caña de azúcar aumenta el porcentaje de materia extraña que va al central, por lo que en muchas regiones se procede a quemar la caña antes de cosecharla. En algunos países que realizan la cosecha en verde mecanizada existen estaciones de limpieza antes de llegar a la factoría para reducir la cantidad de materia extraña que llega a esta.

### **3.1.1 Desventajas de la quema de la caña de azúcar**

Ripoli (2000) indica que al quemar la caña de azúcar, como actividad previa a la cosecha, se presentan una serie de problemas ambientales como lo son:

- Incremento de la contaminación del aire.

- Posibilidad de pérdida de control del fuego en los campos.
- Interrupciones ocasionales en las líneas de alto voltaje cercanas a los campos de caña.
- Destrucción de los microorganismos de las capas superficiales del suelo
- Pérdida de materia orgánica que puede ser incorporada al suelo para mejorar sus condiciones.
  
- Dificultad en el uso del control biológico.
- Incremento de los niveles de ozono en la baja atmósfera y del monóxido de carbono.
- Adicionalmente agrega que al momento de la quema la temperatura alcanza valores muy elevados, por lo que la sacarosa es exudada de los tallos de caña y se pierde, además el suelo puede pegarse a esta sacarosa exudada y contaminar los tallos.

En lo que respecta a la contaminación atmosférica, Molina (1998) menciona que las quemas agrícolas, entre ellas la quema de la caña de azúcar antes y después de la cosecha, se encuentra junto a otros factores como causa del deterioro de la calidad del aire. La adopción de la quema antes de la cosecha para facilitar este trabajo y de la requema de los residuos para facilitar las labores pos cosecha, generan un impacto ambiental negativo sobre todo en las poblaciones asentadas alrededor de las áreas de cultivo de la caña de azúcar.

Igualmente en un estudio realizado en el Valle del Cauca, Colombia, por la Universidad de la Salle y citado por Molina (1998), con el fin de evaluar la contaminación atmosférica generada por la quema de la caña de azúcar y su proceso agroindustrial, se obtuvieron las cifras en cuanto a la emisión de partículas, monóxido de carbono, hidrocarburos y SO<sub>2</sub> que se observan en el cuadro 1. En los reportes mensuales hay coincidencia entre los valores más altos de partículas en suspensión y la época de la quema de la caña de azúcar en algunas de las zonas estudiadas.

Este estudio, al igual que Hernández (1995), sugiere que el deterioro de la calidad del aire está generando consecuencias en la salud de los habitantes, al observar un incremento

“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

en los casos de infecciones y trastornos respiratorios. Sin embargo existen pocos estudios que permitan establecer con mayor precisión, una correlación entre las altas tasas de enfermedades respiratorias y la contaminación atmosférica.

Tabla 10. Cuantificación de la contaminación por emisiones atmosféricas producidas por hectárea y por año en el Valle del Cauca con el cultivo de la caña de azúcar.

Fuente	Partículas		CO		Hidrocarburos		SO2	
	kg/ha	kg/año *	kg/ha	kg/año	kg/ha	kg/año *	kg/ha	kg/año *
<b>Quema</b>	76	12600	822	136620	121	20160		
<b>Requema</b>	44	7380	496	82640	70	11700		
<b>Calderas</b>	280	51600					62	11400
<b>Total</b>	400	71580	1318	219060	191	31860	62	11400

\* en miles

Por otro lado tenemos que la quema de la caña de azúcar tiene un efecto directo sobre las capas superficiales del suelo. Crovetto (1992) señala que los rastrojos sobre el suelo son una gran oportunidad para fortalecer sus aspectos bióticos (animal y vegetal) y hacerlo más productivo a mediano plazo. Estos organismos al descomponerse se transforman en humus que es fundamental para las buenas condiciones físicas y químicas del suelo, por lo que no se forman los coloides orgánicos fundamentales para mejorar la estructura y la estabilidad del suelo.

“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

---

Aparte Molina (1998) indica que las quemas agrícolas generan problemas en el suelo los cuales se manifiestan principalmente en la pérdida de materia orgánica, compactación y en algunas zonas incremento de la salinización. Por su parte el manejo inadecuado de la maquinaria y la mayor periodicidad de las labores mecánicas, afectan la estructura del suelo, originando una mayor compactación lo que conlleva al uso de prácticas adicionales para tratar de mitigar este efecto.

Añade Molina (1998) que la quema de la caña de azúcar, aparte de incrementar la temperatura del suelo en sus capas superficiales y disminuir considerablemente la diversidad y actividad de los microorganismos presentes, priva al suelo de incorporar materia orgánica que el mismo contribuyó a formar y que podría reciclarse para mantener la capacidad productiva de ese suelo.

La población microbiana tiene un efecto considerable sobre las condiciones del suelo. Molina (1998) evaluó el efecto de la quema sobre la cantidad de microorganismos presentes en el suelo, adicionalmente midió la compactación bajo los manejos de quema y no quema de la caña de azúcar. Los resultados se muestran en el cuadro 2.

Tabla 11. Estimación de las poblaciones de bacterias y hongos, grado de compactación y valoración del impacto ambiental en suelos de caña de azúcar con y sin quema, después del corte.

<b>Tratamiento</b>	<b>Población Bacterias gr/S.seco</b>	<b>Población Hongos gr/S.seco</b>	<b>Penetrabilidad Horizontal Kg/cm2</b>	<b>Penetrabilidad Vertical Kg fuerza</b>
<b>2 x 1 sin quema</b>	161.082.496	83.875.000	2,72	34,94
<b>4 x 1 quemada</b>	52.180.000	29.905.000	3,84	49,80

“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

<b>Diferencia</b>	108.902.496	53.970.000	-1,12	-14,96
<b>Efecto diferencia (%)</b>	209	180	29	30

Otro problema que es generado por la quema de la caña son las pérdidas de sacarosa. En ese orden de ideas Cárdenas (1995) señala que al cosechar la caña se manifiestan dos tipos de deterioro: el químico y el microbiológico, la presencia o predominio de estos depende de los métodos y equipos utilizados en la cosecha. En ambos procesos de deterioro lo que sucede es la ruptura de las moléculas de sacarosa contenidas en los tallos de caña. En el cuadro 3 se observan pérdidas de sacarosa según el sistema de cosecha y tiempo transcurrido después del corte.

Tabla # 12. Afectación al % de rendimiento en azúcar de 12% de Pol en caña por los diferentes tipos de cosecha.

<b>Tiempo (horas)</b>	<b>Entera Verde</b>	<b>Entera Quemada</b>	<b>Troceada Verde</b>	<b>Troceada Quemada</b>
<b>24</b>	0,28	0,40	0,46	0,90
<b>48</b>	0,34	0,60	0,90	1,56
<b>72</b>	0,48	0,63	1,16	3,16

### **3.1.2 Desventajas de la cosecha en verde**

Una agricultura productiva con altos rendimientos, generalmente produce también abundante cantidad de residuos agrícolas. El manejo de estos residuos es un verdadero arte y está relacionado con el éxito en la conservación del suelo y una producción agrícola rentable. Existe un rechazo por parte de los agricultores a la presencia de esta gran cantidad de residuos sobre el suelo, principalmente por la dificultad en las labores pos cosecha. Esta situación lleva a los agricultores a eliminar estos residuos bien sea por extracción o por medio de la quema. (Crovetto, 1992)

Torres (1997) y Crovetto (1992) comparten opinión, al mencionar que existe un período crítico de 2 a 3 semanas después de la cosecha en verde de la caña de azúcar, especialmente si está cerca la época de lluvias, en el cual se debe evitar que los residuos de cosecha entren en contacto directo con las cepas de la caña, ya que el agua lixiviada por los residuos de cosecha tiene un efecto alelopático sobre las yemas que se encuentran en las cepas de la caña de azúcar.

En la época seca los residuos pueden permanecer cerca de las cepas aunque es necesario encalle (reubicarlos en los surcos) para facilitar las labores pos cosecha.

Por su parte Ripoli (2000) señala que la cosecha en verde de la caña de azúcar cuando se realiza de forma manual, presenta una fuerte oposición por parte de los corteros, ya



que este sistema de cosecha genera una serie de problemas: reducción en la capacidad de corte hasta en un 80%, dificultad en el corte, aumenta el ataque de abejas, escorpiones y serpientes. Cuando se utilizan las cosechadoras combinadas para la cosecha en verde, también se presentan algunos problemas como lo son la disminución de la capacidad de cosecha de la máquina, mayor contenido de materia extraña presente en los tallos cosechados, pérdidas de tallos, reducción de la visibilidad del operador de la cosechadora.

En cuanto a las poblaciones de insectos asociados al cultivo de la caña de azúcar, Gómez (1998) señala que en el Valle del Cauca la cosecha en verde de la caña genera cambios en estas poblaciones de insectos, en algunos casos mayor y en otros menor.

Torres (1997) señala que los residuos dejados por la cosecha en verde de la caña de azúcar sobre el campo, sometidos o no a labor de encalle, representan un riesgo considerable de quemas accidentales o intencionales en las cañas jóvenes, lo que afectaría considerablemente el desarrollo y la rentabilidad del cultivo.

### **3.1.3 Ventajas de la cosecha en verde**

En ese sentido Molina (1998) afirma que la cosecha en verde de la caña de azúcar es una práctica que ha sido bien aceptada en muchos países debido a los beneficios que presenta, aunque implica nuevos retos tecnológicos. La implementación de la cosecha en verde traería beneficios como la disminución de la contaminación ambiental, mejora en la estructura y fertilidad de los suelos y menores requerimientos hídricos, entre otros.

La cosecha en verde de la caña de azúcar, contribuye favorablemente al mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, principalmente por el aporte de materia orgánica conformada por la hojarasca.

Esta hojarasca u otros residuos vegetales que quedan sobre el suelo, cuando no se queman en las labores pre y pos cosecha, constituyen una de las principales formas de transferir materiales y energía para el sostenimiento de los procesos que se desarrollan en el suelo, forma parte del alimento y de la energía utilizada por los organismos responsables de la descomposición de estos compuestos. Este aporte de biomasa se convierte en una reserva de materia orgánica y de minerales que van a realizar un aporte muy importante en el sistema de producción sostenible del cultivo de la caña de azúcar, al promover el reciclaje de nutrientes, como consecuencia las necesidades de fertilización pueden ser menores en especial la de nitrógeno, Molina, (1998).

Igualmente estos residuos protegen al suelo al tener un efecto amortiguador al paso de la maquinaria, además de proteger a las cepas de caña sobre todo durante la cosecha y en especial en períodos húmedos; esto alarga la vida útil del cultivo y distancia los ciclos de renovación del mismo.

Crovetto (1992) señala que los residuos de cosecha en la superficie del suelo evita el impacto directo de las gotas de lluvia, disminuyen la destrucción de los agregados, la erosión hídrica y eólica, encostramiento y la escorrentía.

Briceño (1999) y Villegas (1999) concuerdan que los residuos de la cosecha en verde de la caña favorecen la infiltración del agua en el suelo, conservan la humedad, mejoran la fertilidad a mediano y largo plazo mediante el reciclado de nutrientes, a la vez que disminuyen la incidencia de malezas.

Otro beneficio de los residuos de cosecha es su uso en la alimentación animal. Así lo confirman Crovetto (1992) y Nouel (2003) al señalar que los rumiantes pueden aprovechar los residuos sobre todo en las épocas donde existe déficit en la oferta de alimento.

Además se pueden usar como cama en los corrales y en la lumbricultura.

El uso de residuos agrícolas en la cogeneración de electricidad. Ripoli (2000) y Briceño (1998) aseveran que se puede generar una cantidad significativa de electricidad por ser

abundante y renovable, al procesar estos residuos de diferentes formas (generación de vapor, gasificación). Esta electricidad es utilizada por los centrales azucareros o enviada a la red pública. Una tonelada de residuos de caña equivale a 1,28 barriles de petróleo.

### **3.2 Tornillo sinfín**

El Tornillo Sinfín, es uno de los aparatos más antiguos para transportar materiales que conoce la humanidad, el diseño original data de más de 2000 años. Desde que el transportador de Tornillo Sinfín apareció su uso se enfocó en instalaciones para regadío, transporte de granos, polvos finos y otros materiales al granel.

Los transportadores de tornillo sin fin son máquinas de transporte continuo con el órgano de tracción rígido que se emplean para la manipulación de residuos orgánicos en el tratamiento de aguas, transporte de sólidos en infinidad de industrias, teniendo aplicaciones de toda índole.

Diseñados para transportar cualquier tipo de material bien residuos orgánicos en el tratamiento de aguas, transporte de sólidos en infinidad de industrias y aplicaciones de toda índole, son equipos los cuales se diseñan según necesidades: tipo material a transportar, inclinación, caudal a transportar, velocidad de translación de los materiales, etc.

Según el uso que le queramos dar estos se fabricaran de diferentes formas y materiales, cambiando su geometría, tanto estructural como la espiral.

### 3.2.1 Clasificación

Los Transportadores de Tornillo Sinfín se clasifican según el paso en:

- Transportadores de paso estándar

Estos transportadores tienen un paso igual al diámetro, y se los denomina estándares, se utilizan para todas las aplicaciones comunes de transporte continuo de materiales a granel.

- Transportador de paso corto

Los transportadores helicoidales de paso corto son de construcción regular (estándar) excepto que el paso de los helicoidales está reducido a  $\frac{2}{3}$  del diámetro del sinfín. Se recomienda para uso en transportadores inclinados con inclinaciones de 20 grados o más; También son usados extensivamente en alimentadores helicoidales (feeders) y para controlar la carga transversal en el balance de un transportador cuando el paso corto es usado en la abertura de la entrada, esto es cuando la entrada no es uniformemente regulada.

- Transportadores de paso medio

Son similares a los de paso corto excepto que el paso es reducido a  $\frac{1}{2}$  del diámetro del Sinfín. Son utilizados en aplicaciones inclinadas, verticales, alimentadores y cuando conduzcan materiales extremadamente fluidos.

- Transportadores de paso largo

En este caso el paso es  $1-\frac{1}{2}$  veces el diámetro y son usados para agitar materiales fluidos o para mover materiales de flujo muy libre.

- Transportadores de paso variable

Estos transportadores consisten de helicoidales sencillos subsiguientes o en grupos que incrementan el paso. Se utilizan como alimentadores de helicoidales para mover uniformemente materiales de flujo libre a través de toda la longitud de la abertura de entrada o alimentación.

Los transportadores de Tornillo Sinfín se clasifican también según el tipo o forma del helicoide o espira en:

- Transportadores de espiras estándares

Estos transportadores tienen espiras completas y sólidas, y se los denomina estándares, se utiliza para todas las aplicaciones convencionales de transporte continuo de materiales al granel.

- Transportadores de espiras recortadas

En este caso, en el borde exterior de los espirales es recortada una sección a intervalos regulares. Permitiendo una acción adicional de mezcla y agitación en tránsito del material que se transporta. Es utili para transportar materiales que

tienden a compactarse y formar terrones, los cuales son destruidos por estos bordes cortantes.

- Transportadores de espiras recortadas y dobladas  
Similar al caso anterior, con la diferencia de que las secciones recortadas no son extraídas de los espirales, sino que son dobladas a 90 grados hacia el lado de giro del transportador. Obteniendo hace un efecto de retardo de flujo y mezcla en tránsito del material transportado, es útil para el calentamiento, enfriamiento o aireación de sustancias ligeras.
  
- Transportadores de cinta  
Los transportadores de cinta, son excelentes para transportar materiales pegajosos y viscosos. El espacio abierto entre el borde interior del espiral y el tubo, evita la acumulación de material conducido.
  
- Transportadores de espiras con paletas  
Son transportadores helicoidales estándar pero llevan paletas ajustables unidas al tubo y distribuidas siguiendo una trayectoria helicoidal opuesta a la del sinfín a lo largo del tubo sinfín. Lo que proporciona al material transportado una suave y completa mezcla.
  
- Transportadores de paletas  
Son transportadores que solo están formados de paletas ajustables unidas al tubo y distribuidas siguiendo una trayectoria helicoidal, cuyo paso es como se requiera.

Permite dar completa acción de mezcla y un flujo controlado a materiales granulares y finos.

### 3.2.2 Aplicaciones

Los transportadores de tornillo sin fin pueden operar sobre un plano horizontal e inclinado, con múltiples entradas y salidas. Con ellos se moviliza una amplia gama de materiales que tienen tendencia a fluir tales como granos, polvos, pellets e incluso algunos líquidos.

En aplicaciones especiales las características poco usuales más comunes de materiales que requieren consideraciones adicionales en el diseño de las partes componentes del transportador son:

- **Materiales Corrosivos.**- Los componentes pueden ser fabricados de aleaciones no afectados por el material o pueden ser cubiertos con sustancias de protección.
- **Materiales Contaminables.**- Requieren del uso de bujes para colgantes impregnados en aceite, sellados o de tipo seco. Los extremos de los ejes deben estar sellados para prevenir la entrada de contaminantes del exterior. Debido a la

necesidad de una limpieza frecuente, los componentes del transportador deben estar diseñados para un ensamblaje conveniente.

- **Materiales Abrasivos.-** Estos materiales pueden ser manejados en transportadores, artesas fabricadas de aleaciones resistentes a la abrasidad con helicoidales de superficie endurecida. El recubrimiento con hule o con resinas especiales de todas las superficies expuestas también reduce materialmente el daño abrasivo.
- **Materiales de traba o de contacto.-** La transportación con componentes estándares es en ocasiones posible utilizando mecanismos especiales de alimentación en la entrada del transportador.
- **Materiales Giroscópicos.-** Frecuentemente estos materiales pueden ser manejados exitosamente en un transportador que se encuentre substancialmente sellado del ambiente exterior.

En casos extremos es necesario proporcionar una artesa encamisada o con un medio de circulación adecuado para mantener el material a una temperatura elevada. También se utiliza la purga del transportador con un gas seco adecuado en algunas instalaciones.

- **Materiales viscosos o pegajosos.-** Los transportadores helicoidales de cinta son los más frecuentemente utilizados para transportar estos materiales aun cuando pueden recurrirse a componentes estándares para mejorar el flujo del material.
- **Vapores dañinos o polvos.-** Estos materiales pueden ser manejados con seguridad en artesas selladas, artesas tubulares sencillas o en artesas tubulares con ceja y



junta, prestando especial atención al sello de los ejes. Los sistemas de succión de artesa han sido utilizados exitosamente en algunas instalaciones.

- Mezcla en Transito.- Helicoide de cinta o con corte o una combinación de estos tipos de helicoides pueden ser diseñados para producir el grado deseado de mezcla u oreo.
- Polvos explosivos.- El peligro de esta condición puede ser minimizado en la mayoría de las instalaciones utilizando componentes fabricados de materiales no féreos y se siguen técnicas adecuadas de sellamiento de transportadores. También se recomiendan técnicas adecuadas de succión para remover polvos explosivos.
- Materiales sujetos a Compactarse.- Esta condición requiere el uso de mecanismos de oreo a la entrada del transportador cuando los materiales sean polvorientos y de un mecanismo especial de alimentación cuando las partículas de los materiales sean largas o fibrosas.
- Materiales que sean líquidos cuando se Orean.- Esta condición puede ser utilizada ventajosamente en algunas instalaciones declinando el sistema de transportador hacia el extremo de descarga.
- Materiales Degradables.- Algunas partículas que se rompen o distorsionan fácilmente pueden ser manejadas en transportadores helicoidales reduciendo la velocidad y seleccionando un tamaño mayor de transportador que sea suficiente para entregar el volumen requerido del material.

- Temperatura elevada.- Los componentes deben ser fabricados de aleaciones de alta temperatura. Si el proceso es tal que se permite el enfriamiento del material en el transportador, artesas encamisadas deben ser usadas en el extremo de la entrada para enfriar el material y deben utilizarse componentes estándares después del punto donde la temperatura del material ha sido reducida a un grado seguro.

### **3.2.3 Ventajas**

- Son compactos.
- Diseño modular: fácil instalación.
- Soportes y apoyos simples
- Soportan altas temperaturas.
- Fácil hermeticidad.
- Extremadamente versátiles.
- Varias zonas de carga y descarga.

### 3.2.4 Desventajas

- No grandes tamaños (hasta 50 m).
- No se pueden transportar materiales frágiles, delicados o abrasivos.
- Mayores requerimientos de potencia.
- Al quedar resto de materiales transportados con anterioridad existen riesgos de contaminación.
- Volumen de material bajo.

## 3.3 Discos para el corte mecánico de caña de azúcar

Los discos de corte se utilizan con una máquina portátil (radiador) o fijo que suele llevar una ingletadora para no torcerse. Sólo existen 3 tipos que son el continuo, el turbo y el segmentado y se utilizan para distintos materiales. El material del que están hechos también varía tanto para el tipo de corte como en el precio.

### 3.3.1 Tipos de materiales

Los 3 tipos de materiales de los cuales están hechos los discos son básicamente tres: el diamantado, el grano abrasivo y el de ligas y mallas. Escoger uno de ellos va a depender del tipo de uso que lleven.

Los discos de radial de corte en grano abrasivos son piezas, en su totalidad del material hecho, que se utilizan para cortar y devastar piezas con una dureza inferior a la del disco. Están hechos de materiales duros como la arena o el cuarzo. Además tienen la propiedad auto-afilarse pero se gastan con rapidez. Estos se suelen hacer de óxido de aluminio o de carburo de silíceo.

Los discos de liga y tela de fibra de vidrio o de malla son más resistentes que la anterior. La malla es un refuerzo del disco y pueden tener más de una capa de fibra de vidrio. Hay diferentes tipos de ligas que son: las vitrificadas (cerámica, las más utilizadas), las resinoides o resinas termofijas, las hules, las metálicas y las de silicato.

Los discos diamantados son los más resistentes del mercado. Su vida útil es mayor que las anteriores y son los más utilizados del mercado por su corte (corta cualquier tipo de superficie) y porque sin duda es el más duro y potente y para obras el que más rinde.

### 3.3.2 Tipos de discos

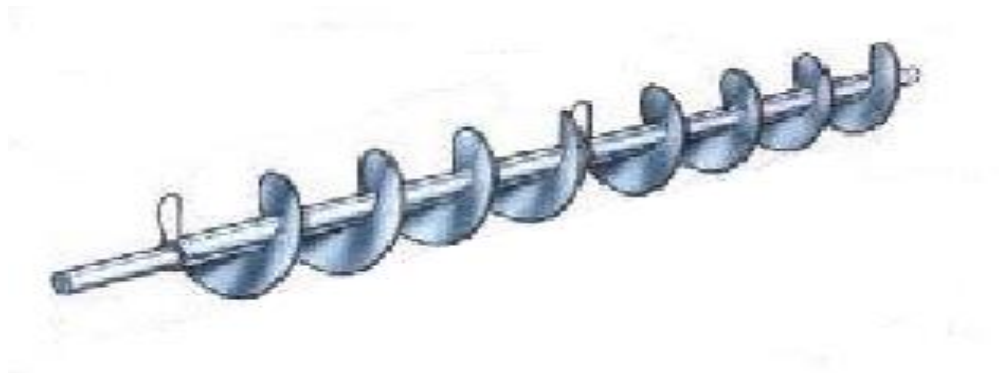
En el mercado existen tres tipos de discos: los segmentados, lo de turbo y los continuos. Cada disco va determinado con tipo de dureza a cortar.

- El segmentado: corta ladrillos, vidrio, baldosas, carpintería cemento etc.
- El turbo: puede cortar granito, mármol, hormigón etc.
- El disco continuo puede cortar los mismo que con el turbo pero tiene la particularidad de que puede cortar tanto en seco como en húmedo y por tanto su corte en húmedo puede ser continuo y no se sobrecalienta.

Las plantas de caña poseen en su tronco y hojas, células de sílice distribuidas por todas partes, esto convierte a la caña en un material muy abrasivo, así mismo, la dureza de la caña es otro factor importante que afecta directamente las herramientas de corte durante la cosecha. La dureza del tallo está concentrada en la epidermis o capa exterior y varía longitudinalmente. H. González (2006) realizó un estudio donde constató todo lo dicho anteriormente sobre los contenidos de células de sílice y dureza en el tallo.

En este diseño usaremos discos de corte con un diámetro de 45 cm para que abarque el surco completo al momento del corte. La selección de nuestro disco será de un catálogo discos de material resistente para corte de madera.

### **3.4 Modelo de cálculo para los tornillos de transporte**



Determinación del flujo del material:

$$S = \lambda \frac{\pi D^2}{4} \dots \dots \dots (1)$$

Dónde:

S = Area de relleno del canalón (m<sup>2</sup>)

λ = Coeficiente de relleno de la seccion

D = Diametro del tornillo sinfin

$$v = \frac{t * n}{60} \dots \dots \dots (2)$$

Dónde:

v = Velocidad de delplazamiento del transportador (m/s)

t = paso del tornillo en (m)

n = Velocidad de giro del tornillo

$$Q = 3600 * S * v * \gamma * k \dots \dots \dots (3)$$

Dónde:

Q = flujo del material ton/hr

S = Area de relleno del canalón (m<sup>2</sup>)

v = Velocidad de delplazamiento del transportador (m/s)

γ = Densidad del material (ton/m<sup>3</sup>)

k = Coeficiente de disminucion del flujo del materia

Sustituimos la ecuación 1 y 2 en la ecuación 3.

$$Q = 3600 * \lambda \frac{\pi D^2}{4} * \frac{t * n}{60} * \gamma * k \dots \dots \dots (4)$$

Potencia de accionamiento.

$$P = P_H + P_N + P_{St} \dots \dots \dots (5)$$

Dónde:

$P_H$  = Es la potencia necesaria para el desplazamiento horizontal del material (kW)

$P_N$  = Es la potencia para el accionamiento del tornillo vacío (kW)

$P_{St}$  = Es la potencia requerida para un tornillo sinfín inclinado (kW)

Potencia para el desplazamiento del material.

$$P_H = C_o \frac{QLg}{3600} = C_o \frac{QL}{367} \dots \dots \dots (6)$$

Potencia de accionamiento del tornillo en vacío.

$$P_N = \frac{DL}{20} \dots \dots \dots (7)$$

Potencia para tornillo sinfín inclinado.

$$P_{st} = \frac{QH}{367} \dots\dots\dots (8)$$

Sustituyendo ecuaciones 6,7 y 8 en ecuación 5.

$$P = \frac{Q[C_oL + H]}{367} + \frac{DL}{20} \dots\dots\dots (9)$$

### **3.5 Modelo de cálculo para el tornillo sinfín de levantamiento**

#### **3.5.1 Teorías de fallas para carga estática**

Se han propuesto varios criterios teóricos con el objeto de obtener una correlación adecuada entre la vida o duración estimada del componente y la que realmente se logra en las condiciones de carga de servicio para aplicaciones tanto en materiales frágiles como dúctiles.

Para materiales dúctiles se tienen:



- a).- Teoría de la energía de distorsión (Von Mises-Hencky).
- b).- Teoría del esfuerzo cortante máximo (Criterio de fluencia de Tresca).

Para materiales frágiles se tienen:

- c).- Teoría del esfuerzo normal máximo (Rankine).
- d).- Teoría de la fricción interna (Coulomb-Mohr).
- e).- Teoría modificada de Mohr.

### 3.5.2 Teoría de la energía de distorsión (TED).

Esta teoría postula que la falla es causada por la energía elástica asociada con la deformación por cortante

El esfuerzo cortante octaédrico está dado por:

$$\tau_{oct} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad \text{----- (3.59)}$$

El esfuerzo octaédrico producido por una tensión uniaxial ( $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ ) es:

$$\tau_{oct} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sigma_1 \text{----- (3.60)}$$

El esfuerzo octaédrico máximo ocurre en:

$$(\tau_{oct})_{\text{límite}} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sigma_e \text{----- (3.61)}$$

donde  $\sigma_e$  = esfuerzo de Von Mises.

Para un estado de esfuerzos triaxial:

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{1/2} \text{----- (3.62)}$$

Para un estado de esfuerzos biaxial, suponiendo  $\sigma_3 = 0$ ,

$$\sigma_e = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2)^{1/2} \text{----- (3.63)}$$

En función de los esfuerzos aplicados,

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \text{ ----- (3.64)}$$

De esta forma, la teoría de la energía de distorsión predice la falla si

$$\sigma_e \geq S_y \text{ ----- (3.65)}$$

El esfuerzo seguro, de acuerdo con dicha teoría, será

$$\sigma_e = \frac{S_y}{n_s} \text{ ----- (i)}$$

$n_s$  = factor de seguridad

La ecuación (3.63) describe una elipse, que al ser trazada sobre los ejes  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  aparece como se muestra en la figura (2.18) que se indica a continuación:

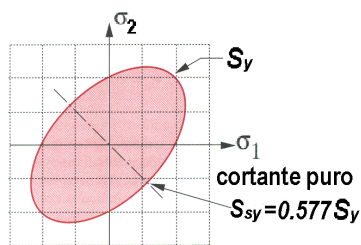


Figura No. 3 Representación gráfica de la teoría de la energía de distorsión (TED) para un Estado de esfuerzos biaxial.

### 3.5.3 Teoría del esfuerzo cortante máximo (TECM)

Esta teoría expresa que la falla en una pieza sujeta a un estado multiaxial de esfuerzos, ocurrirá cuando el esfuerzo cortante máximo desarrollado en ella, iguale o exceda al esfuerzo cortante máximo correspondiente al momento de la falla en el ensayo de tensión simple, efectuado con una probeta del mismo material.

Si la nomenclatura  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$  se usa para los esfuerzos principales, el esfuerzo cortante máximo dice que la fluencia ocurrirá cuando:

$$\tau_{m\acute{a}x} \geq \frac{S_y}{2} \text{----- (3.66)}$$

o bien,

$$\sigma_1 - \sigma_3 \geq S_y \text{----- (3.66.1)}$$

donde  $S_y$  = esfuerzo de fluencia del material.

El esfuerzo seguro, de acuerdo con ésta teoría, será

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{S_y}{n_s} \text{----- (3.67)}$$

Para un estado de esfuerzos biaxial,

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{S_y}{n_s} \text{----- (3.67.1)}$$

$n_s$  = factor de seguridad.

En la figura 4 podemos observar el hexágono de la teoría del esfuerzo cortante máximo en dos dimensiones inscrito dentro de la elipse de energía de distorsión.

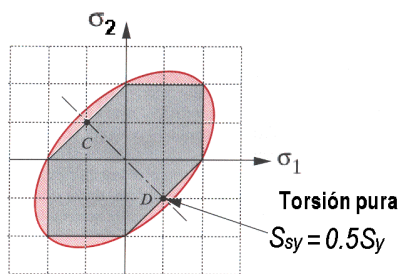


Figura No. 4 Representación gráfica de la teoría del esfuerzo cortante máximo (TECM)

Para un estado de esfuerzos biaxial.

### 3.5.4 Teoría del esfuerzo normal máximo (TENM).

En esta teoría se estipula que un elemento sujeto a cualquier combinación de cargas fallará cuando el esfuerzo principal positivo mayor exceda la resistencia de fluencia a la tensión, o cuando el esfuerzo principal negativo mayor exceda la resistencia de fluencia a la compresión. Dado que esta teoría funciona razonablemente bien para materiales frágiles en general, debemos considerar la resistencia última en lugar de la resistencia de fluencia.

Esta teoría es muy útil para materiales frágiles fibrosos y vidrios, donde la microestructura se orientará en la dirección del esfuerzo normal máximo antes de que pudiera ocurrir la fractura. Por lo anterior, esta teoría nos dice que la falla ocurrirá si

$$\sigma_1 \geq \frac{S_{ut}}{n_s} \quad \text{-----} \quad (3.68)$$

$$\sigma_3 \leq \frac{S_{uc}}{n_s} \quad \text{-----} \quad (3.69)$$

donde  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$  son esfuerzos normales principales.

$S_{ut}$  = esfuerzo último uniaxial en tensión.

$S_{uc}$  = esfuerzo último uniaxial en compresión.

La figura siguiente muestra la envolvente de falla en dos dimensiones para la teoría del esfuerzo normal máximo.

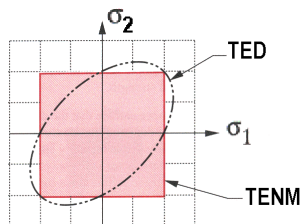


Figura No. 5 Representación gráfica de la teoría del esfuerzo normal máximo (TENM)  
Para un estado de esfuerzos biaxial.

### 3.5.5 Teoría de la fricción interna (TFI).

La teoría del esfuerzo cortante máximo es difícil de aplicar a materiales frágiles, puesto que la resistencia a la compresión es mucho mayor que a la tensión. Una extensión lógica a la teoría del esfuerzo cortante máximo para aplicarse a materiales frágiles, es separar las resistencias a la tensión y a la compresión, o en términos matemáticos,

Si  $\sigma_1 > 0$  y  $\sigma_3 < 0$ ,

$$\frac{\sigma_1}{S_{ut}} - \frac{\sigma_3}{S_{uc}} = \frac{1}{n_s} \quad \text{-----} \quad (3.70)$$

Si  $\sigma_3 \geq 0$ ,

$$\sigma_1 = \frac{S_{ut}}{n_s} \text{----- (3.71)}$$

Si  $\sigma_1 \leq 0$ ,

$$\sigma_3 = \frac{S_{uc}}{n_s} \text{----- (3.72)}$$

### 3.5.6 Teoría modificada de Mohr (TMM).

Esta teoría se originó a través de esfuerzos para ajustar la información de prueba. Por medio de esta teoría se predice mejor el comportamiento de un material frágil, especialmente en el cuarto cuadrante. Esta teoría se expresa por:

Si  $\sigma_1 > 0$  y  $\sigma_3 < -S_{ut}$ ,

$$\sigma_1 - \frac{S_{ut}\sigma_3}{S_{uc} - S_{ut}} = \frac{S_{uc}S_{ut}}{n_s S_{uc} - S_{ut}} \text{----- (3.73)}$$

Si  $\sigma_3 > -S_{ut}$ ,

$$\sigma_1 = \frac{S_{ut}}{n_s} \text{----- (3.74)}$$

Si  $\sigma_1 < 0$ ,

$$\sigma_3 = \frac{S_{uc}}{n_s} \text{----- (3.75)}$$

Las dos teorías anteriores se representan gráficamente en la figura 6 que se indica a continuación:

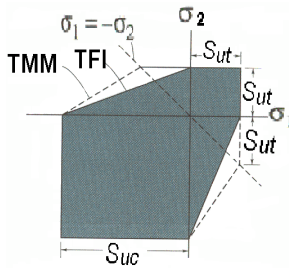


Figura No. 6 Teoría de la fricción interna y teoría modificada de Mohr para la predicción de falla de materiales frágiles.

### 3.6 Diseño de ejes

#### 3.6.1 Análisis por resistencia bajo cargas estáticas

En un eje redondo macizo de diámetro  $d$ , que se somete a cargas de flexión, axiales y de torsión se desarrollan los esfuerzos por flexión, carga axial y por torsión.

En la mayoría de los casos la componente axial  $F$  es nula, o es tan pequeña que su efecto puede despreciarse. Con  $F=0$ , el esfuerzo por flexión y esfuerzo por torsión utilizando la ecuación de esfuerzo de Von Mises, quedan de la siguiente manera:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + T^2} \quad (\text{Esfuerzo por torsión}) \quad \text{Ec.3.76}$$

$$\sigma' = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{4M^2 + 3T^2} \quad (\text{Esfuerzo por flexión y carga axial}) \quad \text{Ec.3.77}$$

Si utilizamos la ecuación del esfuerzo cortante admisible, para encontrar el diámetro  $d$  del eje, la ecuación queda de la siguiente forma:



$$d = \left[ \frac{32n_s}{\pi S_y} (M^2 + T^2)^{1/2} \right]^{1/3} \quad \text{Ec.3.78}$$

Si se conoce  $d$  entonces

$$\frac{1}{n_s} = \frac{32}{\pi d^3 S_y} (M^2 + T^2)^{1/2} \quad \text{Ec.3.79}$$

Si utilizamos la teoría de la energía de distorsión máxima, entonces

$$d = \left[ \frac{16n_s}{\pi S_y} (4M^2 + 3T^2)^{1/2} \right]^{1/3} \quad \text{Ec.3.80}$$

Si se conoce  $d$  entonces

$$\frac{1}{n_s} = \frac{16}{\pi d^3 S_y} (4M^2 + 3T^2)^{1/2} \quad \text{Ec.3.81}$$

Resulta aparente que la relación del factor de seguridad apropiada es empírica y depende mucho de la experiencia que se tenga. Cuando un dispositivo tiene mucho tiempo de uso, los factores referentes a su comportamiento son confiables. De hecho se puede depender de tales datos aunque hayan tenido modificaciones en el diseño.

Joseph P Vidosic considera razonables los siguientes factores de seguridad, los cuales están basados en la resistencia a la cedencia:

- 1.-  $n_s = 1.25 - 1.5$ , para materiales muy confiables usados bajo condiciones controladas y, sujetos a carga y esfuerzo que puedan determinarse con exactitud.
  
- 2.-  $n_s = 1.5 - 2$ , para materiales con características perfectamente conocidas con condiciones ambientales fijas y, sujetos a cargas y esfuerzos que puedan determinarse con facilidad.
  
- 3.-  $n_s = 2 - 2.5$ , para materiales que trabajan en condiciones normales y sujetos a carga y esfuerzo que puedan calcularse
  
- 4.-  $n_s = 2.5 - 3$ , para materiales poco experimentados o para materiales frágiles en condiciones normales de medio ambiente, carga y esfuerzo.
  
- 5.-  $n_s = 3 - 4$ , para materiales no experimentados en condiciones normales de medio ambiente, carga y esfuerzo.
  
- 6.-  $n_s = 2 - 4$ , para fuerzas de impacto, donde deberá incluirse un factor de impacto.
  
- 7.-  $n_s = 3 - 8$ , para materiales frágiles, considerando a la resistencia última como la máxima teórica.

### 3.7 Flecha de una viga

Si una viga se carga con exceso se produce en ella una deformación plástica, que puede llegar hasta la rotura (deformación permanente aun quitándole la carga a la viga). Para evitar esto existen unas fórmulas para cada caso, con las cuales se calculan las vigas.

En una viga que está calculada para soportar una carga determinada, al ponerle esta carga encima se produce en ella una deformación elástica (que quiere decir que cuando se le quite la carga se le quitara la deformación).

La deformación elástica toma la forma de una curva y tiene el máximo valor, según sea la carga y los apoyos de la viga. A esta deformación, representada en la figura No. 7, se le llama flecha.

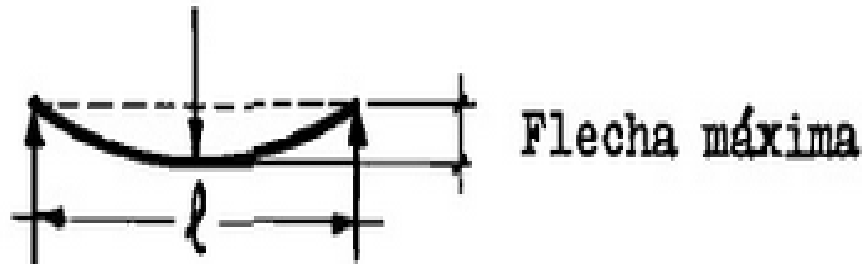


Figura No. 7 Flecha máxima en vigas (El proyectista de estructuras metálicas- R. Nonnast)

Para evitar que esta flecha sea excesiva, hay unas normas que dan la máxima admisible según el tipo de viga. Por lo tanto después de calcular el perfil de la viga, se comprobaba si la flecha que da este perfil es admisible, y si no lo es se tomara otro mayor.

Las flechas máximas admisibles, de acuerdo a R. Nonnast en su libro El proyectista de estructuras metálicas, son las siguientes:

- a) Vigas de edificios y correas de cubierta.

“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

---

Tabla #. 13 Valores de flechas máximas admisibles según la longitud de viga (El proyectista de estructuras metálicas- R. Nonnast)

L= Longitud en metros	Viga libre	Viga metida en el piso
>5	1/300	1/200
>7	1/500	1/300

Siendo  $L \leq 5$  metros la flecha máxima será  $L/200$ .

b) Vigas en voladizo.  $L/250$  (Flecha en el extremo volado).

c) Vigas para grúas puente y carrileras.

Grúas movidas eléctricamente  $L/1000$

Grúas movidas a mano  $L/500$

Teniendo la misma referencia, para calcular la flecha máxima en una viga con carga determina y según tipo de apoyo.

- Viga empotrada con carga puntual

$$f_{max} = \frac{P \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} \text{ ecu } \dots \dots \dots 3.82$$

Dónde:

$l$ =longitud de la viga

$$C = q \cdot l$$

$E$ = Modulo elástico del material de la viga

$I$ = Momento de inercia de la sección transversal de la viga

"PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE"

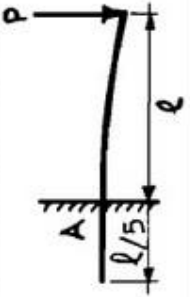


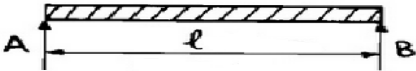
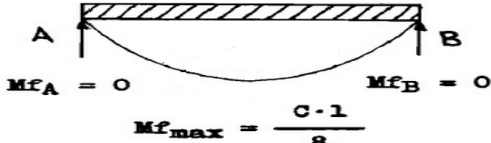
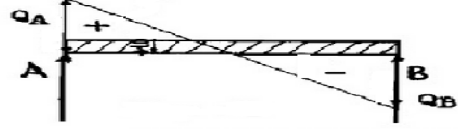
Tipo de carga.	Momentos flectores.	Esfuerzos cortantes.	Reac. apoyos	Flecha máx.
	 $M_{\max} = P \cdot l$	 $Q_A = P$ $Q_P = P$	$A = P$	$f = \frac{P \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I}$

Figura No. 8 Diagramas de una viga simplemente apoyada y carga distribuida

- Viga simplemente apoyada con carga distribuida.

$$f_{\max} = \frac{5P \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot I} \text{ ecuacion 3.83}$$

Viga simplemente apoyada y carga distribuida	
Momento flector	 $M_{fA} = 0$ $M_{fB} = 0$ $M_{f\max} = \frac{q \cdot l^2}{8}$
Esfuerzo cortantes	 $Q_A = R_A$ $Q_B = R_A - q \cdot l$
Reacciones	$R_A = R_B = \frac{q \cdot l}{2}$

- Viga simplemente apoyada con carga distribuida.

Figura No. 9 Diagramas de una viga simplemente apoyada y carga distribuida

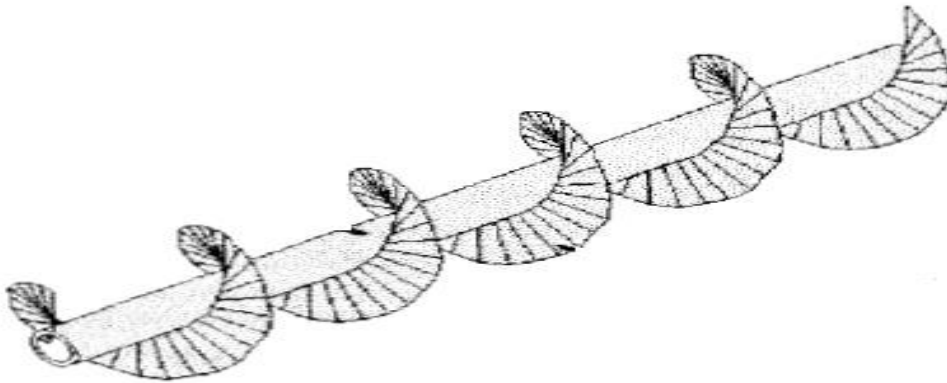
# CAPITULO 4

# MEMORIA

# DE

# CALCULO

## 4.1 Calculo tornillos sinfín para transporte



Datos:

Material a transportar: **Caña de azúcar**  
Densidad del material: **2000 kg/m<sup>3</sup>**  
Longitud estimada: **2 m**  
Capacidad de transporte: **16 ton/hr**

“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

---

Diámetro estimado: **25.4 cm = 10 in**

1.- Con la fórmula para determinación del flujo del material podemos encontrar la velocidad de giro del tornillo.

$$Q = 3600 * \lambda \frac{\pi D^2}{4} * \frac{t * n}{60} * \gamma * k \dots \dots \dots (4)$$

De tablas determinamos los siguientes factores:

$$\lambda = 0.125 \text{ tabla \# 7}$$

$$\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3 \left( \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} \right) = 2 \text{ ton/m}^3$$

$$k = 1 \text{ factor de inclinacion tabla \# 8}$$

Determinamos el paso del transportador, pero como nuestro tornillo es de paso corto:

$$\text{Por lo tanto } t = \frac{2}{3} D$$

$$t = \frac{2}{3} (0.254)$$

$$t = 0.1693 \text{ m}^2$$



Después de obtener los datos anteriores podemos sustituir en la ecuación 4 y determinamos las rpm.

$$Q = 3600 * \lambda \frac{\pi D^2}{4} * \frac{t * n}{60} * \gamma * k$$

$$Q = (3600)(0.125) \left( \frac{\pi(0.254)^2}{4} \right) \left( \frac{0.1693 * n}{60} \right) (2)(1)$$

$$\therefore n = 124.341 \text{ rpm}$$

2.- Área de relleno del canalón.

$$S = \lambda \frac{\pi D^2}{4} \dots \dots \dots (1)$$

$$S = \lambda \frac{\pi(0.254)^2}{4}$$

$$S = 6.334 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

3.- Velocidad de desplazamiento del transportador

$$v = \frac{t * n}{60} \dots \dots \dots (2)$$

$$v = \frac{(0.1693)(124.341)}{60}$$

$$v = 0.35 \text{ m/s}$$

#### 4.- Potencia de accionamiento

Para determinar la potencia de accionamiento total usamos la siguiente formula:

$$P = P_H + P_N + P_{St} \dots \dots \dots (5)$$

Determinamos la potencia para el desplazamiento del material.

$$P_H = C_o \frac{QLg}{3600} = C_o \frac{QL}{367} \dots \dots \dots (6)$$

De tablas:

$$C_o = 4 \text{ tabla \# 9}$$

$$L = 2 \text{ m}$$

Sustituimos en la ecuación 6.

$$P_H = (4) \frac{(16)(2)}{367}$$

$$P_H = 0.348 \text{ kW}$$

Determinamos la potencia de desplazamiento en vacío:

$$P_N = \frac{DL}{20} \dots \dots \dots (7)$$

$$P_N = \frac{(0.254)(2)}{20}$$

$$P_N = 0.0254 \text{ kW}$$

La  $P_{St}$  no la calculamos porque nuestro tornillo de transporte no estará inclinado.

Teniendo la potencia para el desplazamiento del material y la potencia de accionamiento en vacío ya podemos determinar la potencia total necesaria de accionamiento.

$$P = P_H + P_N + P_{St}$$

$$P = 0.348 + 0.0254 + 0$$

$$P = 0.3734 \text{ kW}$$

Convirtiendo **kW** en **HP**

$$P = 0.5 \text{ HP}$$

5.- Después de obtener la velocidad y potencia necesaria nos vamos a tablas para determinar el diámetro hueco del tornillo tanto interior como exterior, diámetro eje macizo, longitud eje motriz y longitud eje terminal.

5.1.- Tabla de selección de sinfines

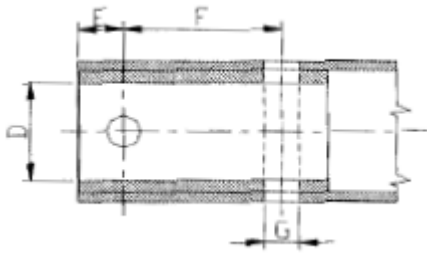
Entramos a la tabla # 2 con el diámetro del sinfín de 10 pulgadas.

**$D_{\text{eje macizo}} = 1.5 \text{ pulgadas}$**

**$\text{Tubo cedula 40} - \text{Diámetro nominal} = 2$**

**$\text{Espacio primer agujero} = \frac{7}{8} \text{ pulgadas}$**

**$\text{Espacio segundo agujero} = 3 \text{ pulgadas}$**



5.2.- Tabla de tamaños de tubos estándares

Entramos a la tabla # 1 con el diámetro nominal de 2 pulgadas para determinar dimensiones del tubo hueco.

**$D_{\text{exterior}} = 2.375 \text{ pulgadas}$**

**$D_{\text{interio}} = 2.067 \text{ pulgadas}$**

**$\text{Espesor de pared} = 0.154 \text{ pulgadas}$**

5.3.- Tabla de selección de ejes

Entramos a la tabla # 3 con el diámetro del eje macizo de 1.5 pulgadas.

**$L_{\text{eje motriz}} = 11.5 \text{ pulgadas}$**  Este es el eje que ira adaptado al motor

#### 5.4.- Tabla de eje terminal

Entramos a la tabla # 4 con el diámetro del eje macizo de 1.5 pulgadas

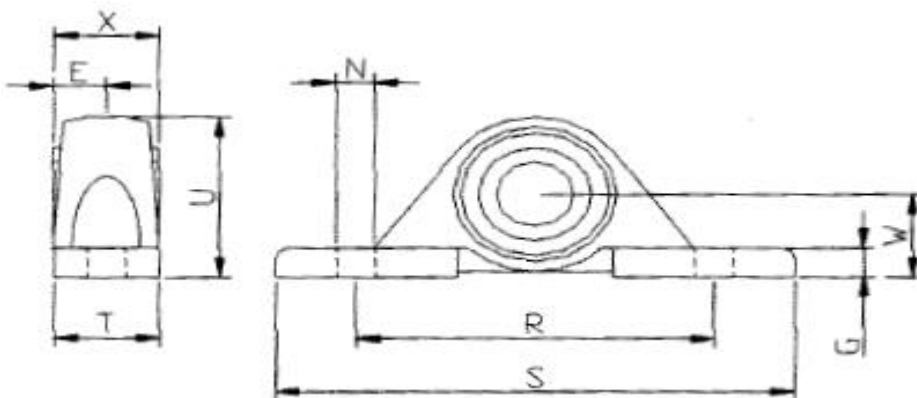
$$L_{\text{eje terminal}} = 8\frac{1}{4} \text{ pulgadas}$$

#### 4.1.2 Selección de chumaceras

Por ultimo seleccionamos las chumaceras y los rodamientos de tablas.

Para el tornillo de transporte que ira en la parte inferior seleccionamos la siguiente chumacera de la tabla # 6, entramos con el eje macizo.

- Chumacera de piso con rodamiento de bolas



“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

---

Dimensiones en pulgadas:

$$E = 1 \frac{13}{16} \text{ pulgadas}$$

$$G = 1 \frac{1}{4} \text{ pulgadas}$$

$$N = \frac{1}{2} \text{ pulgadas}$$

$$R = 5 \frac{3}{8} \text{ pulgadas}$$

$$S = 6 \frac{5}{8} \text{ pulgadas}$$

$$T = 2 \text{ pulgadas}$$

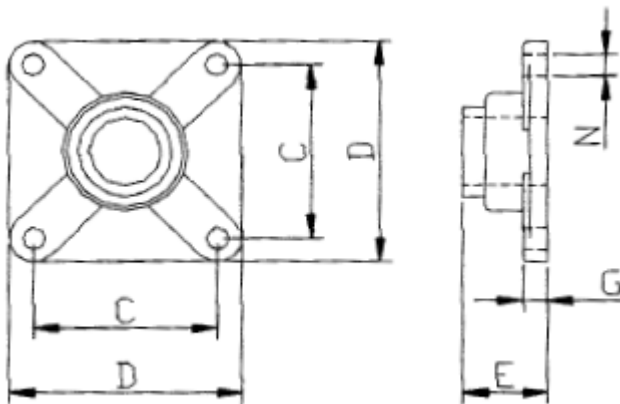
$$U = 4 \frac{1}{8} \text{ pulgadas}$$

$$W = 2 \frac{1}{8} \text{ pulgadas}$$

$$X = 1 \frac{15}{16} \text{ pulgadas}$$

Para el tornillo de transporte que ira en la parte superior seleccionamos la siguiente chumacera de la tabla # 5 entrando con el diámetro del eje macizo.

- Chumacera de pared y rodamiento de bolas



Dimensiones en pulgadas:

$$C = 4 \text{ pulgadas}$$

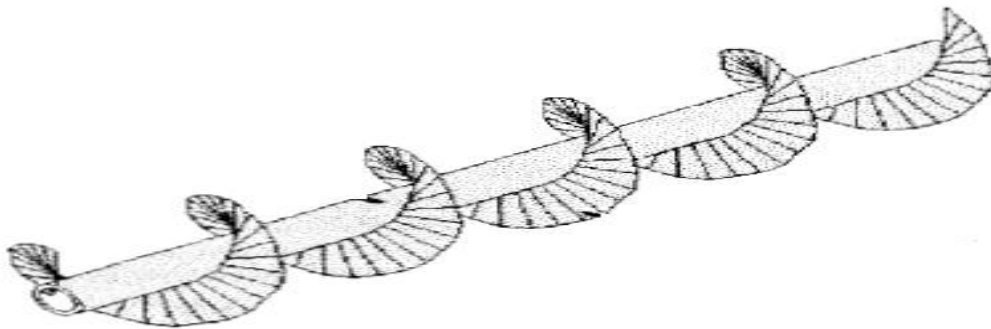
$$D = 5 \frac{1}{8} \text{ pulgadas}$$

$$E = 2 \text{ pulgadas}$$

$$G = \frac{9}{16} \text{ pulgadas}$$

$$N = \frac{1}{2} \text{ pulgadas}$$

## 4.2 calculo tornillos de levantamiento de caña



Para este tornillo utilizaremos un motor de la misma potencia que los tornillos de transporte ya calculado anteriormente.

Datos:

***D = 6 pulgadas***

Con el diámetro del sinfín nos vamos a tablas para determinar el diámetro del eje macizo, espacio entre agujeros, diámetro interior y exterior del eje hueco, diámetro eje motriz, diámetro eje terminal y las chumaceras adecuadas.

1.- Tabla de selección de sinfines

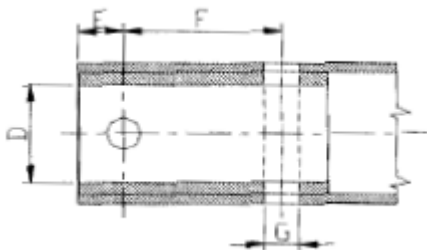
Entramos a la tabla # 2 con el diámetro del sinfín de 6 pulgadas.

***D<sub>eje macizo</sub> = 1.5 pulgadas***

***Tubo cedula 40 – Diametro nominal = 2***

***Espacio primer agujero =  $\frac{7}{8}$  pulgadas***

***Espacio segundo agujero = 3 pulgadas***



1.2.- Tabla de tamaños de tubos estándares

Entramos a la tabla # 1 con el diámetro nominal de 2 pulgadas para determinar dimensiones del tubo hueco.



$$D_{\text{exterior}} = 2.375 \text{ pulgadas}$$

$$D_{\text{interio}} = 2.067 \text{ pulgadas}$$

$$\text{Espesor de pared} = 0.154 \text{ pulgadas}$$

1.3.- Tabla de selección de ejes

Entramos a la tabla # 3 con el diámetro del eje macizo de 1.5 pulgadas.

$L_{\text{eje motriz}} = 11.5 \text{ pulgadas}$  Este es el eje que ira adaptado al motor

5.4.- Tabla de eje terminal

Entramos a la tabla # 4 con el diámetro del eje macizo de 1.5 pulgadas

$$L_{\text{eje terminal}} = 8\frac{1}{4} \text{ pulgadas}$$

#### 4.2.1 Análisis estático del eje que soportara nuestro sinfín

Determinamos el peso de la caña para determinar el diámetro del eje para el tornillo sin fin de levantamiento.

Datos:

$$\rho_{\text{caña}} = 2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ Densidad de la caña}$$

$$L_{\text{caña}} = 3\text{m}$$

$$D_{\text{caña}} = 6 \text{ cm}$$

$$P = mg \text{ Peso de la caña en N}$$

“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

---

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$v = [\pi(0.03)^2][3]$$

$$v = 8.4823 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m = \rho v = (2000 \text{ kg/m}^3)(8.4823 * 10^{-3} \text{ m}^3)$$

$$m = 16.9646 \text{ kg}$$

$$P = mg = (16.9646 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$P = 166.423 \text{ N } \textit{Peso en Newton de una caña}$$

Para el análisis de nuestro eje vamos a tomar en cuenta una carga uniformemente distribuida igual a la de 10 cañas.

$$\text{Peso de las cañas} = P_c * 10$$

$$\text{Peso de las cañas} = (166.423)(10)$$

$$\text{Peso de las cañas} = 1664.23 \text{ N}$$

Convertimos el peso en N a lb.

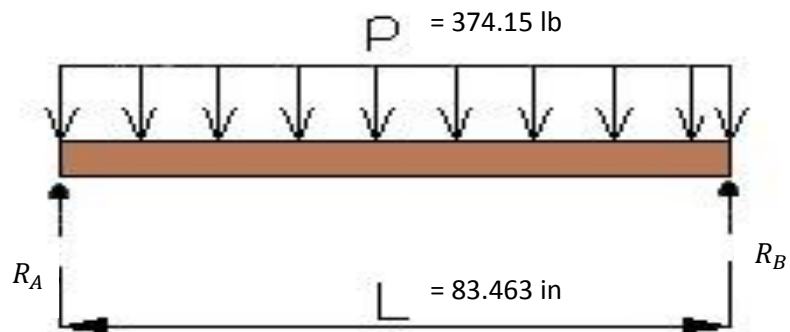
“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

---

$$1664.23 \text{ N} = \left( \frac{1 \text{ lb}}{4.448 \text{ N}} \right) = 374.15 \text{ lb}$$

374.15 es el peso al que nuestro eje va estar sometido.

Analizando nuestro eje:



Encontrando las reacciones:

“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

---

$$+\circlearrowleft \sum M_B = 0$$

$$R_A(83.463) - 374.15(41.7315) = 0$$

$$83.463 R_A = 15613.84$$

$$R_A = \frac{15613.84}{83.463}$$

$$\therefore R_A = 187.075 \text{ lb}$$

Como tenemos una carga distribuida única en el eje las dos reacciones son iguales:

$$R_A = R_B = 187.075 \text{ lb}$$

Para determinar el diámetro adecuado para nuestro eje del tornillo sinfín hacemos un análisis bajo carga estática.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Esf. Cortante máx.} \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} d = \left[ \frac{32n_s}{\pi S_y} (M^2 + T^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \\ \\ d = \left[ \frac{16n_s}{\pi S_y} (4M^2 + 3T^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \end{array}$$

**62**

“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

---

Teorías

Energía. De dist. Máx.



Para determinar el diámetro de nuestro eje trabajaremos con la teoría del esfuerzo cortante máximo.

$$d = \left[ \frac{32n_s}{\pi S_y} (M^2 + T^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots \text{Ec. 3.78}$$

Seleccionamos un acero AISI 1020 por ser unos de los de bajo costo y fáciles de conseguir.

AISI No. 1020 CD con  $S_y = 57\text{Kpsi}$

Trabajaremos con un factor de seguridad  $n_s = 3$

Datos:

$n_s = 3$

$S_y = 57\text{Kpsi}$

$M = 3903.46 \text{ lb}\cdot\text{in}$

$T = 888.606 \text{ lb}\cdot\text{in}$

Sustituimos los datos en la fórmula del esfuerzo cortante máximo:

$$d = \left[ \frac{32(3)}{\pi(57 \times 10^3)} \left( (3903.46)^2 + (888.606)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

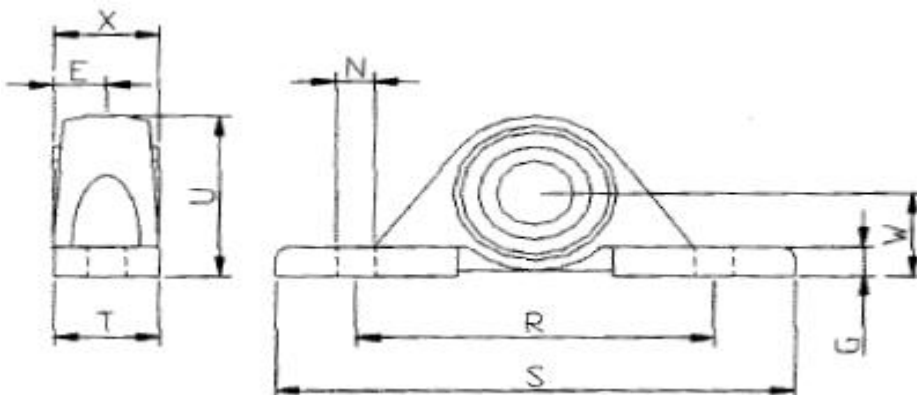
∴ d = 1.2898 pulgadas

Por lo tanto el diámetro del eje macizo para el tornillo sería de 1.5 pulgadas.

#### 4.2.2 Selección de chumaceras

Por ultimo seleccionamos las chumaceras y los rodamientos de tablas.

- Chumacera de piso con rodamiento de bolas tabla # 6 entramos con el diámetro del eje macizo.



“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

---

Dimensiones en pulgadas:

$$E = 1 \frac{13}{16} \text{ pulgadas}$$

$$G = 1 \frac{1}{4} \text{ pulgadas}$$

$$N = \frac{1}{2} \text{ pulgadas}$$

$$R = 5 \frac{3}{8} \text{ pulgadas}$$

$$S = 6 \frac{5}{8} \text{ pulgadas}$$

$$T = 2 \text{ pulgadas}$$

$$U = 4 \frac{1}{8} \text{ pulgadas}$$

$$W = 2 \frac{1}{8} \text{ pulgadas}$$

$$X = 1 \frac{15}{16} \text{ pulgadas}$$

### 4.3 Selección del disco de corte



El disco de corte fue seleccionado de la siguiente manera:

## “PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

---

- Se seleccionó un disco para corte de madera, este disco es utilizado para cortar madera fibrosa con una densidad aproximadamente igual a la de la caña.
- Se seleccionaron 3 discos para que abarquen una longitud aproximada de 50 cm y lograr que el corte sea lo más recto posible.

Características:

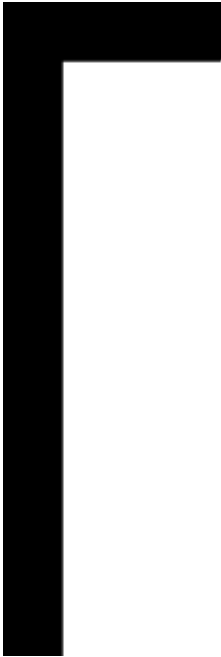
- Disco de 600 mm de diámetro
- Grosor del cuerpo de 3.5 mm
- Diámetro del orificio de fijación de 30 mm
- Numero de dientes de 8x5
- Peso de 7.40 kilogramos

### 4.4 Bastidor

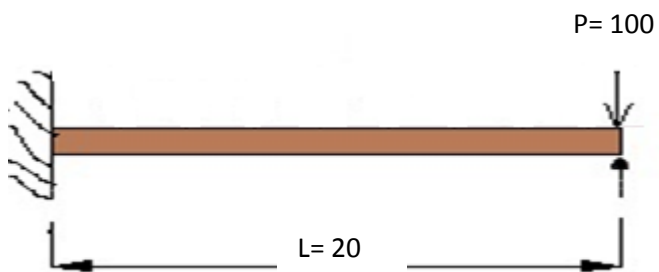
Nuestros apoyos para los tornillos de transporte y levantamiento serán de ptr.







1.- Analizaremos la parte horizontal donde estará la carga como una viga empotrada.



Siendo  $L \leq 5$  metros la flecha máxima será  $L/200$ .

$$\therefore f_{adm} = \frac{L}{200}$$

$f_{adm} = \frac{20}{200} = 0.1 \text{ cm}$  Este es el límite de flecha el cual nuestro material seleccionado no debe rebasar.

Ahora determinamos la flecha máxima:

$$f_{max} = \frac{PL^3}{3EI}$$

El módulo de elasticidad para aceros = 2, 100,000  $kg/cm^3$

$$f_{max} = \frac{(100 \text{ kg})(20 \text{ cm})^3}{3 \times 2,100,000 \text{ kg/cm}^3 \times I}$$

$$f_{max} = \frac{8}{63 I}$$

Iterando con el momento de inercia del ptr.

$I \text{ (cm}^4\text{)}$	$f_{mas} \text{ (cm)}$
1.52 $\text{cm}^4$	0.0835

Resultado de la tabla para selección de ptr:

Ptr =1 pulgada x 1 pulgada

Espesor: 0.075 pulgadas

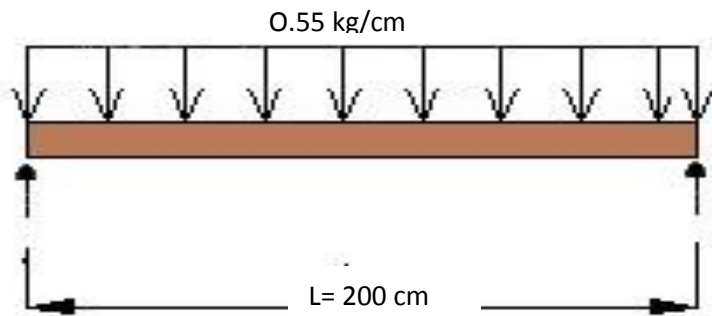
Calibre= 14

#### 4.5 Analizando el pandeo en el eje que soportara el tornillo sinfin.

Suponemos que nuestro eje tendrá una carga de 100 kg que deberá soportar distribuida entre los 200 cm.

“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

---



De la figura No. 9 tenemos que el momento flector máximo es:

$$M_{f \max} = \frac{PL}{8}$$

Dónde:  $P = \left(0.55 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}\right) (200 \text{ cm})$

$$\therefore P = 110 \text{ kg}$$

$$M_{f \max} = \frac{(110 \text{ kg})(200 \text{ cm})}{8}$$

$$M_{f \max} = 2750 \text{ kg} * \text{cm}$$

Determinamos las reacciones:

$$+\cup \sum M_A = 0$$

$$(110)(100) - R_B(200) = 0$$

$$\therefore R_B = 55 \text{ kg}$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_A - 100 \text{ kg} + R_B$$

$$R_A = 100 - R_B$$

$$R_A = 55 \text{ kg}$$

Como tenemos una carga distribuida única en el eje las dos reacciones son iguales.

Vamos a determinar el pandeo que sufrirá nuestro eje:

$$f = \frac{5Pl^3}{384 * E * I}$$

Para aceros:  $E = 2,100,000 \text{ kg/cm}^2$

$$I = \frac{1}{4}\pi r^4 = 10.34355436 \text{ cm}^4$$

Por lo tanto tenemos que:

$f = 0.52751 \text{ cm}$  Esto nos indica el pandeo del eje que soportara al tornillo sinfín

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La experiencia que me deja personalmente este proyecto con respecto al tema fue aplicar conocimientos de diseño mecánico principalmente.

De acuerdo al modelo de diseño de los tornillos sinfín de transporte tanto como los de levantamiento, podemos decir que los materiales y elementos seleccionados para el diseño de nuestro prototipo han sido en base a cálculos. Como podemos ver esta es la primera etapa del diseño de la cosechadora de caña de azúcar en verde.

La selección de los discos de corte se realizó utilizando un catálogo, no precisamente fue un disco especial para el corte de caña de azúcar, por lo que se recomienda realizar prácticas para ver la fuerza con la que se puede cortar la caña y en base a eso determinar la potencia que necesitamos y la velocidad de giro del mismo. Así también ver el material del cual será fabricado y la selección del motor. La selección correcta del motor ayudara a que el corte de la caña sea el deseado.

## **Referencias bibliográficas y virtuales**

### **Bibliográficas**

- 1.- J. E. SHIGLEY – C. R. MISCHKE, Diseño en Ingeniería Mecánica, Quinta Edición, Editorial Mc. Graw Hill.
  
- 2.- Martin, Catálogo de construcción ingenieril.
  
3. - Ferdinand P. Beer – E. Russell Johnston, Jr.- John T DE Wolf, Mecánica de Materiales, Cuarta Edición, Editorial Mc. Graw Hill.
  
4. - Ferdinand P. Beer – E. Russell Johnston, Jr.- Elliot R. Eisenberg, Mecánica Vectorial para Ingenieros, Estática, Octava Edición, Editorial Mc. Graw Hill.
  
- 5.- Documento facilitado por Ing. José Manuel Rasgado Bezares: DISEÑO FABRICACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UNA COSECHADORA PARA CAÑA ENTERA EN VERDE SIN QUEMA

### **Virtuales**

- <http://cultivopalma.webcindario.com/calculosinfines.xls>
- [http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/ingenieria-de-transportes/material-de-clase-1/tornillos\\_sin\\_fin.pdf](http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/ingenieria-de-transportes/material-de-clase-1/tornillos_sin_fin.pdf)
- <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/42/1/15T00406.pdf>
- <http://www.bdigital.unal.edu.co/2004/1/35113264.2010.pdf>
- <http://www.slideshare.net/erikagamboa/materiales-para-las-herramientas-de-corte>
- <http://inta.gob.ar/historial-portada-principal/inta-primera/2/1/1o-modelo-de-cosechadora-de-cana-en-verde-construido-en-tucuman/>
- <http://es.scribd.com/doc/86928050/Memoria-Tornillo-Sin-Fin>
- <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/42/1/15T00406.pdf>
- <http://www.bdigital.unal.edu.co/2004/1/35113264.2010.pdf>
- [http://w4.siap.gob.mx/sispro/IndModelos/SP\\_AG/cazucar/Transformacion\\_Ind.pdf](http://w4.siap.gob.mx/sispro/IndModelos/SP_AG/cazucar/Transformacion_Ind.pdf)
- <http://www.buenastareas.com/ensayos/Transportador-Helicoidal/289534.html>

# TABLAS

"PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE"

Tabla # 1 : Tamaños de tubos estándares

Diámetro Nominal pulg	Diámetro Exterior pulg	I.P.S. Cédula	Espesor de Pared pulg	Diámetro Interior pulg	Peso Lbs/pie
2	2,375	5S	0,065	2,245	1,604
		10S	0,109	2,157	2,638
		40 40S Std.	0,154	2,067	3,653
		80 80S Ex.Hvy.	0,218	1,939	5,022
2-1/2	2,875	5S	0,083	2,709	2,475
		10S	0,12	2,635	3,531
		40 40S Std.	0,203	2,469	5,793
		80 80S Ex.Hvy.	0,276	2,323	7,661
3	3,500	5S	0,083	3,334	3,029
		10S	0,12	3,260	4,332
		40 40S Est.	0,216	3,068	7,576
		80 80S Ex.Hvy.	0,3	2,900	10,25
3-1/2	4,000	5S	0,083	3,834	3,472
		10S	0,12	3,760	4,973
		40 40S Std.	0,226	3,548	9,109
		80 80S Ex.Hvy.	0,318	3,364	12,5
4	4,500	5S	0,083	4,334	3,915
		10S	0,12	4,260	5,613
		40 40S Est.	0,237	4,026	10,79
		80 80S Ex.Hvy.	0,337	3,826	14,98

Referencia: Catálogo de Martin, sección H, página H46



"PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE"

Tabla # 2: Tabla de selección de sinfín estándar

A Ø Sinfín	B Ø Eje	Código	Tubo Ced. 40	Longitud Estándar	A		B Espesor del volado	C	
					Tolerancia para Ø Sinfín			Tolerancia para Paso de Sinfín	
					+	-		+	-
6	1-1/2	6S307	2	9-10	1/16	3/16	12 cal	3/8	1/4
6	1-1/2	6S309	2	9-10	1/16	3/16	10 cal	3/8	1/4
6	1-1/2	6S312	2	9-10	1/16	3/16	3/16	3/8	1/4
9	1-1/2	9S307	2	9-10	1/16	3/16	12 cal	1/2	1/4
9	1-1/2	9S309	2	9-10	1/16	3/16	10 cal	1/2	1/4
9	1-1/2	9S312	2	9-10	1/16	3/16	3/16	1/2	1/4
9	2	9S407	2-1/2	9-10	1/16	3/16	12 cal	1/2	1/4
9	2	9S409	2-1/2	9-10	1/16	3/16	10 cal	1/2	1/4
9	2	9S412	2-1/2	9-10	1/16	3/16	3/16	1/2	1/4
9	2	9S416	2-1/2	9-10	1/16	1/4	1/4	1/2	1/4
10	1-1/2	10S309	2	9-10	1/16	3/16	10 cal	1/2	1/4
10	2	10S412	2-1/2	9-10	1/16	3/16	3/16	1/2	1/4
12	2	12S409	2-1/2	11-10	1/8	5/16	10 cal	3/4	1/4
12	2	12S412	2-1/2	11-10	1/8	5/16	3/16	3/4	1/4
12	2-7/16	12S509	3	11-9	1/8	5/16	10 cal	3/4	1/4
12	2-7/16	12S512	3	11-9	1/8	5/16	3/16	3/4	1/4
12	2-7/16	12S516	3	11-9	1/8	5/16	1/4	3/4	1/4
12	3	12S616	3-1/2	11-9	1/8	5/16	1/4	3/4	1/4
12	3	12S624	3-1/2	11-9	1/8	5/16	3/8	3/4	1/4
14	2-7/16	14S509	3	11-9	1/8	5/16	10 CAL	3/4	1/4
14	2-7/16	14S512	3	11-9	1/8	5/16	3/16	3/4	1/4
14	3	14S616	3-1/2	11-9	1/8	5/16	1/4	3/4	1/4
14	3	14S624	3-1/2	11-9	1/8	3/8	3/8	3/4	1/4

**Nota:** Las dimensiones están en pulgadas a menos que se especifique otra cosa.

**Referencia:** Catálogo de KWS de componentes de un Sinfín, Pag. 48

"PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE"

---

D Tolerancia para Ø Eje		E Espacio 1er. Agujero	F Espacio 2do. Agujero	G Agujero para perno
Min.	Max.			
1,505	1,516	7/8	3	17/32
1,505	1,516	7/8	3	17/32
1,505	1,516	7/8	3	17/32
1,505	1,516	7/8	3	17/32
1,505	1,516	7/8	3	17/32
1,505	1,516	7/8	3	17/32
2,005	2,016	7/8	3	21/32
2,005	2,016	7/8	3	21/32
2,005	2,016	7/8	3	21/32
2,005	2,016	7/8	3	21/32
2,005	2,016	7/8	3	21/32
1,505	1,516	7/8	3	17/32
2,005	2,016	7/8	3	21/32
2,005	2,016	7/8	3	21/32
2,005	2,016	7/8	3	21/32
2,443	2,458	15/16	3	21/32
2,443	2,458	15/16	3	21/32
2,443	2,458	15/16	3	21/32
3,005	3,025	1	3	25/32
3,005	3,025	1	3	25/32
2,443	2,458	15/16	3	21/32
2,443	2,458	15/16	3	21/32
3,005	3,025	1	3	25/32
3,005	3,025	1	3	25/32

"PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE"

Tabla # 3: Selección Eje motriz

Eje Motriz No. 1 Usado Sin Sello*											
Chumacera Babbit						Chumacera de Bolas					
Ø Eje	Código	C	G	H	Peso (Lbs)	Ø Eje	Código	C	G	H	Peso (Lbs)
1	1 CD 2 B	9-1/2	3-1/2	3	2,0	1	1 CD 2 BB	9	3	3	1,8
1-1/2	1 CD 3 B	12-3/4	4-3/4	3-1/4	6,3	1-1/2	1 CD 3 BB	11-1/2	3-1/2	3-1/4	5,6
2	1 CD 4 B	15	5-3/4	4-1/2	13,3	2	1 CD 4 BB	13-1/8	3-7/8	4-1/2	11,5
2-7/16	1 CD 5 B	17-3/8	7	5-1/2	21,0	2-7/16	1 CD 5 BB	15-1/8	4-3/4	5-1/2	18,0
3	1 CD 6 B	19-1/8	8-1/8	6	37,0	3	1 CD 6 BB	16-5/8	5-5/8	6	32,0
3-7/16	1 CD 7 B	23	9	7-1/4	60,4	3-7/16	1 CD 7 BB	20-5/8	6-5/8	7-1/4	52,5

Tabla # 4: Selección Eje terminal

Eje de Terminal Usado Sin Sello*									
Chumacera Babbit					Chumacera de Bolas				
Ø Eje	Código	C	G	Peso (Lbs)	Ø Eje	Código	C	G	Peso (Lbs)
1	CE 2 B	6-1/2	3-1/2	1,4	1	CE 2 BB	6	3	1,2
1-1/2	CE 3 B	9-1/4	4-1/2	4,5	1-1/2	CE 3 BB	8-1/4	3-1/2	3,8
2	CE 4 B	10-1/4	5-1/2	9,0	2	CE 4 BB	8-5/8	3-7/8	7,5
2-7/16	CE 5 B	11-7/8	7	15,4	2-7/16	CE 5 BB	9-5/8	4-3/4	12,4
3	CE 6 B	13-1/8	8-1/8	25,6	3	CE 6 BB	10-5/8	5-5/8	20,8
3-7/16	CE 7 B	16-3/8	9-5/8	42,4	3-7/16	CE 7 BB	13-3/8	6-5/8	34,4

"PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE"

---

Tabla # 5: Selección de chumaceras de pared y rodamiento de bola.

Ø Eje	Código	C	D	E	G	N
1	TEB 2 BB	2-3/4	3-3/4	1-3/8	1/2	3/8
1-1/2	TEB 3 BB	4	5-1/8	2	9/16	1/2
2	TEB 4 BB	5-1/8	6-1/2	2-3/8	11/16	5/8
2-7/16	TEB 5 BB	5-5/8	7	2-1/2	11/16	5/8
3	TEB 6 BB	6	7-3/4	3-1/2	7/8	3/4
3-7/16	TEB 7 BB	6-3/4	8-7/16	4	1	3/4

Tabla # 6: Selección chumacera de piso con rodamiento de bola.

Ø Eje	Código	E	G	N	R	S	T	U	W	X
1	TPB 2 BB	13/16	13/16	3/8	4-1/8	5-1/8	1-1/2	3-3/16	1-7/16	1-3/8
1-1/2	TPB 3 BB	1-13/16	1-1/4	1/2	5-3/8	6-5/8	2	4-1/8	2-1/8	1-15/16
2	TPB 4 BB	1-9/16	1-3/8	5/8	6-1/4	7-3/4	2-1/4	4-9/16	2-1/4	2-3/16
2-7/16	TPB 5 BB	1-9/16	1-5/8	5/8	7-1/4	9	2-1/2	5-1/2	2-3/4	2-9/16
3	TPB 6 BB	1-15/16	2-1/8	7/8	9	11-5/8	3-1/2	7-1/8	3-1/2	3-1/4
3-7/16	TPB 7 BB	2-1/4	2-3/8	7/8	11-1/8	13-7/8	4-3/8	8-1/4	4	3-3/8

**Nota:** Las dimensiones están en pulgadas a menos que se especifique otra cosa.

**Referencia:** Catálogo de Martin, sección H, Pag. H73

Tabla # 7: Coeficiente de relleno de la sección.

Tipo de carga	$\lambda$
Pesada y abrasiva	0,125
Pesada poco abrasiva	0,25
Ligera poco abrasiva	0,32
Ligera no abrasiva	0,4

Tabla # 8: Coeficiente de disminución del flujo de material.

Inclinación del canalón	0°	5°	10°	15°	20°
k	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Tabla # 9: Coeficiente de resistencia del material.

Material	$c_0$ Empírico
Harina, serrín, productos granulosos	1,2
Turba, sosa, polvo de carbón	1,6
Antracita, carbón, sal de roca	2,5
Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena	4

“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

Tabla # 10. Cuantificación de la contaminación por emisiones atmosféricas producidas por hectárea y por año en el Valle del Cauca con el cultivo de la caña de azúcar.

Fuente	Partículas		CO		Hidrocarburos		SO2	
	kg/ha	kg/año *	kg/ha	kg/año *	kg/ha	kg/año *	kg/ha	kg/año *
Quema	76	12600	822	136620	121	20160		
Requema	44	7380	496	82640	70	11700		
Calderas	280	51600					62	11400
Total	400	71580	1318	219060	191	31860	62	11400

\* en miles

Tabla # 11. Estimación de las poblaciones de bacterias y hongos, grado de compactación y valoración del impacto ambiental en suelos de caña de azúcar con y sin quema, después del corte.

Tratamiento	Población Bacterias gr/S.seco	Población Hongos gr/S.seco	Penetrabilidad Horizontal Kg/cm2	Penetrabilidad Vertical Kg fuerza
2 x 1 sin quema	161.082.496	83.875.000	2,72	34,94
4 x 1 quemada	52.180.000	29.905.000	3,84	49,80
Diferencia	108.902.496	53.970.000	-1,12	-14,96
Efecto diferencia (%)	209	180	29	30

“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

---

Tabla # 12. Afectación al % de rendimiento en azúcar de 12% de Pol en caña por los diferentes tipos de cosecha.

Tiempo (horas)	Entera Verde	Entera Quemada	Troceada Verde	Troceada Quemada
24	0,28	0,40	0,46	0,90
48	0,34	0,60	0,90	1,56
72	0,48	0,63	1,16	3,16

Tabla #. 13Valores de flechas máximas admisibles según la longitud de viga (El proyectista de estructuras metálicas- R. Nonnast)

L= Longitud en metros	Viga libre	Viga metida en el piso
>5	1/300	1/200
>7	1/500	1/300

**“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”**

Tabla #. 14. Selección de diámetros de disco de corte

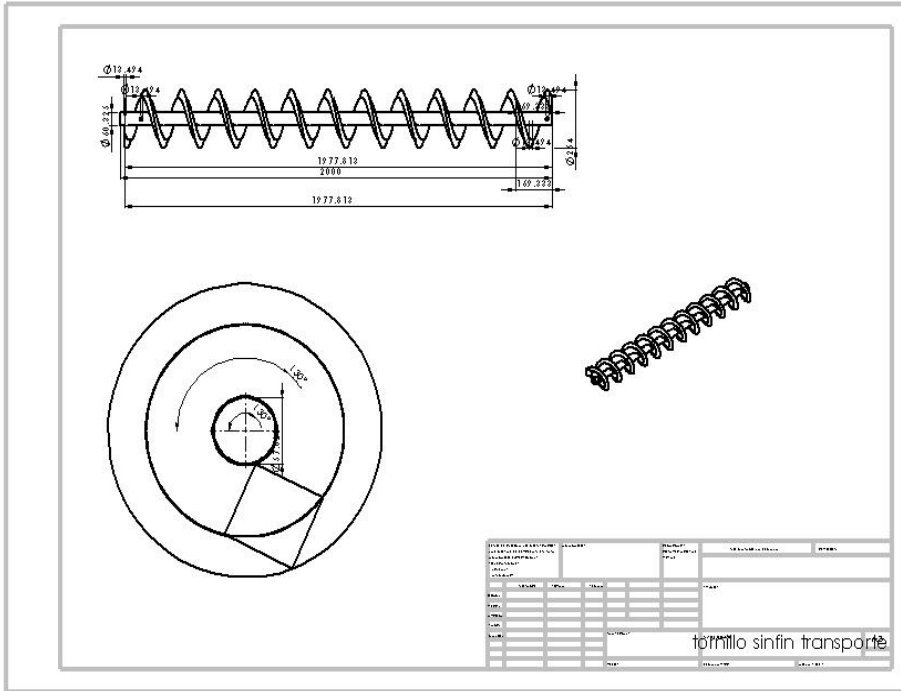
<b>D</b>	<b>b</b>	<b>d</b>	<b>z</b>	<b>m</b>
400	3,0	30	8 x 5	2,50
450	2,8	30	8 x 5	3,80
500	3,0	30	8 x 5	4,50
500	3,5	30	8 x 5	5,00
550	3,0	30	8 x 5	5,00
600	3,5	30	8 x 5	7,40
600	4,0	30	8 x 5	8,00
700	3,5	35	8 x 5	9,30
700	4,0	35	8 x 5	10,70
800	3,5	40	8 x 5	14,00
800	4,0	40	8 x 5	15,40
800	4,5	40	8 x 5	16,80
900	4,5	50	8 x 5	19,00
1000	5,0	50	8 x 5	30,00

**D**-diámetro del disco [mm], **b**-grosor del cuerpo [mm], **d**-diámetro del orificio de fijación [mm], **z**-número de los dientes, **m**-peso [kg]

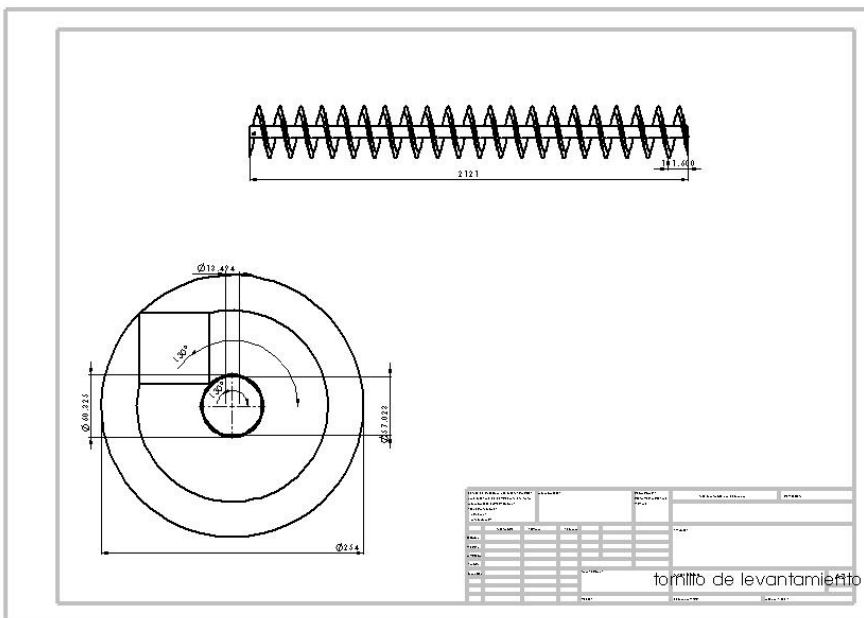


# ANEXOS

**“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”**

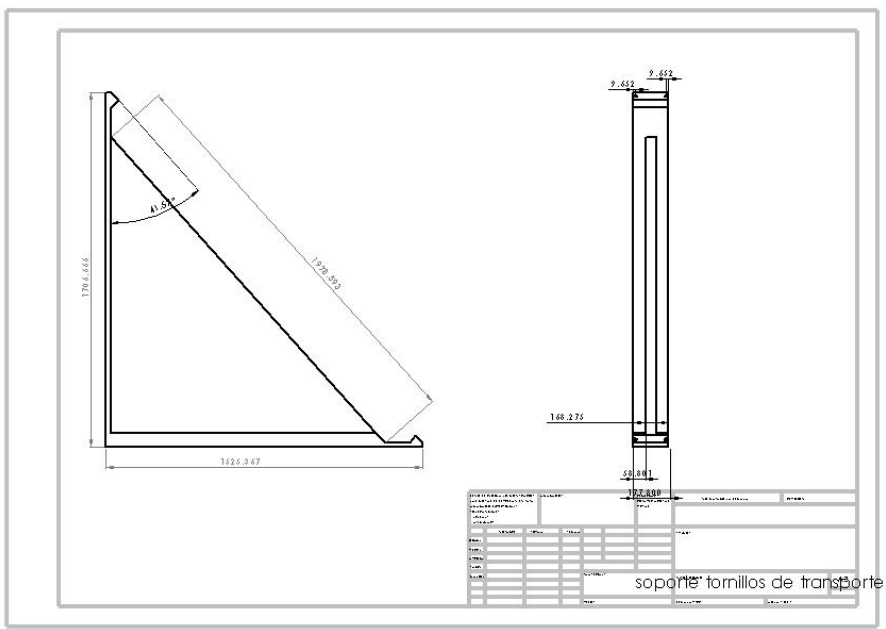


**TORNILLO  
SINFÍN DE  
TRANSPORTE**



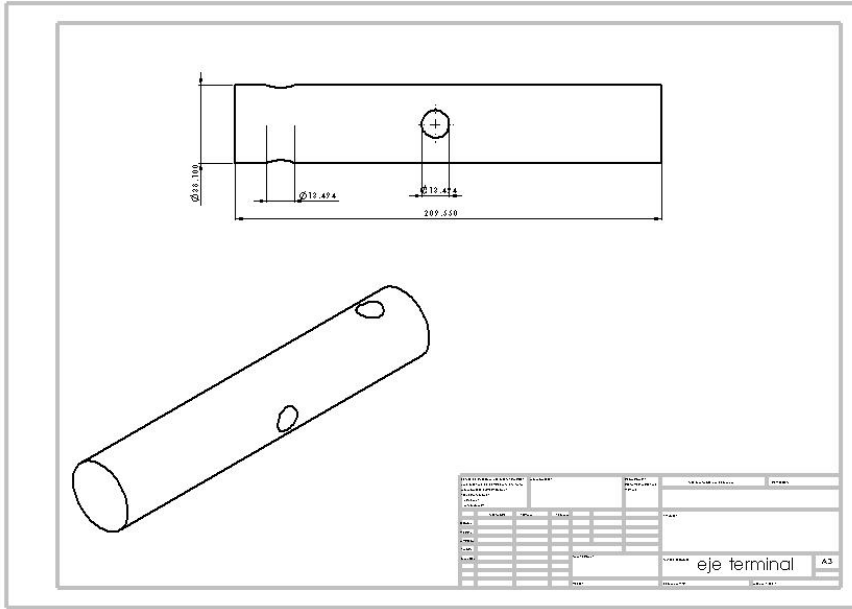
**TORNILLO DE  
LEVANTAMIENTO**

### SOPORTE TORNILLOS DE LEVANTAMIENTO

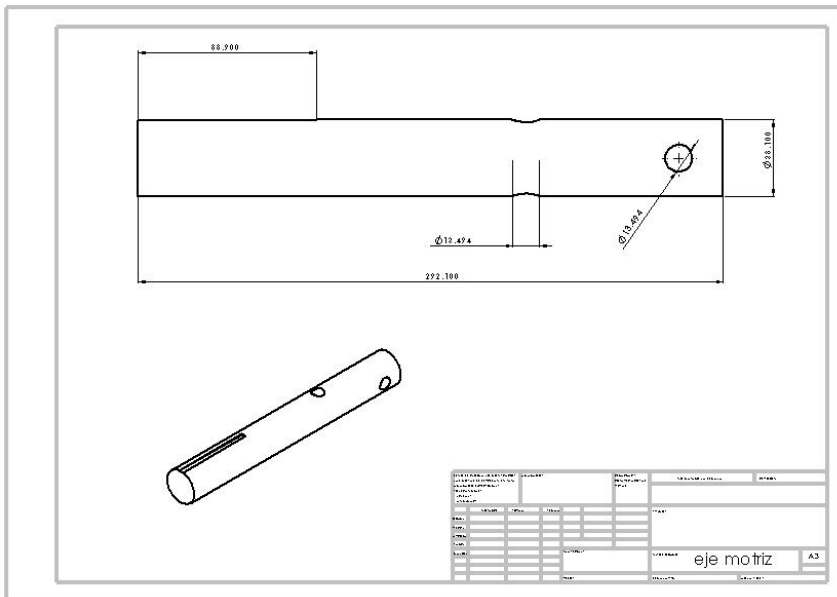


### EJE TERMINAL

“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”

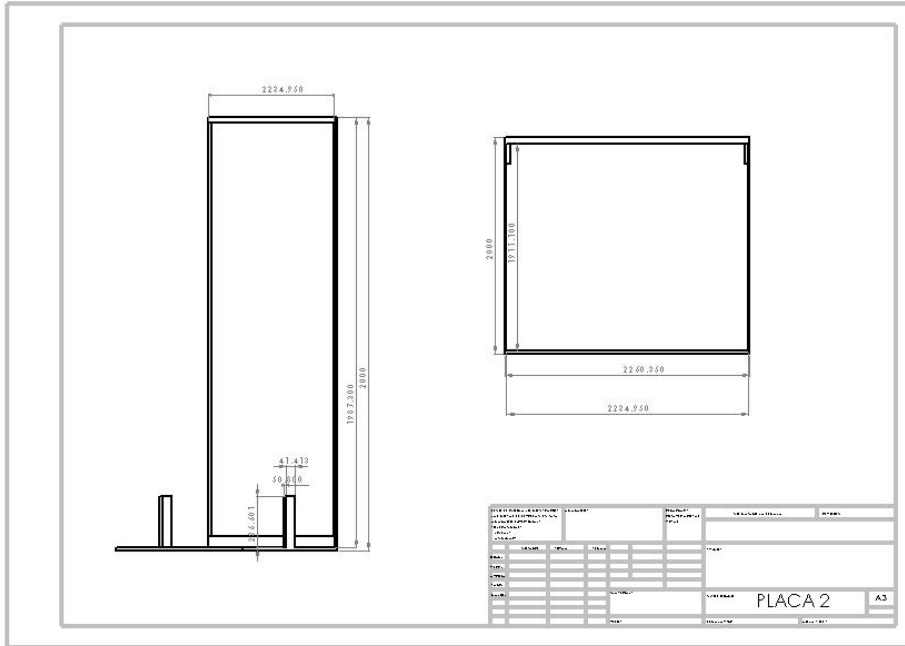


**EJE MOTRIZ**

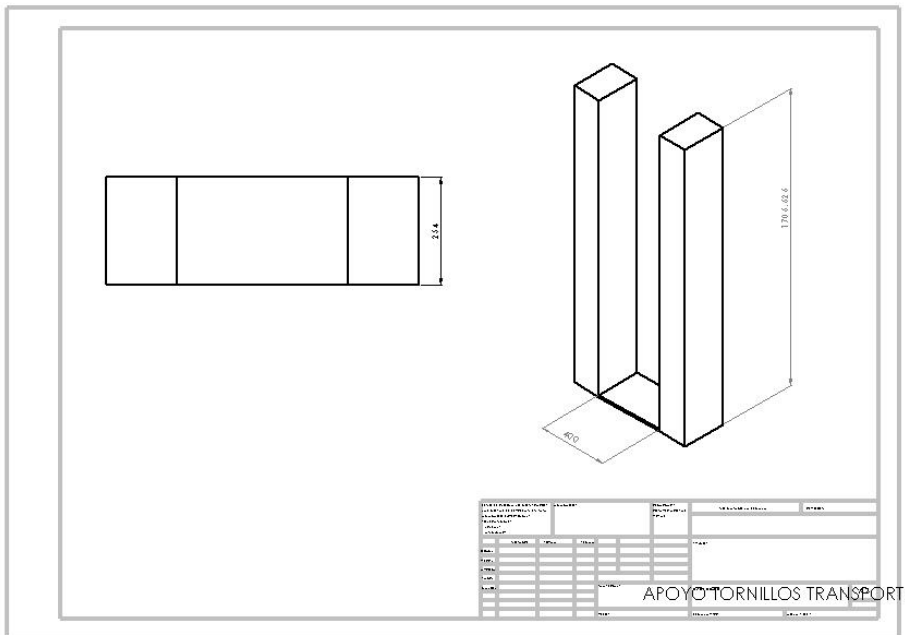


**BASTIDOR**

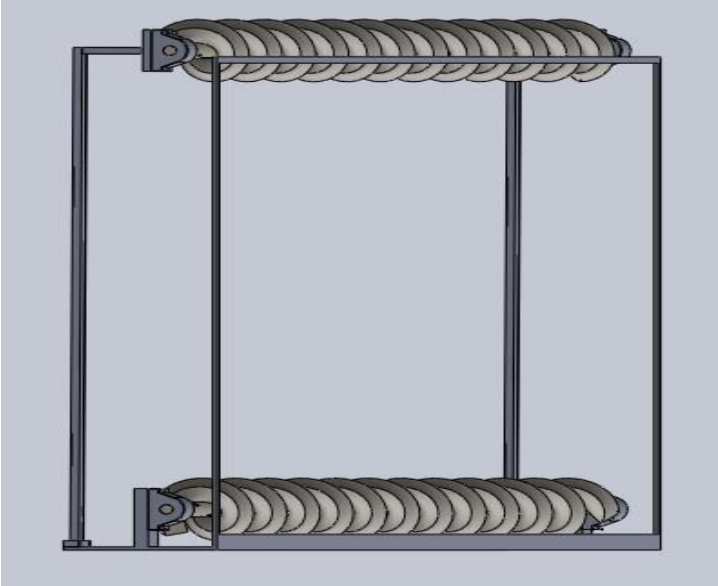
“PRIMERA ETAPA, DISEÑO DE MECANISMO DE CONDUCCION Y SEGADO PARA  
COSECHADORA DE CAÑA DE AZUCAR EN VERDE”



**APOYO TORNILLOS LEVANTAMIENTO**



### ETAPA ENSAMBLADA DE TRANSPORTE



### ETAPA ENSAMBLADA DE LEVANTAMIENTO

