



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®



# INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN

## Tesis



“Diseño y simulación de mecanismo recolector de vainas de chícharo en sembradíos agrícolas a cielo abierto”

PRESENTA:

**Ronaldo Aburto Gutiérrez**

CON NÚMERO DE CONTROL  
**19TE0437**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO MECATRÓNICO**

CLAVE DEL PROGRAMA ACADÉMICO  
**IMCT-2010-229**

DIRECTOR (A) DE TESIS:  
**M.S.C. GABRIEL ÁNGEL RAMÍREZ VICENTE**

TEZIUTLÁN, PUEBLA, JUNIO 2023

“La Juventud de hoy, Tecnología del Mañana”



# **PRELIMINARES**

## **Agradecimientos**

*A lo largo mi etapa como estudiante, he contado con el apoyo, la motivación y la orientación de personas valiosas, a quienes deseo expresar mi más sincero agradecimiento.*

*A mis padres, Sara y Benito, por su amor incondicional y su respaldo constante en cada etapa de mi vida. Gracias por ser mi fuente inagotable de fortaleza y por creer en mí aun cuando yo dudaba. Su ejemplo de esfuerzo y dedicación ha sido mi mayor inspiración.*

*A mis hermanos, quienes con su apoyo y compañerismo han hecho más llevadero este camino. Gracias por estar siempre dispuestos a ofrecer su ayuda y por sus palabras de aliento en los momentos más difíciles, han sido un pilar fundamental en mi vida.*

*A mis amigos y compañeros, por su compañía, sus ánimos y sus consejos. Su amistad ha sido un refugio en los momentos de estrés y un motivo de alegría en cada logro alcanzado. Gracias por las risas compartidas, los consejos sinceros y el apoyo desinteresado.*

*Finalmente, a mis profesores y asesor, cuyo conocimiento, paciencia y dedicación han sido fundamentales en mi formación Su compromiso con mi aprendizaje ha dejado una huella imborrable en mi trayectoria. A todos ustedes, gracias por estar a mi lado en este viaje. Este logro no habría sido posible sin su valiosa presencia.*

## Resumen

El presente trabajo propone la realización de un diseño de mecanismo recolector de vainas de chícharo. La importancia de este proyecto radica en la necesidad de contar con un proceso eficiente y preciso que permita mejorar el proceso de recolección del cultivo de vainas verdes de leguminosas.

Para realizar el diseño primero se realizó una investigación con enfoque en reconocer las características que se deben de considerar para el desarrollo del diseño, para esto se toma en cuenta las características morfológicas de la planta de chícharo, así como el método de siembra del mismo, de igual manera se procede a realizar el análisis de proyectos antecedentes que aborden el tema de diseño de cosechadora de leguminosas.

Tomando en cuenta la investigación realizada se procede a realizar el reconocimiento de los componentes, así como el material óptimo para el diseño del mecanismo. El proceso de diseño se realizará utilizando el software CAD SolidWorks, en él se realizará el diseño de las diferentes piezas que conformarán el cuerpo del mecanismo.

Con el propósito de asegurar tanto la efectividad como la seguridad operativa del proyecto, se llevaron a cabo diversos procedimientos. Se elaborará un modelo tridimensional del mecanismo recolector de vainas de leguminosas, abarcando tanto los componentes individuales como los ensamblajes. Además, se emplearán simulaciones y análisis de elementos finitos para identificar áreas de mejora y optimizar el diseño de manera más precisa.

## **Introducción**

Este trabajo se centra en el diseño y desarrollo de un mecanismo recolector especializado para optimizar la recolección de vainas verdes de leguminosas en sembradíos agrícolas a cielo abierto, buscando así soluciones innovadoras que puedan mitigar los problemas asociados con la recolección manual de vainas.

El primer capítulo del trabajo introduce las bases de la investigación, cubriendo el planteamiento del problema, las preguntas de investigación, los objetivos, la hipótesis, y las limitaciones. Además, establece la justificación del proyecto y proporciona un contexto histórico y antecedentes relevantes. Esta sección establece el fundamento inicial y destaca la importancia de mejorar la recolección de vainas verdes en los cultivos.

El siguiente capítulo se centra en el marco teórico, analizando las características del chícharo, los mecanismos utilizados en las cosechadoras, y los cálculos necesarios para el diseño del mecanismo de recolección. Esta parte proporciona el conocimiento teórico necesario para entender los aspectos técnicos y operativos que impactarán el desarrollo del mecanismo.

En el tercer capítulo, se detallan el desarrollo y la metodología del trabajo. Se explica el proceso de diseño y simulación del mecanismo recolector, incluyendo la revisión de la literatura especializada, los cálculos para el diseño de los componentes y la simulación del prototipo. Esta sección ofrece un enfoque sistemático y riguroso sobre la investigación.

Finalmente, en cuarto y quinto capítulo se presentan los resultados obtenidos y las conclusiones derivadas del estudio. Se evalúa la efectividad del mecanismo de recolección propuesto y se sugieren recomendaciones para futuras investigaciones y mejoras. Esta sección también plantea áreas para el progreso continuo en la agricultura, mediante la adopción de soluciones innovadoras que incrementen la eficiencia y sostenibilidad en la recolección de leguminosas.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

PRELIMINARES .....	1
Agradecimientos.....	2
Resumen .....	3
Introducción .....	4
CAPÍTULO I .....	15
Generalidades del proyecto .....	15
1.1 Descripción de la institución .....	16
1.1.1 Antecedentes .....	16
1.1.2 Misión .....	18
1.1.3 Visión.....	18
1.1.4 Área de trabajo del estudiante.....	18
1.2 Planteamiento del problema .....	19
1.3 Preguntas de investigación .....	20
1.4 Objetivos .....	20
1.4.1 Objetivo General.....	20
1.4.2 Objetivos Específicos.....	20
1.5 Hipótesis.....	21
1.6 Alcance .....	21
1.7 Limitaciones .....	22
1.8 Justificación de la investigación .....	23
1.9 Antecedentes .....	24
1.9.1 Estado del arte .....	24
CAPÍTULO II .....	29

Marco teórico .....	29
2.1 Fundamentos teóricos.....	30
2.1.1 Chícharo.....	30
2.1.1.1 Morfología .....	30
2.1.1.2 Fenología.....	31
2.1.1.3 Método y densidad de siembra.....	36
2.2 Cosechadoras agrícolas .....	36
2.2.1 Sistema de corte y recolección.....	37
2.2.1.1 Tipos de cabezales de corte.....	38
2.2.2 Proceso separación .....	39
2.2.2.1 Tipos de sistema de separación .....	39
2.2.3 Limpieza y recogida del cultivo .....	41
2.2.3.1 Partes del sistema de limpieza en cosechadoras.....	41
2.3 Diseño de ejes.....	43
2.3.1 Transmisión de potencia .....	43
2.3.2 Relación de transmisión .....	43
2.3.3 Fuerzas en engranajes y poleas .....	44
2.3.3.1 Engranajes rectos .....	44
2.3.3.2 Engranajes Helicoidales .....	45
2.3.3.3 Poleas .....	45
2.3.4 Cortante y momento flector en los planos X-Y y X-Z.....	46
2.3.5 Factores mecánicos del material .....	46
2.4 Numero de Reynolds.....	48
CAPÍTULO III .....	50

Desarrollo y metodología .....	50
3.1 Metodología aplicada para el desarrollo de la solución.....	51
3.1.1 Clasificar y definir tareas .....	52
3.1.2 Determinar las funciones y sus estructuras.....	52
3.1.3 Buscar principios de solución y sus combinaciones.....	52
3.1.4 Dividir en módulos realizables.....	52
3.1.5 Desarrollar arreglos de los módulos clave .....	52
3.1.6 Completar el arreglo general .....	53
3.1.7 Preparar las instrucciones de operación y producción.....	53
3.2 Clasificar y definir tareas .....	53
3.2.1 Especificaciones.....	53
3.3 Determinar las funciones y sus estructuras.....	54
3.3.2 Proceso de abstracción.....	55
3.3.3 Secuencias de operaciones.....	56
3.3.4 Funciones.....	56
3.4 Buscar principios de solución y sus combinaciones.....	57
3.5 Dividir en módulos realizables.....	65
3.5.1 Estructura modular .....	65
3.6 Desarrollo de los arreglos de los módulos clave .....	65
3.6.1 Transmisión de potencia .....	66
3.6.1.1 Diseño de poleas.....	68
3.6.1.2 Distribución de las poleas .....	69
3.6.1.3 Calculo de los diámetros de las poleas.....	70
3.6.2 Diseño de ejes de transmisión de potencia .....	73

3.6.3 Modulo de recolección.....	84
3.6.3.1 Diseño del eje del molinete.....	85
3.6.4 Transporte .....	94
3.6.5 Separación .....	96
3.6.6 Estructura .....	97
3.7 Completar el arreglo general .....	98
3.8 Preparar las instrucciones de operación y producción.....	98
3.8.1 Modulo de corte.....	99
3.8.1.1 Armado de los soportes de los ganchos recolectores .....	99
3.8.1.2 Diseño de los discos de soporte .....	100
3.8.1.3 Ensamble del molinete de recolección .....	101
3.8.2 Modulo de transportación.....	102
3.8.2.1 Rodillo motriz.....	102
3.8.2.2 Rodillo tensor.....	102
3.8.2.3 Bastidor de banda transportadora .....	103
3.8.2.4 Soportes de banda transportadora. ....	103
3.8.2.5 Soportes laterales de la banda transportadora .....	104
3.8.2.6 Ensamble de la banda transportadora .....	104
3.8.3 Modulo de separación .....	106
3.8.3.1 Turbina extractora con alabes hacia atrás.....	106
3.8.4 Modulo de Transmisión de potencia .....	109
3.8.5 Modulo estructural .....	112
CAPÍTULO IV .....	117
Resultados .....	117

CAPÍTULO V129	
Conclusiones .....	129
5.1 Conclusiones .....	130
5.2 Trabajos futuros .....	131
CAPÍTULO VI .....	132
Competencias desarrolladas .....	132
6.1 Competencias específicas .....	133
6.2 Competencias genéricas.....	136
CAPÍTULO VII .....	137
Fuentes de información .....	137
Referencias bibliográficas.....	138
CAPÍTULO VIII.....	142
Anexos .....	142
Anexo 1. Hoja de datos Motor Monofásico Weg, Modelo N00118OS1PA56 .....	143
Anexo 2. Croquis de diseño del Motor Monofásico .....	144
Anexo 3. Diámetros mínimos para motores .....	145
Anexo 4. Medidas de bandas en V tipo A .....	145
Anexo 5. Croquis de diseño para engranajes cónicos a 90° .....	146
Anexo 6. Propiedades típicas de los aceros .....	147
Anexo 7. Grafica para la obtención del Factor de Corrección por superficie ....	148
Anexo 8. Chaveteros y chavetas DIN 6885/1 – 6886 – 6887 .....	148
Anexo 9. Velocidades recomendadas en bandas transportadoras.....	149
Anexo 10. Propiedades del aire .....	149
Anexo 11. Dibujos .....	150

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación del ITST .....	17
Figura 2.	Estructura Organizacional .....	17
Figura 3.	Vista isométrica del recolector de vainas de guisantes .....	25
Figura 4.	Diagrama de la máquina y sus componentes .....	26
Figura 5.	Diagrama estructural de la cosechadora de soja verde .....	27
Figura 6.	Diseño y desarrollo de una cosechadora desgranadora de garbanzos	28
Figura 7.	Planta de chícharo ( <i>Pisum sativum</i> ).....	31
Figura 8.	Germinación de la semilla del chícharo .....	31
Figura 9.	Crecimiento vegetativo .....	32
Figura 10.	Floración .....	33
Figura 11.	Crecimiento de la vaina .....	33
Figura 12.	Relleno de granos .....	34
Figura 13.	Madurez para consumo en fresco.....	35
Figura 14.	Madurez fisiológica.....	35
Figura 15.	Sembradío de chícharo a cielo abierto .....	36
Figura 16.	Cosechadora y trilladora legumbres.....	37
Figura 17.	Molinete de Paletas .....	38
Figura 18.	Molinete recolector.....	39
Figura 19.	Sistema convencional de trillado .....	40
Figura 20.	Trilladora de rotores axiales.....	40
Figura 21.	Trillado de sistema híbrido mixto.....	41
Figura 22.	Máquina de limpieza con ventilador y zarandas.....	42
Figura 23.	Teoría de Von Mises en función del diámetro .....	43

Figura 24.	Fuerza de flexión en poleas .....	45
Figura 25.	Concentración de esfuerzos en chaflanes.....	48
Figura 26.	Flujo turbulento y laminar.....	49
Figura 27.	Metodología VDI 2221 .....	51
Figura 28.	Caja negra en cosechadora de chícharo.....	55
Figura 29.	Vista del diseño preliminar.....	64
Figura 30.	Calidad de la cosecha bajo diferentes rpm del molinete .....	66
Figura 31.	Árbol escalonado con varios métodos de fijación.....	73
Figura 32.	Diagrama de cuerpo libre (Eje de transmisión).....	76
Figura 33.	Cortantes en el eje X (Eje de transmisión) .....	78
Figura 34.	Momentos en el eje x (Eje de transmisión) .....	79
Figura 35.	Cortantes en el eje y (Eje de transmisión) .....	81
Figura 36.	Momentos en el eje y (Eje de transmisión) .....	82
Figura 37.	Distancia entre ganchos en molinete recolector.....	85
Figura 38.	Diagrama de cuerpo libre (Eje del molinete recolector).....	87
Figura 39.	Cortantes en el eje x (Eje del molinete recolector) .....	89
Figura 40.	Momentos en el eje x (Eje del molinete recolector) .....	90
Figura 41.	Cortantes en el eje y (Eje del molinete recolector) .....	91
Figura 42.	Momentos en el eje y (Eje del molinete recolector) .....	92
Figura 43.	Vista isométrica de la cosechadora de chícharo.....	98
Figura 44.	Esquema secuencial de la banda transportadora .....	99
Figura 45.	Vista isométrica y explosionada de los ganchos de recolección.....	100
Figura 46.	Disco de soporte .....	100
Figura 47.	Vista explosionada del molinete recolector .....	101

Figura 48.	Molinete recolector.....	101
Figura 49.	Vista isométrica y explosionada del rodillo motriz .....	102
Figura 50.	Vista isométrica y explosionada del rodillo simple.....	102
Figura 51.	Bastidor de la banda transportadora.....	103
Figura 52.	Soporte lateral .....	103
Figura 53.	Soportes laterales de la banda transportadora .....	104
Figura 54.	Vista explosionada de la banda transportadora .....	105
Figura 55.	Banda transportadora.....	105
Figura 56.	Vista de sección frontal e isométrica de la turbina .....	106
Figura 57.	Turbina extractora con alabes hacia atrás.....	106
Figura 58.	Vista parcial del ensamble del módulo de separación.....	107
Figura 59.	Vista explosionada del módulo se separación .....	108
Figura 60.	Módulo de separación.....	108
Figura 61.	Orientación de giro de los mecanismos de transmisión de potencia	109
Figura 62.	Vista explosionada de los reductores R1 y R2 .....	110
Figura 63.	Vista frontal de los reductores R2 y R3 .....	110
Figura 64.	Vista explosionada del reductor R1.....	111
Figura 65.	Vista isométrica del reductor R1 .....	111
Figura 66.	Estructura.....	112
Figura 67.	Instalación de chumaceras .....	112
Figura 68.	Instalación de láminas guías .....	113
Figura 69.	Instalación del molinete recolector .....	113
Figura 70.	Instalación de banda transportadora .....	114
Figura 71.	Instalación de las cubiertas.....	114

Figura 72.	Instalación de transmisión de potencia .....	115
Figura 73.	Instalación del módulo de separación .....	115
Figura 74.	Instalación del remolque .....	116
Figura 75.	Desplazamientos en la estructura .....	118
Figura 76.	Factor de seguridad en estructura .....	119
Figura 77.	Factor de seguridad en el eje de transmisión de potencia.....	120
Figura 78.	Desplazamiento en el eje de transmisión de potencia .....	121
Figura 79.	Factor de seguridad en el eje del molinete.....	122
Figura 80.	Desplazamientos en el eje del molinete recolector .....	123
Figura 81.	Desplazamiento en los soportes laterales de la banda transportadora . .....	124
Figura 82.	Factor de seguridad en soporte.....	125
Figura 83.	Iteración con 500 rpm .....	126
Figura 84.	Iteración con 550 rpm .....	127
Figura 85.	Iteración con 600 rpm .....	127
Figura 86.	Vista frontal de la cosechadora de chícharo .....	128

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Valores de tasa de supervivencia.....	47
Tabla 2.	Factor de concentración de esfuerzos en chaveteros .....	47
Tabla 3.	Características de diseño .....	54
Tabla 4.	Opciones de funciones.....	57
Tabla 5.	Comparativo de función de acoplamiento .....	58
Tabla 6.	Comparativo de función de transmisión de potencia .....	59
Tabla 7.	Comparativo de función de recogida.....	60
Tabla 8.	Comparativo de función de alimentación .....	61
Tabla 9.	Comparativo de función de elevación y transporte .....	62
Tabla 10.	Comparativo de función de separación .....	63
Tabla 11.	Propuesta de rpm en los diferentes módulos.....	68
Tabla 12.	Velocidad angular y diámetros en poleas .....	72
Tabla 13.	Velocidad angular y numero de dientes en engranes .....	72
Tabla 14.	Valores de factor de seguridad para flechas o ejes .....	83
Tabla 15.	Datos técnicos de banda transportadora.....	95

# **CAPÍTULO I**

## **Generalidades del proyecto**

## **1.1 Descripción de la institución**

### **1.1.1 Antecedentes**

Fundado en 1994 como respuesta a la necesidad de educación superior en la región, el ITST ha pasado por diversas etapas de crecimiento y adaptación.

Inicialmente establecido para ofrecer carreras en Ingeniería Industrial y Administración, el instituto rápidamente creció y se trasladó a instalaciones más adecuadas. A lo largo de los años, se realizaron mejoras significativas en el ámbito académico y administrativo, así como en la infraestructura física y tecnológica.

El instituto enfrentó desafíos, como el daño causado por la depresión tropical "IRENE" en 1999, pero continuó su labor académica con determinación. Tras la rehabilitación de sus instalaciones, el ITST se enfocó en alcanzar estándares de calidad, obteniendo certificaciones y acreditaciones para varios de sus programas educativos.

Bajo la dirección de diferentes líderes, el instituto ha mantenido un compromiso constante con la mejora continua, buscando no solo recuperarse de los desafíos, sino también superarlos. Se ha destacado por su enfoque en la calidad educativa, la transparencia en el uso de recursos y la atención a las necesidades de la sociedad.

Con una nueva estructura orgánica y un enfoque en la educación moderna y eficaz, el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán se consolida como una institución comprometida con la excelencia académica y el servicio a la comunidad, conforme a los principios de la Ley de Educación del Estado de Puebla.

Actualmente se encuentra ubicado en Fracción I y II S/N Aire Libre Teziutlán, Puebla, C.P. 73960 como se observa en la figura 1, bajo la Dirección General de la Maestra Arminda Juárez Arroyo, la institución cuenta con número telefónico (231) 31 1 40 00.

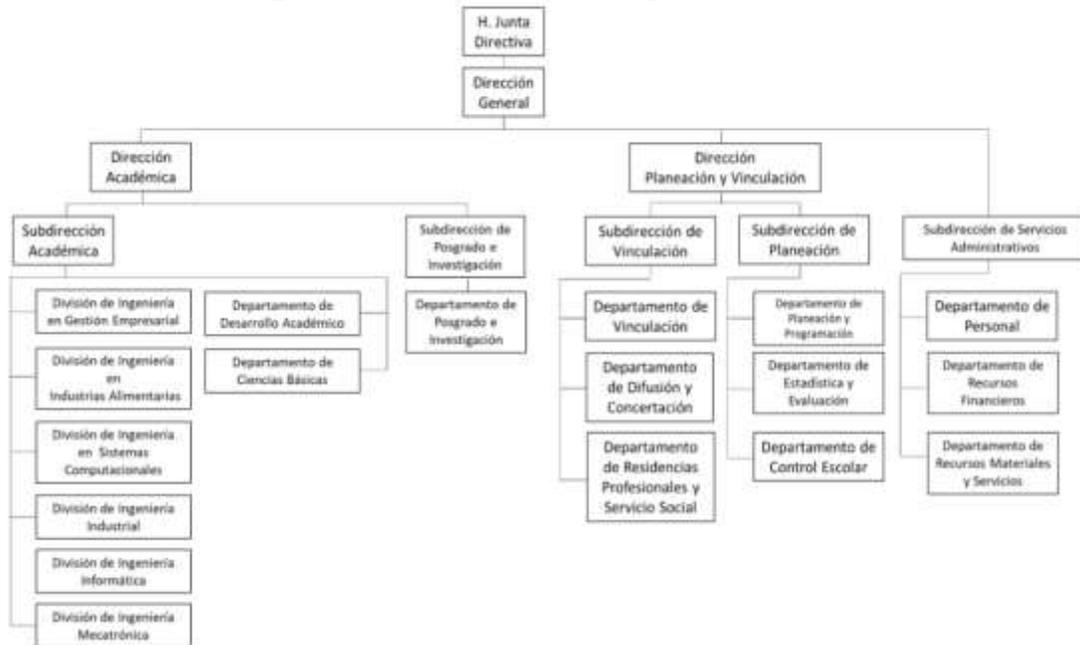
**Figura 1. Ubicación del ITST**



Fuente: Google Maps, 2024

La institución cuenta con una estructura organizacional como se muestra en la figura 2:

**Figura 2. Estructura Organizacional**



Fuente: Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, 2024

### **1.1.2 Misión**

El instituto Tecnológico Superior de Teziutlán tienen como Misión, formar Profesionales que se constituyan en agentes de cambio y promuevan el desarrollo integral de la sociedad, mediante la implementación de procesos académicos de calidad.

### **1.1.3 Visión**

Llegar a ser la Institución de Educación Superior Tecnológica más reconocida en el Estado de Puebla, que ofrezca un proceso de Enseñanza – Aprendizaje certificado, comprometido con la excelencia académica y la formación integral del Alumno, contribuyendo al desarrollo sustentable, económico, político y social de nuestro Estado.

### **1.1.4 Área de trabajo del estudiante**

Residente dentro del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán dentro de la carrera de Ingeniería Mecatrónica bajo la asesoría del Ingeniero Ángel Gabriel Ramírez Vicente, con el fin de desarrollar un proyecto definido, el cual lleva el nombre de “Diseño y simulación de mecanismo recolector de vainas de chícharo en sembradíos agrícolas a cielo abierto”, asignado bajo instancias académicas.

## **1.2 Planteamiento del problema**

En México, cerca del 59% de las familias enfrenta algún grado de inseguridad alimentaria, entendida como la falta de acceso tanto físico como económico a alimentos seguros y nutritivos suficientes para cubrir sus necesidades y mantener una vida activa y saludable, según un estudio de Rodríguez et al. (2021). No obstante, durante la pandemia de COVID-19, se observó una relación entre la pobreza y el deterioro de la seguridad alimentaria. Para el 2020, se calcula que el 22.5% de la población no contaba con acceso a una dieta nutritiva y de calidad, mientras que el 8.5% vivía en pobreza extrema, de acuerdo con datos del Coneval (2021). De acuerdo con la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), en 2019, la pobreza en las zonas rurales seguía siendo considerablemente más alta que en las áreas urbanas. En 2016, seis de cada diez personas que vivían en áreas rurales eran consideradas pobres, mientras que en las zonas urbanas esta cifra era de cuatro de cada diez. La FAO también resalta que un factor esencial para asegurar la seguridad alimentaria es tener acceso y control sobre los recursos de producción, como la tierra, el agua, los insumos, la tecnología, el conocimiento y los alimentos disponibles en los mercados.

La ausencia de tecnología en el sector agrícola en México afecta negativamente el crecimiento económico de las comunidades rurales. Esta falta de recursos provoca que la cosecha sea realizada de manera manual, lo cual resulta ineficiente y costoso, incrementando los costos de producción y reduciendo las ganancias para los agricultores. Además, la carencia de maquinaria adecuada limita tanto la expansión como la competitividad de las actividades agrícolas en estas áreas, lo que se traduce en una menor generación de empleo e ingresos. Esta situación no solo reduce la rentabilidad de los productores, sino que también perpetúa el ciclo de pobreza, al obstaculizar el acceso a oportunidades económicas y la mejora de la calidad de vida de las personas que habitan en zonas rurales. Por ello, es fundamental abordar la falta de tecnología para fomentar un desarrollo económico equitativo y sostenible en las comunidades rurales de México.

## **1.3 Preguntas de investigación**

- ¿Es posible automatizar el proceso de cosecha de chícharo?
- ¿Qué requerimientos técnicos son necesarios para el diseño de una cosechadora de chícharo?
- ¿Cuáles son los factores más críticos en la calibración del sistema de recolección para minimizar pérdidas de producto?

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar y simular un mecanismo recolector de vainas de chícharo con el fin de optimizar el proceso de cosecha agrícola.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Investigar el estado de arte sobre cosechadora de chícharos para determinar los requerimientos técnicos de diseño.
- Seleccionar los materiales y componentes adecuados para el diseño del mecanismo recolector con el objetivo de asegurar su eficiencia y funcionalidad del mecanismo.
- Simular el mecanismo recolector desarrollado para verificar su rendimiento y resistencia.

## **1.5 Hipótesis**

La implementación del mecanismo recolector de vainas de leguminosas en sembradíos agrícolas a cielo abierto contribuirá a optimizar el proceso de cosecha agrícola.

## **1.6 Alcance**

Esta tesis tiene como objetivo principal desarrollar un diseño funcional y eficiente de un mecanismo recolector de vainas de chícharo que pueda ser implementado en la agricultura mecanizada. El alcance de la tesis incluye la identificación de los requerimientos técnicos y operativos para la recolección efectiva de vainas, el análisis de diferentes conceptos de diseño, la selección de materiales adecuados, y la simulación del desempeño del mecanismo bajo condiciones típicas de campo.

El resultado esperado de la investigación es la creación de un prototipo de diseño que cumpla con los criterios de eficiencia, bajo costo de fabricación, y facilidad de operación y mantenimiento.

Para lograr estos objetivos, se utilizará una combinación de métodos de diseño asistido por computadora (CAD), análisis cinemático y dinámico de mecanismos, y pruebas de simulación en software especializado. Se llevará a cabo una revisión bibliográfica del estado del arte sobre principios de recolección agrícola.

El alcance de la investigación se limitará al diseño del mecanismo, sin incluir la construcción del prototipo físico o la implementación en un sistema agrícola real. Sin embargo, se propondrán recomendaciones para futuros estudios y pruebas experimentales que permitan validar y mejorar el diseño propuesto.

## **1.7 Limitaciones**

La presente investigación se enfoca únicamente en el diseño teórico y la simulación del mecanismo recolector. La construcción y prueba del prototipo físico del mecanismo no están contempladas en este estudio debido a limitaciones de recursos, tiempo y capacidad técnica.

Aunque el diseño se ajustará a condiciones típicas de recolección de vainas de chícharo, no se podrá considerar todas las variables posibles de campo, como variaciones extremas en el clima, tipos de suelo, o condiciones de cultivo específicas. Las simulaciones y análisis se basarán en condiciones estándar, lo que podría limitar la aplicabilidad del diseño en contextos extremos o no previstos.

La investigación no abordará en profundidad la evaluación exhaustiva de costos asociados a la fabricación del mecanismo, ni la disponibilidad de materiales en distintos mercados. El enfoque se centrará en soluciones de diseño, sin un análisis exhaustivo de viabilidad económica detallada.

El diseño del mecanismo estará optimizado para un tipo específico de chícharo, y puede no ser fácilmente adaptable a otras variedades de chícharo que presenten diferencias significativas en tamaño, forma o características de la vaina.

El diseño propuesto no considerará la integración del mecanismo recolector con otros equipos agrícolas existentes. La compatibilidad y coordinación con sistemas agrícolas ya implementados no serán parte de los objetivos de esta investigación.

## **1.8 Justificación de la investigación**

El presente proyecto se centra en la realización del diseño de un mecanismo recolector de vainas de leguminosas, esto con el fin de abordar una de las grandes problemáticas de México la cual es la falta de seguridad alimentaria, dicho problema se ve agravado en las zonas rurales del país. Según la FAO una de las principales causas de esta problemática es la falta de tecnología en los métodos de producción y recolección de alimentos.

El campo mexicano enfrenta una importante brecha tecnológica en comparación con otros sectores económicos. La introducción de maquinaria agrícola avanzada, como la cosechadora de chícharo, contribuirá significativamente a la modernización y aumento de la productividad en las zonas rurales.

La implementación de maquinaria agrícola adecuada, ayudará a reducir los costos asociados con la contratación de mano de obra para tareas de recolección manual. Esto se traducirá en un aumento de la rentabilidad para los agricultores, permitiéndoles reinvertir en sus operaciones y mejorar su capacidad productiva.

La mejora en las prácticas de cosecha y la disponibilidad de cultivos de alta calidad, facilitada por la implementación de la cosechadora de vainas de leguminosas, promueve el acceso a alimentos con mayor valor nutricional para la población. Esto es especialmente importante en un contexto donde la malnutrición y las deficiencias de alimentos inocuos y nutritivos son preocupaciones de interés global.

## **1.9 Antecedentes**

### **1.9.1 Estado del arte**

La cosecha de vainas de chícharo ha sido tradicionalmente una tarea laboriosa y costosa, debido a la falta de maquinaria especializada diseñada específicamente para este propósito. A lo largo de las décadas, diversos esfuerzos de investigación han buscado abordar esta problemática mediante el desarrollo de cosechadoras de vainas de chícharo más eficientes y efectivas. En la literatura actual, se encuentran numerosos estudios que abordan diferentes aspectos relacionados con la cosecha de chícharos y el diseño de maquinaria agrícola.

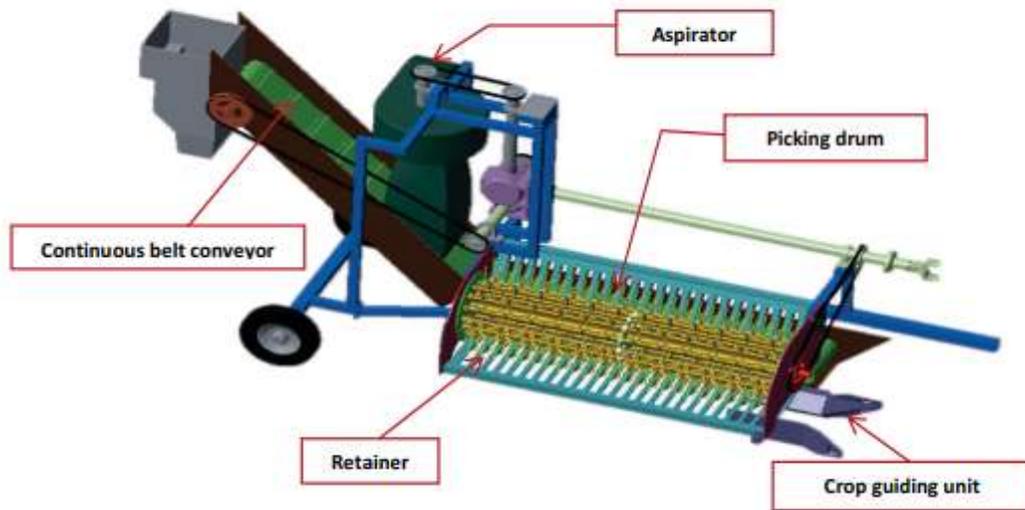
A continuación, se detallan los trabajos consultados que se centran en la cosecha de vainas de leguminosas. Estos estudios ofrecen una visión integral sobre los avances en la maquinaria especializada y las técnicas innovadoras para mejorar la eficiencia y efectividad en la recolección de estos cultivos.

a) El estudio de Bhad et al. (2021) aborda esta problemática mediante el diseño y desarrollo de una cosechadora de vainas de chícharo operada por tractor, con el objetivo de mitigar la dependencia de la mano de obra manual y mejorar la eficiencia en la recolección. El diseño conceptual de la cosechadora se basa en la variedad de chícharo AP-3 y las prácticas agronómicas locales. Se seleccionaron parámetros operativos y de diseño importantes para el estudio, y se utilizó el software Creo 3.0 para realizar el diseño asistido por computadora de la cosechadora.

El recolector de vainas de guisantes funciona mediante un tambor rotativo que, al desplazarse por el campo, desprende las vainas de las plantas sin afectar al resto de la planta, que permanece en el suelo. Las vainas se separan utilizando púas de resorte con un espacio reducido entre ellas. El material recolectado, que incluye vainas en buen estado, dañadas, hojas y otros desechos, se transporta a una unidad de aspiración a través de una cinta transportadora.

Esta unidad se encarga de separar los desechos de las vainas, expulsando los restos por una salida específica, mientras que las vainas se descargan por otra salida en la parte trasera del recolector, el diseño se muestra en la figura 3.

**Figura 3. Vista isométrica del recolector de vainas de guisantes**



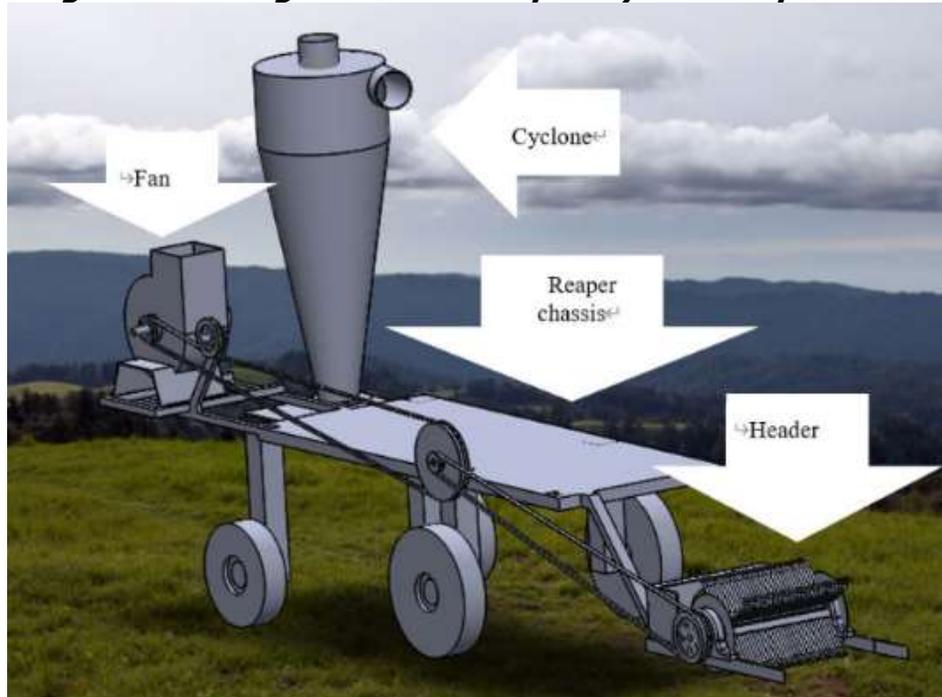
Fuente: Bhad et al, Diseño asistido computadora de un recolector de vainas de guisantes operado por tractor, 2021, p.9

b) El artículo presentado por Soltan et al. (2013) describe el diseño y desarrollo de una cosechadora autopropulsada de garbanzos para áreas de cultivo pequeñas. Con el objetivo de facilitar la cosecha de garbanzos los autores diseñaron y fabricaron un cabezal de stripper de garbanzos siguiendo los principios de diseño de los cabezales de stripper y prestando atención a las características y requisitos del producto.

Los componentes utilizados en el diseño incluyen un sistema colector y transportador neumático, un acumulador de vainas, un separador ciclónico y un ventilador centrífugo. La energía mecánica requerida para hacer girar el cabezal y el ventilador proviene del motor de una cosechadora BCS, seleccionado por su amplia disponibilidad y características funcionales, con el objetivo de obtener un buen rendimiento con una pérdida de energía moderada.

Después de la fase de diseño, los componentes fueron fabricados y ensamblados, y la máquina fue sometida a evaluaciones preliminares, véase la figura 4 donde se muestra una vista del prototipo diseñado.

**Figura 4. Diagrama de la máquina y sus componentes**



Fuente: Soltan et al, Cosechadora de garbanzos autopropulsada para pequeñas superficies de cultivo, 2013, p.3

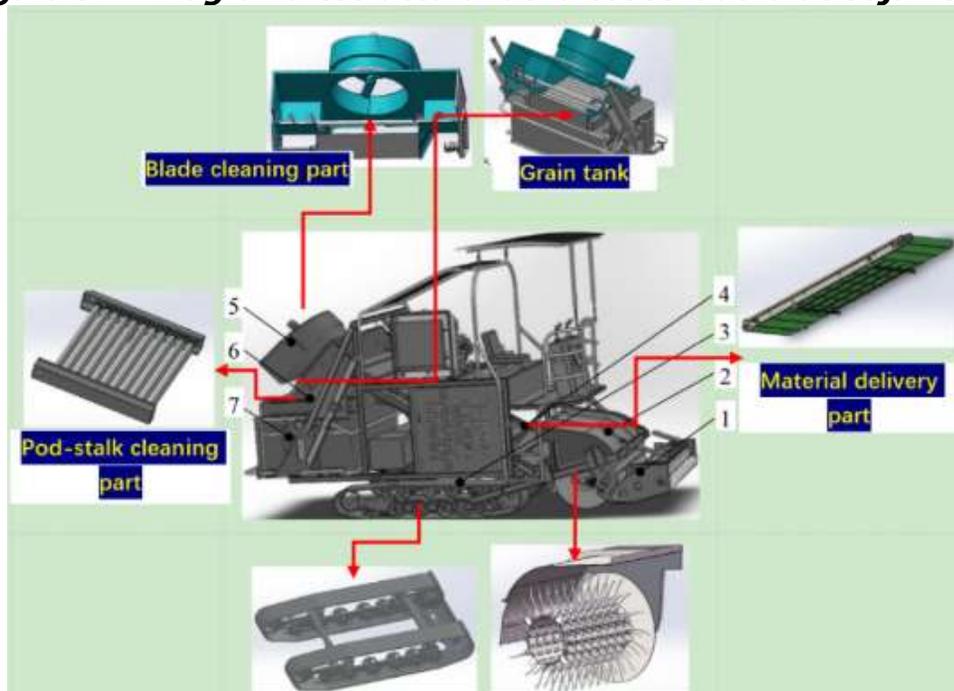
- c) El estudio llevado a cabo por Zhao et al. (2023) representa un avance significativo en el campo de la cosecha mecanizada de vainas de soja verde. Para abordar la baja eficiencia de la cosecha manual de soja verde y la falta de cosechadoras adecuadas, se diseñó una cosechadora de soja verde tipo cepillado. Esta cosechadora incluye un tambor de separación frontal, un mecanismo de suministro de material de ancho completo, un sistema de limpieza por presión negativa y un sistema de separación de tallos y vainas.

El estudio analizó parámetros como la velocidad de rotación del tambor, la velocidad de desplazamiento y la distancia entre dientes usando una prueba ortogonal con el software Design-Expert. Se determinaron los parámetros

óptimos: velocidad de rotación de 397,36 rpm, distancia axial entre dientes de 4,8 mm y velocidad de desplazamiento de 0,5 m/s.

Los resultados de campo mostraron una tasa de desprendimiento de vainas del 94 %, una tasa de daño del 3,04 %, una eficiencia de cosecha superior a 0,187 hm<sup>2</sup>/h y un contenido de impurezas menor al 7,8 %, cumpliendo así con los requisitos de diseño. Estos hallazgos ofrecen una referencia útil para el diseño de cosechadoras de soja, en la figura 5 se muestra el diseño final obtenido.

**Figura 5. Diagrama estructural de la cosechadora de soja verde**



Fuente: Zhao et al, Equipo de recolección de vainas de soja verdes tipo peine-cepillado, 2023, p. 4

- d) En el trabajo Golpira et al. (2013) se desarrolló y construyó una cosechadora arrastrada por tractor con un cabezal desgranador modificado, que utiliza dedos pasivos con ranuras en forma de V para extraer las vainas de garbanzo de las plantas, y un carretel con bate que desplaza las vainas a lo largo de la plataforma. Se realizaron pruebas de campo para evaluar cómo el ancho de ranura y la velocidad del carretel afectan el rendimiento de la máquina en términos de pérdidas durante la cosecha.

Se observó que las pérdidas eran mínimas cuando el diseño tenía un ancho de ranura de 4 cm, una velocidad del carretel de 50 rpm y un índice cinemático del carretel de 1,6. El prototipo, con un ancho de trabajo de 1 metro, mostró una tasa de trabajo de 0,18 ha/h y una calidad de trabajo satisfactoria. La conclusión principal es que esta cosechadora modificada es eficaz en terrenos irregulares donde otras máquinas no pueden operar. El mecanismo se puede ver en la figura 6.

**Figura 6. Diseño y desarrollo de una cosechadora desgranadora de garbanzos**



Fuente: Golpira et al, Diseño y desarrollo de una cosechadora desgranadora de garbanzos, 2013, p.931

# **CAPÍTULO II**

## **Marco teórico**

## **2.1 Fundamentos teóricos**

### **2.1.1 Chícharo**

Según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2018), el chícharo es una leguminosa, esta es la semilla de una planta trepadora del mismo nombre. Esta se encuentra en vainas verdes que contienen entre cuatro y diez guisantes. Originaria del Asia occidental, la planta del guisante fue introducida a México durante la época de la conquista española. Hoy en día, el chícharo es un ingrediente común en la gastronomía mexicana debido a su sabor y su valor nutricional, ya que es una fuente de vitaminas A y C, minerales, fibra y azúcares beneficiosos para el organismo.

En México, el cultivo de chícharo abarca 19 estados, con una producción de 63,934 toneladas cosechadas en 11,254.38 hectáreas durante el año 2017. Los principales estados productores son el Estado de México y Puebla, con 26,718 toneladas y 11,158 toneladas, respectivamente. Los guisantes están disponibles durante todo el año en diversas formas: frescos, congelados, enlatados o secos, lo que permite su consumo ininterrumpido.

#### **2.1.1.1 Morfología**

López y Guadarrama (2016) describen que los guisantes, o chícharos, tienen una raíz principal con numerosas raíces secundarias y terciarias ramificadas que contienen nódulos con bacterias nitrificantes, las cuales fijan el nitrógeno para nutrir la planta. El tallo, de color verde claro, puede variar en longitud y es hueco y estriado tal y como se muestra en la figura 7. Las hojas son compuestas, con folíolos elípticos y ondulados. Las flores, que pueden ser blancas o moradas, son pentámeras y las vainas, que miden de 5 a 10 cm, contienen de 4 a 10 semillas. Las semillas tienen un corto periodo de latencia y pueden germinar hasta por 3 años.

**Figura 7. Planta de chícharo (*Pisum sativum*)**



Fuente: Otto W. T, Flora von Deutschland, 1885

### **2.1.1.2 Fenología**

#### **a) Germinación**

López & Guadarrama (2016) mencionan que, durante la germinación el embrión de la semilla se activa con agua, oxígeno y temperatura óptima. Los procesos enzimáticos se activan, liberando las reservas de los cotiledones para el crecimiento. Como se observa en la figura 8 la radícula y la plúmula emergen, con esta última curvada hacia abajo al principio y luego enderezándose. En el guisante, la germinación es hipogea, manteniendo los cotiledones bajo tierra mientras la plántula crece.

**Figura 8. Germinación de la semilla del chícharo**



Fuente: López & Guadarrama, Tecnología de producción para el cultivo de chícharo, 2016, p. 62

## b) Crecimiento vegetativo

El crecimiento vegetativo, según López & Guadarrama (2016) es la etapa que comprende desde la emergencia inicial hasta los primeros botones florales. El tallo principal crece en longitud y grosor, estableciendo la estructura principal. Las ramas basales emergen, especialmente en los primeros nudos del tallo. Las hojas brotan y se expanden para captar luz solar y facilitar la fotosíntesis, así como se presenta en la figura 9.

**Figura 9. Crecimiento vegetativo**



Fuente: López & Guadarrama, Tecnología de producción para el cultivo de chícharo, 2016, p. 63

## c) Floración

López & Guadarrama (2016) hacen mención que en esta parte del proceso de crecimiento de la planta las flores se protegen entre las hojas antes de abrirse, como en el guisante, donde la autofecundación ocurre antes de la apertura completa, siendo cleistógamas. La floración se considera alcanzada cuando al menos el 50% de las plantas tienen una flor abierta, marcando el inicio crucial de la fertilización y la formación de semillas como se ve en la figura 10, asegurando la continuidad de la especie.

**Figura 10. Floración**



Fuente: López & Guadarrama, Tecnología de producción para el cultivo de chícharo, 2016, p. 65

d) Crecimiento de la vaina

López & Guadarrama (2016) señalan que, durante la fertilización los pétalos se cierran alrededor del ovario formando una vaina. Con el tiempo, esta vaina crece en tamaño y grosor, mientras que los pétalos marchitos la liberan. Los granos dentro de la vaina comienzan a desarrollarse, formando el endocarpio o pergamino, un tejido fibroso que proporciona soporte y protección a los granos en desarrollo, asegurando su maduración adecuada como se observa en la figura 11.

**Figura 11. Crecimiento de la vaina**



Fuente: López & Guadarrama, Tecnología de producción para el cultivo de chícharo, 2016, p. 66

e) Relleno de granos

El crecimiento de los granos según López & Guadarrama (2016), comienza antes de que las vainas alcancen su longitud máxima, siendo inicialmente lento y luego acelerándose notablemente. Este rápido crecimiento se evidencia por el abultamiento visible en las vainas, indicando el llenado rápido de los granos en su interior. El abultamiento de las vainas es un indicador visual del proceso de llenado de granos, marcando un hito importante en el ciclo de vida de la planta tal y como se muestra en la figura 12.

**Figura 12. Relleno de granos**



Fuente: López & Guadarrama, Tecnología de producción para el cultivo de chícharo, 2016, p. 66

f) Madurez para consumo en fresco

La maduración para el consumo en fresco de los guisantes se alcanza cuando las cavidades de la vaina están completamente llenas. De acuerdo con López & Guadarrama (2016) este estado se caracteriza por un contenido de humedad en los granos que oscila entre el 72% y el 74%. Además, el tamaño de los granos puede variar según la variedad de guisantes. Como se puede observar en la figura 13, en este punto, los guisantes están en su punto óptimo de dulzura y sabor, listos para ser cosechados y consumidos frescos.

**Figura 13. Madurez para consumo en fresco**



Fuente: López & Guadarrama, Tecnología de producción para el cultivo de chícharo, 2016, p. 67

g) Madurez fisiológica

La madurez fisiológica de los guisantes sigue a su fase de maduración para el consumo fresco. Como se muestra en la figura 14, el color verde característico de los guisantes se desvanece gradualmente por la pérdida de clorofila, y los granos dulces comienzan a arrugarse cuando la humedad alcanza el 62-63%. López & Guadarrama (2016) mencionan que la madurez fisiológica se alcanza cuando las reservas de nutrientes son máximas y la humedad es del 52 al 54%, con los granos presentando superficies rugosas o lisas según la variedad.

**Figura 14. Madurez fisiológica**



Fuente: López & Guadarrama, Tecnología de producción para el cultivo de chícharo, 2016, p. 68

### **2.1.1.3 Método y densidad de siembra**

El Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal recomienda surcos de 60 a 80 cm de ancho, véase la figura 15, donde se colocan 16 a 18 semillas por metro lineal en ambos bordes. Las semillas brotan en aproximadamente una semana, dependiendo de la variedad y las condiciones ambientales. La germinación se observa entre los 7 y 10 días, con la aparición de dos cotiledones que nutren a las plántulas. Entre 7 y 15 días después del trasplante, se sugiere instalar un tutor para apoyar el crecimiento y mejorar la captación de luz solar. La cosecha comienza cerca de los 85 días posteriores a la siembra, aunque esto varía según el clima y la variedad. La recolección de vainas tiernas debe hacerse cada 4 o 5 días, seleccionando las vainas completas y jugosas. Las semillas se recolectan cuando las vainas están secas y las plantas han adquirido un tono amarillento.

***Figura 15. Sembradío de chícharo a cielo abierto***



Fuente: López & Guadarrama, Tecnología de producción para el cultivo de chícharo, 2016, p. 68

## **2.2 Cosechadoras agrícolas**

Una cosechadora contemporánea, también conocida simplemente como cosechadora, es un equipo multifuncional desarrollado para recolectar de forma eficaz diversos cultivos en el campo como se ilustra en la figura 16. Su función principal es obtener productos limpios, los cuales suelen ser almacenados

temporalmente en el depósito de la máquina y luego descargados periódicamente para su transporte, procesamiento o almacenamiento adicional.

La cosechadora integra varias operaciones tecnológicas, como el corte y recolección de las plantas, la trilla y separación de la planta del cultivo, así como la limpieza y recogida del cultivo en el tanque de la cosechadora.

**Figura 16. Cosechadora y trilladora legumbres**



Fuente: Agromaquinaria, Cosechadoras de leguminosas, Recogedora y trilladora de legumbres, 2024

### **2.2.1 Sistema de corte y recolección**

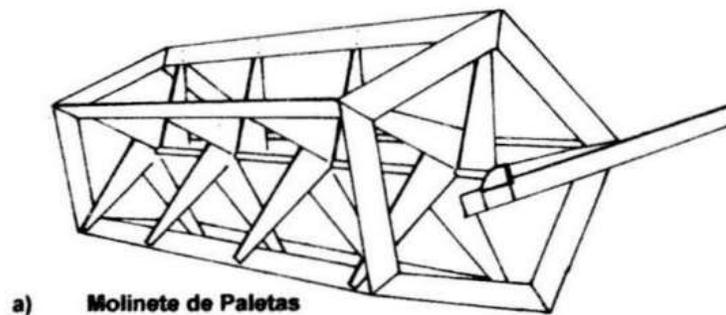
Miu (2015) menciona en que los procesos de corte y recolección de las plantas se llevan a cabo mediante cabezales de corte, también conocidos como cabezales o segadoras, los cuales están diseñados para cultivos específicos, tecnologías de cosecha o ambos. Estos cabezales se montan en la parte delantera de la cosechadora, generalmente en una disposición simétrica con respecto al ancho de la máquina. Los tipos principales de cabezales incluyen el cabezal estándar (o plataforma), el cabezal de cortina, el cabezal para maíz, el cabezal separador (utilizado para el arroz), el cabezal para girasol y el cabezal de recogida desde la parte superior (para los frijoles).

### 2.2.1.1 Tipos de cabezales de corte

#### a) Molinete de paletas

Son componentes utilizados en maquinaria agrícola, específicamente en cosechadoras. Este tipo de cabezal consiste en un conjunto de paletas que giran alrededor de un eje horizontal, véase la figura 17. Las paletas están diseñadas para sostener y guiar las plantas hacia las cuchillas de la barra de corte, asegurando que los tallos sean cortados de manera uniforme y eficiente.

**Figura 17. Molinete de Paletas**

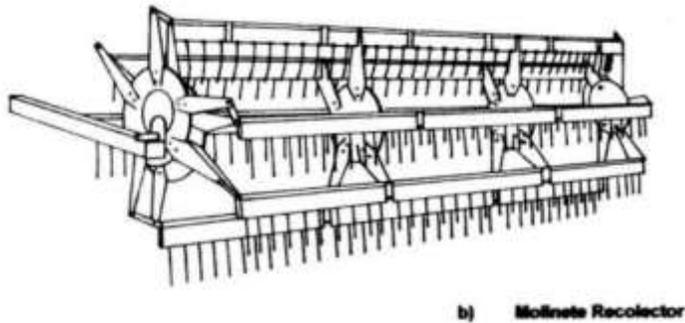


Fuente: Castro, Parámetros de operación en las combinadas, 1997, p.2

#### b) Molinete recolector

Este modelo de molinete incorpora dedos o ganchos de acero adheridos a las tabletas, como se ve en la figura 18. Está diseñado específicamente para levantar cultivos derribados, una función que el molinete de paletas no puede realizar. Tanto las paletas como los ganchos son ajustables, permitiendo su entrada a la cosecha con el ángulo óptimo. Además, el molinete ofrece la posibilidad de realizar ajustes tanto horizontales como verticales, lo que mejora su eficiencia en diversas situaciones de cultivo.

**Figura 18. Molinete recolector**



Fuente: Castro, Parámetros de operación en las combinadas, 1997, p.2

## **2.2.2 Proceso separación**

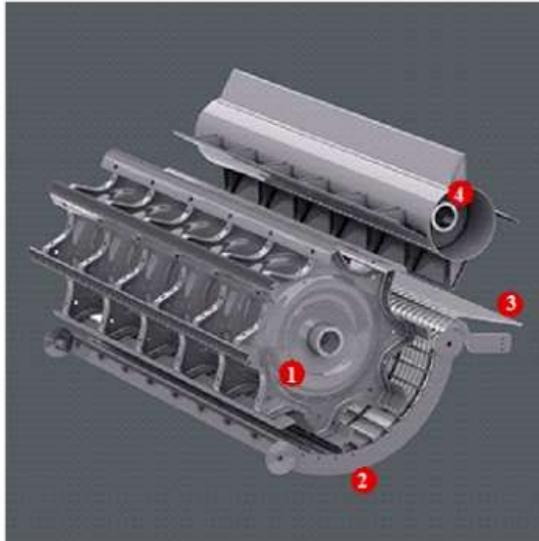
Miu (2015) define al proceso de trilla y separación, el cual implica el desprendimiento de los granos o vainas de la parte floral que los sustenta, así como la separación de estos materiales del resto de los elementos distintos al cultivo deseado. Estas tareas se llevan a cabo mediante un sistema de trilla, el cual puede consistir en un módulo o una secuencia de módulos de trilla. Dado que el sistema de trilla no logra separar todos los granos o vainas, una cosechadora convencional está equipada con sacudidores que agitan la planta para recuperar el resto del cultivo.

### **2.3.2.1 Tipos de sistema de separación**

#### **a) Sistema convencional**

De acuerdo con PROFECIONAL AGRO (s.f.) el método tradicional incluye un cilindro con barras de gran masa, que gira a alta velocidad, y un cóncavo. Las barras del cilindro arrastran la cosecha a través del cóncavo para separar el cultivo del material no deseado. Las regulaciones principales son la velocidad del cilindro y la separación entre éste y el cóncavo. Para cultivos húmedos se aumenta la velocidad, para secos se disminuye. Se ajusta la distancia del cóncavo para evitar la ruptura o pérdida del grano. Al final del cilindro está el batidor o lanza pajas, que ayuda a pasar la cosecha a los sacudidores, donde ocurre la separación. Algunos fabricantes añaden más cilindros desgranadores y aceleradores para ampliar la superficie de separación como se observa en la figura 19.

**Figura 19. Sistema convencional de trillado**

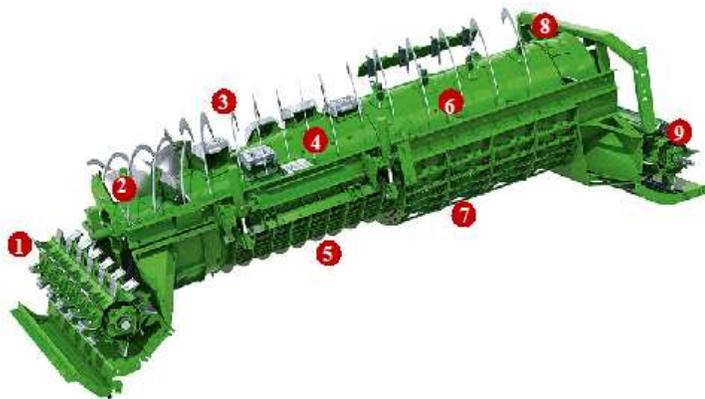


Fuente: Interempresas, Sistemas de trilla y separación en cosechadoras, 2021

b) Sistema de rotores axiales

PROFECIONAL AGRO (s.f.) hace referencia a este tipo de sistema en la cual los rotores se encuentran dispuestos longitudinalmente en la máquina, giran dentro de otro rotor y tienen un aspirador para recoger la cosecha. Cada rotor está cerrado en la parte superior con barras helicoidales y tiene rejillas de trilla en la parte inferior. Algunas máquinas tienen un solo rotor grande, mientras que otras tienen dos rotores que giran en direcciones opuestas tal y como se muestra en la figura 20.

**Figura 20. Trilladora de rotores axiales**

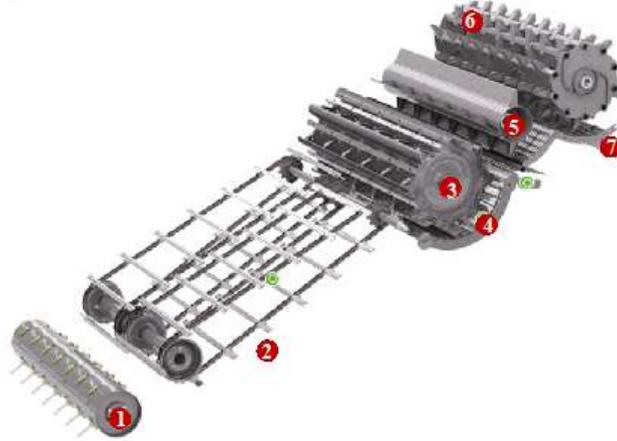


Fuente: Interempresas, Sistemas de trilla y separación en cosechadoras, 2021

c) Sistema mixto

Un tercer sistema de trilla y separación según PROFECIONAL AGRO (s.f.) combina ambos enfoques, utilizando rodillos y cóncavos convencionales para la trilla, seguidos por rotores en lugar de sacudidores para la separación. Estos rotores están encargados exclusivamente de la separación, con una caja de cribas debajo de ellos como se ve en la figura 21.

**Figura 21. Trillado de sistema híbrido mixto**



Fuente: Interempresas, Sistemas de trilla y separación en cosechadoras, 2021

### **2.2.3 Limpieza y recogida del cultivo**

El sistema de limpieza de la cosechadora según Miu (2015) tiene como objetivo separar los granos o vainas del material no deseado, que luego se libera junto con la tierra en la parte trasera de la máquina. Los granos o vainas limpios son recogidos en el tanque combinado y se descargan según sea necesario.

#### **2.2.3.1 Partes del sistema de limpieza en cosechadoras**

a) Alimentador

Los alimentadores en las máquinas de limpieza se encargan de regular el flujo de entrada del producto y de distribuirlo de manera uniforme sobre la zaranda. Generalmente, están compuestos por un depósito para almacenar el material, un mecanismo que controla el flujo, y un eje con aletas ubicado en la parte inferior del

depósito, que facilita el movimiento del material, permitiendo su caída controlada sobre la zaranda.

b) Sistema de ventilación

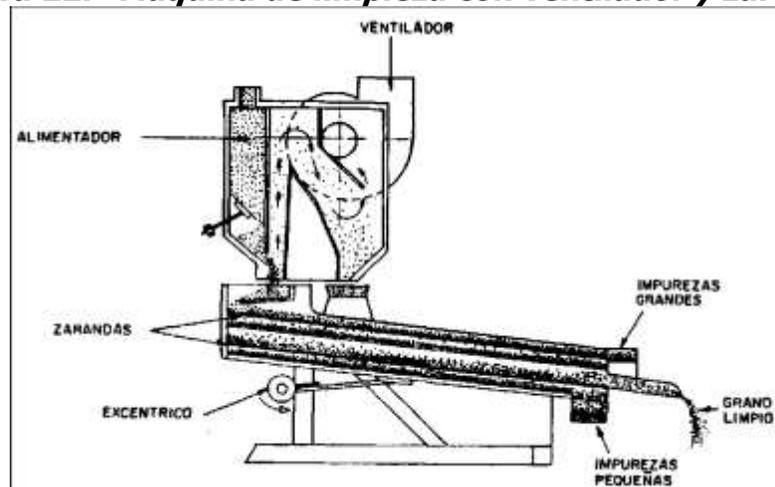
El sistema de ventilación tiene la tarea de remover las impurezas ligeras que se encuentran en los productos, utilizando el aire producido dentro de la máquina para este propósito.

c) Conjunto de zarandas

El propósito es eliminar las impurezas que permanecen en el producto después de haber pasado por la corriente de aire. Este sistema debe contar con al menos dos zarandas. La primera zaranda debe tener orificios lo suficientemente grandes como para permitir el paso de los granos, reteniendo las impurezas de mayor tamaño. La segunda zaranda, por su parte, debe contar con orificios diseñados para dejar pasar solo las impurezas más pequeñas que los granos, separándolas de manera eficiente.

Los diferentes partes del sistema de limpieza y recogida del cultivo se pueden observar en la figura 22.

**Figura 22. Máquina de limpieza con ventilador y zarandas**



Fuente: FAO, s.f

## 2.3 Diseño de ejes

En su artículo "Procedimiento de diseño de ejes", Bavaresco (s.f.) indica que el cálculo para diseño de ejes debe realizarse utilizando un enfoque basado en esfuerzos combinados. También recomienda aplicar la Teoría de la Falla por Distorsión de Energía, conocida como la Teoría de Von Mises, para este propósito, véase la figura 23.

**Figura 23. Teoría de Von Mises en función del diámetro**

$$d = \left[ 10.19 N \left[ \left( \frac{K_f M_{\max}}{S_n} \right)^2 + 0.694 \left( \frac{T}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right]^{1/3}$$

Esta ecuación es compatible con la norma ANSI B106.1M – 1985 (Ec. 1)

Fuente: Bavaresco, Procedimiento para el diseño de ejes, s.f, p. 5

### 2.3.1 Transmisión de potencia

Una transmisión de potencia se produce cuando dos componentes interactúan de manera que mantienen una relación fija entre ellos. La cantidad de potencia transmitida está directamente relacionada con la velocidad angular y el torque. Para calcular la potencia, se emplean la siguiente ecuación:

$$Pot = T * \omega \quad (Ec. 2)$$

$$1 Hp = 0.75 kW$$

### 2.3.2 Relación de transmisión

La relación de transmisión describe cómo un componente, como un engranaje, patea o estrella, impulsa a otro que recibe el movimiento. La ecuación siguiente es válida para cualquier tipo de engranaje, ya sea cónico, recto, helicoidal o de tornillo sin fin, sin que las relaciones de transmisión se vean afectadas. Budynas y Nisbett (2012) señalan lo siguiente:

$$D1 * N1 = D2 * N2 \quad (Ec. 3)$$

Donde:

- $N1 = \text{velocidad del engranaje de entrada}$
- $N2 = \text{velocidad del engranaje de salida}$
- $D1 = \text{diámetro de la polea de motriz}$
- $D2 = \text{diámetro de la polea conducida}$

$$N1 * Z1 = N2 * Z2 \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

- $N1 = \text{velocidad del engranaje de entrada}$
- $N2 = \text{velocidad del engranaje de salida}$
- $Z1 = \text{número de dientes del engranaje de entrada}$
- $Z2 = \text{número de dientes del engranaje de salida}$

### **2.3.3 Fuerzas en engranajes y poleas**

#### **2.3.3.1 Engranajes rectos**

La fuerza tangencial ( $F_t$ ) se determina directamente a partir del torque generado por el engranaje mediante las siguientes ecuaciones:

$$T = (kW * 974) / n \quad (\text{Ec. 5})$$

$$F_t = T / (D/2) \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde: D = Diámetro del engranaje

El ángulo entre la fuerza total y el componente tangencial es el ángulo de presión  $\varphi$ , que varía según la forma de los dientes del engranaje. Por lo tanto, la fuerza radial ( $F_r$ ) se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$F_r = F_t * Tg \varphi \quad (\text{Ec. 7})$$

No es necesario calcular la fuerza total, ya que, en el caso de engranajes rectos, el ángulo de presión típicamente es de 14.5°, 20° o 25°.

### 2.3.3.2 Engranajes Helicoidales

Estos engranajes, además de la fuerza tangencial y radial, generan fuerzas axiales. Primero calcule la Fuerza Tangencial ( $F_t$ ) según la ecuación, después, si el ángulo de la hélice es  $\alpha$  y el ángulo de presión es  $\varphi$ , se calcula la carga radial ( $F_r$ ) a partir de

Estos engranajes, además de generar fuerzas tangenciales y radiales, también producen fuerzas axiales. Primero, se debe calcular la Fuerza Tangencial ( $F_t$ ) utilizando la ecuación correspondiente. Luego, si el ángulo de la hélice es  $\alpha$  y el ángulo de presión es  $\varphi$ , la carga radial ( $F_r$ ) se calcula con la siguiente fórmula:

$$F_r = F_t * \operatorname{Tg} \varphi / \cos \alpha \quad (\text{Ec. 8})$$

Y la fuerza axial es:

$$F_a = F_t * \operatorname{Tg}(\alpha) \quad (\text{Ec. 9})$$

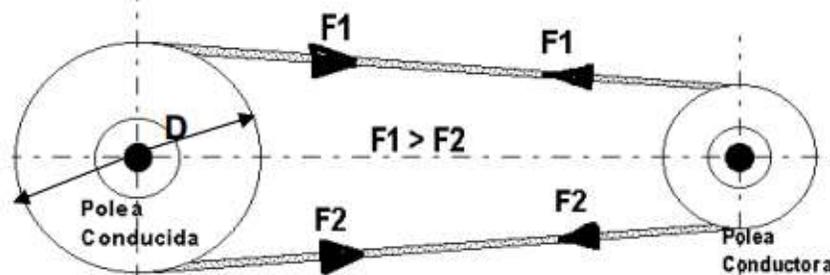
### 2.3.3.3 Poleas

La fuerza tangencial se puede calcular directamente usando Ec. 6. Sin embargo, la fuerza de flexión en el eje se basa en la suma de las fuerzas  $F_1 + F_2$ , que da como resultado ( $F_f$ ). Para determinar la fuerza de flexión ( $F_f$ ), es útil conocer su relación con la fuerza tangencial ( $F_t$ ).

$$F_f = C * F_t \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde: ( $C$ ) es una constante que depende de las fuerzas ( $F_1$  y  $F_2$ ), y está representada en la Figura 24.

**Figura 24. Fuerza de flexión en poleas**



Fuente: Bavaresco, Procedimiento para el diseño de ejes, s.f, p.3

Para correas:

Trapezoidales:  $Ff = 1.5 * Ft = 1.5 * (T/(D/2))$  (Ec. 11)

Planas:  $Ff = 2 * Ft = 2 * (T / (D/2))$  (Ec. 12)

### 2.3.4 Cortante y momento flector en los planos X-Y y X-Z

Calcular las fuerzas de diseño adecuadas teniendo en cuenta cómo se aplican las cargas.

Suma de Fuerzas: La suma de todas las fuerzas debe ser cero:

$$\sum Fx = 0 \quad (Ec. 13)$$

$$\sum Fy = 0 \quad (Ec. 14)$$

Suma de Momentos: La suma de los momentos alrededor de cualquier punto debe ser cero. Normalmente se elige un punto de apoyo para simplificar los cálculos:

$$\sum Fm = 0 \quad (Ec. 15)$$

### 2.3.5 Factores mecánicos del material

Cálculo de la Resistencia a la Fatiga ( $S_n$ )

$$S_n = C_b * C_s * C_r * C_o * S'_n \quad (Ec. 16)$$

Donde:

$S'_n$  es el límite de fatiga del material. Para aceros dúctiles:

$$S'_n = 0.5 S_u \quad (Ec. 17)$$

$S_u$  es la Resistencia Máxima del material (véase la tabla del Anexo 6).

$C_b$  es el Factor de Corrección por Temperatura, se obtiene de los siguientes parámetros:

Para temperatura ambiente:  $C_b = 1$

Para temperatura ambiente:  $C_b = 1$

Para temperatura entre 100 °C y 200 °C:  $C_b = 0.8$

Para temperatura > 200 °C:  $C_b = 0.6$

$C_s$  es el Factor de Corrección por Superficie, y su valor depende del método de fabricación del eje, tal como se muestra en la gráfica del Anexo 7.

$C_r$  es el Factor de Confiabilidad funcional y se determina con la siguiente ecuación:

$$C_r = 1 - A B \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde:

- $A = 0.076$  para aceros
- $B =$  Tasa de supervivencia: (Ver Valores de la tabla 1)

**Tabla 1. Valores de tasa de supervivencia**

50%	B = 0	95%	B = 1.6
67%	B = 0.44	99%	B = 2.3
84%	B = 1.0	99.99%	B = 3.7
90%	B = 1.3		

Fuente: Bavaresco, Procedimiento para el diseño de ejes, s.f, p.6

$C_o$  es el Factor de corrección por esfuerzos residuales. Y se determina por el tipo de tratamiento del material.

- Material laminado o estirado en frío:  $C_o = 1.3$
- Materiales con tratamientos térmicos de Normalizado o Recocido:  $C_o = 1$

Factor de concentración de esfuerzos ( $k_f$ ):

En chaveteros, véase la tabla 2:

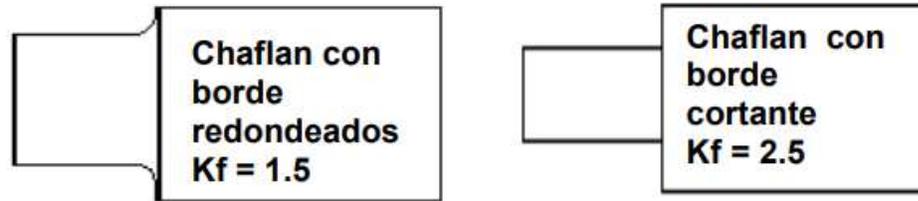
**Tabla 2. Factor de concentración de esfuerzos en chaveteros**

Tipo Chavetero	Kf Flexión	Kf Torsión
Perfil	1.6	1.3
Patín	1.3	1.3

Fuente: Bavaresco, Procedimiento para el diseño de ejes, s.f, p.7

En chaflanes o hombros, véase la figura 25:

**Figura 25. Concentración de esfuerzos en chaflanes**



Fuente: Bavaresco, Procedimiento para el diseño de ejes, s.f, p.7

En el caso de los anillos de retención, el diseño de la ranura es determinado por el fabricante del anillo. Usualmente, esta ranura es hueca y presenta bordes afilados. Para estimar el valor de  $K_f$ , se puede considerar que se asemeja a dos bordes afilados situados muy próximos entre sí. Así, el valor de  $K_f$  para esta ranura se establece en:  $K_f = 3.0$ .

## 2.4 Numero de Reynolds

Un flujo laminar se caracteriza por el movimiento suave y ordenado de un fluido en capas paralelas, mientras que en un flujo turbulento las partículas se mueven de manera caótica y con mayor intercambio entre capas. Navarro (2015) define al número de Reynolds como aquella magnitud que determina si el flujo es laminar, transicional o turbulento, relacionando las fuerzas inerciales y viscosas. A medida que aumenta el flujo másico, las fuerzas de inercia y viscosas se equilibran, lo que puede cambiar las características del flujo. Este concepto se basa en los experimentos de Reynolds, que relacionaron estas fuerzas con propiedades del fluido y dimensiones del sistema.

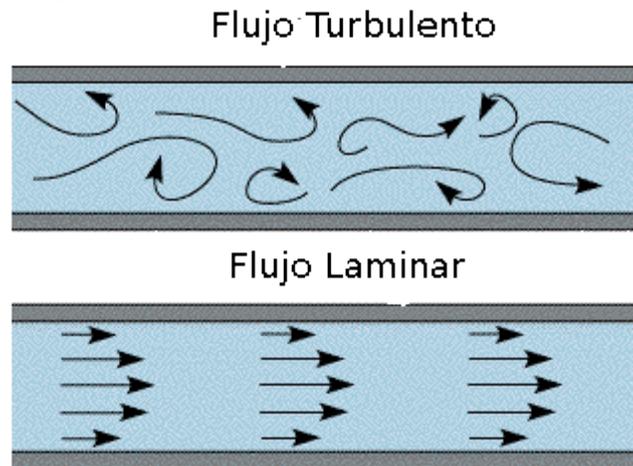
$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (Ec. 19)$$

donde:

- $\rho$  = densidad del fluido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),
- $v$  = es la velocidad media del fluido ( $\text{m}/\text{s}$ ),
- $D$  = es el diámetro característico, como el diámetro de la tubería ( $\text{m}$ ),
- $\mu$  = es la viscosidad dinámica del fluido ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$  o  $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ ).

El número de Reynolds determina el tipo de flujo de un fluido. Si  $\text{Re} \leq 2000$ , el flujo es laminar (suave y ordenado). Si  $\text{Re} > 4000$ , el flujo es turbulento (caótico y desordenado). En el rango  $2000 \leq \text{Re} \leq 4000$ , el flujo es transicional, pudiendo cambiar entre laminar y turbulento, en la figura 26 se muestra una representación gráfica del comportamiento del flujo.

**Figura 26. Flujo turbulento y laminar**



Fuente: Fisindustrial, Flujo Laminar y Flujo Turbulento, 2014

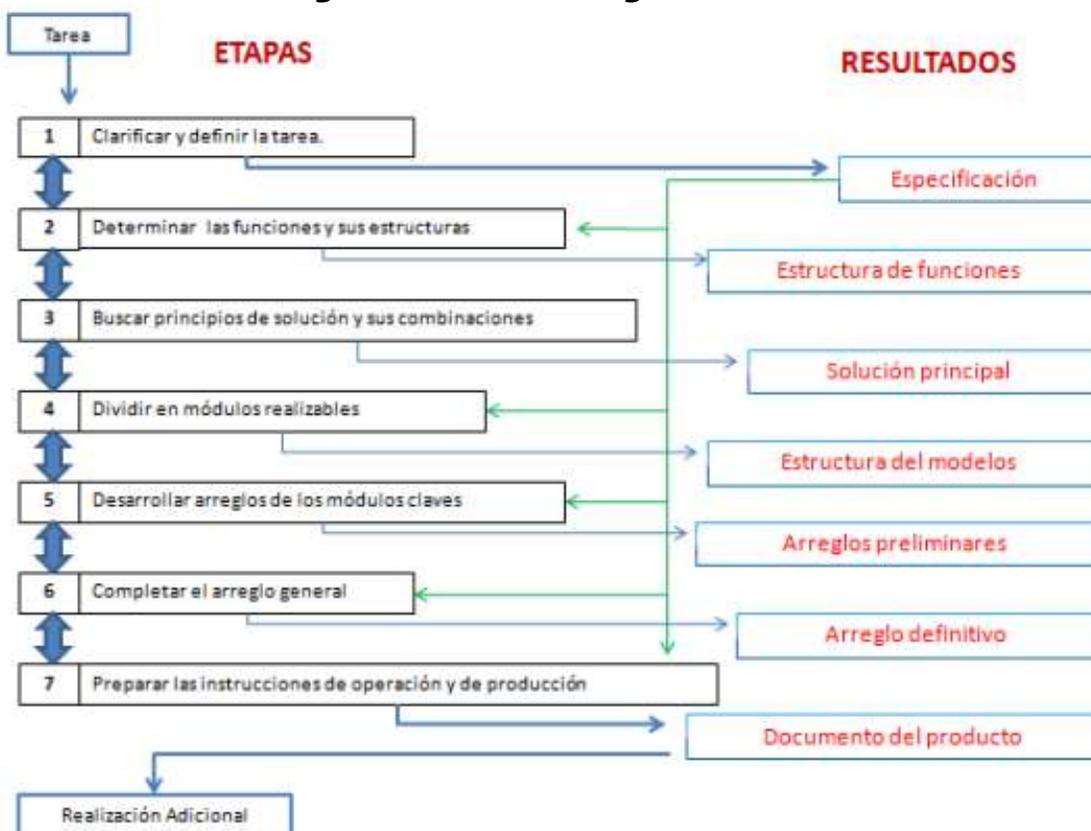
# **CAPÍTULO III**

## **Desarrollo y metodología**

### 3.1 Metodología aplicada para el desarrollo de la solución

De acuerdo con Arias et al. (2018), la metodología VDI 2221 es una guía reconocida internacionalmente para el diseño de productos técnicos. Esta directriz, emitida por la Asociación de Ingenieros Alemanes (Verein Deutscher Ingenieure, VDI), ofrece un enfoque sistemático y organizado para el desarrollo de productos. La secuencia de etapas se muestra en la figura 27.

**Figura 27. Metodología VDI 2221**



Fuente: Arias et al, Estudio de las actividades relevantes en el diseño de productos., 2018

### **3.1.1 Clasificar y definir tareas**

El diseño de la cosechadora de chícharos comienza con el análisis del estado del arte, donde se recopila información clave y detallada para desarrollar el producto. Esta información se obtiene investigando las necesidades que el producto debe satisfacer.

### **3.1.2 Determinar las funciones y sus estructuras**

Este proceso implica identificar las funciones del producto, tanto la función principal como las secundarias que debe cumplir durante su diseño. La organización y combinación de estas funciones secundarias en estructuras forman una base para encontrar soluciones, ya sea para el producto en general o para su función principal. Estas funciones suelen representarse a través de diagramas formales, aunque en algunos casos es suficiente con descripciones simples.

### **3.1.3 Buscar principios de solución y sus combinaciones**

Se lleva a cabo una búsqueda de principios de solución para cada subfunción. El objetivo es obtener una solución principal que combine de manera óptima los efectos físicos y las características preliminares necesarias para satisfacer la estructura funcional. Esta solución puede documentarse en forma de boceto, diagrama, circuito o incluso como una descripción escrita.

### **3.1.4 Dividir en módulos realizables**

El proceso genera una estructura modular que, a diferencia de la estructura funcional o la solución principal, sugiere una primera aproximación sobre la división de la solución en conjuntos viables. Estos conjuntos permiten establecer las especificaciones necesarias antes de elaborar los diseños específicos del producto.

### **3.1.5 Desarrollar arreglos de los módulos clave**

El proceso implica avanzar en el diseño de los módulos principales, refinando la geometría, los materiales y otros detalles únicamente lo necesario para elegir el diseño óptimo. Al finalizar esta etapa, se obtiene un conjunto de diseños preliminares

de los módulos principales, que pueden representarse mediante dibujos a escala, diagramas de circuito u otros medios.

### **3.1.6 Completar el arreglo general**

Los diseños preliminares de los módulos se mejoran al agregar detalles sobre conjuntos y componentes que no se habían incluido antes, y al integrar todos estos elementos. Esta fase concluye con un diseño final que contiene toda la información necesaria para la fabricación del producto. Las representaciones pueden incluir dibujos a escala, listas preliminares de piezas, diagramas de flujo de instrumentación, entre otros.

### **3.1.7 Preparar las instrucciones de operación y producción**

Se elaboran todas las instrucciones de funcionamiento, tarea que recae en el departamento de diseño y producto final. Esta etapa se lleva a cabo de manera simultánea con la anterior. El resultado es un conjunto de documentos del producto, que incluyen dibujos detallados y de montaje, listas de piezas, instrucciones para producción, ensamblaje, pruebas, transporte y el manual de instrucciones.

## **3.2 Clasificar y definir tareas**

### **3.2.1 Especificaciones**

a) Espaciado de las Hileras:

- Distancia entre las hileras principales: Aproximadamente 60-80 cm. Esto permite el paso de maquinaria si es necesario y facilita el manejo de las plantas.
- Distancia entre las hileras dobles: Dentro de cada hilera principal, dejar una distancia de aproximadamente 20-30 cm entre las dos hileras dobles.

b) Distribución de la Semilla:

- Espaciado en la hilera: Siembra los chícharos a una distancia de 5-10 cm entre plantas en cada hilera doble.
- Profundidad de siembra: Siembra las semillas a una profundidad de 2-4 cm.

### 3.3 Determinar las funciones y sus estructuras

**Tabla 3. Características de diseño**

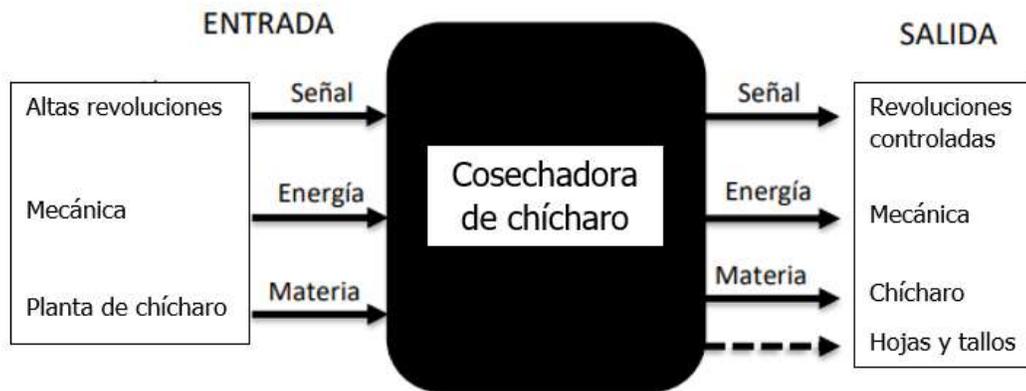
Característica	Descripción
<b>Geometría:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• El ancho de la máquina no puede superar 1 metro y debe ser capaz de abarcar una fila de cultivo con una separación de 25 cm, además del espacio entre los surcos de 60 cm.</li><li>• Los diámetros de los ejes deben ajustarse a los tamaños estándar de rodamientos y chumaceras.</li></ul>
<b>Energía:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• El mecanismo debe ser impulsado por un motor de corriente alterna con una potencia de 1 hp.</li></ul>
<b>Material:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Los materiales a emplear se seleccionarán según los cálculos efectuados.</li><li>• Deben ser de fácil obtención.</li></ul>
<b>Seguridad:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• La cosechadora debe ser segura para los agricultores, evitando cualquier riesgo para su integridad física.</li><li>• La cosechadora debe operar de manera que no cause daño al medioambiente.</li></ul>
<b>Montaje:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mantener Asegurar una distribución geométrica adecuada de los componentes para simplificar el proceso de montaje.</li></ul>
<b>Transporte:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Para garantizar la versatilidad de la máquina, su peso no debe superar los 250 kg.</li></ul>
<b>Mantenimiento:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• La máquina debe incluir componentes intercambiables en el campo.</li><li>• Debe ser fácilmente inspeccionable.</li><li>• Los conductos de lubricación deben ser visibles y estar protegidos.</li></ul>

Fuente: Fuente propia, 2024

### 3.3.2 Proceso de abstracción

El concepto de caja negra se centra en identificar y registrar las tres magnitudes fundamentales de entrada y salida (señal, energía, material) relacionadas con una o varias funciones completas. En la figura 28 se presentan las magnitudes de entrada y salida para la cosechadora de chícharos.

**Figura 28. Caja negra en cosechadora de chícharo**



Fuente: Fuente propia, 2024

#### ENTRADAS:

- Señal: La toma de fuerza del motor proporciona un rango de revoluciones de 1750 rpm.
- Energía: El motor suministra energía mecánica a través de la toma de fuerza, entregando una potencia de 1 hp.
- Materia: El chícharo está sembrado en surcos de doble hilera, con una separación de 60 cm entre surcos y 25 cm entre hileras. El cabezal recolector recoge las vainas junto con los restos de la planta y las introduce en la máquina.

#### SALIDAS:

- Señal: Las revoluciones por minuto se controlan ajustando el diámetro de poleas, engranajes o estrellas acoplados a los ejes de los componentes móviles.
- Energía: La energía mecánica se conserva y se utiliza para generar movimiento a través de sistemas de transmisión de potencia.

- **Materia:** El chícharo se deposita en la parte trasera de la cosechadora, donde se limpia de restos de planta. Los restos se expulsan al suelo por la parte lateral de la cosechadora mediante el módulo de separación.

### **3.3.3 Secuencias de operaciones.**

Para operar la cosechadora, primero se debe preparar la máquina: lubricar las partes móviles y verificar los ajustes de los elementos de sujeción. Luego, se acopla a la toma de fuerza del motor. La máquina, al ser arrastrada por un vehículo automotriz o animal, se mueve de manera lineal a lo largo de los surcos del cultivo de chícharo. La cosecha es recogida por un módulo recolector que, al girar, empuja las plantas, incluidas las vainas de chícharo, hacia un mecanismo de transporte que traslada el chícharo a su área de almacenamiento. Otro mecanismo se encarga de separar los restos de la planta de las vainas de chícharo.

### **3.3.4 Funciones.**

- **Acoplamiento:** Se realiza montando los módulos de recogida, transporte, extracción y transmisión de potencia sobre el componente estructural principal de la máquina.
- **Transmisión de potencia:** Comienza con el motor monofásico de 1 hp, que transfiere su movimiento a los ejes de la banda transportadora, la turbina extractora y el molinete de recogida.
- **Recogida:** Consiste en recoger las vainas de las plantas de chícharo.
- **Alimentación:** Las vainas, junto con hojas y tallos de la planta, son ingresadas al sistema.
- **Elevación y transporte:** El sistema de transporte eleva y mueve las vainas de chícharo.
- **Separación:** Un mecanismo separa los restos de las plantas de las vainas de chícharo.

- Descarga de restos: Los restos de las plantas son expulsados y descargados al suelo del campo.
- Descarga del chicharo: El chicharo se descarga por la parte posterior de la máquina y se deposita en un área donde puede ser almacenado.

### 3.4 Buscar principios de solución y sus combinaciones.

**Tabla 4. Opciones de funciones**

<b>Funciones</b>	<b>Opciones de funciones</b>	
<b>Acoplamiento</b>	Soldadura	Unión por pernos
<b>Transmisión de potencia</b>	Banda en v clásicas	Cadena de rodillos
<b>Recogida</b>	Molinete de paleta	Molinete de recogida
<b>Alimentación</b>	Motriz	Manual
<b>Elevación y transporte</b>	Banda	Cadena articulada
<b>Separación</b>	Zarandeo	Extracción neumática
<b>Descarga de los restos de la planta</b>	Automatizada	Manual
<b>Descarga del chicharo</b>	Automatizada	Manual

Fuente: Fuente propia, 2024

Para la selección de las funciones se procede a definir las ventajas y desventajas de las opciones propuestas como se ve en las tablas siguientes.

**Tabla 5. Comparativo de función de acoplamiento**

	Unión por soldadura	Unión por tornillos o pernos
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Alta resistencia estructural para soportar cargas pesadas.</li> <li>➤ Menor peso adicional en la estructura.</li> <li>➤ Excelente resistencia a vibraciones; no se afloja con el tiempo.</li> <li>➤ Mayor durabilidad si se realiza correctamente.</li> <li>➤ No requiere mantenimiento frecuente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Fácil de desmontar y permite ajustes o reparaciones.</li> <li>➤ Instalación rápida con herramientas básicas.</li> <li>➤ Menor costo inicial comparado con la soldadura.</li> <li>➤ Flexible para cambios en el diseño o modificaciones posteriores.</li> <li>➤ Mayor tolerancia a errores durante el montaje.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Es una unión permanente, difícil de desmontar sin dañar las piezas.</li> <li>➤ Requiere equipo especializado y personal calificado.</li> <li>➤ Mayor costo inicial debido a la mano de obra y el equipo requerido.</li> <li>➤ Difícil de reparar o modificar una vez ensamblado.</li> <li>➤ Baja tolerancia a errores; una vez soldado, es complicado corregir fallos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Puede aflojarse con el tiempo debido a las vibraciones.</li> <li>➤ Añade algo de peso adicional a la estructura.</li> <li>➤ Necesita mantenimiento periódico para asegurar que los tornillos o pernos estén ajustados.</li> <li>➤ Menor resistencia estructural comparado con la soldadura en cargas muy pesadas.</li> <li>➤ Las uniones pueden no ser tan resistentes a vibraciones extremas.</li> </ul>

Fuente: Fuente propia, 2024

**Tabla 6. Comparativo de función de transmisión de potencia**

	<b>Bandas en V Clásicas</b>	<b>Cadena de Rodillos</b>
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Bajo costo inicial.</li> <li>➤ Operación silenciosa, ideal para aplicaciones a alta velocidad.</li> <li>➤ Fácil instalación y ajuste.</li> <li>➤ Bajo mantenimiento, solo requiere ajuste periódico de la tensión.</li> <li>➤ Buena absorción de impactos y vibraciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ideal para aplicaciones pesadas.</li> <li>➤ Adecuada para condiciones de trabajo exigentes.</li> <li>➤ No sufre deslizamiento, lo que asegura una transmisión precisa de potencia.</li> <li>➤ Alta resistencia al desgaste si se lubrica adecuadamente.</li> <li>➤ Excelente eficiencia en la transmisión de potencia.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Menor capacidad de carga, especialmente bajo condiciones de sobrecarga.</li> <li>➤ Susceptible a deslizamiento bajo cargas pesadas o tensión inadecuada.</li> <li>➤ Puede desgastarse más rápido en ambientes con polvo o abrasión.</li> <li>➤ Menor durabilidad que una cadena de rodillos en aplicaciones severas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Costo inicial más alto.</li> <li>➤ Mayor ruido durante la operación, especialmente a altas velocidades.</li> <li>➤ Requiere lubricación y mantenimiento más frecuente.</li> <li>➤ Mayor peso del sistema en comparación con las bandas.</li> <li>➤ Instalación más compleja y precisa, requiere una alineación adecuada.</li> </ul>

Fuente: Fuente propia, 2024

**Tabla 7. Comparativo de función de recogida**

	<b>Molinete de paletas</b>	<b>Molinete de recogida</b>
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ El diseño de paletas es sencillo y menos costoso de fabricar y mantener.</li> <li>➤ Funciona bien en una amplia variedad de cultivos, especialmente en aquellos de tallo largo o plantas que requieren ser levantadas.</li> <li>➤ Requiere menos ajustes y mantenimiento regular en comparación con diseños más complejos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ideal para cultivos caídos o enredados.</li> <li>➤ Reduce la pérdida de material, ya que levanta los cultivos con mayor suavidad y precisión, minimizando el daño a las plantas.</li> <li>➤ Permite trabajar sin comprometer la calidad de la cosecha.</li> <li>➤ Recomendado para cultivos que tienden a acostarse o enredarse, como leguminosas.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Puede ser menos eficiente para recoger cultivos que están cerca del suelo o caídos.</li> <li>➤ Velocidad limitada: No se adapta bien a velocidades de cosecha más altas, ya que puede dañar los cultivos.</li> <li>➤ Puede ser agresivo con el cultivo, lo que puede ocasionar pérdidas por caída.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Requiere más mantenimiento y ajustes frecuentes para asegurar un funcionamiento óptimo.</li> <li>➤ Es más costoso tanto en términos de adquisición como de mantenimiento.</li> <li>➤ Las púas y otras partes móviles tienden a desgastarse más rápido, especialmente en condiciones adversas o en terrenos irregulares.</li> </ul>

Fuente: Fuente propia, 2024

**Tabla 8. Comparativo de función de alimentación**

	<b>Motor eléctrico</b>	<b>Motor de combustión interna</b>
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Convierten un mayor porcentaje de la energía en trabajo útil.</li> <li>➤ Proporcionan un control más preciso de la velocidad y el par motor.</li> <li>➤ Menor impacto ambiental.</li> <li>➤ Suelen tener una vida útil más larga debido a la simplicidad y la robustez de sus componentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Suelen ser más potentes y son capaces de manejar cargas pesadas y trabajos intensivos.</li> <li>➤ Puede operar durante más tiempo sin interrupciones.</li> <li>➤ Buen desempeño en condiciones extremas.</li> <li>➤ Pueden tener un menor costo inicial en comparación con un sistema eléctrico equivalente.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Requiere una fuente de alimentación eléctrica constante.</li> <li>➤ Pueden tener un costo inicial más alto, aunque su costo total a largo plazo puede ser menor.</li> <li>➤ Requiere recargas frecuentes.</li> <li>➤ pueden tener dificultades en ambientes con temperaturas extremadamente altas o bajas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Emisiones contaminantes, lo que contribuye a la contaminación y al cambio climático.</li> <li>➤ Los motores de combustión interna son menos eficientes que los eléctricos, ya que pierden gran parte de la energía en forma de calor.</li> <li>➤ Dependen de recursos no renovables, lo que implica costos de combustible y su volatilidad.</li> </ul>

Fuente: Fuente propia, 2024

**Tabla 9. Comparativo de función de elevación y transporte**

	<b>Banda</b>	<b>Cadena articulada</b>
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Producen muy poco ruido durante el funcionamiento.</li> <li>➤ Son más fáciles de instalar y tensionar.</li> <li>➤ Son más ligeras, lo que reduce la carga en el sistema de transmisión.</li> <li>➤ Las bandas suelen ser más económicas de adquirir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Alta capacidad de carga.</li> <li>➤ Son mucho más resistentes al desgaste y tienen una vida útil más larga.</li> <li>➤ Mayor resistencia a ambientes hostiles.</li> <li>➤ Menor estiramiento: Las cadenas mantienen su longitud a lo largo del tiempo, lo que asegura una mayor consistencia en el rendimiento.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pueden deslizarse bajo cargas pesadas o si no están bien tensadas.</li> <li>➤ No son adecuadas para manejar cargas extremadamente pesadas.</li> <li>➤ Son más susceptibles al desgaste.</li> <li>➤ No son tan precisas en la transmisión de movimiento como las cadenas, ya que pueden estirarse o desgastarse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ El precio de adquisición de una cadena articulada es generalmente más alto que el de una banda.</li> <li>➤ Las cadenas requieren lubricación regular y ajustes para asegurar que funcionen correctamente.</li> <li>➤ Producen más ruido durante el funcionamiento.</li> <li>➤ Son más pesadas, lo que puede aumentar el peso total de la maquinaria.</li> </ul>

Fuente: Fuente propia, 2024

**Tabla 10. Comparativo de función de separación**

	Zarandeo	Extracción neumática
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Es efectivo para separar granos grandes o semillas de impurezas y otros residuos de manera física.</li> <li>➤ Pueden resistir bien el uso intensivo, sobre todo en condiciones secas o polvorientas.</li> <li>➤ No es tan sensible a factores ambientales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La separación neumática es muy efectiva para separar partículas livianas, como polvo, hojas secas, y residuos.</li> <li>➤ se basa en la diferencia de peso y propiedades aerodinámicas.</li> <li>➤ Mayor eficiencia en limpieza, ideal para remover materiales ligeros o impurezas</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Menor precisión en separación fina.</li> <li>➤ Las zarandas necesitan ajustes periódicos.</li> <li>➤ Las zarandas pueden bloquearse o volverse menos eficientes.</li> <li>➤ El zarandeo puede causar desgaste en la maquinaria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Los sistemas neumáticos requieren más energía para generar el flujo de aire.</li> <li>➤ Necesita mantenimiento regular para evitar bloqueos o pérdida de eficiencia.</li> <li>➤ Mayor sensibilidad a variaciones en la densidad del material.</li> </ul>

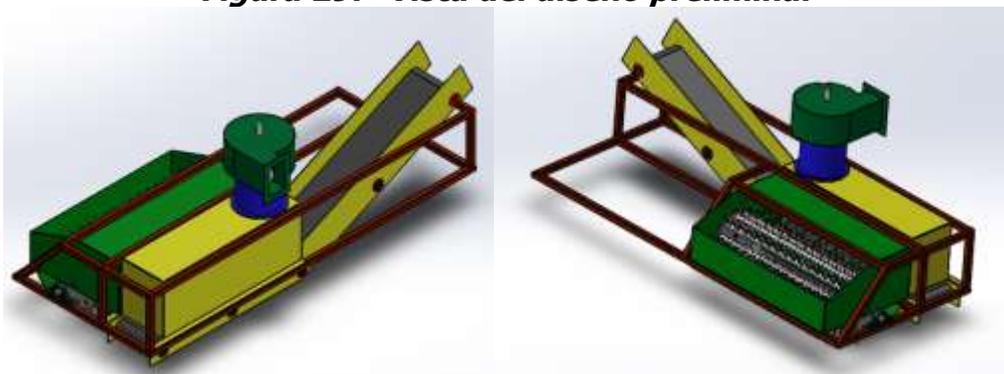
Fuente: Fuente propia, 2024

Se procede a realizar la selección de los principios de solución de acuerdo a la información consultada. El acoplamiento se realiza mediante la unión de pernos, seleccionada por su practicidad y facilidad de mantenimiento. Para la transmisión de potencia, se opta por poleas en V clásicas debido a su capacidad para transmitir movimiento circular entre dos ejes a grandes distancias y su estructura que absorbe golpes y vibraciones, además de su costo bajo en comparación con otros sistemas de transmisión.

En cuanto a la recolección, se selecciona un molinete de recogida debido a su precisión para levantar y recoger los cultivos de forma eficaz, especialmente cuando los cultivos están caídos o enredados. La alimentación se realiza mediante un motor eléctrico de 1 hp, el cual proporciona la potencia necesaria para la operación de los diferentes componentes de la máquina con un control preciso y eficiente del movimiento.

El sistema de elevación de la cosechadora se realiza a través de una banda de transporte, seleccionada por su bajo peso y maniobrabilidad, lo que mejora la eficiencia del movimiento del material dentro del sistema. Por último, la separación de los restos de la cosecha se llevará a cabo mediante un sistema de extracción neumática, que permite una limpieza precisa y eficiente al utilizar el flujo de aire para eliminar las impurezas, optimizando así el rendimiento del proceso de separación. El diseño preliminar se puede ver en la figura 29.

**Figura 29. Vista del diseño preliminar**



Fuente: Fuente propia, 2024

## **3.5 Dividir en módulos realizables**

### **3.5.1 Estructura modular**

- **Primero modulo:** Este módulo se encarga de la transmisión de potencia mecánica y está conformado por poleas, bandas en V, así como reductores de velocidad.
- **Segundo módulo:** Se ocupa de la recolección y alimentación. Se ha decidido utilizar un molinete recolector, y la alimentación se logrará mediante el giro del molinete, que arrancará las vainas junto con los restos de la planta ingresándolos en el interior de la cosechadora.
- **Tercer módulo:** Se centra en el transporte del chícharo. La elevación y transporte se realizarán mediante una banda transportadora, accionada por un sistema de transmisión con bandas en V que moverá el rodante motriz ubicado en la parte superior de la banda.
- **Cuarto modulo:** Este módulo se encarga de la separación de las vainas de los restos de hojas y tallos. La separación se realizará mediante una turbina extractora situada sobre la banda transportadora, que expulsará los restos por la parte lateral de la cosechadora.
- **Quinto módulo:** Abarca las funciones de preparación y acoplamiento de la máquina. Tras el análisis, se determinó que estas tareas se realizarán manualmente debido a su practicidad, bajo riesgo para el operador y mínimo esfuerzo físico requerido. Este módulo está compuesto por el chasis o estructura principal, sobre el cual se montarán los módulos subsecuentes, así como las cubiertas.

## **3.6 Desarrollo de los arreglos de los módulos clave**

En este capítulo se realiza el diseño de las partes que componen la máquina y se eligen los componentes normalizados disponibles en el mercado. El diseño del prototipo se fundamenta en los siguientes sistemas:

- Sistema de transmisión de potencia
- Sistema de recolección
- Sistema de transporte
- Sistema de separación
- Estructura

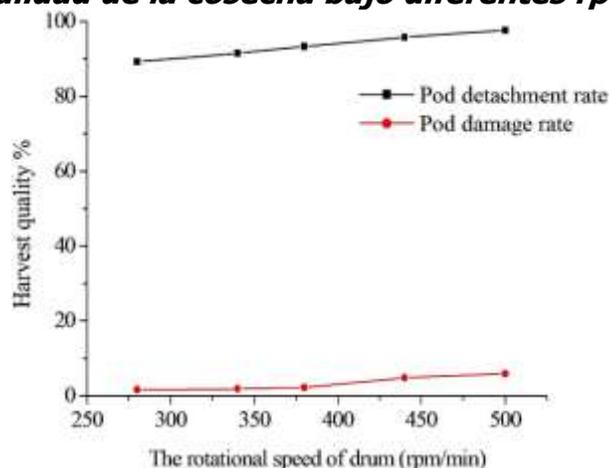
### 3.6.1 Transmisión de potencia

Para realizar el arreglo de transmisión de potencia, se procede a determinar las rpm de los diferentes módulos que componen la cosechadora de chícharo.

a) Velocidad de rotación del molinete de recogida

De acuerdo con la literatura revisada, los molinetes de recolección de vainas de leguminosas operan en un rango de revoluciones por minuto (rpm) que va de 250 rpm a 500 rpm. Un estudio de Zhao et al. (2023) indica que un aumento en las rpm incrementa el porcentaje de vainas recolectadas, aunque también incrementa el daño en las mismas, como se observa en la figura 30. Castro, J. M. C. (1997) señala que la velocidad del molinete no debe exceder los 350 rpm, ya que una velocidad demasiado alta puede causar daños en las vainas. Por lo tanto, se propone una velocidad del molinete de 300 rpm.

**Figura 30. Calidad de la cosecha bajo diferentes rpm del molinete**



Fuente: Zhao et al, Equipo de recolección de vainas de soja verdes tipo peine-cepillado, 2023, p. 19

## b) Velocidad de rotación del eje motriz en banda transportadora

Se determina la velocidad de la banda transportadora siguiendo las recomendaciones proporcionadas por la empresa Epinozzi (2023), empresa especialista en componentes para cintas transportadoras, la cual propone velocidades óptimas para distintos tipos de materiales y aplicaciones, véase la tabla del Anexo 9. Para el diseño de la banda transportadora, la opción más adecuada es la de materiales como "Virutas, biomasa y bagazo", la cual oscila entre 1 m/s y 2.5 m/s.

Para determinar el número de revoluciones a las que debe girar el rodillo motriz de la banda transportadora, necesitamos convertir la velocidad lineal en velocidad angular. Para ello, utilizaremos la siguiente fórmula:

$$v = \omega \cdot r \quad (Ec. 20)$$

$v$  es la velocidad lineal (1 m/s),

$\omega$  es la velocidad angular en radianes por segundo (rad/s),

$r$  es el radio del rodillo (0.03 m, ya que el diámetro es 6 cm).

Despejamos velocidad angular de la Ec. 20 y sustituimos:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{1 \frac{m}{s}}{0.03 m} = 33.33 \frac{rad}{s}$$
$$rpm = \omega * \frac{2\pi}{60 s} = 33.33 \frac{rad}{s} * \left( \frac{60 s}{2\pi} \right) = 318.3 rpm$$

Es así como se propone una velocidad en la banda transportadora de 320 rpm en su rodillo motriz.

## c) Velocidad de rotación de la turbina extractora

Las revoluciones por minuto (rpm) a las que operará la turbina se determinaron a partir de la revisión de la literatura. Bhad et al. (2021) sugieren una velocidad angular de 540 rpm para la turbina extractora. Por su parte, Zhao et al. (2023) concluyen que, a 1000 rpm y con un caudal de aire de 0.530144 m<sup>3</sup>/s, la turbina

funciona de manera óptima. En consecuencia, se realizarán estudios a velocidades de 500, 550 y 600 rpm para evaluar el rendimiento de la turbina.

### **3.6.1.1 Diseño de poleas**

En el módulo de transmisión de potencia, se desarrolla un sistema que incluye bandas y poleas, así como diferenciales reductores para transmitir movimiento a diferentes ejes, los cuales estarán ubicados en distintas posiciones. Tanto las poleas como los engranajes permiten ajustar las rpm del eje motriz en función de la diferencia entre los diámetros de las poleas y del número de dientes de los engranajes. Una vez establecidas las rpm para los ejes de los módulos de transporte, recolección y el de separación, como se detalla en la tabla 11, se procederá a definir los diámetros de las poleas y el número de dientes de los engranajes necesarios para cumplir con estos requisitos.

**Tabla 11. Propuesta de rpm en los diferentes módulos**

<b>EJE</b>	<b>rpm</b>
<b>Motor</b>	1750
<b>Banda transportadora</b>	320
<b>Molinete recolector</b>	300
<b>Turbina centrífuga</b>	600

Fuente: Fuente propia, 2024

Intermec (2020), una empresa especializada en la comercialización y producción de mecanismos de transmisión de potencia, ofrece recomendaciones para el diseño de poleas. Estas recomendaciones incluyen el diámetro mínimo de las poleas en función de la potencia (hp) y las rpm del motor al que están acopladas, así como las medidas para las bandas en sus diversas variantes. Las correas en "V" clásicas se utilizan en aplicaciones tanto pesadas como ligeras debido a su amplia gama de dimensiones disponibles. Estas correas están disponibles en diferentes tipos y materiales, y se identifican mediante una letra única (A, B, C, D o E) seguida por la longitud interna aproximada de la correa.

- Canal: Es la parte ranurada de la polea donde se aloja la correa. Las dimensiones y los ángulos del canal dependen del tipo de correa utilizada
- Diámetro Exterior (D): Es la medida tomada en el borde exterior de la polea.
- Ancho (F): Se refiere a la medida del ancho en la parte superior de la polea

Al instalar una polea conductora en un motor eléctrico, se desaconseja el uso de poleas con diámetros muy pequeños, ya que esto puede reducir la vida útil de las correas y los rodamientos del motor. Aunque se pueden utilizar poleas de menor diámetro, es crucial considerar que esto disminuirá la durabilidad de las correas y los rodamientos. Consulte la tabla del Anexo 3, que presenta los diámetros mínimos recomendados en función de la potencia y la velocidad de los motores estándar.

### **3.6.1.2 Distribución de las poleas**

El motor, con una potencia de 1 hp y una velocidad de 1750 rpm, está equipado con una polea de 6 cm de diámetro, denominada Polea 1 (P1). La distribución del sistema es la siguiente:

1. Polea del Motor (P1): Esta polea cuenta con dos canales para bandas en V tipo "A" acoplada al eje del motor. En el primer canal se monta una banda que transmite el movimiento al eje de un reductor donde se encuentra la polea (P2).
2. Reductor (R1): Este reductor, equipado con engranajes rectos que reducen las rpm a la mitad, tiene un engranaje de entrada con 15 dientes (E1) y un engranaje conducido con 30 dientes (E2). En la salida del eje de 30 dientes se monta una polea (P3).
3. Polea de la Banda Transportadora (P4): La polea (P3) del reductor (R1) está conectada a la polea del eje de la banda transportadora (P4).
4. Polea (P5): Al segundo canal de la polea del motor (P1) se monta una banda que va hacia el eje de dos cajas reductoras. En este eje se monta una polea (P5). Las cajas reductoras contienen engranajes cónicos de dientes rectos, con 12 dientes (E3) en uno y 25 dientes (E4) en el otro, que distribuyen el movimiento en ejes diferentes al plano del motor.

5. Reductor del Molinete (R2): Este reductor, con una relación de reducción de 12:25, suministra movimiento al molinete. La salida de este reductor está acoplada a una polea (P6) que se relaciona con la polea del eje del molinete (P7).
6. Reductor del Extractor (R3): El reductor que suministra movimiento al extractor (R3) tiene la misma relación de reducción que el reductor R2. La polea acoplada al eje de salida de este reductor (P8) se conecta con la polea de la turbina del extractor (P9).

### 3.6.1.3 Calculo de los diámetros de las poleas

Para disminuir las revoluciones por minuto (rpm) de la polea P1 un tercio, necesitamos calcular el diámetro adecuado para la polea secundaria. Utilizaremos la relación de transmisión entre las poleas para lograr esta reducción.

$$1750 \text{ rpm} * \frac{2}{3} = 1166.66 \text{ rpm}$$

Para obtener el diámetro de la P2 despejamos D2 de la Ec. 3<sub>pag.43</sub>. Entonces:

$$D2 = \frac{D1 * N1}{N2}$$

$$D2 = \frac{60 \text{ mm} * 1750 \text{ rpm}}{1166.66 \text{ rpm}}$$

$$D2 = 90 \text{ mm}$$

R1 cuenta con una entrada de 1166.66 rpm. La reducción con engranes se obtiene al despejar N2 de la Ec. 4<sub>pag.44</sub>:

$$N2 = \frac{Z1 * N1}{Z2}$$

$$N2 = \frac{15 \text{ dientes} * 1166.66 \text{ rpm}}{30 \text{ dientes}}$$

$$N2 = 583.33 \text{ rpm}$$

La polea de salida del reductor (P3) se propone un diámetro mínimo de 6 cm y se desea obtener una velocidad de 350 rpm en el eje de la banda transportadora en el cual esta acoplada (P4):

$$D4 = \frac{6 \text{ cm} * 583.33 \text{ rpm}}{320 \text{ rpm}}$$

$$D4 = 10.9375 \text{ cm} \approx 10.9 \text{ cm}$$

Para P5 se desea una reducción de 1/3 con respecto de las revoluciones proporcionadas por el motor:

$$1750 \text{ rpm} * \frac{2}{3} = 1166.66 \text{ rpm}$$

Para obtener el diámetro de P5 utilizamos la formula ya despejada:

$$D5 = \frac{6 \text{ cm} * 1750 \text{ rpm}}{1166 \text{ rpm}}$$

$$D5 = 90 \text{ mm}$$

Las rpm de salida de R2 en la que esta acoplada P6, se obtienen a usar de nuevo el despeje realizado:

$$N4 = \frac{12 \text{ dientes} * 1166.66 \text{ rpm}}{25 \text{ dientes}}$$

$$N4 = 560 \text{ rpm}$$

Se procede a realizar el cálculo del diámetro de P7, contemplando un diámetro de P6 de 6 cm:

$$D7 = \frac{6 \text{ cm} * 560 \text{ rpm}}{300 \text{ rpm}}$$

$$D7 = 11.2 \text{ cm}$$

Las rpm de salida de R3 se obtienen a usar de nuevo el despeje realizado:

$$N6 = \frac{25 \text{ dientes} * 875 \text{ rpm}}{12 \text{ dientes}}$$

$$N_6 = 560 \text{ rpm}$$

Por último, en P9 se busca obtener 600 rpm, proponiendo un diámetro de P8 de 7 cm:

$$D_8 = \frac{7 \text{ cm} * 560 \text{ rpm}}{600 \text{ rpm}}$$

$$D_7 = 6.533 \text{ cm} \approx 6.5 \text{ cm}$$

**Tabla 12. Velocidad angular y diámetros en poleas**

Polea	Velocidad angular en rpm	Diámetro en cm
<b>P1</b>	1750	6
<b>P2</b>	1166.66	9
<b>P3</b>	583.33	6
<b>P4</b>	350	10.9
<b>P5</b>	1166.66	9
<b>P6</b>	560	6
<b>P7</b>	300	11.2
<b>P8</b>	560	7
<b>P9</b>	600	6.5

Fuente: Fuente propia, 2024

**Tabla 13. Velocidad angular y numero de dientes en engranes**

Engranaje	Velocidad angular en rpm	Numero de dientes
<b>E1</b>	1166.66	15
<b>E2</b>	583.33	30
<b>E3</b>	1166.66	12
<b>E4</b>	560	25
<b>E5</b>	1166.66	12
<b>E6</b>	560	25

Fuente: Fuente propia, 2024

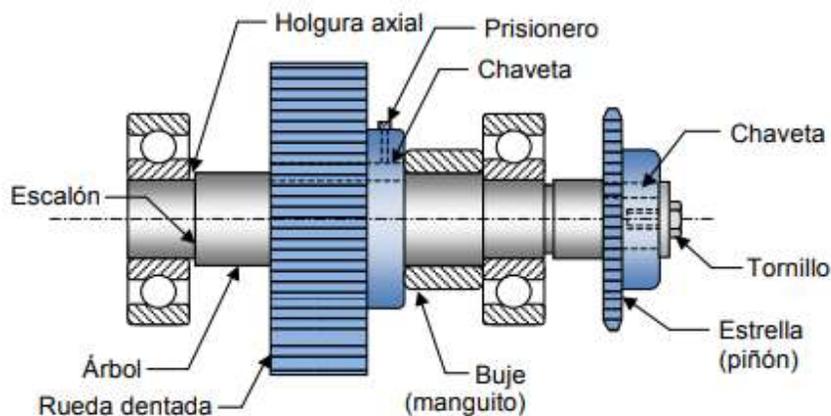
Las poleas y engranes se acoplarán a los ejes utilizando chavetas o cuñeros para prevenir el deslizamiento debido a cargas radiales. Además, se emplearán tornillos prisioneros para evitar el deslizamiento axial de las poleas.

### 3.6.2 Diseño de ejes de transmisión de potencia

Para calcular el diámetro de los ejes que compondrán los diferentes transmisores de potencia, se procede a tomar como base para los demás diámetros el componente denominado R1, ya que este se encuentra con una sección en volado en su eje que cuenta con relación directa al eje del motor.

Para el diseño de ejes es fundamental utilizar dos rodamientos en los extremos del eje. Estos rodamientos proporcionan soporte estable, equilibran las cargas en el eje y reducen los momentos de flexión, tal como se ilustra en la figura 31.

**Figura 31. Árbol escalonado con varios métodos de fijación**



Fuente: Useche, Diseño de elementos de máquinas, 2018, p.281

Se diseña el eje, el cual debe ser mecanizado en acero AISI 1020 laminado simple. Este eje forma parte de un sistema reductor. La polea acanalada P2, con un diámetro de 9 cm, está montada horizontalmente en un motor eléctrico de 1 hp (0.75 kW) que opera a 1750 rpm y tiene una polea de 6 cm de diámetro. El engranaje E1, con un diámetro de 6 cm, transmite toda la potencia al engranaje E2. El eje funcionará a temperatura ambiente y se diseñará para ofrecer una confiabilidad funcional del 90%.

Obtenemos los datos del acero AISI 1020 laminado simple encontrado en tabla del Anexo 6:

$$S_y = 3374 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$S_u = 4569 \frac{kgf}{cm^2}$$

El factor de corrección por superficie  $C_b$  para condiciones a temperatura ambiente :

$$C_b = 1$$

$C_s$  se obtiene al utilizar la grafica del Anexo 8, relacionando la máxima resistencia a la tracción ( $S_u$ ) respecto al tipo de proceso con el que se trabajara el eje, para el diseño se propone un mecanizado:

$$C_s = 1$$

Utilizando la *Ec. 18*<sub>pag.47</sub> y la *Tabla. 1*<sub>pag.47</sub> se obtiene el factor de confiabilidad funcional ( $C_r$ ) tomando una tasa de confiabilidad de 90%. Se sustituyen los valores:

$$C_r = 1 - (0.076 * 1.3)$$

$$C_r = 0.9012$$

El esfuerzo residual ( $C_o$ ) para materiales laminados es:

$$C_o = 1.3$$

Se sustituyen los valores y se utiliza *Ec. 17*<sub>pag.46</sub> para obtener el limite de fatiga del material ( $S'_n$ ):

$$S'_n = 0.5 S_u = 0.5 * 4569 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$S'_n = 2284.5 \frac{kgf}{cm^2}$$

Se sustituyen los valores en la *Ec. 16<sub>pag.46</sub>* para obtener la resistencia a la fatiga ( $S_n$ ):

$$S_n = 1 * 1 * 0.9 * 1.3 * 2284.5 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$S_n = 2672.865 \frac{kgf}{cm^2}$$

Calculamos el torque a partir de las rpm de la polea P2 utilizando la *Ec. 5<sub>pag.44</sub>*, vease *Tabla. 12<sub>pag.72</sub>*:

$$T = \frac{kW * 974}{n} = \frac{0.75 kW * 974}{1166.66 rpm}$$

$$T = 0.626 kgf * m = 62.615 kgf * cm$$

Calculamos las fuerzas tangenciales y radiales del eje utilizando la *Ec. 6<sub>pag.44</sub>*, sobre la polea (P2):

$$F_{ta} = T / (D/2)$$

$$F_{ta} = \frac{62.615 kgf * cm}{4.5 cm}$$

$$F_{ta} = 13.914 kgf$$

Se calcula la fuerza de flexión sobre el eje con bandas trapezoidales, usar *Ec. 11<sub>pag.46</sub>*:

$$F_{fa} = 1.5 F_t$$

$$F_{fa} = 1.5 * 13.914 kgf$$

$$F_{fa} = 20.872 kgf$$

Las fuerzas componentes en el plano cartesiano son:

$$F_{fax} = F_t \cos 0 = 20.872 kgf * 1 = 20.872 kgf$$

$$F_{fay} = F_t \cos 0 = 20.872 kgf * 0 = 0 kgf$$

Se calculan las fuerzas en el engranaje (E1), el cual cuenta con 6 cm de diámetro, véase Ec. 6<sub>pag44</sub>:

$$F_{tb} = T / \left(\frac{D}{2}\right)$$

$$F_{tb} = (13.914 \text{ kgf} * \text{cm}) / 3 \text{ cm} = 4.638 \text{ kgf}$$

La fuerza de flexión ( $F_{fb}$ ) en el engranaje es igual a la Fuerza Tangencial ( $F_{tb}$ ):

$$F_{fb} = 4.638 \text{ kgf}$$

La fuerza radial se calcula usando la Ec. 9<sub>pag.45</sub>:

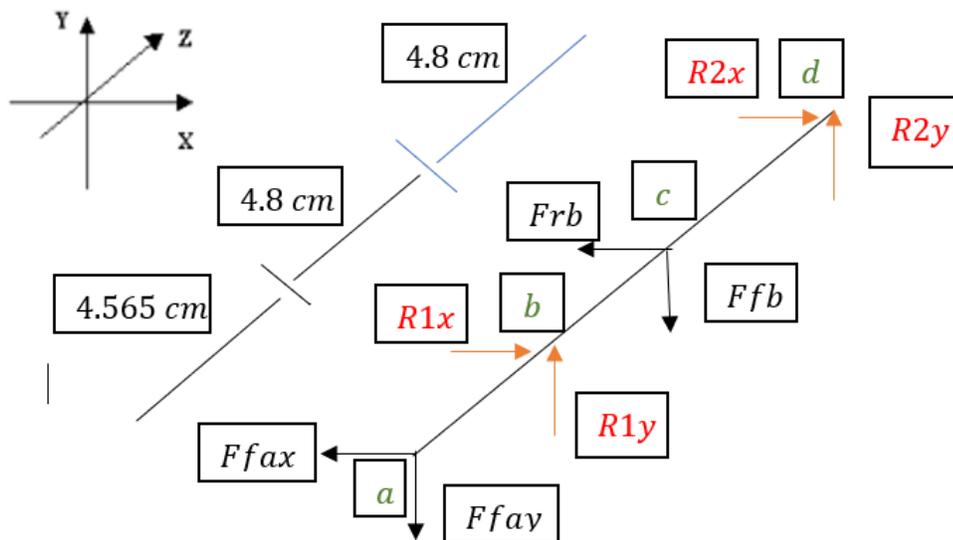
$$F_{rb} = F_{tb} * \text{Tg } 20^\circ$$

$$F_{rb} = 4.638 \text{ kgf} * 0.3639$$

$$F_{rb} = 1.688 \text{ kgf}$$

Cálculo de las reacciones en los Rodamientos y se realiza un análisis de cuerpo libre como se ve en la figura 32.

**Figura 32. Diagrama de cuerpo libre (Eje de transmisión)**



Fuente: Fuente propia, 2024

Se recopilan las fuerzas ejercidas.

$$F_{fax} = 20.872 \text{ kgf}$$

$$F_{fay} = 0 \text{ kgf}$$

$$F_{fb} = 4.638 \text{ kgf}$$

$$F_{rb} = 1.688 \text{ kgf}$$

Se procede a realizar el calculo de las reacciones en  $R1 + R2$  utilizando las ecuaciones Ec. 13 – 15<sub>pag.46</sub>.

Análisis en x:

$$+\rightarrow \Sigma F_x = 0$$

$$-F_{fax} + R1x - F_{rb} + R2x = 0$$

$$R1x + R2x = F_{fax} + F_{rb}$$

$$R1x + R2x = 20.872 \text{ kgf} + 1.688 \text{ kgf}$$

$$R1x + R2x = 22.56 \text{ kgf}$$

$$+\curvearrowright \Sigma M_d$$

$$-4.8 \text{ cm}(F_{rb}) + 9.6 \text{ cm}(R1x) - 14.165 \text{ cm}(F_{fax})$$

$$-4.8 \text{ cm}(1.688 \text{ kgf}) + 9.6 \text{ cm}(R1x) - 14.165 \text{ cm}(20.872 \text{ kgf})$$

$$-8.1024 \text{ kgf} * \text{cm} + 9.6 \text{ cm}(R1x) - 295.652 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$9.6 \text{ cm}(R1x) = 295.652 \text{ kgf} * \text{cm} + 8.1024 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$9.6 \text{ cm}(R1x) = 303.75 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$R1x = \frac{303.75 \text{ kgf} * \text{cm}}{9.6 \text{ cm}}$$

$$R1x = 31.641 \text{ kgf}$$

$$R1x + R2x = 22.56 \text{ kgf}$$

$$R2x = 22.56 \text{ kgf} - 31.641 \text{ kgf}$$

$$\mathbf{R2x = -9.081 \text{ kgf}}$$

Se procede a realizar el calculo de momentos maximos resultantes por el metodo de de las areas.

Se calculan los cortantes en x:

$$+ \curvearrowright Mx$$

$$Q1 = -9.081 \text{ kgf}$$

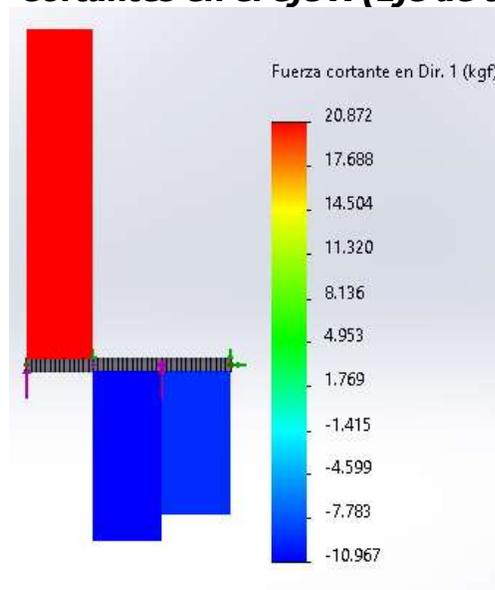
$$Q2 = -9.081 \text{ kgf} - 1.688 \text{ kgf} = -10.769 \text{ kgf}$$

$$Q3 = -10.769 \text{ kgf} + 31.641 \text{ kgf} = 20.872 \text{ kgf}$$

$$Q4 = 20.872 \text{ kgf} - 20.872 \text{ kgf} = 0 \text{ kgf}$$

En la figura 33 se corrobora que el cortante en el segmento  $a - b$  es de  $20.872 \text{ kgf}$  y así como el del segmento  $b-c$  que es de  $-10.769 \text{ kgf}$ .

**Figura 33. Cortantes en el eje X (Eje de transmisión)**



Fuente: Fuente propia, 2024

Momentos en x:

$$M1 = 0 \text{ kgf} * \text{cm}$$

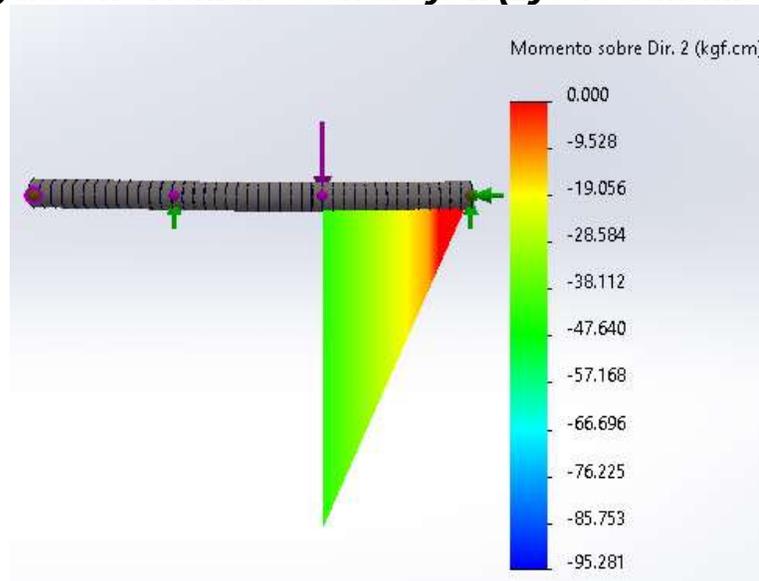
$$M2 = 0 \text{ kgf} * \text{cm} + (4.8 \text{ cm} * -9.081 \text{ Kgf} ) = -43.589 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$M3 = -43.589 \text{ kgf} * \text{cm} + (4.8 \text{ cm} * -10.769 \text{ kgf} ) = -95.28 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$M4 = -95.28 \text{ kgf} * \text{cm} + (4.565 \text{ cm} * 20.872 \text{ kgf} ) = 0 \text{ kgf} * \text{cm}$$

El diagrama de momentos obtenido se muestra en la figura 34 y se corrobora que el momento máximo es de  $-95.28 \text{ kgf} * \text{cm}$ .

**Figura 34. Momentos en el eje x (Eje de transmisión)**



Fuente: Fuente propia, 2024

Análisis en y:

$$+\uparrow \Sigma Fy = 0$$

$$-Ffay + R1y - Ffb + R2y = 0$$

$$R1y + R2y = Ffay + Ffb$$

$$R1y + R2y = 0 + 4.638 \text{ kgf}$$

$$R1y + R2y = 4.638 \text{ kgf}$$

$\curvearrowright$   $\Sigma Myd$

$$-4.8 \text{ cm}(Ffb) + 9.6 \text{ cm}(R1y) - 14.165 \text{ cm}(Ffay)$$

$$-4.8 \text{ cm}(4.638 \text{ kgf}) + 9.6 \text{ cm}(R1y) - 14.165 \text{ cm}(0)$$

$$-22.2624 \text{ kgf} * \text{cm} + 9.6 \text{ cm}(R1y) - 0$$

$$9.6 \text{ cm}(R1x) = 22.2624 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$R1y = \frac{22.2624 \text{ kgf} * \text{cm}}{9.6 \text{ cm}}$$

$$\mathbf{R1y = 2.319 \text{ kgf}}$$

$$R1y + R2y = 4.638 \text{ kgf}$$

$$R2y = 4.638 \text{ kgf} - 2.319 \text{ kgf}$$

$$\mathbf{R2y = 2.319 \text{ kgf}}$$

Cortantes en y:

$\curvearrowright$   $My$

$$Q1 = \mathbf{2.319 \text{ kgf}}$$

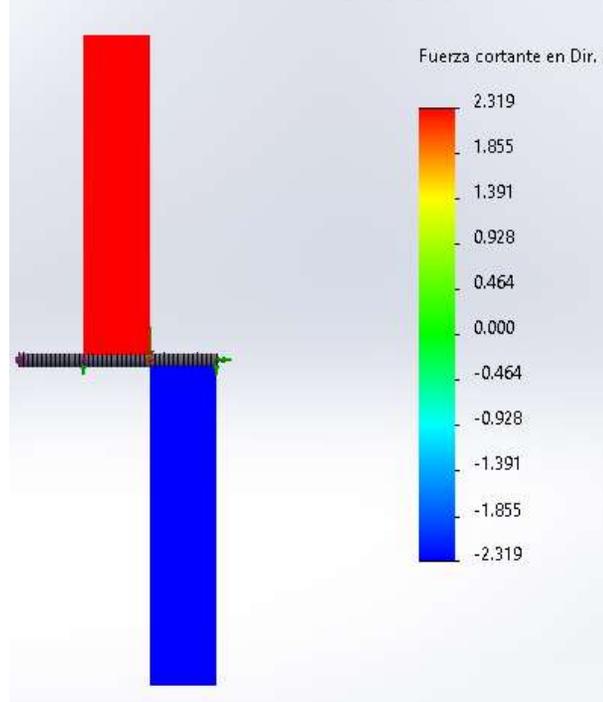
$$Q2 = 2.319 \text{ kgf} - 4.638 \text{ kgf} = \mathbf{-2.319 \text{ kgf}}$$

$$Q3 = -2.319 \text{ kgf} + 2.319 \text{ kgf} = \mathbf{0 \text{ kgf}}$$

$$Q4 = 0 \text{ kgf} - 0 \text{ kgf} = \mathbf{0 \text{ kgf}}$$

En la figura 35 se corrobora que el cortante en el segmento  $b - c$  es de  $2.319 \text{ kgf}$  y así como el del segmento  $c - d$  que es de  $-2.319 \text{ kgf}$ .

**Figura 35. Cortantes en el eje y (Eje de transmisión)**



Fuente: Fuente propia, 2024

Momentos en y:

$$M1 = 0 \text{ kgf} * \text{cm}$$

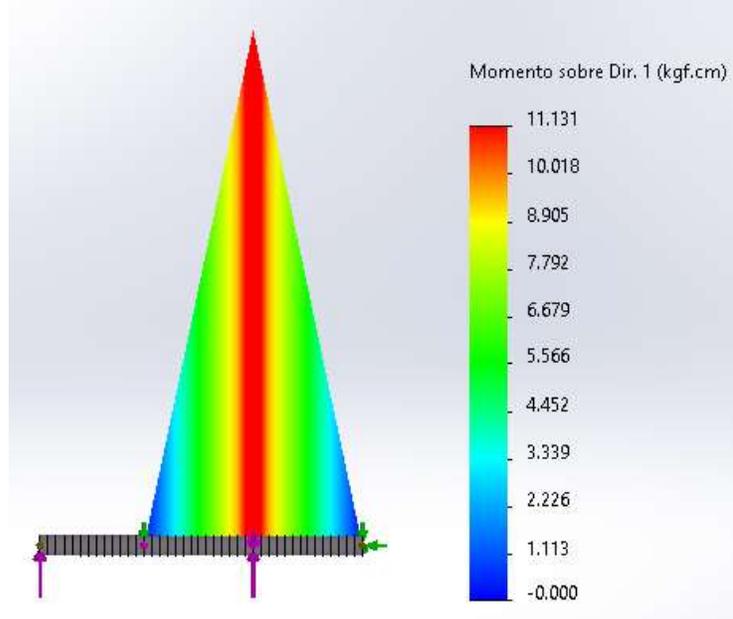
$$M2 = 0 \text{ kgf} * \text{cm} + (4.8 \text{ cm} * -2.319 \text{ kgf}) = -11.1312 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$M3 = -11.1312 \text{ kgf} * \text{cm} + (4.8 \text{ cm} * 2.319 \text{ kgf}) = 0 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$M4 = 0 \text{ kgf} * \text{cm} + (4.565 \text{ cm} * 0) = 0.0 \text{ kgf} * \text{cm}$$

El diagrama de momentos obtenido se muestra en la figura 36 y se corrobora que el momento máximo es de  $-11.1312 \text{ kgf} * \text{cm}$ .

**Figura 36. Momentos en el eje y (Eje de transmisión)**



Fuente: Fuente propia, 2024

Se calcula el momento máximo resultante utilizando la siguiente ecuación:

$$M_t = \sqrt{(M_x - y)^2 + (M_x - z)^2} \quad E_c(20)$$

Momentos máximos en M2

$$M_{t2} = \sqrt{(-43.589 \text{ kgf} * \text{cm})^2 + (-11.1312 \text{ kgf} * \text{cm})^2}$$

$$M_{t2} = \sqrt{1900 \text{ kgf} * \text{cm} + 123.904 \text{ kgf} * \text{cm}}$$

$$M_{t2} = \sqrt{2023.904 \text{ kgf} * \text{cm}}$$

$$M_{t2} = 44.988 \text{ kgf} * \text{cm}$$

Momento máximo en M3

$$Mt3 = \sqrt{(-95.28 \text{ kgf} * \text{cm})^2 + (0 \text{ kgf} * \text{cm})^2}$$

$$Mt3 = \sqrt{1900 \text{ kgf} * \text{cm} + 0 \text{ kgf} * \text{cm}}$$

$$Mt3 = \sqrt{90.078.278 \text{ kgf} * \text{cm}}$$

$$Mt3 = 95.28 \text{ kgf} * \text{cm} = Mmax$$

Cálculo del diámetro del eje utilizando el máximo momento calculado, el cual es en M3. Se utiliza la Ec. 1<sub>pag.43</sub>

$$d = \left[ 10.19 N \left[ \frac{Kf Mmax}{sn} + 0.694 \left( \frac{T}{sy} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{1/3}$$

N es el factor de seguridad y se determina tomando en cuenta la tabla 14, de acuerdo con la literatura, se optó por seleccionar un factor de seguridad para un eje bajo cargas con impacto moderado y con un factor de concentración de esfuerzos (kf) de 1.3 para chavetas sometidas a torsión, véase *Tabla. 2<sub>pag.47</sub>*.

**Tabla 14. Valores de factor de seguridad para flechas o ejes**

Tipos de carga	Valor de factor de seguridad
Cargas estables	2.0
Cargas con impacto moderado	3.0
Cargas con impacto fuerte	4.0

Fuente: Diaz, Tablas y Gráficas para Diseño de Elementos de Máquinas, s.f, p. 28  
Se sustituyen los valores:

$$d = \left[ 10.19 * 3 \left[ \frac{1.3 * 95.28 \text{ kgf} * \text{cm}}{2672.865 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}} + 0.694 \left( \frac{62.615 \text{ kgf} * \text{cm}}{3374 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{1/3}$$

$$d = \left[ 10.19 * 3[0.0463 + 0.694(0.0186 \text{ cm})^2]^{\frac{1}{2}} \right]^{1/3}$$

$$d = \left[ 10.19 * 3[0.0463 + 0.694(0.000345 \text{ cm})^2]^{\frac{1}{2}} \right]^{1/3}$$

$$d = \left[ 10.19 * 3[0.0463 + 0.00024 \text{ cm}]^{\frac{1}{2}} \right]^{1/3}$$

$$d = \left[ 10.19 * 3[0.0465 \text{ cm}]^{\frac{1}{2}} \right]^{1/3}$$

$$d = [10.19 * 3 (0.2157 \text{ cm})]^{1/3}$$

$$d = [10.19 * 0.647 \text{ cm}]^{1/3}$$

$$d = [6.595 \text{ cm}]^{1/3}$$

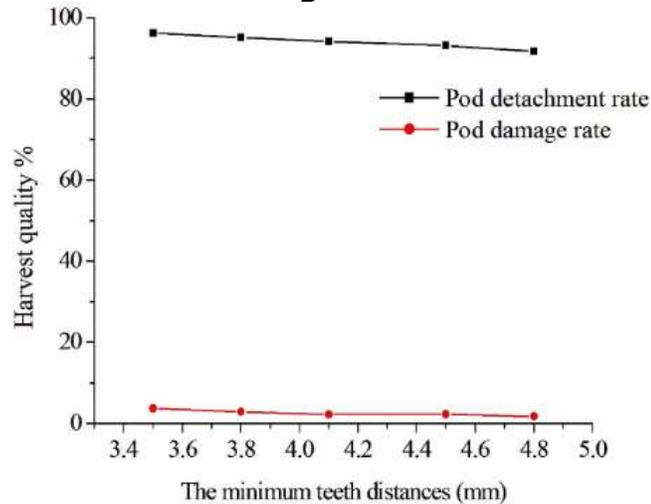
$$d = 1.875 \text{ cm}$$

Se procede a realizar los ejes de los componentes del módulo de transmisión de potencia con un diámetro de 2 cm y con cambios de sección de 2.2 cm para así evitar movimientos axiales y ser colocados en sus respectivos rodamientos.

### 3.6.3 Modulo de recolección

Castro, J. M. C. (1997). menciona que en el caso de cultivos caídos como lo es el chícharo, la distancia mínima de los ganchos del molinete deben de pasar a una distancia entre 5 a 8 cm del suelo. Zhao et al. (2023) realiza un análisis de la distancia de los ganchos del molinete de recolección en el cual determina que a menor sea la distancia axial de los ganchos, mayor es la tasa de recolección de vainas tal y como se ve en la figura 37, de igual manera el daño en estas aumenta, para el diseño del molinete se determina una distancia entre ganchos de 5 cm.

**Figura 37. Distancia entre ganchos en molinete recolector**



Fuente: Zhao et al, Equipo de recolección de vainas de soja verdes tipo peine-cepillado, 2023, p. 20

### 3.6.3.1 Diseño del eje del molinete.

1. Para iniciar con los cálculos se deberá de comenzar a definir los parámetros con los que contará el molinete, este se encontrará seccionado en los puntos donde será sometido a fuerzas y sus respectivas reacciones en sus rodamientos. En el punto A se encontrará una polea de 11.2 cm de diámetro. A 9.5 cm se encuentra uno de los soportes en los cuales se encuentran montado el eje, punto b. El molinete está constituido por dos discos de 25 cm de diámetro en los que se soportan los ganchos de recolección, el largo del molinete es de 91 cm, el primer soporte, punto c, se encuentra a una distancia del punto b de 15 cm, el segundo soporte se encuentra a 3 cm del del segundo soporte, punto d. Véase la figura 38.

Se utilizará el mismo material en todos los ejes, Acero AISI 1020 laminado, por lo que sustraeremos los datos ya obtenidos de resistencia a la fatiga y del punto de fluencia del material, los cuales se encuentran en las páginas 75 y 76:

$$S_y = 3374 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$S_n = 2672.865 \frac{kgf}{cm^2}$$

Calculamos el torque usando *Ec. 5<sub>pag.44</sub>* a partir de las RPM de la polea 7, vease la *Tabla. 12<sub>pag.72</sub>* y considerando una perdida de potencia de 50%:

$$T = \frac{kW * 974}{n} = \frac{0.375 kW * 974}{300 rpm}$$

$$T = 1.2175 kgf * m$$

$$T = 121.75 kgf * cm$$

Calculamos las fuerzas tangenciales y radiales sobre el eje utilizando *Ec. 6<sub>pag.44r</sub>* sobre la polea (P7):

$$F_t = T / (D/2)$$

$$F_{ta} = \frac{121.75 kgf * cm}{5.6 cm}$$

$$F_{ta} = 21.741 kgf$$

La fuerza de flexión sobre el eje se calcula con *Ec. 11<sub>pag.46</sub>*:

$$F_{fa} = 1.5 F_{ta}$$

$$F_{fa} = 1.5 * 21.741 kgf$$

$$F_{fa} = 32.612 kgf$$

Las fuerzas componentes en el plano cartesiano son:

$$F_{fax} = F_t * \cos 90 = 32.612 kgf * 0 = 0 kgf$$

$$F_{fay} = F_t * \sen 90 = 32.612 kgf * 1 = 32.612 kgf$$

En el Soporte S1 y S2 se usa *Ec. 6<sub>pag.44</sub>*:

$$F_{tb} = T / \left(\frac{D}{2}\right) F_t$$

$$F_{tb} = (121.75 kgf * cm) / 12.5 cm = 9.74 kgf$$

La fuerza de flexión ( $Ffb$ ) en S1 es igual a la Fuerza Tangencial ( $Ft$ ):

$$Ffb = 9.74 \text{ kgf}$$

La fuerza radial se calcula usando Ec. 9<sub>pag.45</sub>:

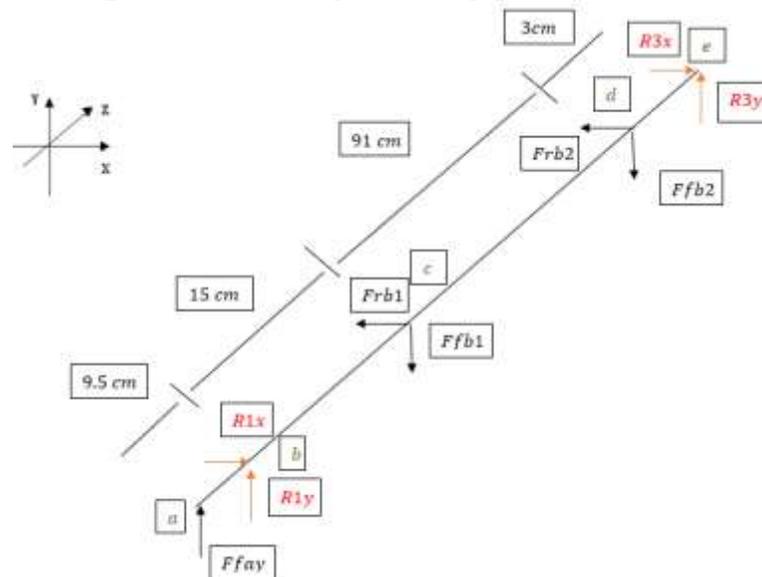
$$Frb = Ftb * Tg 45^\circ$$

$$Frb = 9.74 \text{ kgf} * 1 = 9.74 \text{ kgf}$$

$$Frb = 9.74 \text{ kgf}$$

Cálculo de las reacciones en los Rodamientos.

**Figura 38. Diagrama de cuerpo libre (Eje del molinete recolector)**



Fuente: Fuente propia, 2024

Se realiza el análisis de cuerpo libre sobre el eje.

$$Ffax = 0 \text{ kgf}$$

$$Ffay = 32.612 \text{ kgf}$$

$$Ffb1 = Ffb2 = 9.74 \text{ kgf}$$

$$Frb1 = Frb2 = 9.74 \text{ kgf}$$

Se procede a realizar el calculo de las reacciones en  $R1 + R2$ :

$$+\rightarrow \Sigma Fx = 0$$

$$\Sigma Fx = R1x - Frb1 - Frb2 + R2x$$

$$R1x + R2x = Frb1 - Frb2$$

$$R1x + R2x = 9.74 \text{ kgf} + 9.74 \text{ kgf}$$

$$R1x + R2x = 19.48 \text{ kgf}$$

$$+\curvearrowright \Sigma Me$$

$$-3(Frb2) - 94(Frb1) + 109(R1x)$$

$$-3(9.74 \text{ kgf}) - 94(9.74 \text{ kgf}) + 109(R1x)$$

$$-29.22 \text{ kgf} - 915.56 \text{ kgf} + 109(R1x)$$

$$109(R1x) = 29.22 \text{ kgf} + 915.56 \text{ kgf}$$

$$109(R1x) = 944.78 \text{ kgf}$$

$$R1x = \frac{944.78 \text{ kgf}}{109}$$

$$\mathbf{R1x = 8.668 \text{ kgf}}$$

$$R1x + R2x = 19.48 \text{ kgf}$$

$$R2x = 19.48 \text{ kgf} - 8.668 \text{ kgf}$$

$$\mathbf{R2x = 10.812 \text{ kgf}}$$

Se procede a realizar el calculo de momentos mazimos resultantes por el metodo de de las areas.

Se calculan los cortantes en x:

$$\begin{array}{c} \curvearrowleft \\ + \\ Mx \end{array}$$

$$Q1 = 10.812 \text{ kgf}$$

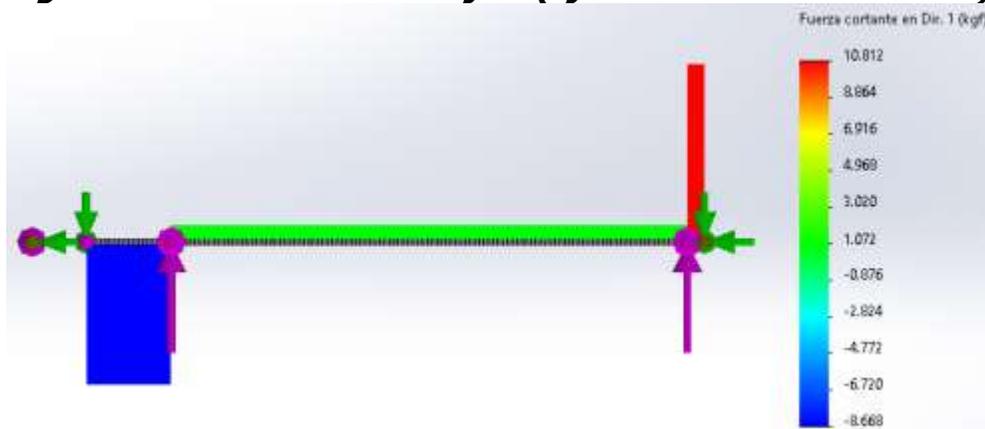
$$Q2 = 10.812 \text{ kgf} - 9.74 \text{ kgf} = 1.072 \text{ kgf}$$

$$Q3 = 1.072 \text{ kgf} - 9.74 \text{ kgf} = -8.668 \text{ kgf}$$

$$Q4 = -8.668 \text{ kgf} + 8.668 \text{ kgf} = 0 \text{ kgf}$$

En la figura 39 se corrobora que los cálculos de los cortantes por medio del estudio en software, con cortantes máximos de **10.812 kgf** en el punto *c – d*.

**Figura 39. Cortantes en el eje x (Eje del molinete recolector)**



Fuente: Fuente propia, 2024

Momentos en x:

$$M1 = 0 \text{ kgf} * \text{cm}$$

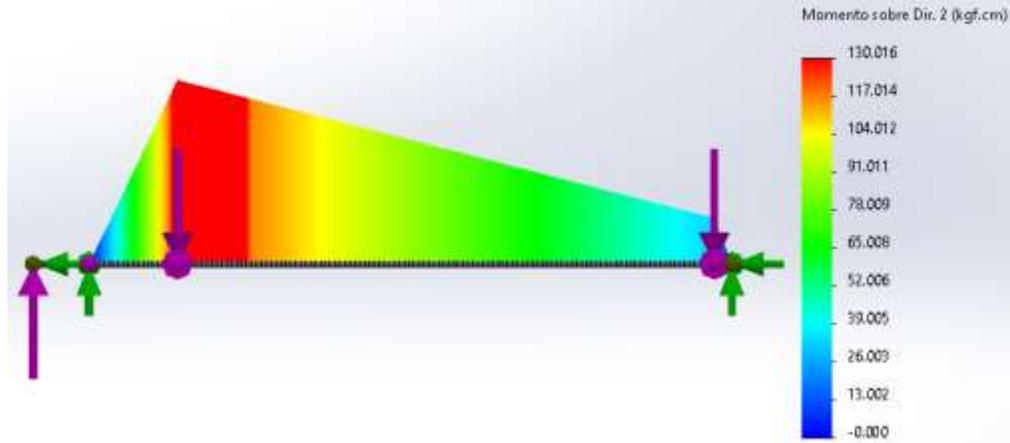
$$M2 = 0 \text{ kgf} * \text{cm} + (3 \text{ cm} * 10.812 \text{ kgf}) = 32.436 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$M3 = 32.436 \text{ kgf} * \text{cm} + (91 \text{ cm} * 1.072 \text{ kgf}) = 130 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$M4 = 130 \text{ kgf} * \text{cm} + (15 \text{ cm} * -8.668 \text{ kgf}) = 0 \text{ kgf} * \text{cm}$$

El diagrama de momentos obtenido se muestra en la figura 40 y se corrobora que el momento máximo es de  $130 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ .

**Figura 40. Momentos en el eje x (Eje del molinete recolector)**



Fuente: Fuente propia, 2024

Análisis en y:

$$+\uparrow \Sigma Fy = 0$$

$$-\uparrow \Sigma Fy = -Ffay - R1y + Ffb1 + Ffb2 - R2y$$

$$R1y + R2y = -Ffay + Ffb1 + Ffb2$$

$$R1y + R2y = -32.612 \text{ kgf} + 9.74 \text{ kgf} + 9.74 \text{ kgf}$$

$$R1y + R2y = -13.132 \text{ kgf}$$

$$+\curvearrowright \Sigma Mye$$

$$3 \text{ cm}(Frb2) + 94 \text{ cm}(Frb1) + 109 \text{ cm}(R1y) - 118.5 \text{ cm}(Ffay)$$

$$3 \text{ cm}(9.74 \text{ kgf}) + 94 \text{ cm}(9.74 \text{ kgf}) - 109 \text{ cm}(R1y) - 118.5 \text{ cm}(32.612 \text{ kgf})$$

$$29.22 \text{ kgf} \cdot \text{cm} + 915.56 \text{ kgf} \cdot \text{cm} - 109 \text{ cm}(R1y) - 3864.522 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$109 \text{ cm}(R1y) = 29.22 \text{ kgf} \cdot \text{cm} + 915.56 \text{ kgf} \cdot \text{cm} - 3864.522 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$109 \text{ cm}(R1y) = -2919.742 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$R1y = \frac{-2919.742 \text{ kgf} * \text{cm}}{109 \text{ cm}}$$

$$R1y = -26.787 \text{ kgf}$$

$$R1y + R2y = -13.3132 \text{ kgf}$$

$$R2y = -13.132 \text{ kgf} + 26.787 \text{ kgf}$$

$$R2y = 13.655 \text{ kgf}$$

Cortantes en y:

$$\begin{array}{c} \curvearrowleft \\ + \end{array} My$$

$$Q1 = -13.655 \text{ kgf}$$

$$Q2 = -13.655 \text{ kgf} + 9.74 \text{ kgf} = -3.915 \text{ kgf}$$

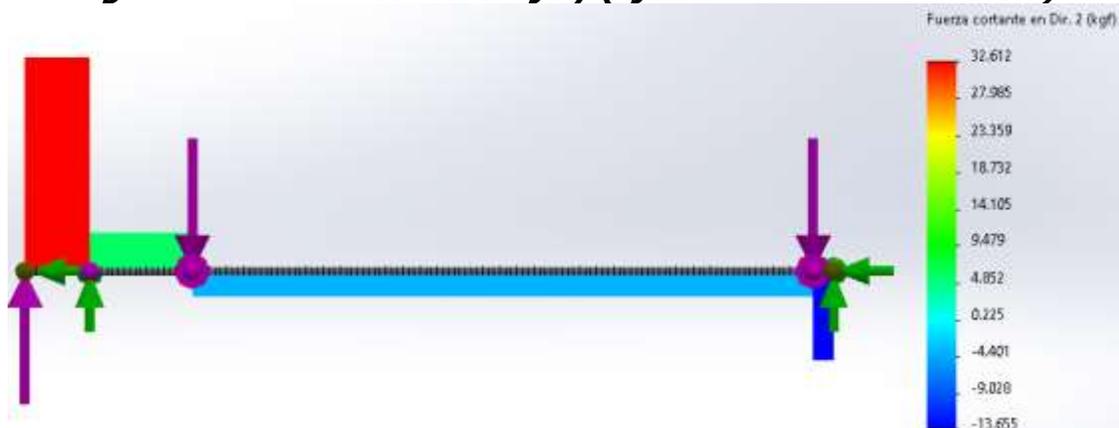
$$Q3 = -3.915 \text{ kgf} + 9.74 \text{ kgf} = 5.825 \text{ kgf}$$

$$Q4 = 5.825 \text{ kgf} + 26.787 \text{ kgf} = 32.612 \text{ kgf}$$

$$Q5 = 32.612 \text{ kgf} - 32.612 \text{ kgf} = 0 \text{ kgf}$$

En la figura 41 se corrobora que el cortante máximo es de **32.612 kgf** ubicado en el segmento a-b.

**Figura 41. Cortantes en el eje y (Eje del molinete recolector)**



Fuente: Fuente propia, 2024

Momentos en y:

$$M1 = 0 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$M2 = 0 \text{ kgf} * \text{cm} + (3 \text{ cm} * 13.655 \text{ kgf}) = 40.965 \text{ kgf} * \text{cm}$$

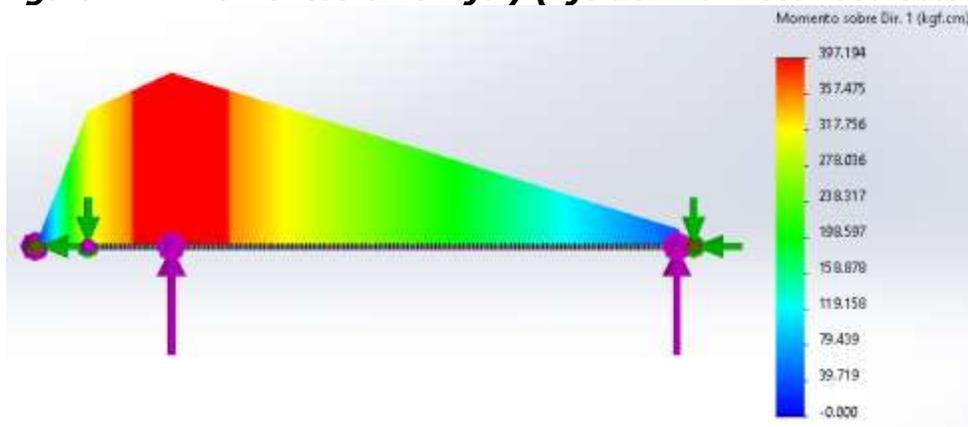
$$M3 = 40.965 \text{ kgf} * \text{cm} + (91 \text{ cm} * 3.915 \text{ kgf}) = 397.23 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$M4 = 397.23 \text{ kgf} * \text{cm} + (15 \text{ cm} * -5.825 \text{ kgf}) = 309.855 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$M5 = 309.855 \text{ kgf} * \text{cm} + (9.5 \text{ cm} * -32.612 \text{ kgf}) = 0 \text{ kgf} * \text{cm}$$

El diagrama de momentos obtenido se muestra en la figura 42 y se corrobora que el momento máximo es de  $397.23 \text{ kgf} * \text{cm}$ .

**Figura 42. Momentos en el eje y (Eje del molinete recolector)**



Fuente: Fuente propia, 2024

Cortantes en y:

Utilizando la formula:

$$Mt = \sqrt{(Mx - y)^2 + (Mx - z)^2}$$

Momento máximo en M3

$$Mt3 = \sqrt{(130 \text{ kgf} * \text{cm})^2 + (-397.23 \text{ kgf} * \text{cm})^2}$$

$$Mt3 = \sqrt{16900 \text{ kgf} * \text{cm} + 157791.6729 \text{ kgf} * \text{cm}}$$

$$Mt3 = \sqrt{174691.6729 \text{ kgf} * \text{cm}}$$

$$Mt3 = 417.961 \text{ kgf} * \text{cm}$$

Cálculo del diámetro del eje utilizando la *Ec. 1 pag. 43*, considerando  $Mt3$  como el momento máximo resultante, así como un factor de seguridad de 3 y Factor de concentración de esfuerzos de 1.3.

$$d = \left[ 10.19 N \left[ \frac{Kf Mmax}{sn} + 0.694 \left( \frac{T}{sy} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{1/3}$$

Se toma un valor de factor de seguridad (N) igual 3.

$$d = \left[ 10.19 * 3 \left[ \frac{1.3 * 417.961 \text{ kgf} * \text{cm}}{2672.865 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} + 0.694 \left( \frac{121.75 \text{ kgf} * \text{cm}}{3374 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{1/3}$$

$$d = \left[ 10.19 * 3 \left[ \frac{543.349 \text{ kgf} * \text{cm}}{2672.865 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} + 0.694 (0.0361 \text{ cm})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{1/3}$$

$$d = \left[ 10.19 * 3 [0.2032 + 0.694(0.0013 \text{ cm}^2)]^{\frac{1}{2}} \right]^{1/3}$$

$$d = \left[ 10.19 * 3 [0.2032 + 0.000907 \text{ cm}^2]^{\frac{1}{2}} \right]^{1/3}$$

$$d = \left[ 10.19 * 3 [0.2041 \text{ cm}^2]^{\frac{1}{2}} \right]^{1/3}$$

$$d = [10.19 * 3 (0.452 \text{ cm})]^{1/3}$$

$$d = [10.19 * 1.355 \text{ cm}]^{1/3}$$

$$d = [13.810 \text{ cm}]^{1/3}$$

$$d = 2.399 \text{ cm}$$

Se procede a realizar un eje con un diámetro de 2.5 cm en el cual estará montado el molinete de recolección.

### 3.6.4 Transporte

La banda transportadora contara con un área horizontal seguida de una sección inclinada, de acuerdo con una compañía fabricante de bandas transportadoras Esbelt (2024) las bandas nervadas, que son aquellas que cuentan con perfiles, estas cuentan con una capacidad de transporte optima en bandas con hasta 70° de inclinación.

Se realizará el cálculo de la potencia necesaria para suministrar a la banda transportadora. De acuerdo con la literatura, los cultivos de chícharo promedio cuentan con un promedio de rendimiento de 4 toneladas por hectárea.

Tomando una eficiencia de área de cultivo de 90% se procede a realizar los cálculos para obtener los kg de carga que deberá de soportar la banda por 100 m<sup>2</sup> de aplicación. Se procede a dividir el rendimiento total por hectárea sobre el área de eficiencia propuesta.

$$Ef = 4 \text{ Tm} / (10000 \text{ m}^2 * 90\%)$$

$$Ef = 4 \text{ Tm} / 9000 \text{ m}^2$$

$$Ef = 0.00045 \text{ Tm} / \text{m}^2$$

$$Ef = 0.45 \text{ kg} / \text{m}^2$$

Se procede a calcular el área de la banda tomando un ancho de 0.3 m, una longitud de 0.82 m en su sección horizontal y 1 en su sección inclina, se considera el arco que se genera al tener contacto con los rodillos de la banda, los cuales miden 0.06 m de diámetro.

Se calcula el largo de la banda:

$$l = (2 * (0.82 \text{ m} + 1 \text{ m})) + (0.06 \text{ m} * \pi)$$

$$l = (2 * 1.82 \text{ m}) + 0.188 \text{ m}$$

$$l = 3.62 \text{ m} + 0.188 \text{ m}$$

$$l = 3.0808 \text{ m}$$

Se calcula el área de la banda

$$a = 0.3 \text{ m} * l$$

$$a = 0.3 \text{ m} * 3.808 \text{ m}$$

$$a = 1.143 \text{ m}^2$$

Se realiza el cálculo del peso de la banda utilizando el peso obtenido de la tabla 15 de datos técnicos de la banda.

**Tabla 15. Datos técnicos de banda transportadora**

(Datos técnicos)	
Thickness grosor de la correa)	3.0mm
(Peso)	3.2kg / m <sup>2</sup>
(Fuerza al 1% de alargamiento)	10N / mm
Top Dureza superior)	80A
Cover Cubierta superior de espesor)	0.8mm
(Temperatura ambiente)	-10 °C a 80 °C
(Diámetro x.pulley flexxing)	50mm
Width ancho de la correa estándar)	2000mm
Width Ancho máximo de la correa)	3000mm

Fuente: Industry belt solution, s.f

$$w = 1.143 \text{ m}^2 * 3.2 \text{ kg} * \text{m}^2$$

$$w = 3.657 \text{ kg}$$

Se procede a determinar la potencia necesaria para mover la banda transportada utilizando la formula obtenida de González D & Lobos (2018), tomando en cuenta 100 m de cosecha como peso de carga y un coeficiente de fricción de 0.35 de acuerdo con la literatura consultada.

$$Potencia(\text{hp}) = \frac{(W + w) * f * V}{33000} \quad (\text{Ec. 21})$$

Donde:

$$W = \text{Peso de carga (lb)} = 45 \text{ kg} * 2.20462 = 99.208 \text{ lb}$$

$$w = \text{peso de la banda (lb)} = 3.657 \text{ kg} * 2.20462 = 8.062 \text{ lb}$$

$$f = \text{coeficiente de fricción} = 0.35$$

$$V = \text{velocidad lineal de la banda} \frac{ft}{min} = 1 \frac{m}{s} = 196.85 \text{ ft/min}$$

Se sustituyen los valores en Ec. 21:

$$\text{Potencia}(hp) = \frac{(99.208 \text{ lb} + 8.062 \text{ lb}) * 0.35 * 196.85 \text{ ft/min}}{33000}$$

$$\text{Potencia}(hp) = \frac{7390.635}{33000}$$

$$\text{Potencia}(hp) = 0.224 \text{ hp}$$

### 3.6.5 Separación

Soltan et al. (2013) menciona que la caída de presión total del ventilador centrífugo cuenta con una velocidad del aire de 30 m/s y un caudal de  $Q = 530144 \text{ m}^3/\text{s}$ . Para el diseño de la sección de separación, se opta por un ventilador centrífugo con álabes hacia atrás. Este tipo de ventilador ofrece la mayor velocidad periférica y el mejor rendimiento, además de generar un nivel sonoro relativamente bajo.

De acuerdo con la literatura, la turbina debe de contar condiciones de flujo laminar estables, se realiza el despeje de velocidad con respecto a la Ec. 19<sub>pag.48</sub>:

$$v = (Re * \mu) / (\rho * D)$$

Tomando los datos de la tabla del Anexo 10. Donde:

$$Re = 2000, 2500, 3000$$

$$\mu = 1.825 \times 10^{-5} \text{ kg/m * s}$$

$$\rho = 1.204 \text{ kg/m}^3$$

$$D = 0.198 \text{ m}$$

Velocidad con un numero de Reynolds de 2000.

$$v1 = \frac{2000 * 1.825 \times 10^{-5} \text{ kg/ m * s}}{1.204 \text{ kg/m}^3 * 0.198 \text{ m}}$$

$$V1 = 0.153 \text{ m/s}$$

Velocidad con un numero de Reynolds de 2500.

$$v2 = \frac{2500 * 1.825 \times 10^{-5} \text{ kg/ m * s}}{1.204 \text{ kg/m}^3 * 0.198 \text{ m}}$$

$$v2 = 0.191 \text{ m/s}$$

Velocidad con un numero de Reynolds de 3000.

$$v3 = \frac{3000 * 1.825 \times 10^{-5} \text{ kg/ m * s}}{1.204 \text{ kg/m}^3 * 0.198 \text{ m}}$$

$$v3 = 0.23 \text{ m/s}$$

Se realiza el diseño de una turbina que genere una velocidad de aire de 0.23 m/s.

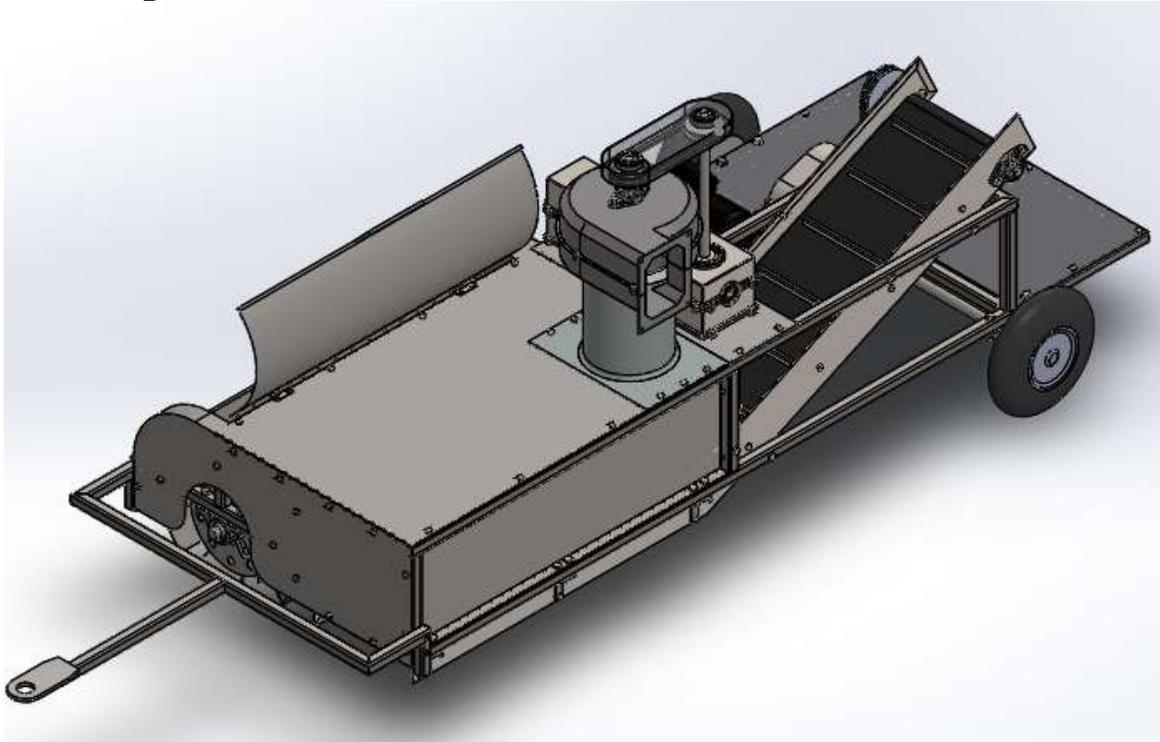
### **3.6.6 Estructura**

El diseño de los surcos y las hileras del cultivo permiten definir las medidas estructurales, los surcos se encuentran a una distancia de 60 cm y entre hileras de 25 cm, según la literatura, los rangos de los diámetros de los molinetes de recolección pueden ir desde los 27 cm como lo es en el diseño de Zhao. et al. (2023) hasta los 75 cm como se muestra en el artículo de R. Bhad et al (2021). Por ello se define un molinete con un diámetro de 40 cm. La banda transportadora contará con un ancho de 30 cm, se selecciona una estructura constituida por tubular cuadrado de 30x30x2.6.

### 3.7 Completar el arreglo general

En la figura 43 se puede observar el ensamblaje final de los diferentes módulos, conformado por el módulo estructural, de recolección, transporte, separación y transmisión de potencia mecánica la cual alimenta de movimiento los diferentes ejes de los demás módulos.

**Figura 43. Vista isométrica de la cosechadora de chícharo**



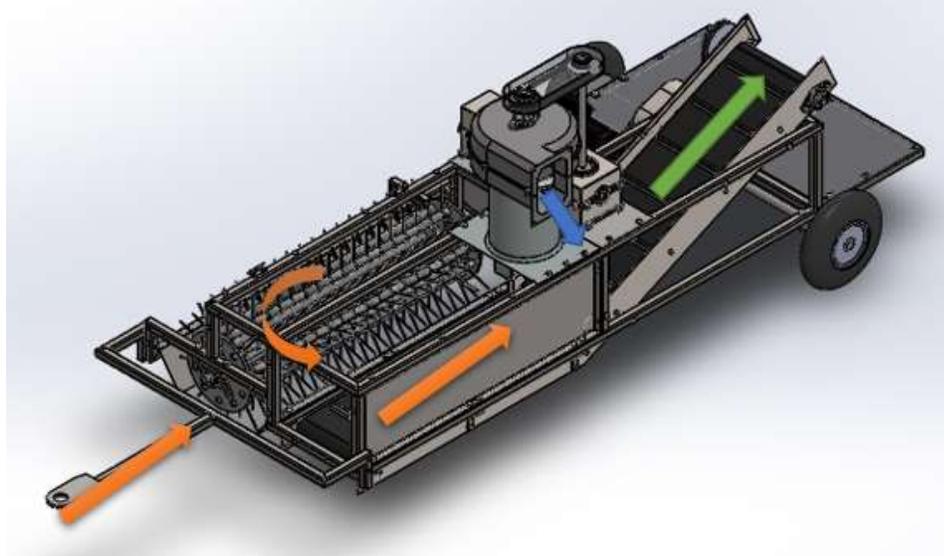
Fuente: Fuente propia, 2024

### 3.8 Preparar las instrucciones de operación y producción

En la figura 44 se observa la secuencia de operaciones de la cosechadora. El mecanismo consiste en desplazar el recolector de manera lineal en dirección a las hileras de cultivos. El molinete gira, haciendo una vista frontal de la cosechadora, en sentido contrario a las manecillas del reloj. Los ganchos realizan una acción de cepillado sobre las vainas, buscando desprender las vainas de chícharo de la planta.

Las vainas, junto con algunos restos de la planta, podrán ser introducidas en la zona horizontal de la banda transportadora. Los restos de la planta serán extraídos mediante la turbina extractora, y las vainas serán depositadas en la parte trasera de la cosechadora, donde se encuentra un área destinada al almacenamiento, que puede colocar rejillas o cajas para la recolección del cultivo.

**Figura 44. Esquema secuencial de la banda transportadora**



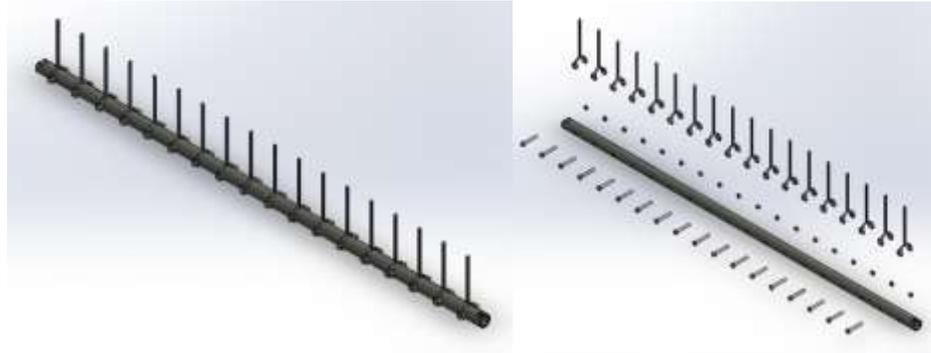
Fuente: Fuente propia, 2024

### **3.8.1 Modulo de corte**

#### **3.8.1.1 Armado de los soportes de los ganchos recolectores**

Los ganchos están fabricados con alambrión de 4 mm de grosor. Estos se sujetan al soporte mediante tornillos DIN 24014 M5x35. El soporte es un tubo de acero de  $\frac{3}{4}$  de pulgada en el sistema inglés, o 19 mm en el sistema internacional. El tubo será perforado con orificios a una distancia de 5 cm, donde se colocarán 18 ganchos y se fijarán con los tornillos y tuercas, tal como se muestra en la figura 45.

**Figura 45. Vista isométrica y explosionada de los ganchos de recolección**

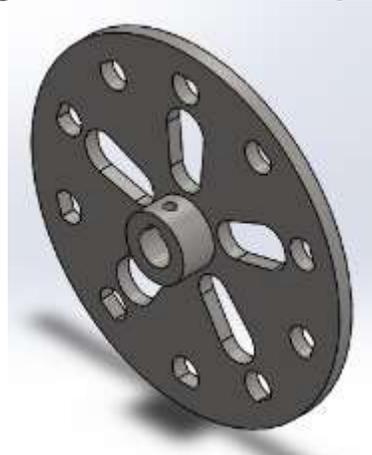


Fuente: Fuente propia, 2024

### **3.8.1.2 Diseño de los discos de soporte**

A los costados se ubicarán dos discos en los cuales se acoplarán los ganchos recolectores, véase la figura 46. Cada disco cuenta con 10 orificios, cuyo diámetro corresponde al diámetro de los tubos a utilizar, y están dispuestos a una distancia de 10 cm desde el centro del soporte. El orificio central tiene un diámetro de 25 mm, y la extrusión en su centro mide 4.7 cm, diseñada para colocar un tornillo de sujeción o prisionero DIN 916 M8x8. Además, se ha incorporado una extrusión para el cuñero, con el fin de evitar movimientos radiales indeseados respecto al eje. El diseño del cuñero se realizó de acuerdo con la norma para cuñeros paralelos S/DIN-6885/1, cuyas medidas estandarizadas se pueden consultar en la tabla del Anexo 8.

**Figura 46. Disco de soporte**



Fuente: Fuente propia, 2024

### 3.8.1.3 Ensamble del molinete de recolección

Los tubos en los que se sujetan los ganchos de recolección están montados en el disco perforado. En el centro de este disco se coloca el eje motriz, donde se instalan las cuñas de acuerdo con el estándar de diseño para cuñas DIN (Deutsches Institut für Normung). Una vista explosionada del ensamble se puede observar en la figura 47.

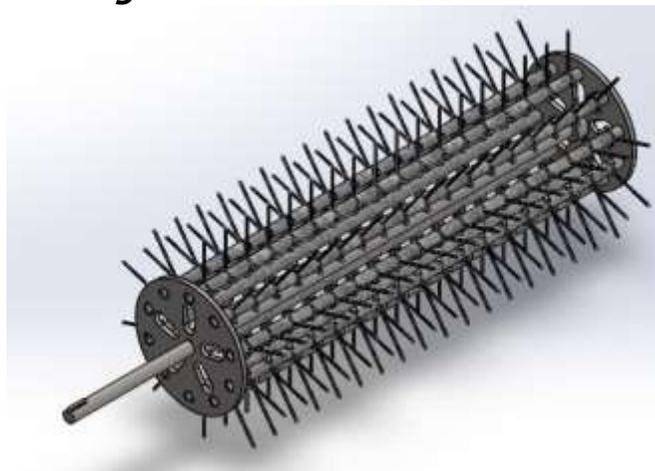
**Figura 47. Vista explosionada del molinete recolector**



Fuente: Fuente propia, 2024

El molinete de recolección, al girar, busca realizar un cepillado de la planta mediante sus ganchos, lo que desprenderá las vainas, aunque también se arrastrarán algunos restos de la planta, véase la figura 48.

**Figura 48. Molinete recolector**



Fuente: Fuente propia, 2024

## 3.8.2 Modulo de transportación

### 3.8.2.1 Rodillo motriz

El rodillo motriz de la banda está compuesto por un eje al que se monta un tambor, el cual está recubierto de caucho para proporcionar rugosidad y evitar que la banda resbale como se puede observar en la figura 49. A los costados se encuentran bridas de sujeción con perforaciones para tornillos DIN M6x20.

**Figura 49. Vista isométrica y explosionada del rodillo motriz**



Fuente: Fuente propia, 2024

### 3.8.2.2 Rodillo tensor.

El rodillo tensor está compuesto por un tambor de 6 cm de diámetro, en el cual se coloca un eje junto con dos baleros. Este rodillo tiene la función de tensar la banda transportadora y facilitar su retorno. En la figura 50 se muestra la vista isométrica y explosionada del rodillo.

**Figura 50. Vista isométrica y explosionada del rodillo simple**

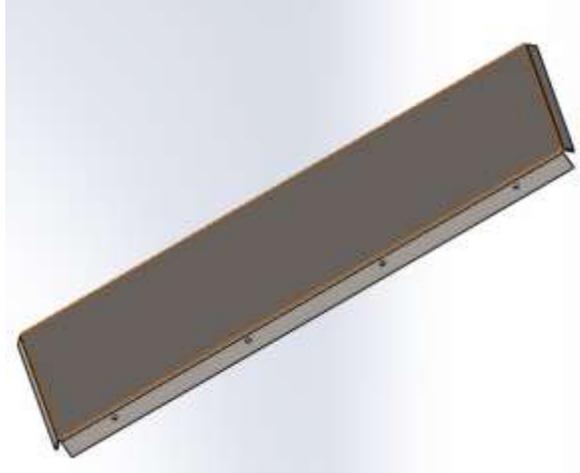


Fuente: Fuente propia, 2024

### 3.8.2.3 Bastidor de banda transportadora

Los batidores de la banda se encuentran constituidos por láminas de acero calibre 20, estos se encargan de sostener la banda, véase la figura 51.

**Figura 51. Bastidor de la banda transportadora**

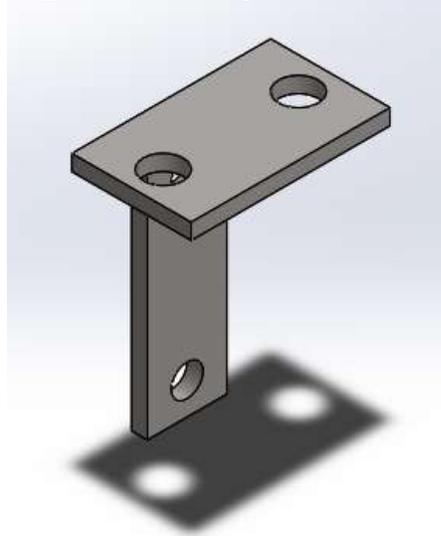


Fuente: Fuente propia, 2024

### 3.8.2.4 Soportes de banda transportadora.

La figura 52 muestra uno de los seis soportes que fijan la banda transportadora a la estructura general.

**Figura 52. Soporte lateral**



Fuente: Fuente propia, 2024

### 3.8.2.5 Soportes laterales de la banda transportadora

La banda está constituida por dos soportes laterales que le proporcionan estructura, ya que es donde se acoplan los demás componentes, esta se construye con lamina de acero inoxidable calibre 20, con dobladillos de 2.5 cm para darle mayor resistencia estructural, véase la figura 53.

**Figura 53. Soportes laterales de la banda transportadora**



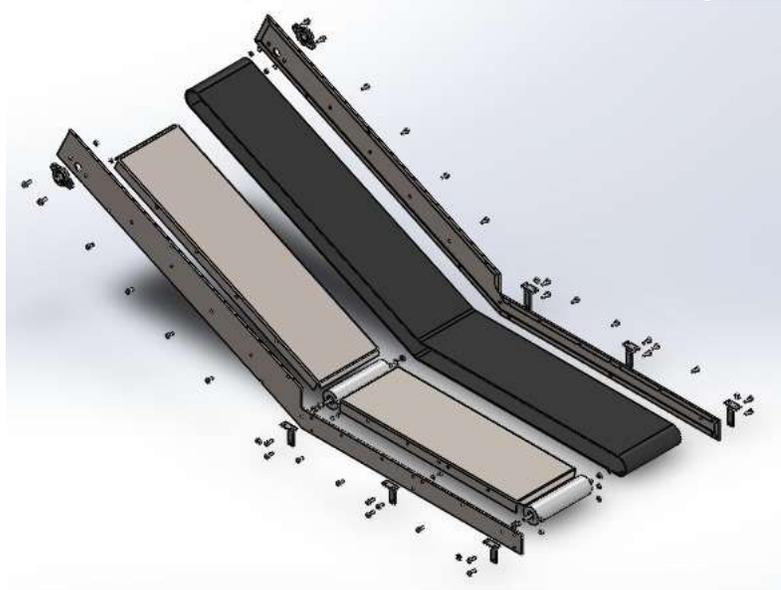
Fuente: Fuente propia 2024

### 3.8.2.6 Ensamble de la banda transportadora

Se procede a realizar el ensamble. En el centro, se colocan dos bastidores con una inclinación de  $25^\circ$ , sobre los cuales la banda se deslizará. La banda cuenta con dos rodillos tensores, el primero se ubica en la parte donde se genera el ángulo de la banda, que cumple la función de tensarla. En el extremo inferior de la figura 54, se encuentra el rodillo de retorno, encargado de devolver el movimiento de la banda.

En la parte superior de la banda, se montan chumaceras para un eje de 2 cm de diámetro, donde se instalará el rodillo motriz, responsable de proporcionar el movimiento a la banda. En la parte horizontal de la banda, hay soportes que se acoplan a la estructura general mediante tornillos DIN M8x45.

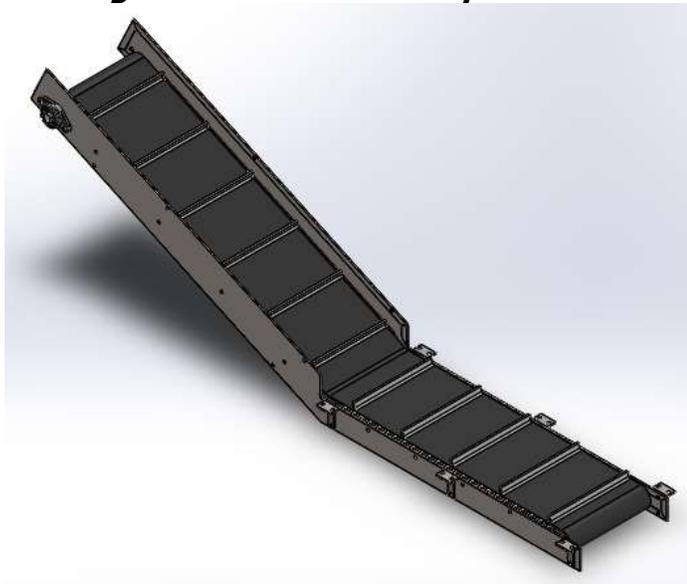
**Figura 54. Vista explosionada de la banda transportadora**



Fuente: Fuente propia, 2024

La instalación nervaduras ayudan a aumentar la fricción entre la banda y los materiales transportados, reduciendo el deslizamiento y mejorando la capacidad de transporte de las vainas de chícharo en condiciones de inclinación, la vista del módulo de transporte se puede ver en la figura 55.

**Figura 55. Banda transportadora**



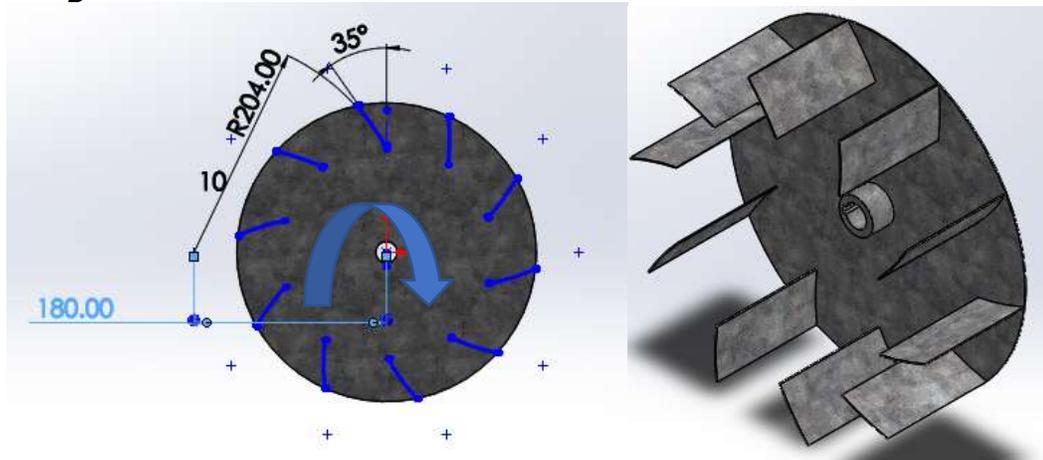
Fuente: Fuente propia, 2024

### 3.8.3 Modulo de separación

#### 3.8.3.1 Turbina extractora con alabes hacia atrás

La turbina extractora está constituida por 10 alabes distribuidos de manera uniforme por la trayectoria del contorno de la turbina, la distancia entre cada una es de 5.5 cm, así como contar con un ancho de 12 cm, esto con el fin de permitir el pase de los residuos de la planta succionados y que no ocurran obstrucciones, el sentido de giro visto desde la vista inferior es horario véase la figura 56.

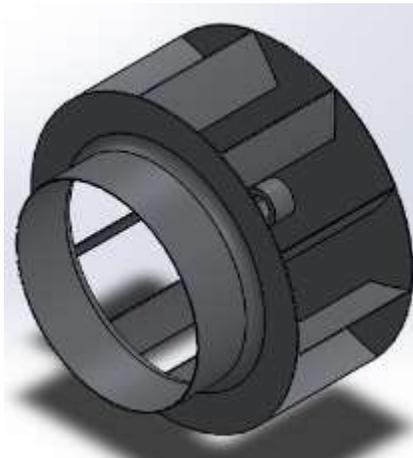
**Figura 56. Vista de sección frontal e isométrica de la turbina**



Fuente: Fuente propia, 2024

El resultado de diseño se muestra en la figura 57.

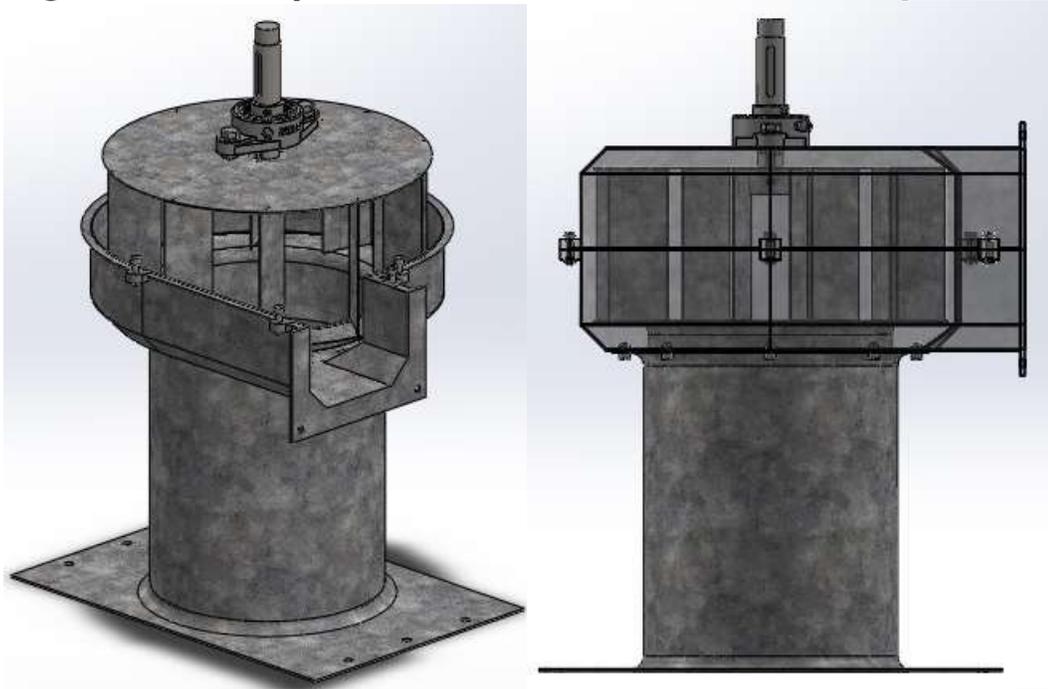
**Figura 57. Turbina extractora con alabes hacia atrás**



Fuente: Fuente propia, 2024

El módulo está conformado por un ducto de entrada de aire, la carcasa de la turbina, la turbina, un eje y una chumacera tal y como se puede observar en la figura 58. Al girar, la turbina genera un vacío en la parte de entrada de aire, lo que permite que la turbina extraiga los restos al generar la presión suficiente para elevar partes de la planta, como tallos y hojas, pero sin extraer las vainas. En el centro de la turbina se generan fuerzas centrífugas que expulsan los restos a través de la carcasa hacia un costado de la cosechadora, donde se depositan en el suelo.

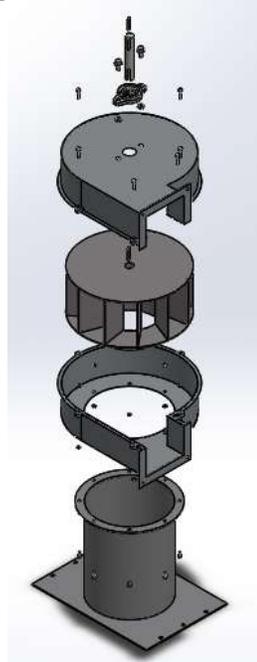
**Figura 58. Vista parcial del ensamble del módulo de separación**



Fuente: Fuente propia, 2024

Las diferentes piezas se montan y sujetan con tornillos DIN M6x45 en la parte inferior de la base, fijándolas a la estructura, y con tornillos DIN M6x20 para unir las dos partes de la carcasa. En la figura 59 se muestra una vista explosionada de los diferentes componentes que forman el módulo de separación.

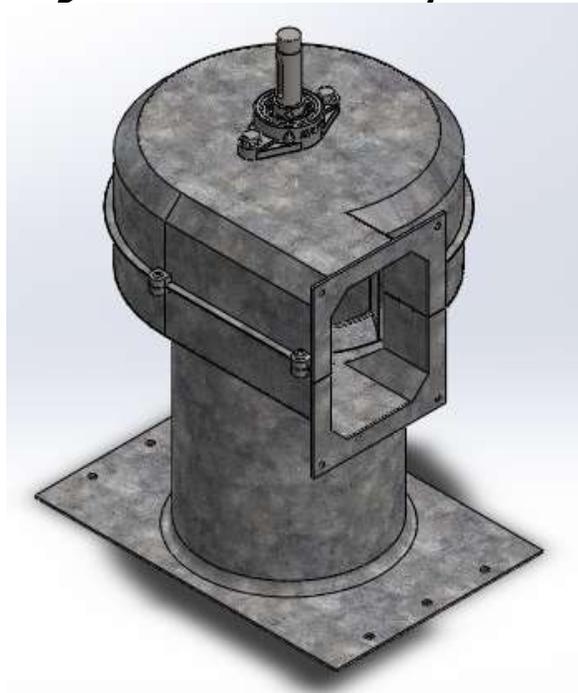
**Figura 59. Vista explosionada del módulo de separación**



Fuente: Fuente propia, 2024

En la figura 60 se muestra la vista isométrica del módulo de separación.

**Figura 60. Módulo de separación**

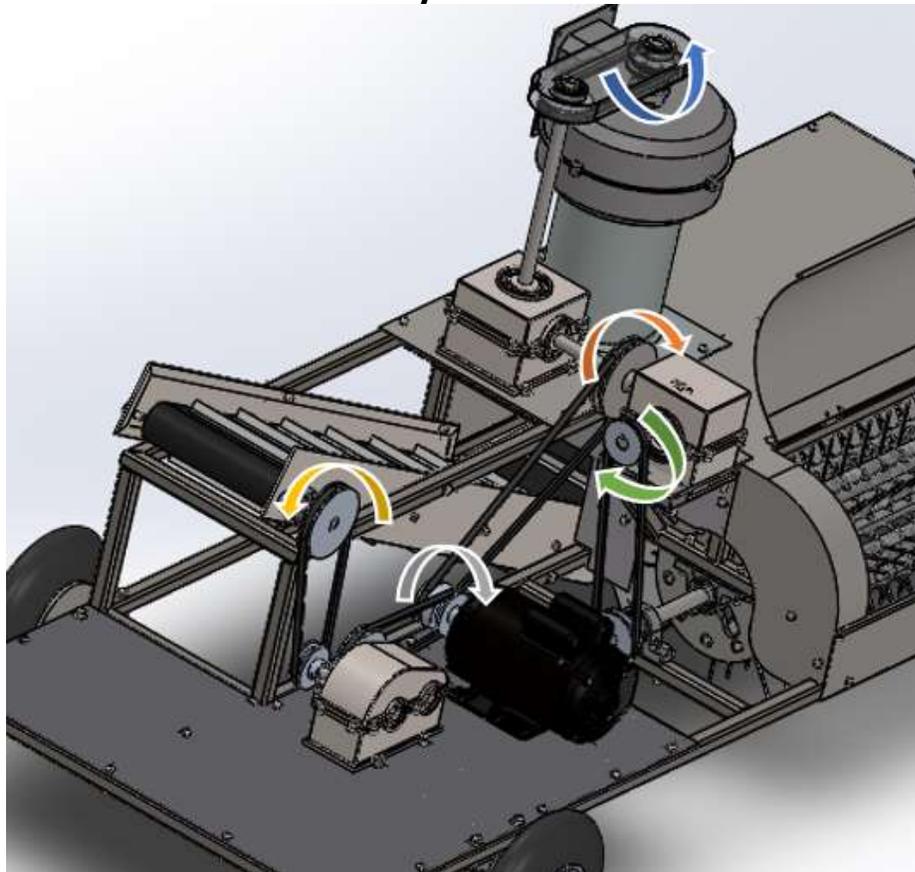


Fuente: Fuente propia, 2024

### 3.8.4 Modulo de Transmisión de potencia

Por medio de poleas y engranajes se transmitirá la potencia mecánica a los diferentes ejes. La diferencia de diámetros entre las poleas y el número de dientes de los engranajes ayudará a controlar las rpm en los distintos módulos de la cosechadora. El uso de engranajes cónicos permitirá la distribución de la potencia a diferentes ejes. En la figura 61 se muestra la orientación de giro de los diferentes componentes de transmisión de potencia que se encuentran en la cosechadora.

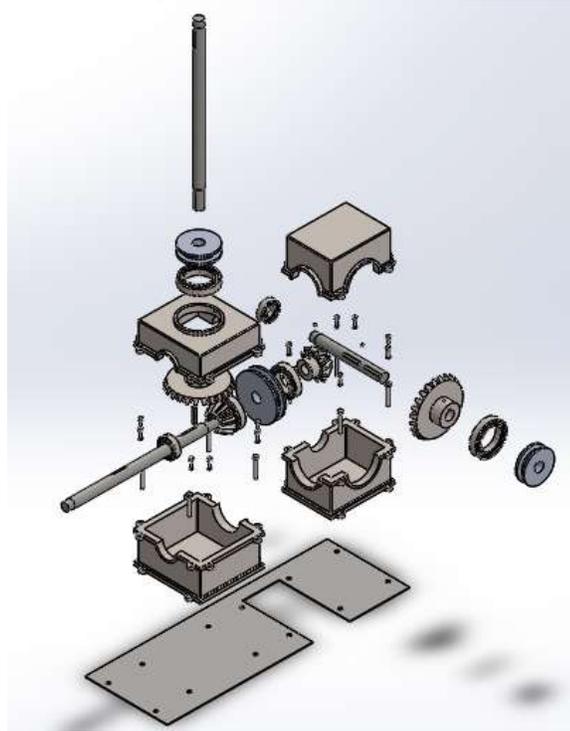
**Figura 61. Orientación de giro de los mecanismos de transmisión de potencia**



Fuente: Fuente propia, 2024

Los reductores con engranes cónicos a 90° permiten distribuir movimiento a diferentes ejes del plano, logrando dotar de movimiento a los ejes de los diferentes módulos, se puede observar una vista explosionada de los reductores en la figura 62.

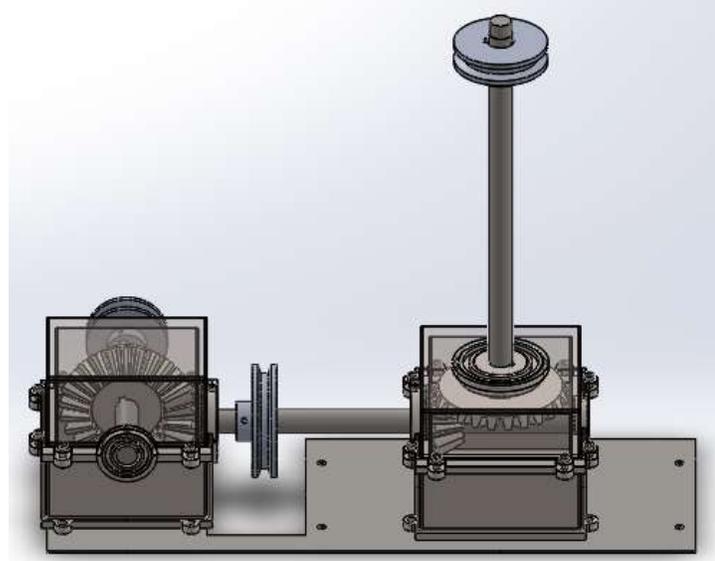
**Figura 62. Vista explosionada de los reductores R1 y R2**



Fuente: Fuente propia, 2024

Las poleas deben de estar alineadas para evitar pérdidas de potencia, véase la figura 63.

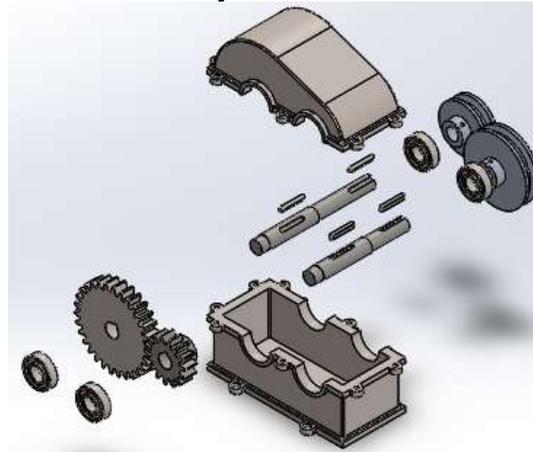
**Figura 63. Vista frontal de los reductores R2 y R3**



Fuente: Fuente propia, 2024

Los reductores están constituidos por una carcasa en la cual se montan dos ejes. En estos ejes se colocan sus respectivos engranajes y poleas. Para evitar el movimiento radial de los engranajes sobre los ejes, se utilizan cuñeros diseñados de acuerdo con la norma DIN. Asimismo, se emplean tornillos prisioneros para prevenir movimientos axiales. Los ejes están montados sobre sus rodamientos, también llamados cojinetes, véase la figura 64.

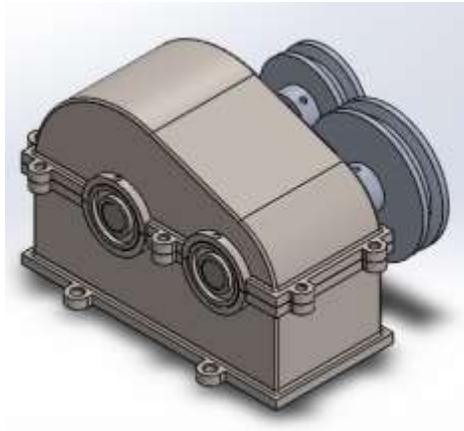
**Figura 64. Vista explosionada del reductor R1**



Fuente: Fuente propia, 2024

El reductor que se muestra en la figura 65 es el encargado de modificar la velocidad de giro que proporciona el motor, haciendo una primera reducción por medio de su polea acoplada al motor.

**Figura 65. Vista isométrica del reductor R1**

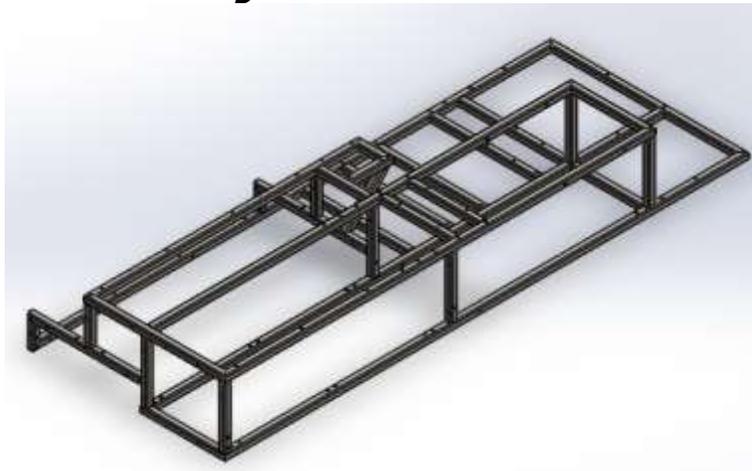


Fuente: Fuente propia, 2024

### 3.8.5 Modulo estructural

La estructura está compuesta por perfiles PTR de 30x30x2 mm, con un ancho de 85 cm, un largo de 225 cm y una altura de 30 cm, véase la figura 66. Sobre esta estructura se ensamblarán los distintos módulos diseñados. Con el objetivo de proporcionar una estructura maniobrable, se decidió fijar los componentes mediante tornillería DIN M6x40 para las uniones de láminas, y tornillería M8x45 para los reductores.

**Figura 66. Estructura**



Fuente: Fuente propia, 2024

- 1) Se colocan las chumaceras en la estructura de la cosechadora, donde se montará el molinete de recolección, véase la figura 67. Este paso asegura el soporte adecuado para el molinete.

**Figura 67. Instalación de chumaceras**



Fuente: Fuente propia, 2024

- 2) Se instalan dos láminas dobladas en un ángulo de  $110^\circ$ , con el propósito de dirigir las vainas desprendidas hacia la banda transportadora y evitar que caigan al suelo. Se recomienda verificar la figura 68 correspondiente para asegurar una instalación correcta.

**Figura 68. Instalación de láminas guías**



Fuente: Fuente propia, 2024

- 3) Se procede a montar el molinete sobre las chumaceras previamente instaladas, tal como se ve en la figura 69, asegurando un giro libre y correcto para la recolección eficiente del producto.

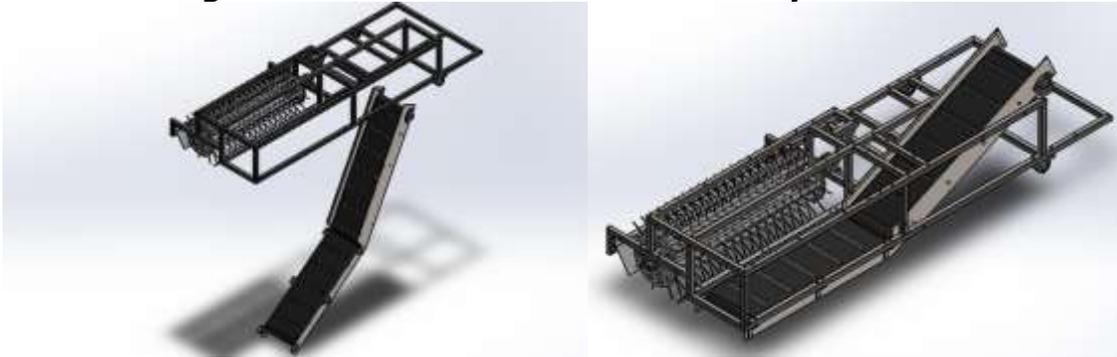
**Figura 69. Instalación del molinete recolector**



Fuente: Fuente propia, 2024

- 4) La banda transportadora se instala en su posición, como se ilustra en la figura 70. Puede ensamblarse por separado y luego montarse en la estructura, o bien, ensamblarse directamente sobre la máquina. Es fundamental que la banda quede bien tensada y alineada.

**Figura 70. Instalación de banda transportadora**



Fuente: Fuente propia, 2024

- 5) Como se muestra en la figura 71, se procede a montar las láminas sobre la estructura de la cosechadora, con el fin de guiar y proteger los componentes durante la operación.

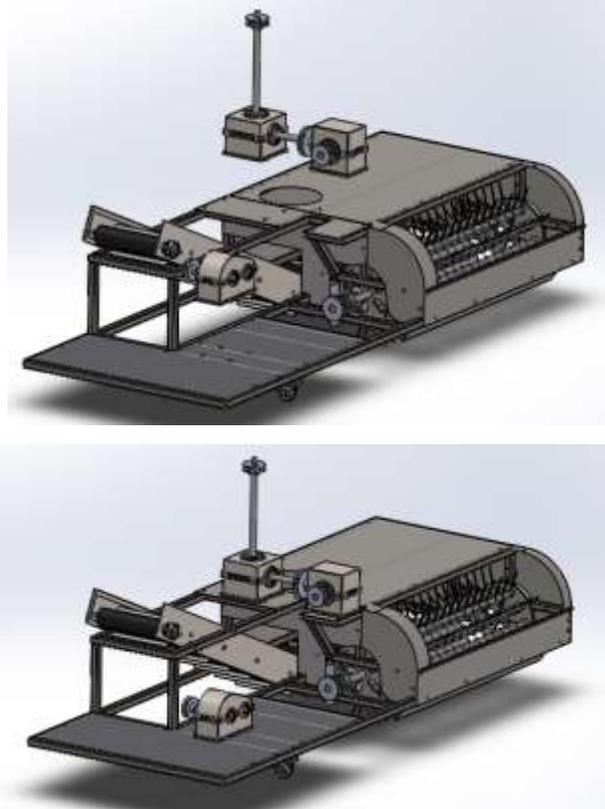
**Figura 71. Instalación de las cubiertas**



Fuente: Fuente propia, 2024

- 6) Se instalan las cajas reductoras en sus respectivas posiciones en la estructura. Luego, se colocan las poleas correspondientes en cada eje, verificando que estén correctamente alineadas para asegurar una transferencia eficiente de la potencia, vease la figura 72.

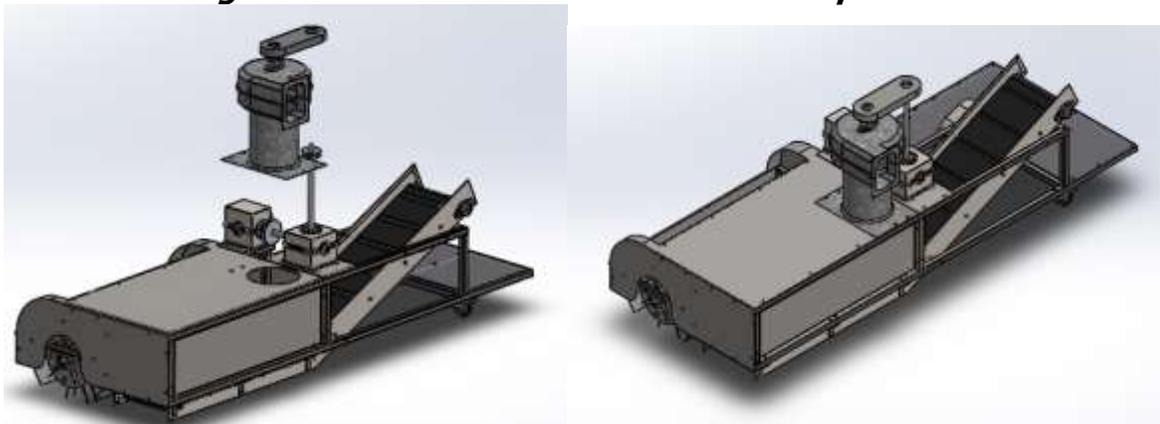
**Figura 72. Instalación de transmisión de potencia**



Fuente: Fuente propia, 2024

- 7) Se coloca el módulo de separación en su posición dentro de la estructura, tal como se ve en la figura 73. Es importante que quede bien fijado y alineado para garantizar un proceso de separación efectivo de los chícharos.

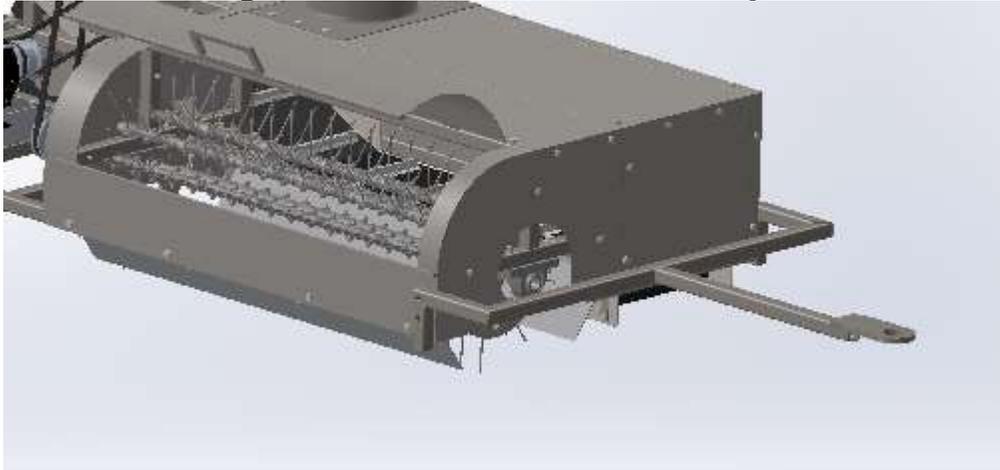
**Figura 73. Instalación del módulo de separación**



Fuente: Fuente propia, 2024

- 8) Finalmente, se acopla el remolque a la estructura de la cosechadora, asegurando una conexión firme y estable para el transporte del material recolectado, la operación de detalla en la figura 74.

***Figura 74. Instalación del remolque***



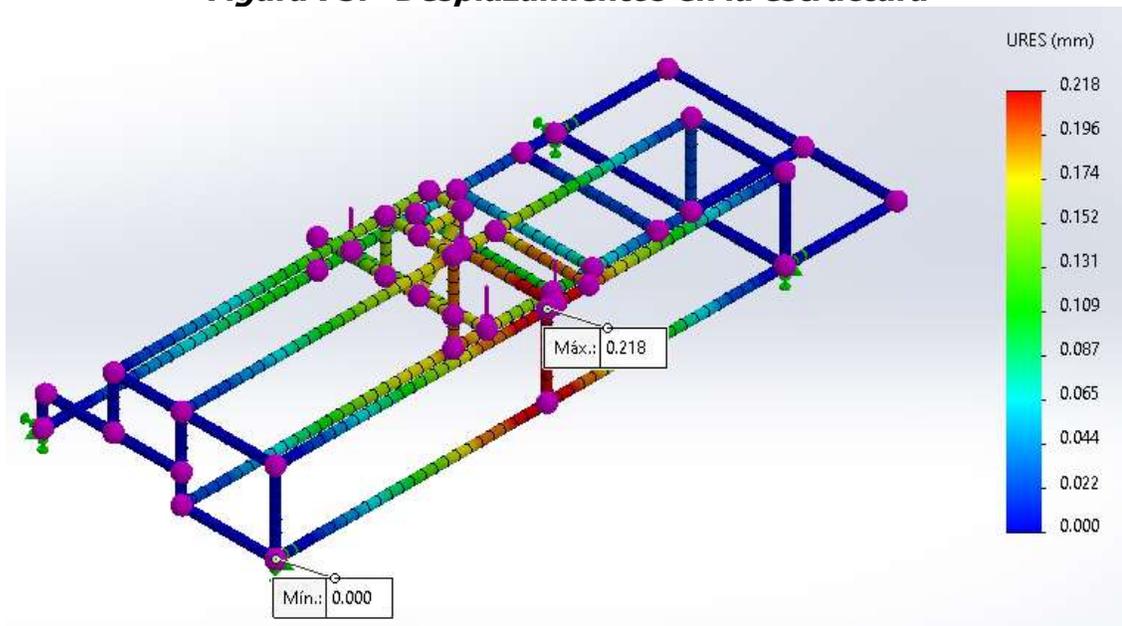
Fuente: Fuente propia, 2024

# **CAPÍTULO IV**

## **Resultados**

La estructura presenta un desplazamiento máximo de 0.218 mm en la zona de instalación de la banda transportadora, provocado por su masa. En esta área también se concentra el peso de otros módulos, como el de separación, que incluye el extractor y los reductores responsables de mover el molinete recolector y la turbina. La figura 75 muestra una escala de colores que indica las zonas donde la estructura experimenta deformaciones debido al peso de estos módulos. A un costado de la estructura, se observa la escala de las unidades resultantes de desplazamiento (URES), medidas en milímetros. En general, se aprecia que la estructura presenta deformaciones mínimas.

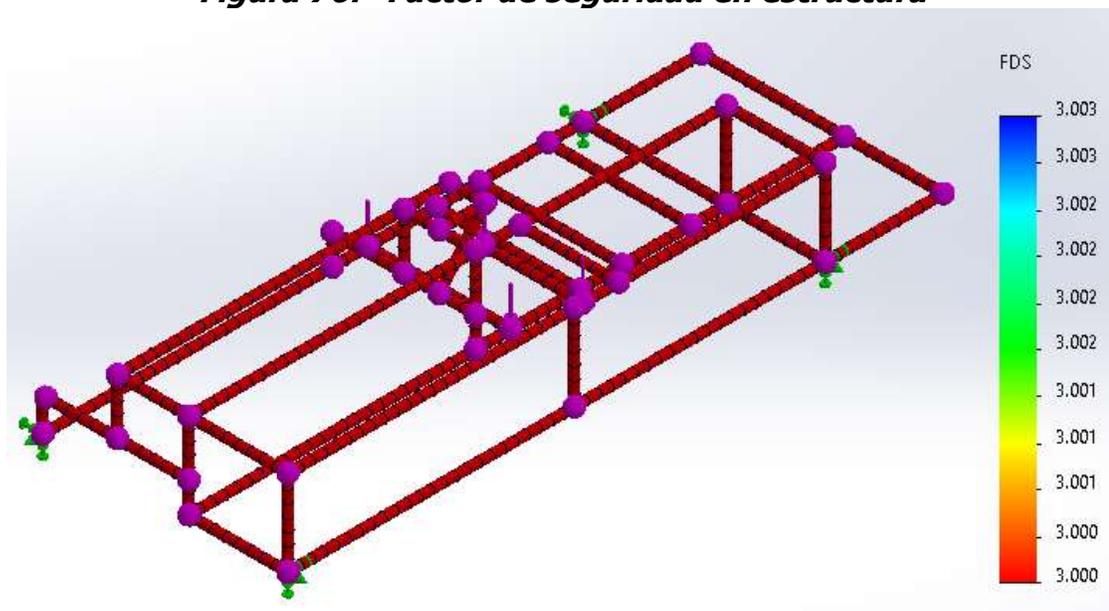
**Figura 75. Desplazamientos en la estructura**



Fuente: Fuente propia, 2024

Al realizar la simulación, se observa en la figura 76 que el elemento estructural analizado mediante el método de elementos finitos presenta un factor de seguridad confiable. Además, el mecanismo no está sometido a cargas que comprometan su integridad estructural. La escala de colores muestra que el factor de seguridad (FDS) no alcanza valores críticos que puedan afectar el funcionamiento, manteniéndose por encima de 3, lo que implica que la estructura analizada puede soportar hasta tres veces la carga máxima esperada antes de fallar.

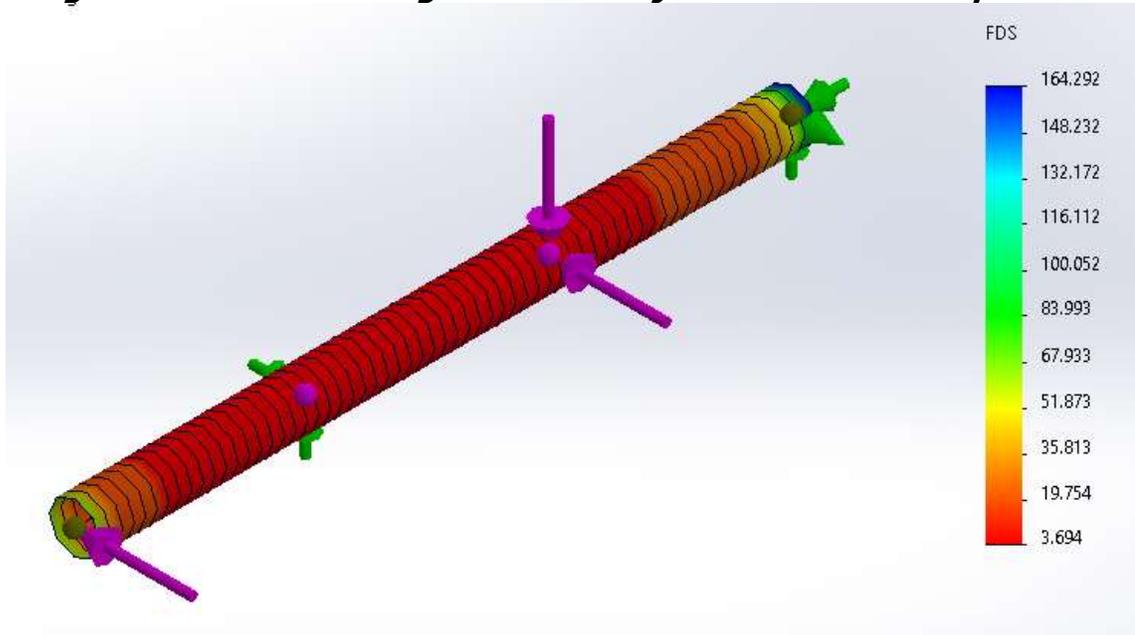
**Figura 76. Factor de seguridad en estructura**



Fuente: Fuente propia, 2024

Se realizó la simulación de los ejes diseñados. En la figura 77 se muestra que el eje presenta un factor de seguridad (FDS) de 3, lo que significa que es capaz de soportar hasta tres veces la carga máxima esperada o el esfuerzo al que será sometido en condiciones normales sin fallar. El color rojo en la figura no implica riesgo, ya que en ciertas áreas del eje se observa un FDS de hasta 164.292.

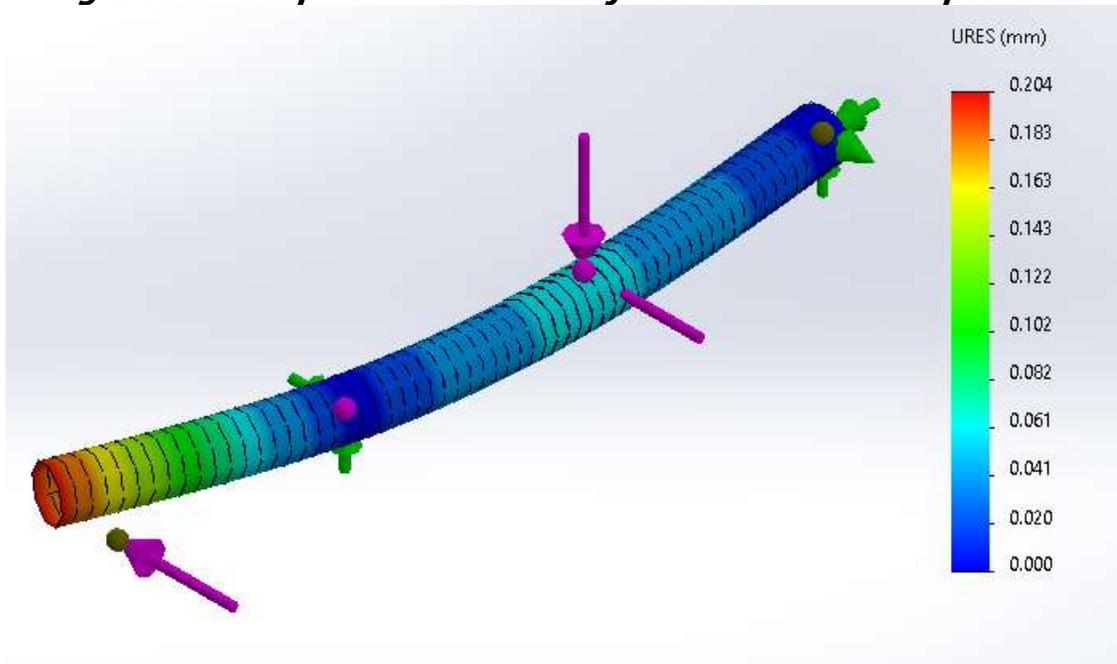
**Figura 77. Factor de seguridad en el eje de transmisión de potencia**



Fuente: Fuente propia, 2024

En la figura 78 se muestra el desplazamiento que experimenta el eje al ser sometido a las fuerzas calculadas en la página 73. Estas fuerzas generan deformaciones, las cuales se representan en la escala de colores mediante las unidades resultantes de desplazamiento (URES), medidas en milímetros. El eje presenta un desplazamiento máximo de 0.204 mm, esto debido a la fuerza que ejerce el motor sobre el eje.

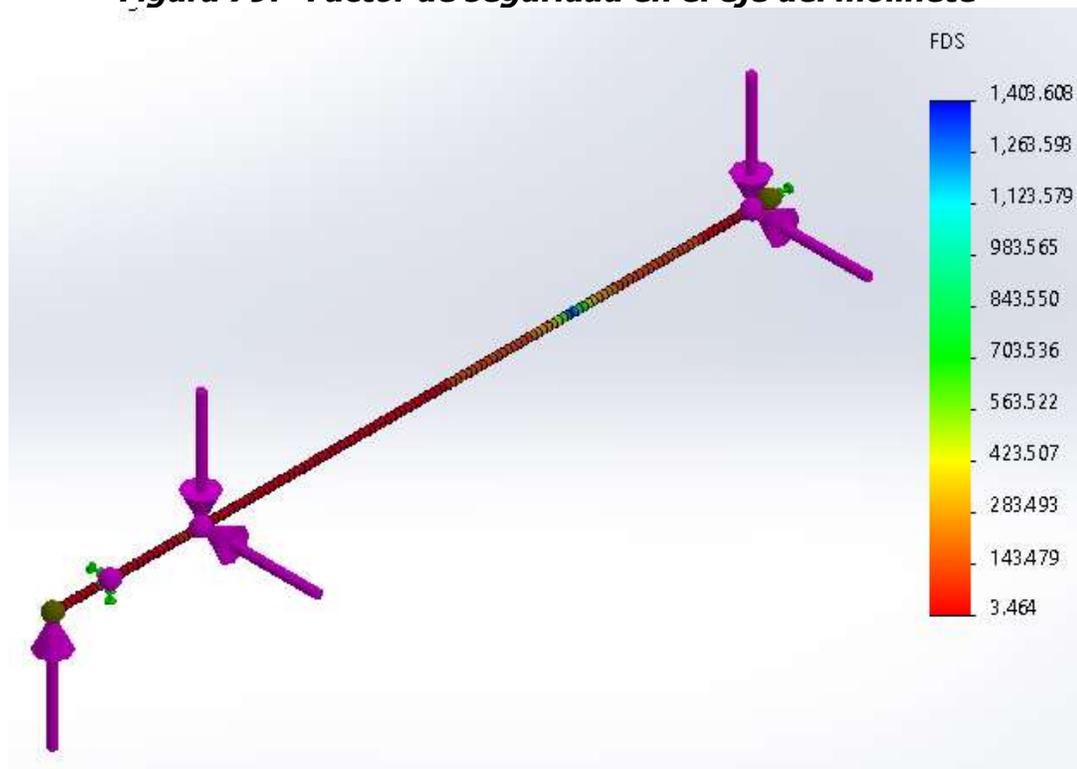
**Figura 78. Desplazamiento en el eje de transmisión de potencia**



Fuente: Fuente propia, 2024

El diseño del eje del molinete presenta un factor de seguridad mínimo de 3.464, lo que garantiza que puede soportar las cargas aplicadas sin fallar, como se ilustra en la figura 79. En la imagen, gran parte del eje aparece en color rojo, lo cual se debe a que una sección se encuentra a suficiente distancia de las fuerzas y de las reacciones de estas sobre los rodamientos aplicados al eje. Esto resulta en un factor de seguridad elevado, alcanzando un valor de hasta 1403.608.

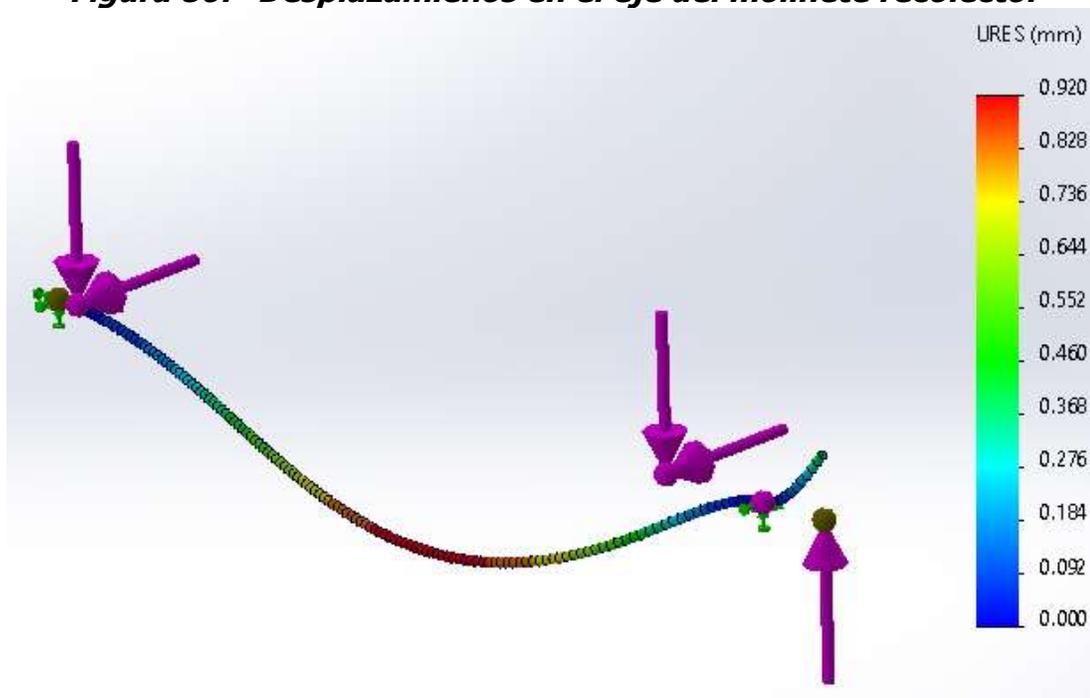
**Figura 79. Factor de seguridad en el eje del molinete**



Fuente: Fuente propia, 2024

En la figura 80 se muestran los desplazamientos en el eje del molinete. El desplazamiento máximo es de 0.92 mm y se encuentra en la zona donde se monta el molinete, de igual manera se observa otra deformación resultante de la fuerza que ejerce la transmisión de potencia. La imagen presenta una deformación visible, ya que la simulación está configurada para exagerar las deformaciones, permitiendo una mejor visualización. En la escala de colores se observa que el desplazamiento máximo real es de solo 0.920 mm, lo cual representa una deformación prácticamente insignificante.

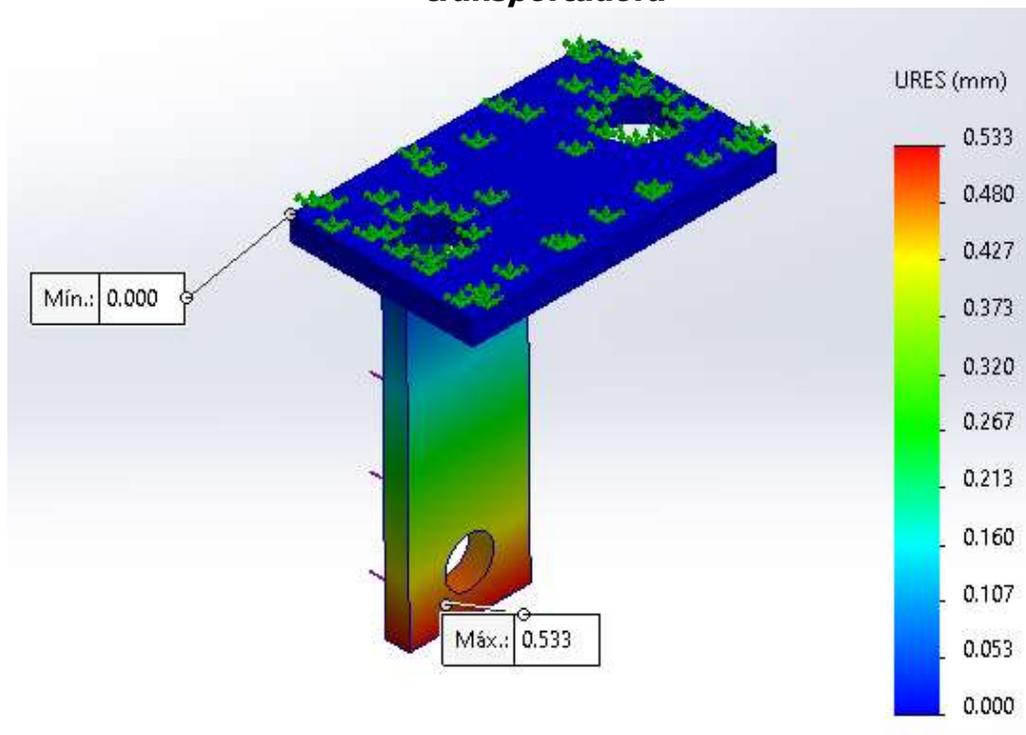
**Figura 80. Desplazamientos en el eje del molinete recolector**



Fuente: Fuente propia, 2024

En la figura 81 se muestra que el desplazamiento máximo del soporte de la banda se encuentra en la parte inferior de la pieza, con un desplazamiento de 0.533 mm. Esto debido que la sugesión se encuentra en la parte superior, y la masa de la estructura de la banda transportadora ejerce un momento de inersia, produciendo una deformacion. De igual manera la deformacion es minima.

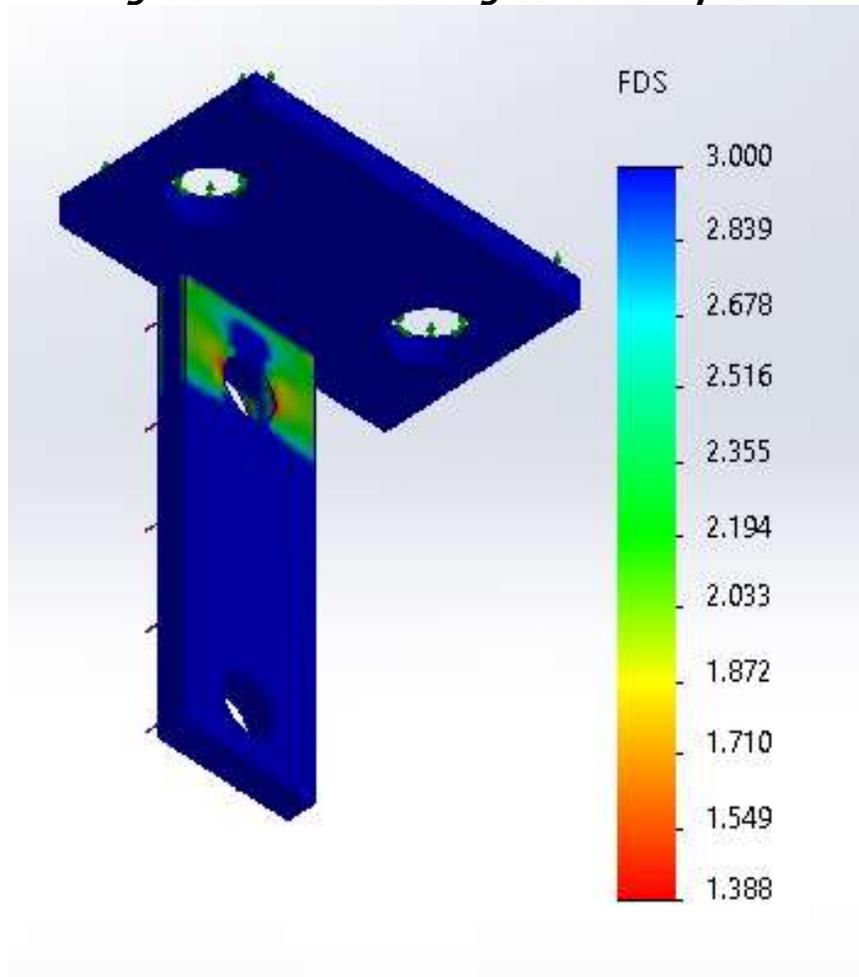
**Figura 81. Desplazamiento en los soportes laterales de la banda transportadora**



Fuente: Fuente propia, 2024

El factor de seguridad obtenido a partir de la simulación es de 1.388 en su sección con menor factor de seguridad, lo indica que el componente es capaz de soportar la carga real sin fallar, como se muestra en la figura 82. Lo más óptimo sería contar con un factor de seguridad que no sea menor a 1.5, pero al no contar con cargas fuertes que produzcan riesgo de falla se procede a no realizar mayores cambios.

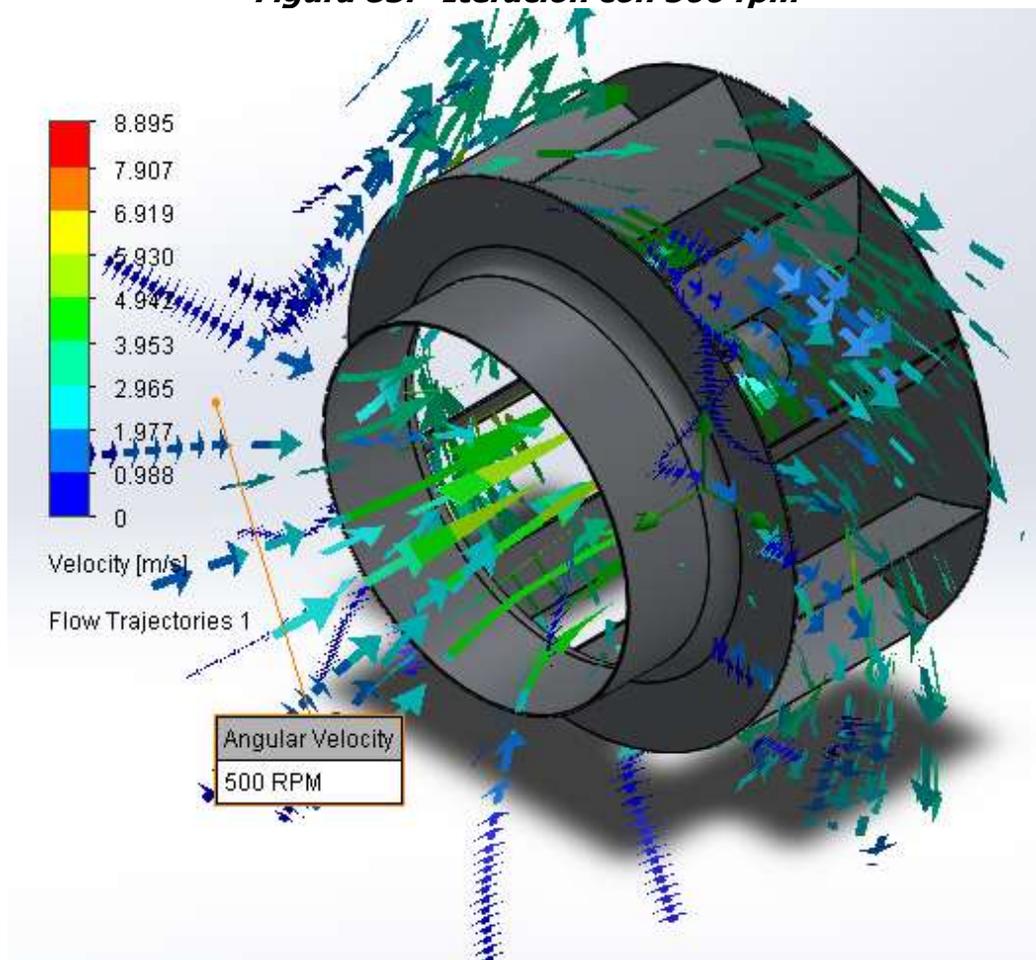
**Figura 82. Factor de seguridad en soporte**



Fuente: Fuente propia, 2024

Se realizo un analisis de fluidos en la turbina con diferentes velocidades de giro. La figura 83 con 500 rpm cuenta con velocidades de 8.895 m/s en el interior de la turbina y una velocidad de extraccion que va desde los 0.988 m/s hasta los 2.965 m/s.

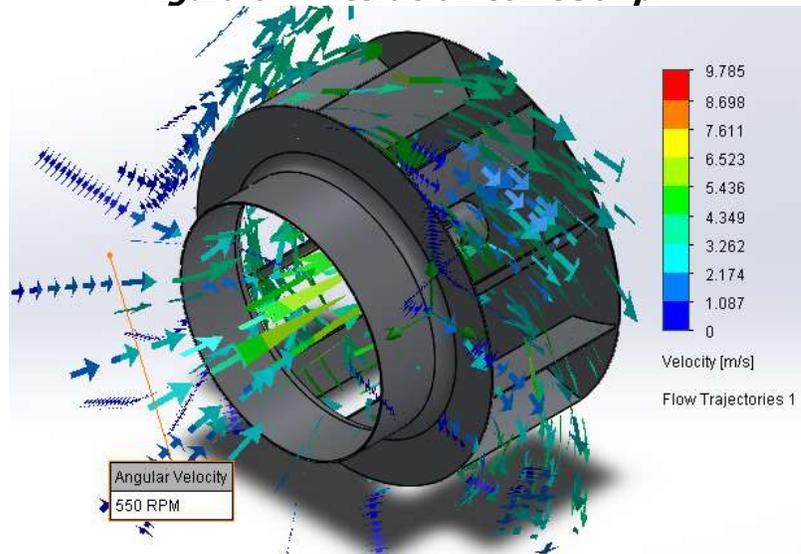
**Figura 83. Iteracion con 500 rpm**



Fuente: Fuente propia, 2024

La figura 84 con 550 rpm cuenta con velocidades de 9.785 m/s en el interior de la turbina y una velocidad de extraccion que va desde los 1.087 m/s hasta los 3.262 m/s.

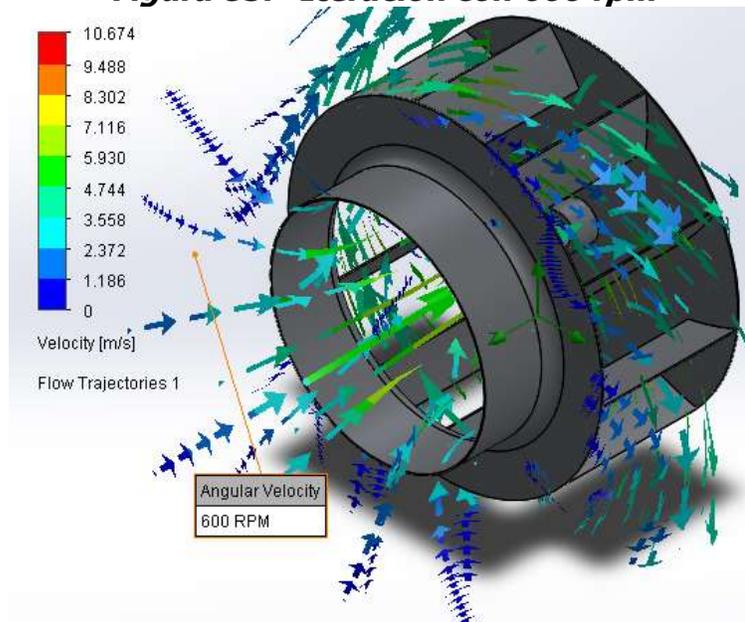
**Figura 84. Iteración con 550 rpm**



Fuente: Fuente propia, 2024

La figura 85 con 600 rpm cuenta con velocidades de 10.672 m/s en el interior de la turbina y una velocidad de extracción que va desde los 1.186 m/s hasta los 3.372 m/s.

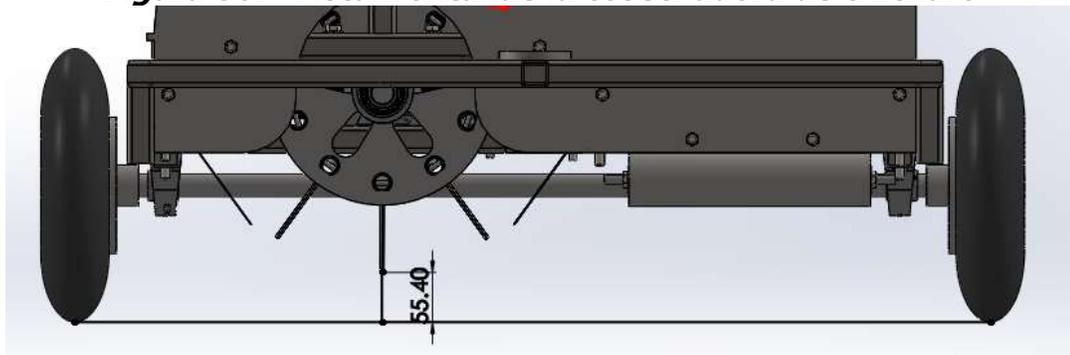
**Figura 85. Iteración con 600 rpm**



Fuente: Fuente propia, 2024

El mecanismo recolector de vainas de chícharo cuenta con las medidas establecidas en la *Tabla. 3* pag.54. Las cuchillas del molinete se encuentran a una distancia de 5.54 cm del suelo como se ve en la figura 86, el ancho estructural cuenta con 0.85 m, mientras que contando las ruedas llega a los 1.05 m. El peso de total estimado es de 210 kg, mientras que el peso sin contar la estructura se estima en 130 kg, esto sin contar el miembro estructural, el eje de las ruedas y las llantas.

**Figura 86. Vista frontal de la cosechadora de chícharo**



Fuente: Fuente propia, 2024

# **CAPÍTULO V**

## **Conclusiones**

## 5.1 Conclusiones

Tras llevar a cabo un exhaustivo proceso de diseño y análisis, así como la investigación de los requerimientos técnicos necesarios para el desarrollo del mecanismo recolector de vainas de chícharo, se han obtenido importantes conclusiones que resaltan la viabilidad y eficacia del proyecto.

La investigación de los requerimientos técnicos reveló la necesidad de diseñar un sistema multifuncional que abordara diversas etapas del proceso de recolección de vainas de leguminosas. Se logró satisfacer estas necesidades mediante el diseño de un sistema de corte preciso que arranca las vainas sin dañarlas, un sistema de transporte eficiente que dirige el cultivo hacia el área de almacenamiento y un sistema de extracción de residuos que separa la hojarasca del cultivo de manera efectiva.

Se diseñó un sistema de transmisión de potencia mecánica utilizando un diferencial compuesto por engranajes cónicos, así como un sistema de poleas para controlar las rpm especificadas. Estos componentes permiten una transmisión eficiente de la potencia, garantizando un funcionamiento suave y confiable del mecanismo recolector.

En la simulación se obtuvo el factor de seguridad y el desplazamiento de componentes clave, como el eje del molinete de recogida, un eje de transmisión de potencia y los soportes de la banda transportadora, confirmando que estos cuentan con una resistencia óptima bajo las condiciones operativas. Además, se realizó un análisis de fluidos en la turbina extractora de tipo centrífuga, lo que permitió observar el comportamiento del aire en términos de dirección y velocidad, pudiendo observar su adecuado funcionamiento en términos de extracción. Cabe mencionar que, al ser solo una etapa de diseño, se corre el riesgo de que el comportamiento en físico sea diferente al de las simulaciones.

## 5.2 Trabajos futuros

En el transcurso de esta investigación, surgieron ciertos aspectos que no se abordaron por completo, los cuales podrían ser de gran valor para futuros investigadores que deseen utilizar este estudio como base para perfeccionarlo. A continuación, se proponen algunas líneas de investigación futura.

- Desarrollo del sistema de electrónica de potencia: Realizar un estudio detallado e implementación de un sistema de electrónica de potencia que controle y optimice el funcionamiento del motor monofásico de 1 hp. Esto permitiría mejorar la eficiencia energética de la cosechadora y facilitar la automatización de los procesos.
- Diseño de un sistema de almacenamiento de energía: Investigar y diseñar un sistema de almacenamiento de energía que permita un funcionamiento más autónomo de la cosechadora en entornos donde no haya acceso a una fuente de energía constante. Esto podría incluir la integración de baterías de larga duración o la implementación de un sistema de energía renovable.
- Optimización del sistema de suspensión: Realizar un análisis y diseño de un sistema de suspensión adecuado para la cosechadora. Esto permitiría mejorar la estabilidad y maniobrabilidad de la máquina en terrenos irregulares, reduciendo el desgaste de los componentes.
- Evaluación del rendimiento del módulo de separación: Llevar a cabo un estudio exhaustivo del rendimiento de la turbina extractora utilizada en el módulo de separación, con el objetivo de optimizar la eficiencia en la separación de los chícharos y reducir las pérdidas de producto durante el proceso.

# **CAPÍTULO VI**

## **Competencias desarrolladas**

## 6.1 Competencias específicas

- Clasifica e interpreta las normas en dibujo utilizadas para su implementación, y utiliza las herramientas necesarias para la elaboración de dibujos bidimensionales y tridimensionales.
- Permite efectuar la práctica correspondiente y obtener la habilidad necesaria con el conocimiento de estos elementos teóricos, para el manejo del software de dibujo y a su vez, la elaboración e interpretación del mismo.
- Elabora dibujos mediante la utilización de comandos básicos de la herramienta computacional.
- Realiza las diferentes perspectivas de un objeto para la creación de un dibujo con sus acotaciones en base a su normalización, utilizando la herramienta computacional.
- Reconoce la importancia de las mediciones, considerando los posibles errores que se pueden cometer al medir, al utilizar instrumentos de medición.
- Aplica las normas nacionales e internacionales como referencia de comparación.
- Conoce la estructura y arreglo de átomos para explicar las propiedades de los materiales.
- Analiza los defectos y movimiento de átomos en las estructuras cristalinas para entender y modificar el comportamiento de los materiales.
- Entiende que representan y como son medidas las propiedades físicas de los materiales para la selección y uso en aplicaciones determinadas.
- Comprende el comportamiento de los materiales bajo diferentes tipos de sollicitación para la selección y uso en aplicaciones determinadas.
- Entiende como está compuesta una aleación y las propiedades que se desprenden de ella para su selección y uso, además de una posible aplicación de tratamientos térmicos.
- Conoce y hace uso de las diferentes normas para la designación y clasificación de los metales.
- Conoce las propiedades y aplicación de aleaciones ferrosas y no ferrosas para su selección y uso.

- Analiza y resuelve situaciones que impliquen el equilibrio de una partícula sometida a la acción de fuerzas concurrentes coplanares o espaciales a través de diversos métodos para calcular las cargas que mantendrían a la partícula estar en estado estático.
- Reconoce y define los conceptos de momento de una fuerza y par de fuerzas para calcular las cargas que mantendrán a un cuerpo rígido en equilibrio estático.
- Obtiene los momentos causados por una fuerza, por un par de fuerzas y momentos proyectados a otros ejes mediante el uso de la multiplicación vectorial para calcular las cargas que mantendrán a un cuerpo rígido en equilibrio estático.
- Demuestra cómo encontrar la fuerza única y cómo descomponer una fuerza a una fuerza y un par de un sistema de fuerzas que actúan sobre un punto o sobre un cuerpo rígido.
- Define, interpreta y distingue las tres leyes de Newton para analizar un sistema físico en reposo o movimiento.
- Construye e interpreta diagramas de cuerpo libre para el cálculo de reacciones.
- Resuelve situaciones de equilibrio mediante la obtención de fuerzas que están presentes en los apoyos y en otros puntos en un cuerpo rígido modelado en el plano y en tres dimensiones para el cálculo de reacciones.
- Identifica los tipos de armaduras existentes tanto para techos como para puentes.
- Determina fuerzas que actúan sobre los componentes de armaduras, marcos de cargas y máquinas usando los métodos de nodos, secciones y desarme para el dimensionamiento de perfiles y el cálculo de esfuerzos axiales.
- Analiza, calcula e interpreta los esfuerzos y deformaciones en elementos y estructuras mecánicas sujetos a carga estática para realizar la selección de materiales en función de sus propiedades mecánicas y dimensionar las secciones transversales de piezas mecánicas.
- Explica los conceptos relacionados con el estudio del efecto interno de elementos mecánicos o estructurales sometidos a cargas estáticas para determinar

reacciones internas, esfuerzos y tipos de esfuerzos, deformaciones y tipos de deformaciones, y propiedades mecánicas de los materiales.

- Calcula y explica los esfuerzos y deformaciones de elementos mecánicos sometidos a carga axial y cortante para determinar los materiales y geometrías de dichos elementos.
- Analiza y evalúa los esfuerzos y deflexiones en vigas sometidas a cargas sometidas a cargas en el plano de simetría para seleccionar el perfil más adecuado.
- Analiza y evalúa los esfuerzos resultantes en elementos mecánicos sometidos a cargas combinadas, para determinar mediante criterios de falla la resistencia del elemento y su factor de seguridad.
- Reconoce los conceptos y las propiedades mecánicas de los fluidos usados en sistemas Mecatrónicos.
- Reconoce las características de las condiciones para los flujos y aplica las ecuaciones de continuidad y la de la energía en la solución de problemas de fenómenos de Mecánica de Fluidos en el área de la Mecatrónica.
- Reconoce y aplica las ecuaciones de continuidad y la de la energía en la solución de problemas reales de fenómenos de flujo incompresible en el área de la Mecatrónica.
- Aplica teorías de fallas para seleccionar elementos mecánicos a partir de una metodología de diseño.
- Calcula e integra elementos mecánicos en el diseño de máquinas, equipos y sistemas mecánicos para desarrollar sistemas mecatrónicos.
- Determina el estado de esfuerzo y utiliza el modo de falla correspondiente al tipo de carga (estática o dinámica) en que se encuentra solicitado un elemento mecánico para predecir el comportamiento de dicho elemento mecánico.
- Diseña y/o selecciona el eje adecuado para cualquier aplicación de transmisión de potencia o movimiento.
- Determina las fuerzas que afectan a los dientes de un engrane para seleccionar y diseñar estos elementos con base a normas estandarizadas internacionalmente.

- Calcula y selecciona elementos de los sistemas de transmisión por bandas y poleas, cadenas y catarinas, rodamientos y acoplamientos para el diseño de máquinas, equipos y sistemas mecánicos en el desarrollo sistemas mecatrónicos.
- Establece y aplica las ecuaciones básicas de la mecánica de sólidos a la comprensión, análisis, diseño y evaluación de problemas de ingeniería mediante el uso del método de los elementos finitos (FEM), aplicando la programación numérica como una herramienta para obtener soluciones a problemas de alta complejidad analítica.
- Conoce el principio del método de elemento finito como herramienta para la solución de problemas de ingeniería.
- Conoce y analiza armaduras estructurales por medio del elemento finito para proporcionar las deflexiones de los nudos, los efectos de temperatura y el asentamiento de soportes.

## **6.2 Competencias genéricas**

- Capacidad de análisis y síntesis.
- Busca y analiza información proveniente de fuentes diversas.
- Aplica los conocimientos en la práctica.
- Capacidad de organizar y planificar.
- Capacidad de comunicación oral y escrita
- Solución de problemas
- Habilidades interpersonales
- Capacidad de investigación
- Trabajo en equipo

# **CAPÍTULO VII**

## **Fuentes de información**

## Referencias bibliográficas

- [1] Arias, K., Sanchez, M., Betancourt, F. J., Leguizamon, G., Garcia, R. G., & Mendoza, D. (2018). Estudio de las actividades relevantes en el diseño de productos. Modelo VDI 2221 frente al modelo metodológico I+P+D3. A rtículo de revisión. Revista ESPACIOS, 39(09). <https://revistaespacios.com/a18v39n09/18390922.html>
- [2] Bavaresco, G. (s.f.). Procedimiento para el diseño de ejes. Gabp Ingeniería. [https://gabpingenieria.weebly.com/uploads/2/0/1/6/20162823/diseo\\_de\\_ejes.pdf](https://gabpingenieria.weebly.com/uploads/2/0/1/6/20162823/diseo_de_ejes.pdf)
- [3] Bhad, R., Goyal, R., Singh, M., Jain, L. C., & Singh, S. (2021). Computer Aided Design of Tractor operated Pea Pod Picker. Journal Of Physics: Conference Series, 1950(1), 012064. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1950/1/012064>
- [4] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, novena edición.
- [5] Cabezales - cosechadora | CLAAS. (2020). [https://www.claas.es/productos/cosechadoras/cabezales-2020?subject=D10030100\\_es\\_ES](https://www.claas.es/productos/cosechadoras/cabezales-2020?subject=D10030100_es_ES)
- [6] Castro, J. M. C. (1997). Parámetros de operación en las combinadas. Ingeniería E Investigación, 36, 5-17. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.n36.24829>
- [7] Coneval (2021). Medición de la pobreza. Pobreza en México. Resultados de pobreza en México 2020 a nivel nacional y por entidades federativas. [https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Pobreza\\_2020.aspx](https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Pobreza_2020.aspx)
- [8] Cultivo de chícharo (2024) Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México. <https://icamex.edomex.gob.mx/chicharo>
- [9] Cultivo de Chícharo. (s. f.). Hydro Environment. Innovación Agrícola en un click.

[https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=322](https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=322)

- [10] De Agricultura y Desarrollo Rural, S. (2018) ¿Conocías esto del chicharo? gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/conocias-esto-del-chicharo>
- [11] De Riesgo Compartido, F. (2018). Seguridad alimentaria y nutricional. gob.mx. <https://www.gob.mx/firco/articulos/seguridad-alimentaria-y-nutricional>
- [12] Esbelt. (2024). Perfiles transversales, especiales y reforzados – EsBeLT. <https://www.esbelt.com/project/perfiles-transversales-para-transporte-inclinado/>
- [13] Fabricantes y proveedores de cintas transportadoras de PVC negro de 3,0 mm – Fábrica de China - XIAMEN HEE. (s. f.). <https://www.pvc-belt.com/pvc-conveyor-belt/3-0mm-pvc-black-conveyor-belt.html#featured2>
- [14] FAO. 2019. El sistema alimentario en México - Oportunidades para el campo mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible. Ciudad de México
- [15] Fierro-Moreno, E., Keymolen, D. L., & Linares, S. C. G. R. (2023). Inseguridad alimentaria en México: análisis de dos escalas en 2020. Estudios Sociales: Revista de Investigación del Noroeste. <https://doi.org/10.24836/es.v33i61.1282>
- [16] Golpira, H., Tavakoli, T., & Baerdemaeker, J. D. (2013). Design and development of a chickpea stripper harvester. Spanish Journal Of Agricultural Research, 11(4), 929. <https://doi.org/10.5424/sjar/2013114-3393>
- [17] González Días, M., & Lobos, G. (2018). ESTUDIO Y DISEÑO DE CINTA TRANSPORTADORA AUTOMATIZADA [Tesis de licenciatura, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA]. <https://repositorio.usm.cl/server/api/core/bitstreams/1465b1b4-abab-49aa-ba46-b1be828d57fe/content>

- [18] Interempresas (2021). Sistemas de trilla y separación en cosechadoras. <https://www.interempresas.net/Agricola/Articulos/348529-Sistemas-de-trilla-y-separacion-en-cosechadoras-de-cereales.html>
- [19] Intermec. (2013). Productos Mecánicos transmisión de potencia. <https://www.intermec.com.co/nivel0pv.php?cat=Poleas%20en%20V&nivel1=POLEAS%20EN%20V>
- [20] López Rodríguez, M., & Guadarrama Guadarrama, E. (2016). Tecnología de producción para el cultivo de chícharo (1.a ed.). Instituto de investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y forestal del Estado de México. <https://icamex.edomex.gob.mx/sites/icamex.edomex.gob.mx/files/files/publicaciones/2016/CULTIVO%20de%20chicharo%202016.pdf>
- [21] Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural - Limpieza de los granos. (s. f.). <https://www.fao.org/3/x5027s/x5027S04.HTM>
- [22] Miu, P. (2015). Combine harvesters: Theory, Modeling, and Design. CRC Press.
- [23] Motor WEG Monofasico 1 HP 1750 rpm en baja 110/220v. (s. f.). Envío Gratis. [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-768712150-motor-weg-monofasico-1-hp-1750-rpm-en-baja-110220v-\\_JM#position%3D11%26search\\_layout%3Dgrid%26type%3Ditem%26tracking\\_id%3D58bdb2b3-144d-4a74-8cc7-53f880cf6fa0](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-768712150-motor-weg-monofasico-1-hp-1750-rpm-en-baja-110220v-_JM#position%3D11%26search_layout%3Dgrid%26type%3Ditem%26tracking_id%3D58bdb2b3-144d-4a74-8cc7-53f880cf6fa0)
- [24] Mth. (2024). Cosechadoras de leguminosas Fuertes RECOGEDORA Y TRILLADORA DE LEGUMBRES, T1. Agromaquinaria.es. <https://www.agromaquinaria.es/cosechadoras-de-leguminosas-fuertes-recogedora-y-trilladora-de-legumbres-t1-p21282-c1165.html>
- [25] Navarro, J. G. (2015). NUMERO DE REYNOLDS. Blogspot <https://mecanicadefluidoscod5131587.blogspot.com/2015/11/numero-de-reynolds.html>
- [26] Profesional AGRO (s.f). Sistema de trilla. <https://profesionalagro.com/agrosector/afondo/Sistema-Trilla-Cosechadoras/sistema-trilla-cosechadoras.php>

- [27] Reyes, E. (2013). EVALUACIÓN DE TRES ESPECIES DE PINO ASOCIADOS CON *Pisum sativum* L. EN TETELA DE OCAMPO [Tesis profesional, BENÉMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA]. <https://ecosistema.buap.mx/server/api/core/bitstreams/57750e37-f4e7-4dfc-adbe-8ebfa51bb6ae/content#page=36&zoom=100,109,365>
- [28] Rodríguez, Y (2024). Tabla de chavetas y chaveteros para diseño mecánico. ESingeniería Pro. <https://esingenieria.pro/tabla-de-chavetas-y-chaveteros/>
- [29] Rodríguez-Ramírez, S., Gaona-Pineda, E. B., Martínez-Tapia, B., Romero-Martínez, M., Mundo-Rosas, V. y Shamah-Levy, T. (2021). Inseguridad alimentaria y percepción de cambios en la alimentación en hogares mexicanos durante el confinamiento por la pandemia de Covid-19. *Salud Pública de México*, 63(6, Nov-Dic), 763-772. doi: <https://doi.org/10.21149/12790>
- [30] Soltan Ahmad, M. H., Sh. Abdollahpour & H. Navid. (2023). Self-propelled chickpea harvester for small holding area. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 25(3): 95-108
- [31] Spinozzi. (2023). ¿Cómo calcular la velocidad de una banda? Spinozzi Argentina. <https://spinozziargentina.com/2023/10/11/como-calcular-la-velocidad-de-una-banda/>
- [32] Useche, L. V. V. (2018). Diseño de elementos de máquinas. En Universidad Tecnológica de Pereira eBooks. <https://doi.org/10.22517/9789587223019>
- [33] Zhao Y, Liu J, Yang R, Guo T, Zhang J, Li W, et al. (2023) A comb-brushing-type green soybean pod harvesting equipment: Design and experiment. *PLoS ONE* 18(11): e0293567. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293567>

# **CAPÍTULO VIII**

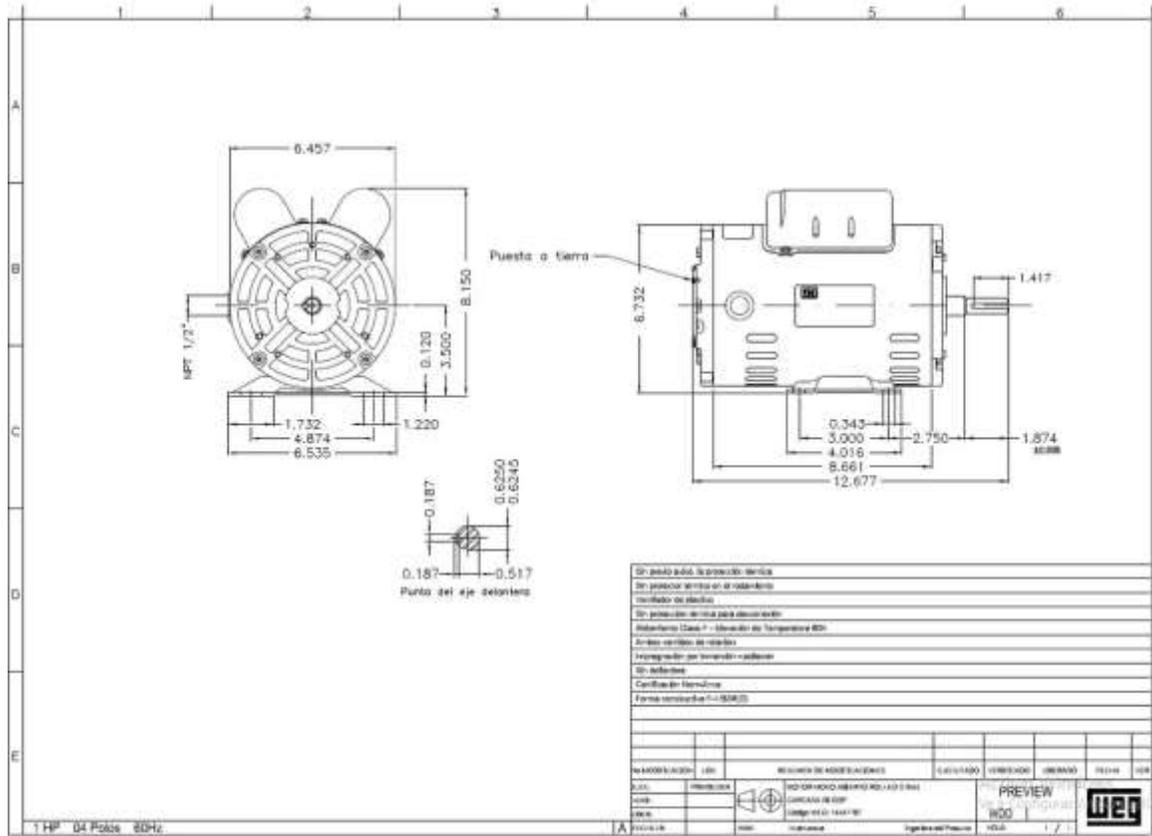
## **Anexos**

# Anexo 1. Hoja de datos Motor Monofásico Weg, Modelo N00118OS1PA56

HOJA DE DATOS			
Motor Monofásico de Inducción - Rotor de Jaula			
Cliente :			
Línea del producto :		Código producto : 14347787	
Carcasa :	56	Método de enfriamiento :	ODP
Clase de aislamiento :	F	Forma constructiva :	F-1
Régimen de servicio :	Cont.(S1)	Sentido de giro <sup>1</sup> :	Ambos
Temperatura ambiente :	-20 °C hasta +40 °C	Método de arranque :	Partida directa
Altitud :	1000 m	Masa aproximada <sup>2</sup> :	12.7 kg
Grado de protección :	IP21	Momento de inercia (J) :	0.0057 kgm <sup>2</sup>
Potencia	0.75 kW (1 HP)		0.75 kW (1 HP)
Polos	4		4
Frecuencia	60 Hz		60 Hz
Tensión nominal	127 V		220 V
Corriente nominal	13.2 A		6.10 A
Corriente de arranque	85.9 A		37.8 A
Ia/In (p.u.)	6.5 x Cód. M		6.2 x Cód. K
Corriente en vacío	12.0 A		3.72 A
Rotación nominal	1755 rpm		1745 rpm
Deslizamiento	2.50 %		3.06 %
Par nominal	4.08 Nm		4.11 Nm
Par de arranque	290 %		195 %
Par máximo	320 %		255 %
Factor de servicio	1.15		1.15
Tiempo de rotor bloqueado	6 s (caliente)		6 s (caliente)
Rendimiento (%)	50%	49.5	62.3
	75%	59.4	69.7
	100%	62.0	72.7
Factor de potencia	50%	0.50	0.64
	75%	0.60	0.75
	100%	0.72	0.82
	Delantero	Trasero	Esfuerzos en la base
Tipo de rodamiento	6203-ZZ	6202-ZZ	Tracción máxima :-
Intervalo de lubricación	-	-	Compresión máxima :-
Cantidad de lubricante	-	-	
Tipo de lubricante	MOBIL POLYREX EM		

Fuente: Mercado libre, 2024

## Anexo 2. Croquis de diseño del Motor Monofásico



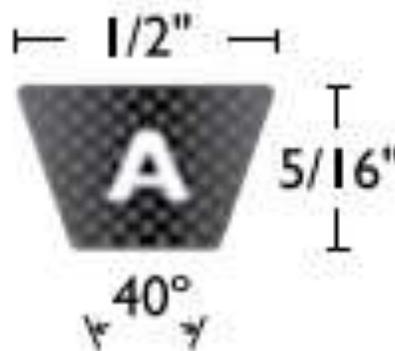
Fuente: Mercado libre, 2024

### Anexo 3. Diámetros mínimos para motores

Diámetros mínimos en mm				
Caballos de fuerza (HP)	RPM de Motor			
	900	1200	1800	3600
0.50	65	-	-	-
0.75	65	65	-	-
1.00	65	65	60	-
1.50	75	65	65	60
2.00	75	65	65	65
3.00	75	75	65	65
5.00	100	75	75	65
7.50	115	100	75	75
10.00	115	115	100	75
15.00	135	115	115	100
20.00	155	135	115	115
25.00	170	155	115	115
30.00	170	170	135	-
40.00	210	170	155	-
50.00	230	210	170	-
60.00	260	230	190	-
75.00	260	260	230	-
100.00	350	350	250	-
125.00	380	350	280	-
150.00	465	350	-	-
200.00	550	-	-	-
250.00	-	-	-	-
300.00	-	-	-	-

Intermec, Productos Mecánicos transmisión de potencia, 2013

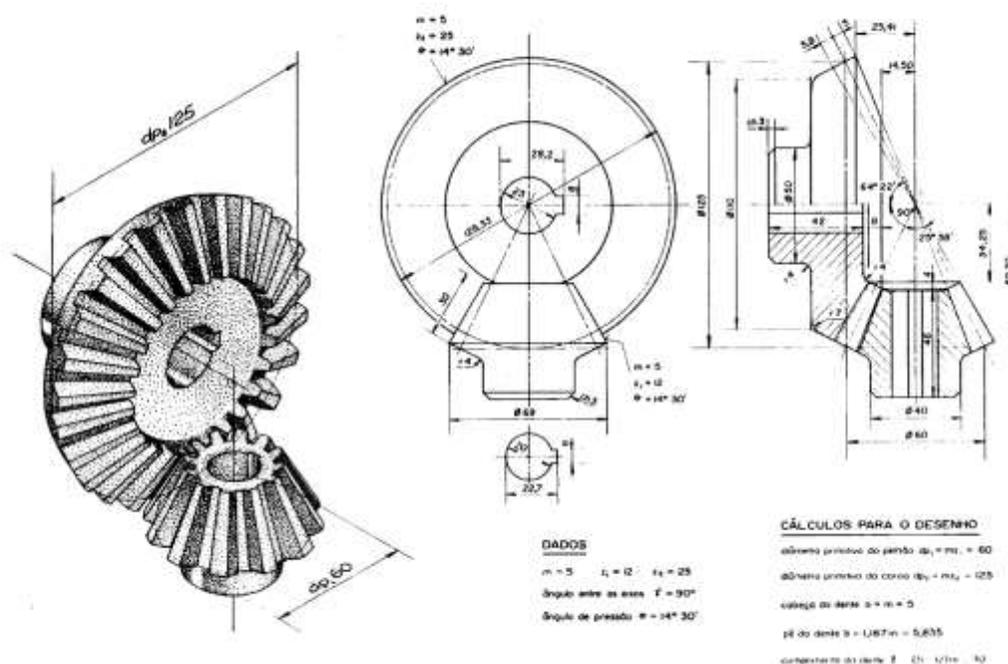
### Anexo 4. Medidas de bandas en V tipo A



Intermec, Productos Mecánicos transmisión de potencia, 2013

# Anexo 5. Croquis de diseño para engranajes cónicos a 90°

## ENGRANAGENS CÔNICAS A 90°



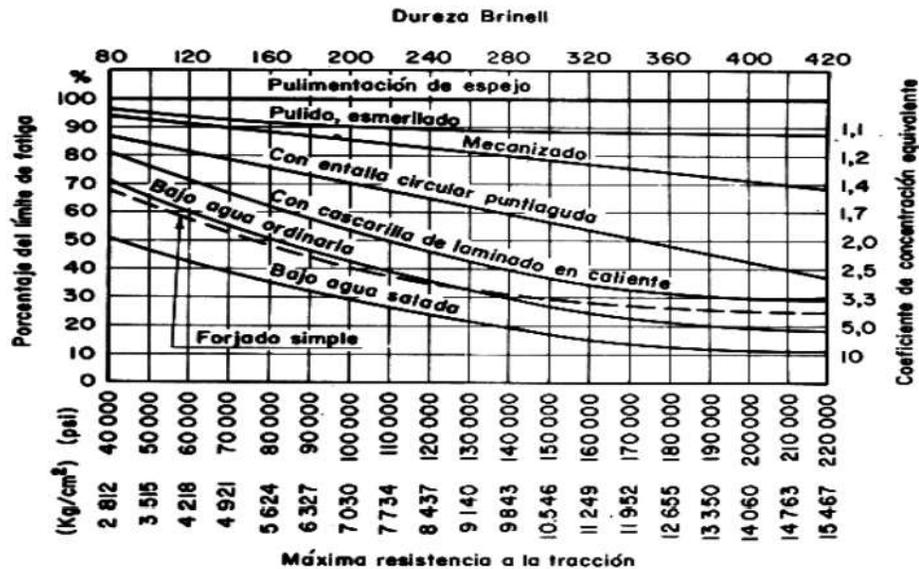
Fuente: Recien Egresado, ENGRANES CÓNICOS EN SOLIDWORKS, 2020

## Anexo 6. Propiedades típicas de los aceros

N° AISI	ESTADO	Res. Máxima Su		Res. Fluencia Sy		Dureza
		Kgf/Cm <sup>2</sup>	Ksi	Kgf/Cm <sup>2</sup>	Ksi	BHN
Hierro Dulce	Laminado simple	3374	48	1757	25	
C1010	Estirado en Frio	4710	67	3867	55	137
C1015	Estirado en Frio	5413	77	4429	63	170
C1020	Laminado Simple	4569	65	3374	48	143
C1020	Normalizado	4499	64	3515	50	131
C1020	Recocido	4007	57	2952	42	111
C1020	Estirado en Frio	5483	78	4640	66	156
C1022	Laminado simple	5062	72	3656	52	149
C1030	Laminado simple	5621	80	3586	51	179
C1035	Laminado simple	5976	85	3867	55	190
C1045	Laminado simple	6749	96	4148	59	215
C1095	Normalizado	9913	141	5624	80	285
B1113	Acabado en Frio	5835	83	5062	72	170
B1113	Laminado Simple	4921	70	3163	45	138
C1118	Laminado Simple	5273	75	3234	46	149
C1118	Estirado en Frio	5624	80	5273	75	180
C1144	OQT 1000	8296	118	5835	83	235
1340	OQT 1200	7945	113	6468	92	229
1345	OQT 800	13147	187	12303	175	
2317	OQT 1000	5554	79	4991	71	220
2340	OQT 1000	9632	137	8437	120	285
3150	OQT 1000	10616	151	9140	130	300
3250	OQT1000	11670	166	10264	146	340
4363	OQT 1000	12655	180	11249	160	375
4130	WQT 1100	8929	127	8015	114	260
4130	Estirado en Frio	8577	122	7381	105	248
4340	Estirado en Frio	8577	122	7381	105	248
4640	OQT 1000	10686	152	9140	130	310
5140	OQT 1000	10546	150	8999	128	300
5140	Estirado en Frio	7381	105	6187	88	212
8630	Estirado en Frio	8085	115	7030	100	222
8640	OQT 1000	11249	160	10546	150	330
8760	OQT 800	15468	220	14068	200	429
9255	OQT 1000	12655	180	11249	160	352
9440	OQT 1000	10686	152	9491	135	311
9850	OQT 1100	12655	180	11108	158	360

Fuente: Bavaresco, Procedimiento para el diseño de ejes, s.f, p.11

## Anexo 7. Grafica para la obtención del Factor de Corrección por superficie



Fuente: Bavaresco, Procedimiento para el diseño de ejes, s.f, p.6

## Anexo 8. Chaveteros y chavetas DIN 6885/1 – 6886 – 6887

Ø eje d mm desde-hasta	Medida chaveta b x h mm	Medidas del chavetero en el cubo				Medidas chavetero del eje para chavetas paralelas y de cufa		Medidas de los ejes en el cubo de la rueda	
		Chaveta paralela S/DIN 6885/1		Chaveta de cufa S/DIN 6886, 6887		l <sub>1</sub> admisible (en altura) mm	Tol. admisible (en altura) mm	Ø m/m desde-hasta	Tol.H-7 mm/m
		d + t <sub>2</sub> m/m	Tol. admisible (en altura) m/m	d + t <sub>2</sub> m/m	Tol. admisible (en altura) m/m				
6-8	2x2	d+0,9	+0,1	-	-	1,1	+0,1	6-10	+0,015 0
8-10	3x3	d+1,3		-	-	1,7			
10-12	4x4	d+1,6		d+1,4	-	2,4			
12-17	5x5	d+2,1		d+1,9	-0,1	2,9			
17-22	6x6	d+2,6	d+2,1		3,5	+0,2	18-30	+0,021 0	
22-30	8x7	d+3,0	d+2,4		4,1				
30-38	10x8	d+3,4	d+2,8		4,7				
38-44	12x8	d+3,2	d+2,8		4,9				
44-50	14x9	d+3,6	d+2,9		5,5	+0,3	30-50	+0,025 0	
50-58	16x10	d+3,9	d+3,2		6,2				
58-65	18x11	d+4,3	d+3,5		6,8				
65-75	20x12	d+4,7	d+3,9		7,4				
75-85	22x14	d+5,6	d+4,8		8,5	+0,2	50-80	+0,030 0	
85-95	25x14	d+5,4	d+4,6	-0,2	8,7				
95-110	28x16	d+6,2	d+5,4		9,9				
110-130	32x18	d+7,1	d+6,1		11,1				
130-150	36x20	d+7,9	d+6,9		12,3	+0,2	80-120	+0,035 0	
150-170	40x22	d+8,7	d+7,7		13,5				
170-200	45x25	d+9,9	d+8,9		15,3				
200-230	51x28	d+11,2	d+10,1		17				
230-260	56x32	d+12,9	d+11,8		19,3	+0,3	120-180	+0,040 0	
260-290	63x32	d+12,6	d+11,5	-0,3	19,6				
			+0,3					180-250	+0,046 0
								250-315	+0,052 0
								315-400	+0,057 0
								400-500	+0,063 0

Fuente: Rodríguez, Tabla de chavetas y chaveteros para diseño mecánico, 2024

## Anexo 9. Velocidades recomendadas en bandas transportadoras

Aplicación	Rangos de velocidad comunes de la banda	Factor(es) limitante(s)
Materiales no abrasivos de flujo libre como los granos enteros	400 a 1200 fpm (2.0 a 6.0 m/s)	Degradación del material y generación de polvo
Arcilla, minerales suaves, sobrecarga y tierra, piedra molida fina	600 a 1400 fpm (3.0 a 7.0 m/s)	Degradación del material, generación de polvo y desgaste de los componentes
Minerales pesados, duros y filosos, piedra triturada áspera, desperdicios	400 a 1200 fpm (2.0 a 6.0 m/s)	Desgaste de la banda y del chute, ruidos
Carbón, lignito, coque de petróleo	500 a 1400 fpm (2.5 a 7.0 m/s)	Degradación del material, generación de polvo, derrames y ruidos
Virutas, biomasa y bagazo	200 a 500 fpm (1.0 a 2.5 m/s)	Generación de polvo y obstrucción del chute
Cal, clinker y cemento	400 a 800 fpm (2.0 a 4.0 m/s)	Generación de polvo y desgaste de los componentes
Descarga mediante los arados de la banda	200 a 400 fpm (1.0 a 2.0 m/s)	Derrames en la descarga, desgaste del arado y de la banda
Alimentadores de la banda	50 a 100 fpm (0.25 a 0.5 m/s)	Desgaste del revestimiento y de la banda
Apiladoras, reclamadores y cargadores	400 a 1000 fpm (2.0 a 5.0 m/s)	Degradación del material, generación de polvo, derrames y ruidos
Trippers	300 a 500 fpm (1.5 a 2.5 m/s)	Generación de polvo y derrames
Transportadores todo terreno	1000 a 2000 fpm (5.0 a 10.0 m/s)	Recorrido del transportador, degradación del material, generación de polvo, derrames y ruidos

Fuente: Spinozzi, ¿Cómo calcular la velocidad de una banda?, 2023.

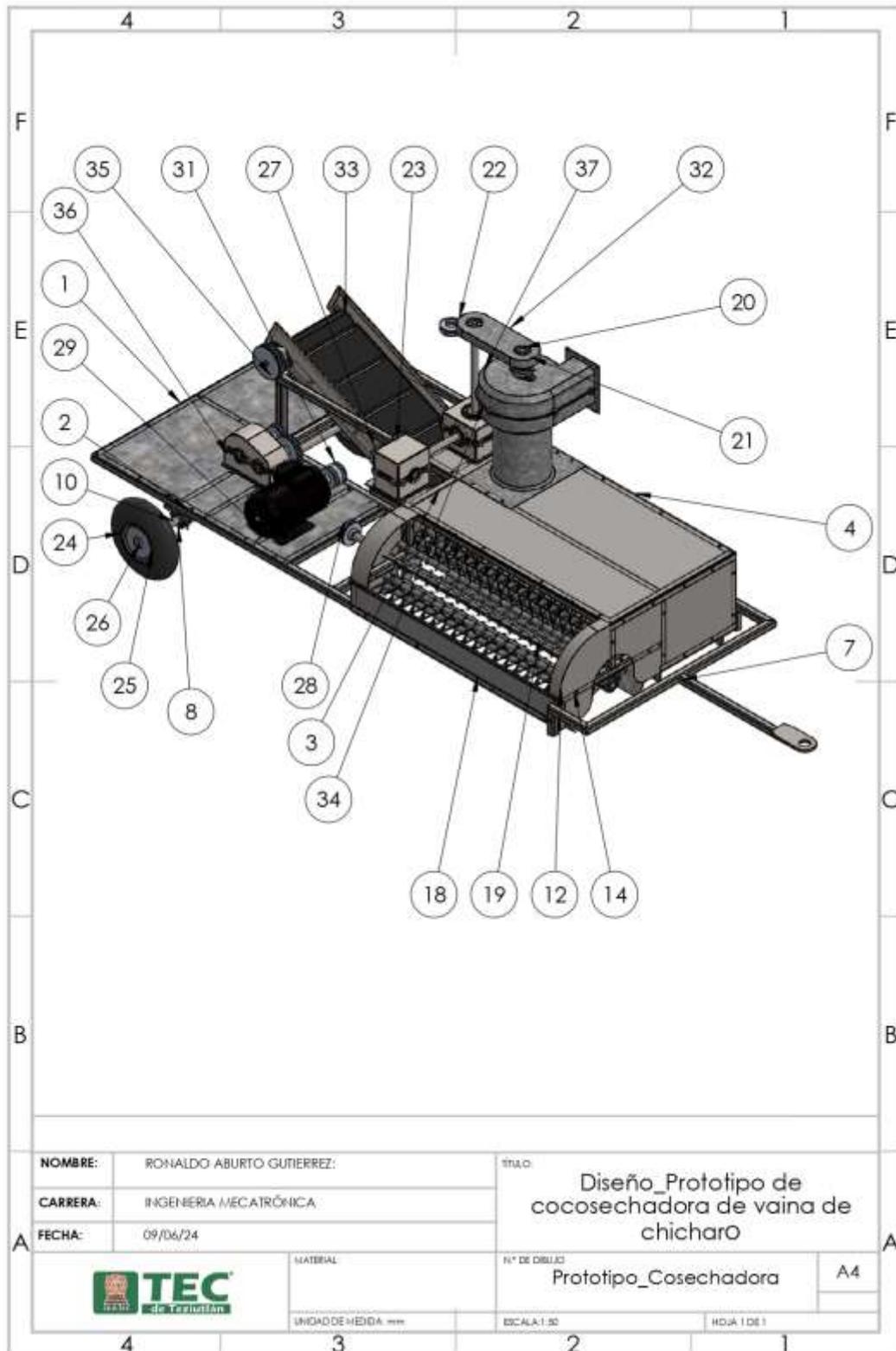
## Anexo 10. Propiedades del aire

Propiedades del aire a 1 atm de presión

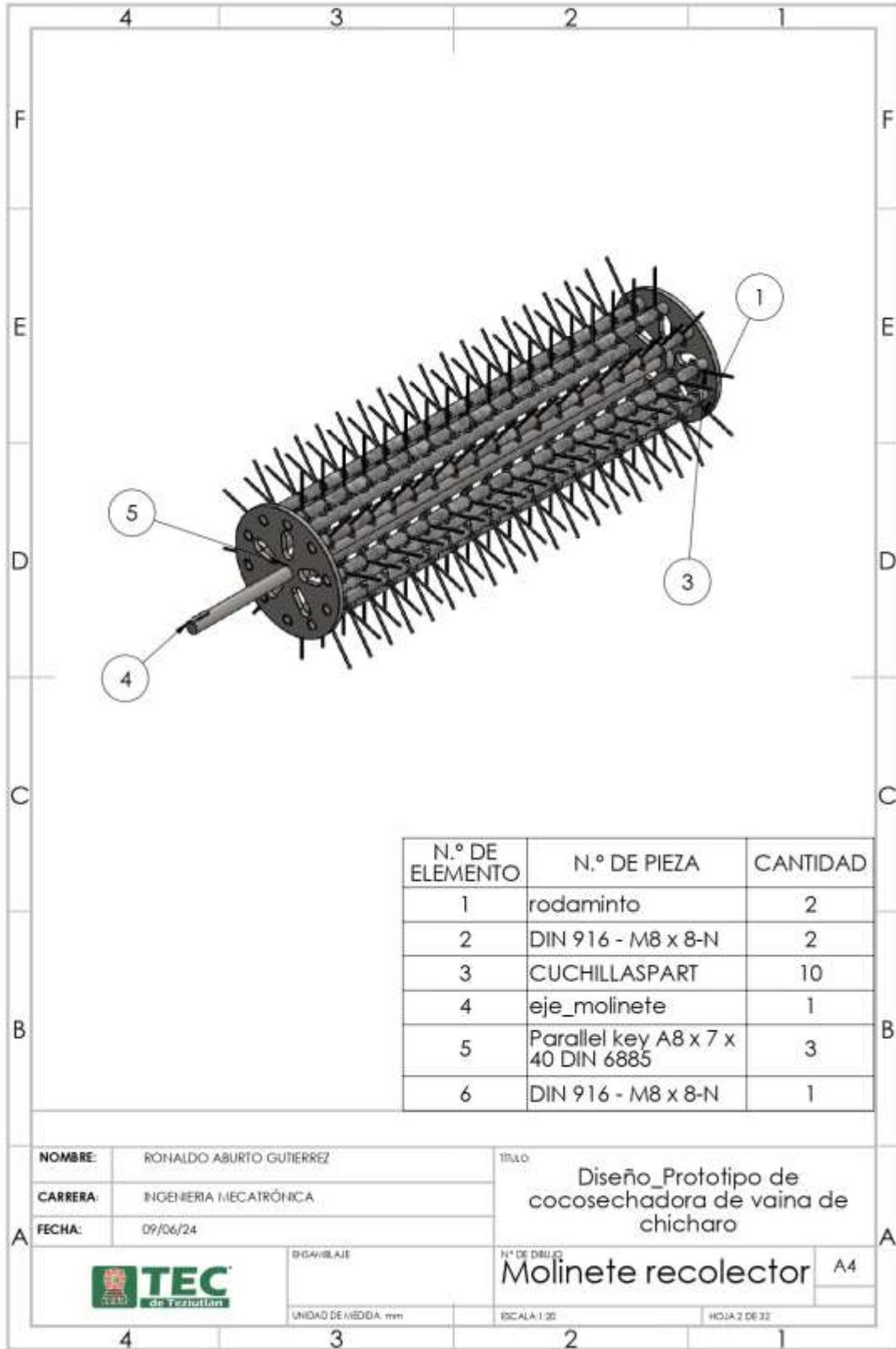
Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Densidad $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico $c_p$ $\text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-5}$	0.7245
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268

Fuente: CENGEL et al. Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones, 2006

## Anexo 11. Dibujos

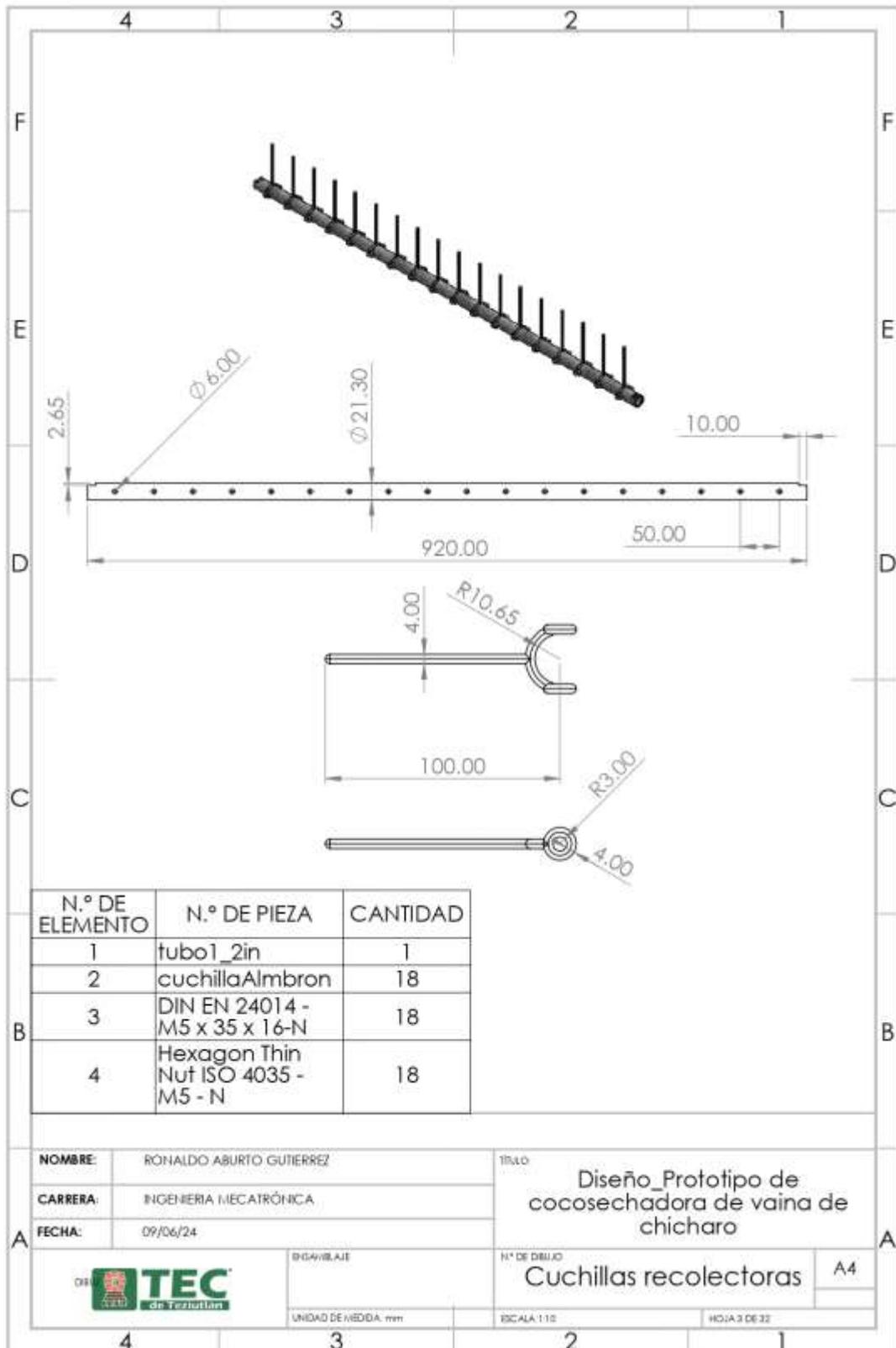


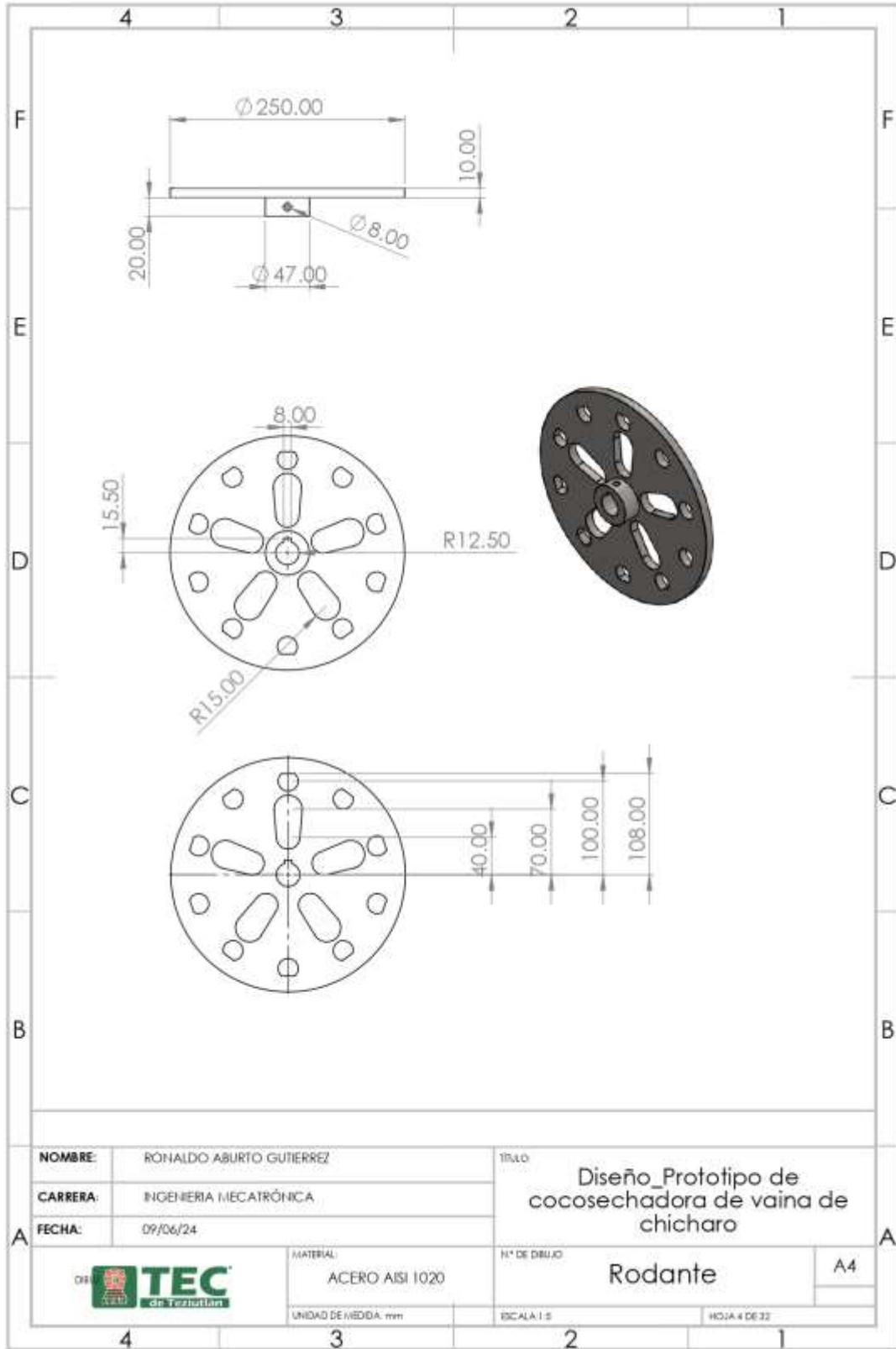
		4	3	2	1
			N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
			1	chasis2222	1
			2	baseMotor	1
			3	PlacaBasedecajasdeENGRAM	1
			4	tapa	1
			5	tapaLateral	1
			6	tapafrasera	1
			7	Tiron	1
			8	housingSY 505 M-h	4
			9	1_4-28 SAE-LT	4
			10	YAR 205-2F-33.74103002205-b	4
			11	25-52-34.1-15-ybrg1-547.938-39.04-b	36
			12	rodaminto	2
			13	DIN 916 - M8 x 8-N	2
			14	CUCHILLASPART	10
			15	eje_molinete	1
			16	Parallel key A8 x 7 x 40 DIN 6885	3
			17	DIN 916 - M8 x 8-N	1
			18	derecho	1
			19	izquierdo	1
			20	ejeTurbina	1
			21	polea9	1
			22	polea8	1
			23	polea5	1
			24	rin	2
			25	Neumatico	2
			26	Eje Remolque	1
			27	polea6	1
			28	polea7	1
			29	MOTOR MONOFÁSICO 2CV 60HZ 4PL	1
			30	EJE_DEL_MOTOR	1
			31	polea1	1
			32	unionEjes	1
			33	BANDATransportadora	1
			34	Transmision	1
			35	RODANTEMOTRIZ	1
			36	Reductor111	1
			37	EstractorPart	1
			NOMBRE: RONALDO ABURTO GUTIERREZ:		TÍTULO
			CARRERA: INGENIERIA MECATRÓNICA		Diseño_Prototipo de cosechadora de vaina de chicharo
			FECHA: 09/06/24		
			MATERIAL:		Nº DE DIBUJO
					Cosechadora
					A4
			UNIDAD DE MEDIDA: mm		ESCALA: 1:50
					HOJA 1 DE 1
			4	3	2
					1

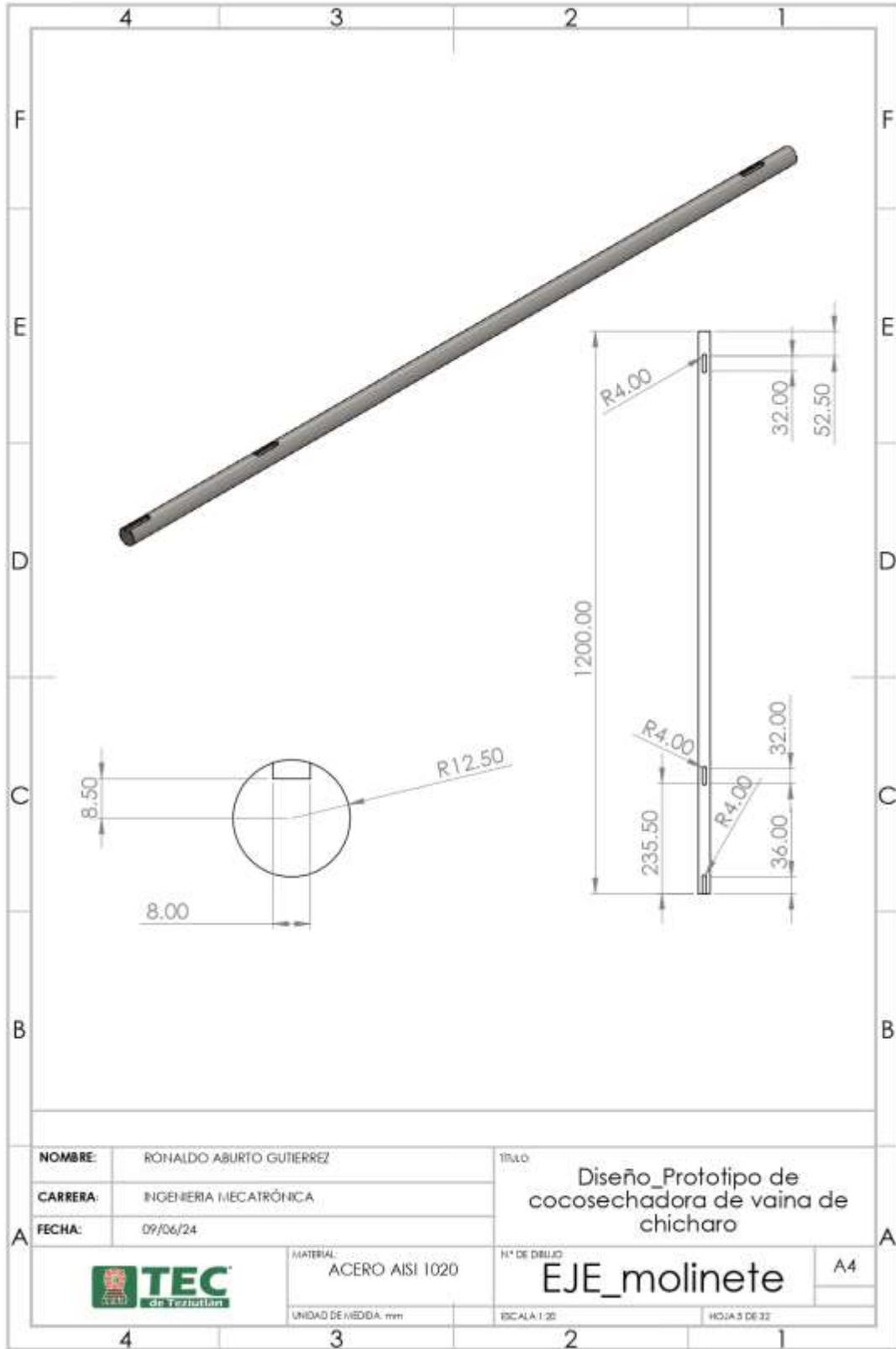


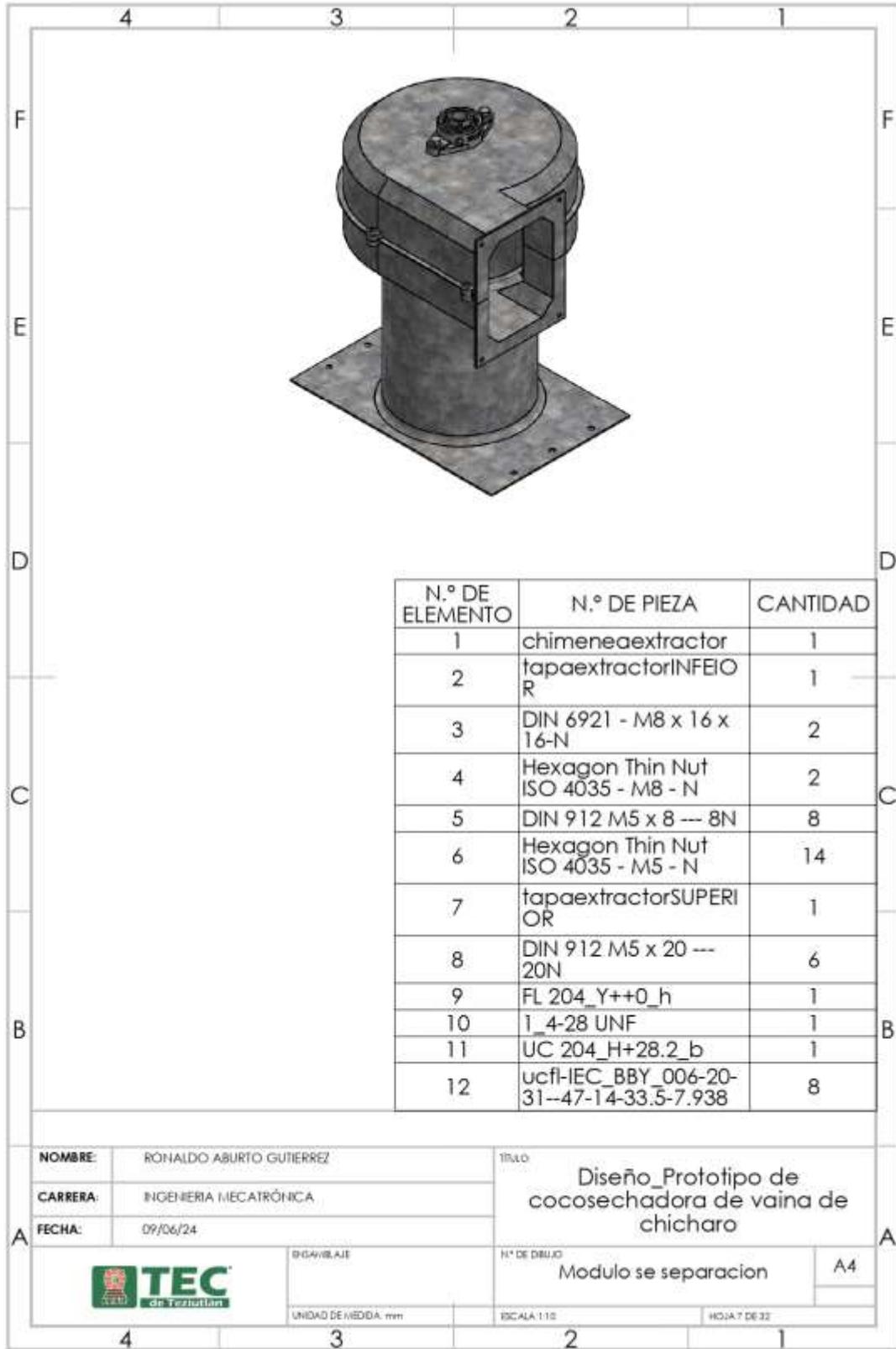
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	rodaminto	2
2	DIN 916 - M8 x 8-N	2
3	CUCHILLASPART	10
4	eje_molinete	1
5	Parallel key A8 x 7 x 40 DIN 6885	3
6	DIN 916 - M8 x 8-N	1

A	NOMBRE:	RONALDO ABURTO GUTIERREZ	TÍTULO	Diseño_Prototipo de cocosechadora de vaina de chicharo	A4
	CARRERA:	INGENIERIA MECATRÓNICA			
	FECHA:	09/06/24			
		DISEÑADOR	Nº DE DIBUJO	Molinete recolector	
UNIDAD DE MEDIDA: mm		ESCALA: 1:20	HOJA 2 DE 32		

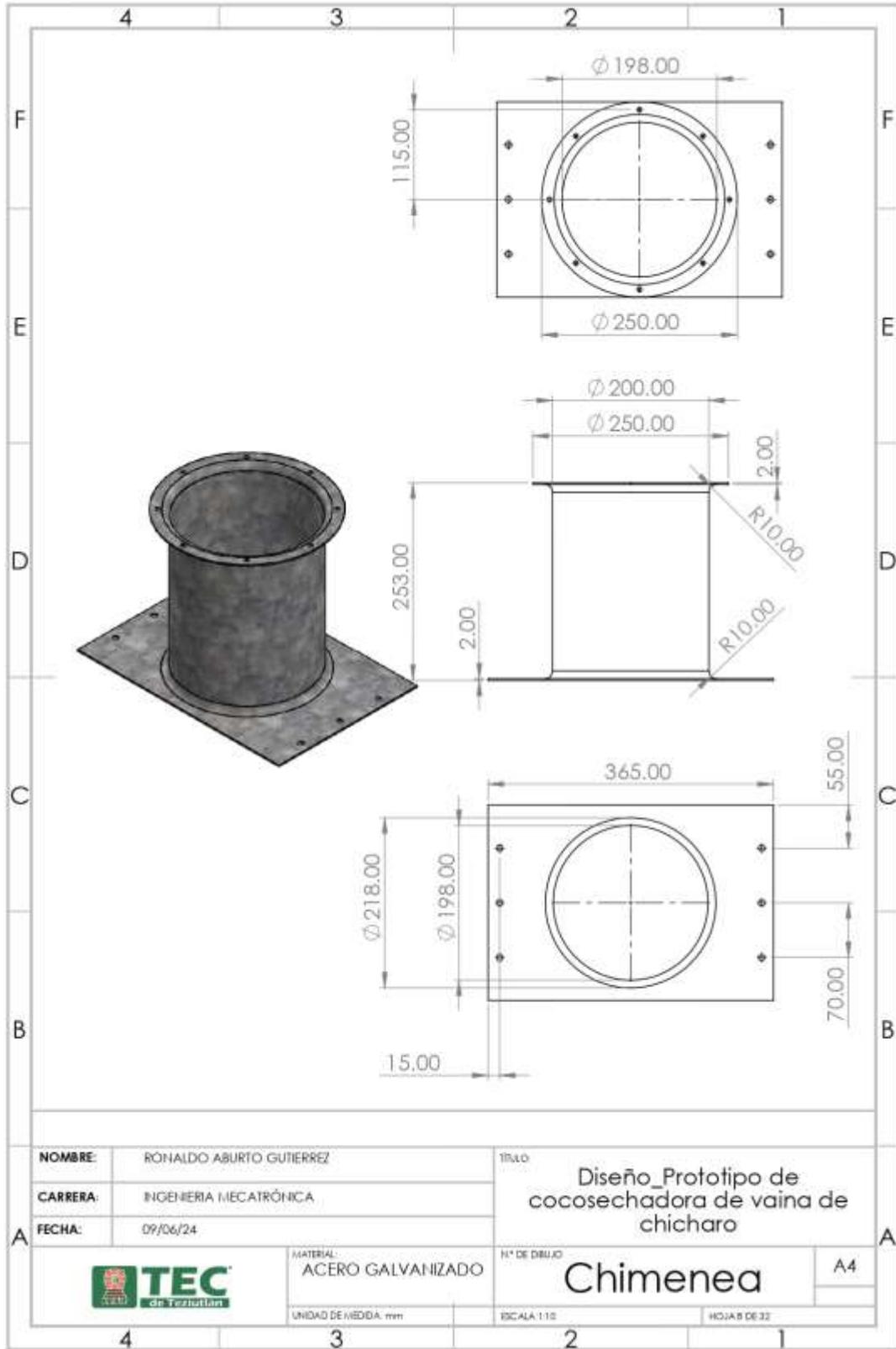




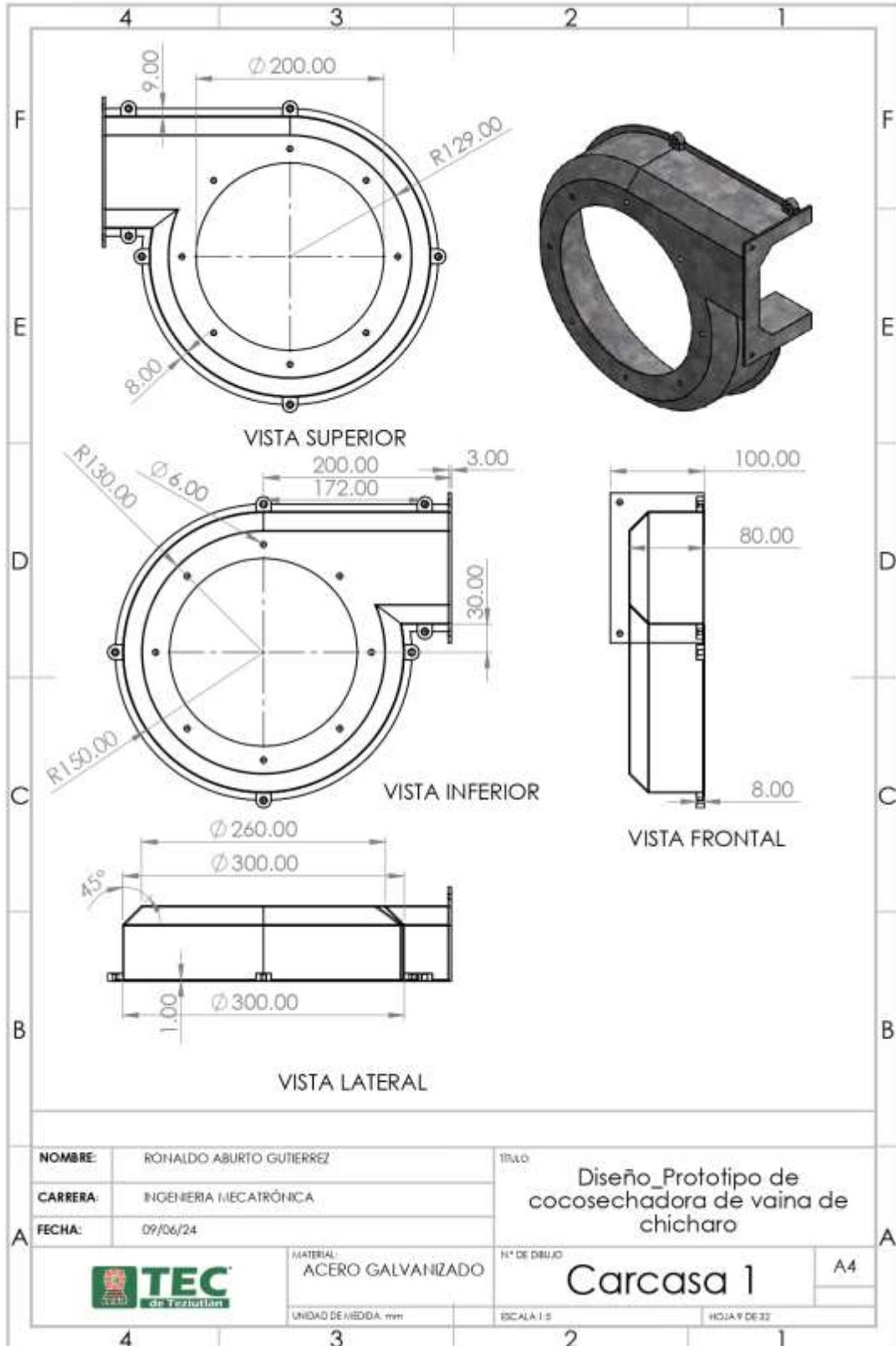




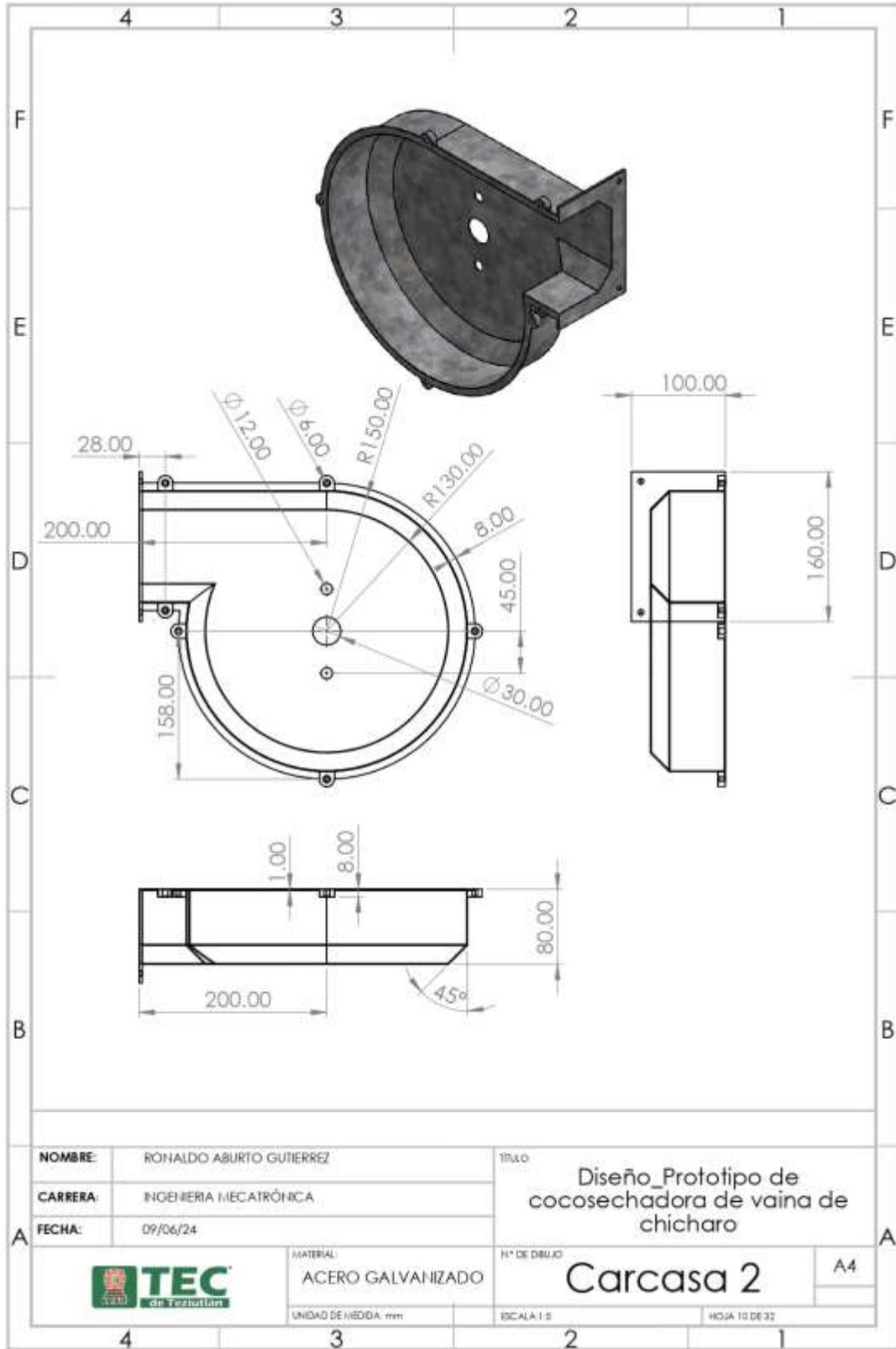
<b>NOMBRE:</b>	RONALDO ABURTO GUTIERREZ	<b>TÍTULO</b> Diseño_Prototipo de cocosechadora de vaina de chicharo
<b>CARRERA:</b>	INGENIERIA MECATRÓNICA	
<b>FECHA:</b>	09/06/24	
		<b>Nº DE DIBUJO</b> Modulo se separacion
<b>DISEÑADOR</b>  <b>UNIDAD DE MEDIDA:</b> mm		<b>ESCALA:</b> 1:10 <b>HOJA:</b> 7 DE 32 <b>A4</b>



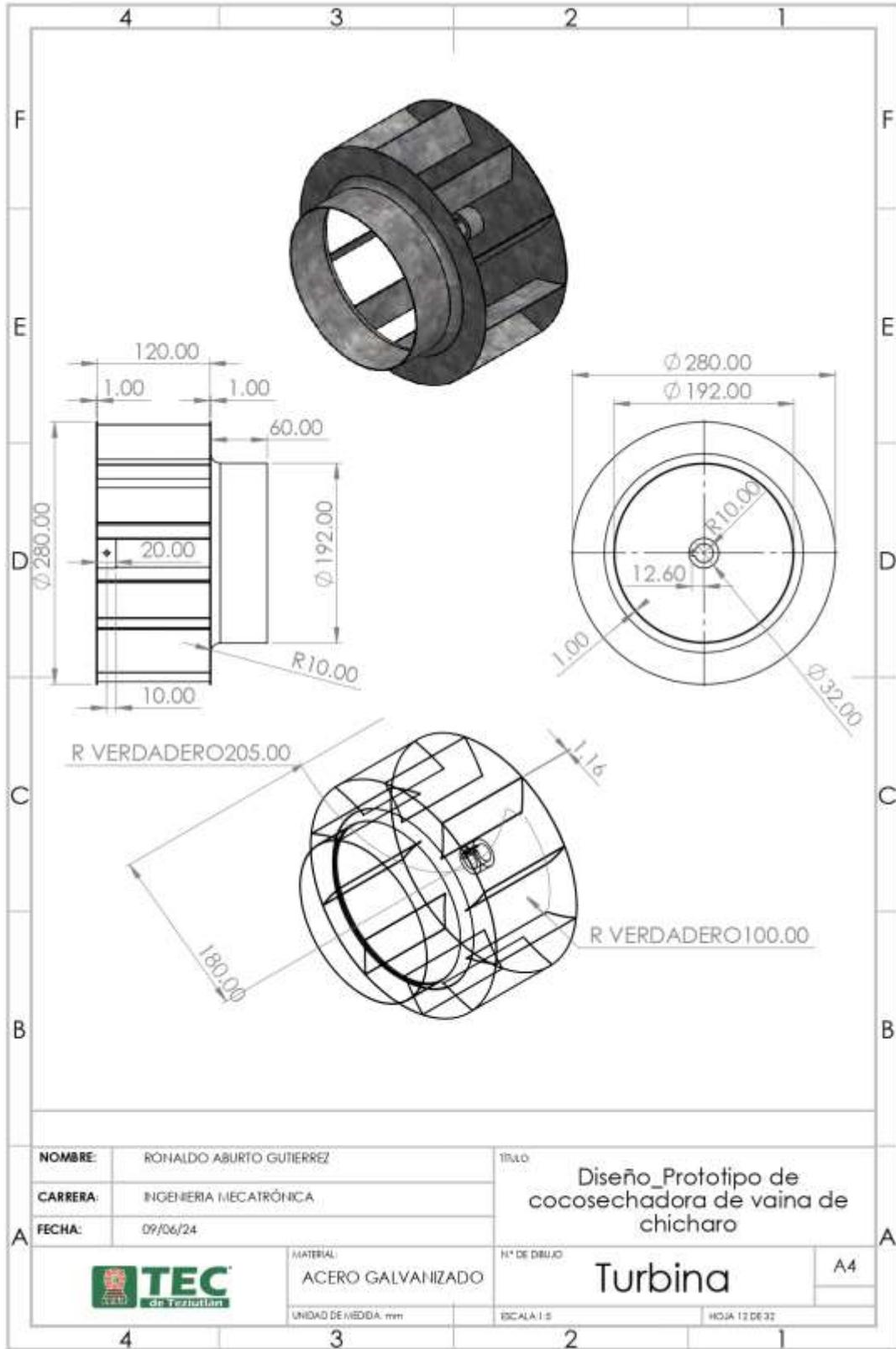
A	NOMBRE:	RONALDO ABURTO GUTIERREZ	TÍTULO:	Diseño_Prototipo de cocosechadora de vaina de chicharo	
	CARRERA:	INGENIERIA MECATRÓNICA	N° DE DIBUJO:	Chimenea	A4
	FECHA:	09/06/24	MATERIAL:	ACERO GALVANIZADO	UNIDAD DE MEDIDA: mm
			ESCALA:	1:10	HOJA 8 DE 32



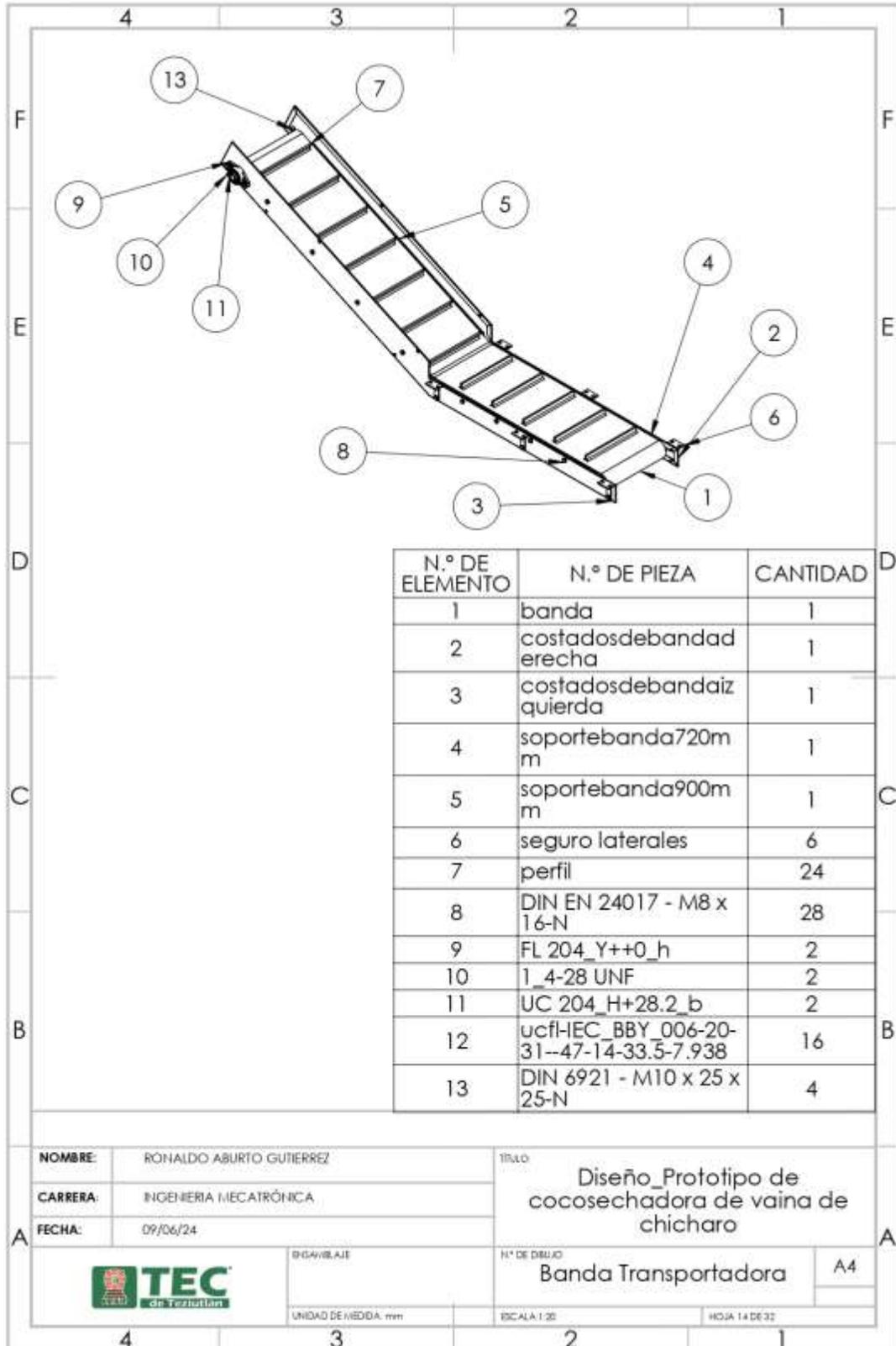
A	NOMBRE:	RONALDO ABURTO GUTIERREZ	TÍTULO:	Diseño_Prototipo de cosechadora de vaina de chicharo	
	CARRERA:	INGENIERIA MECATRÓNICA			
	FECHA:	09/06/24			
		MATERIAL:	ACERO GALVANIZADO	N° DE DIBUJO:	Carcasa 1
		UNIDAD DE MEDIDA:	mm	ESCALA:	1:1
					HOJA 9 DE 32

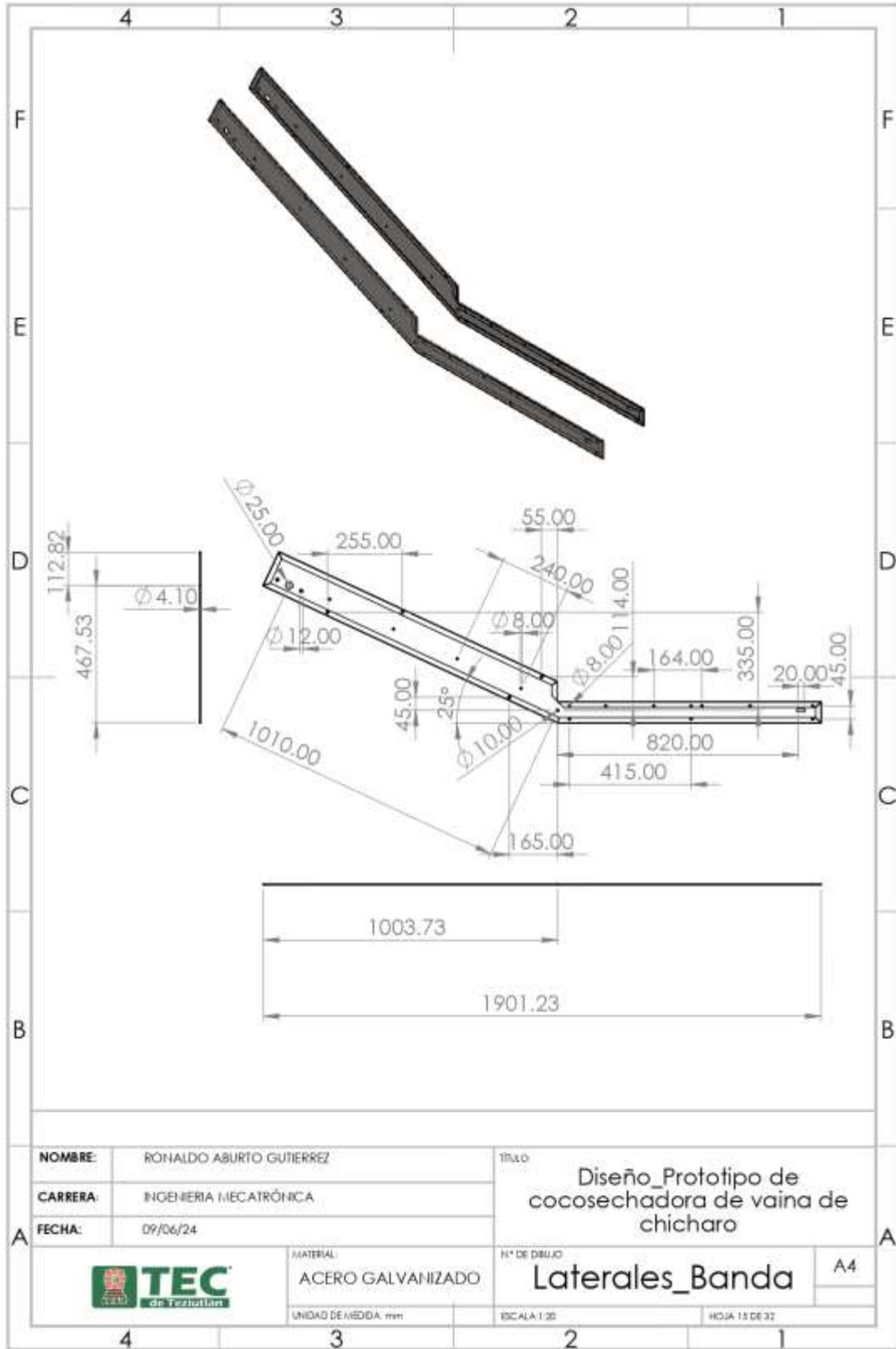


A	NOMBRE:	RONALDO ABURTO GUTIERREZ	TÍTULO:	Diseño_Prototipo de cosechadora de vaina de chicharo	
	CARRERA:	INGENIERIA MECATRÓNICA			
	FECHA:	09/06/24			
	MATERIAL:		N° DE DIBUJO:	Carcasa 2	A4
	ACERO GALVANIZADO				
	UNIDAD DE MEDIDA: mm		ESCALA: 1:1	HOJA 10 DE 32	

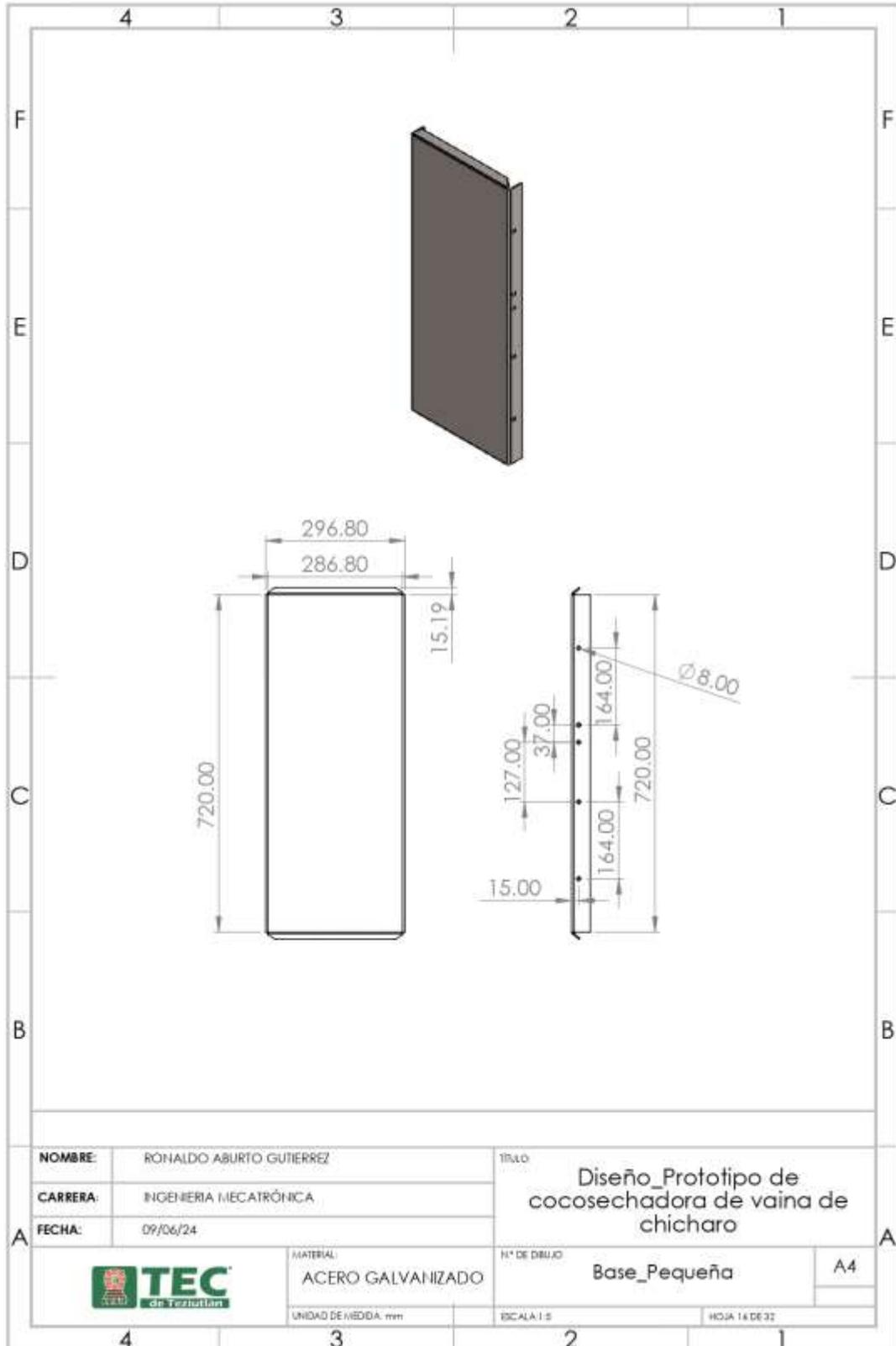


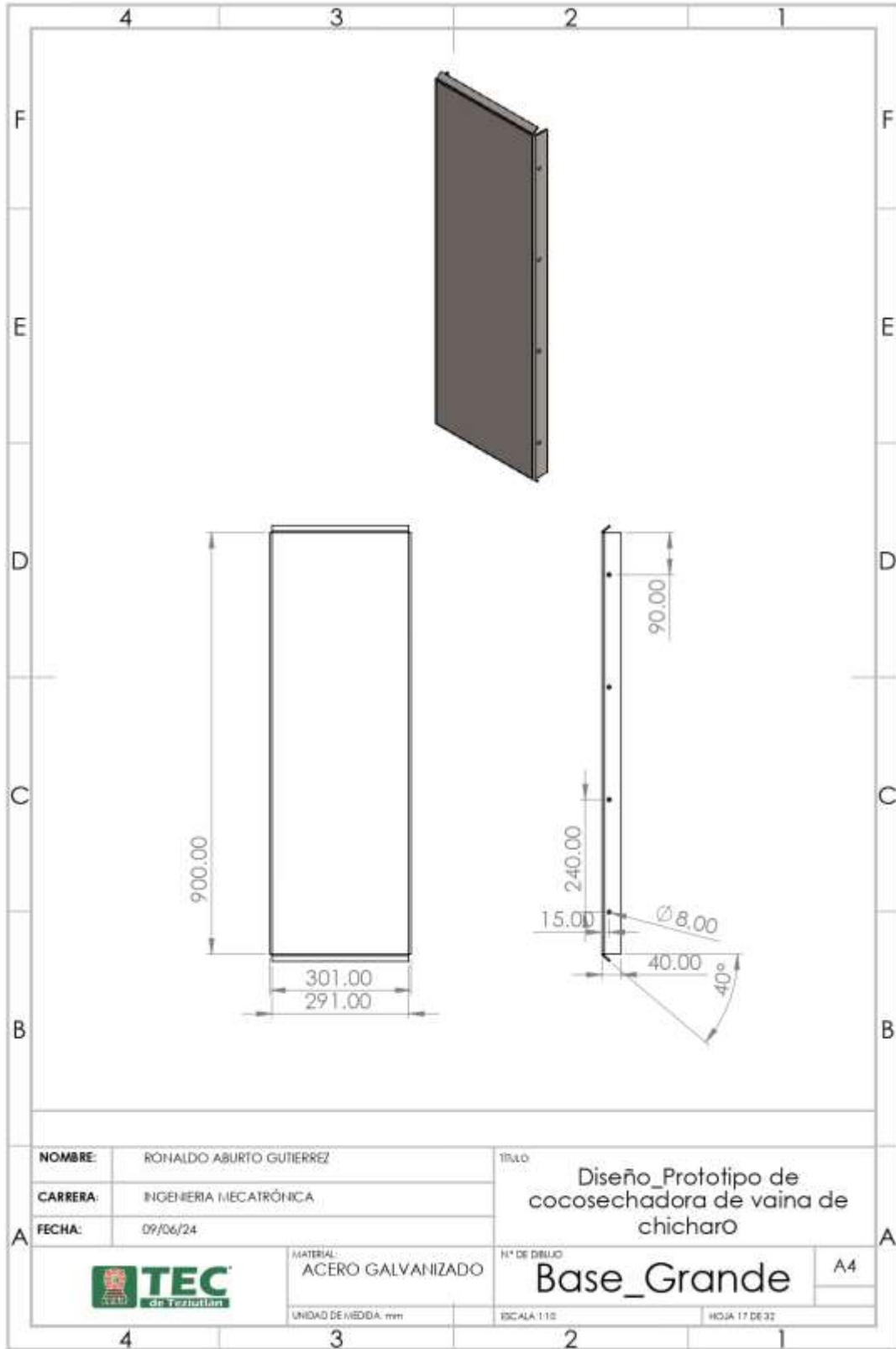
A	NOMBRE:	RONALDO ABURTO GUTIERREZ	TÍTULO:	Diseño_Prototipo de cosechadora de vaina de chicharo	
	CARRERA:	INGENIERIA MECATRÓNICA			
	FECHA:	09/06/24			
		MATERIAL:	ACERO GALVANIZADO	N° DE DIBUJO:	Turbina
		UNIDAD DE MEDIDA:	mm	ESCALA:	1:1
					HOJA 12 DE 32





A	NOMBRE:	RONALDO ABURTO GUTIERREZ	TÍTULO:	Diseño_Prototipo de cosechadora de vaina de chicharo	
	CARRERA:	INGENIERIA MECATRÓNICA			
	FECHA:	09/06/24	N° DE DIBUJO:	Laterales_Banda	A4
			MATERIAL:	ACERO GALVANIZADO	
			UNIDAD DE MEDIDA:	mm	
			ESCALA:	1:20	HOJA 15 DE 32





**NOMBRE:** RONALDO ABURTO GUTIERREZ  
**CARRERA:** INGENIERIA MECATRÓNICA  
**FECHA:** 09/06/24

**TÍTULO:** Diseño\_Prototipo de cosechadora de vaina de chicharo



**MATERIAL:** ACERO GALVANIZADO

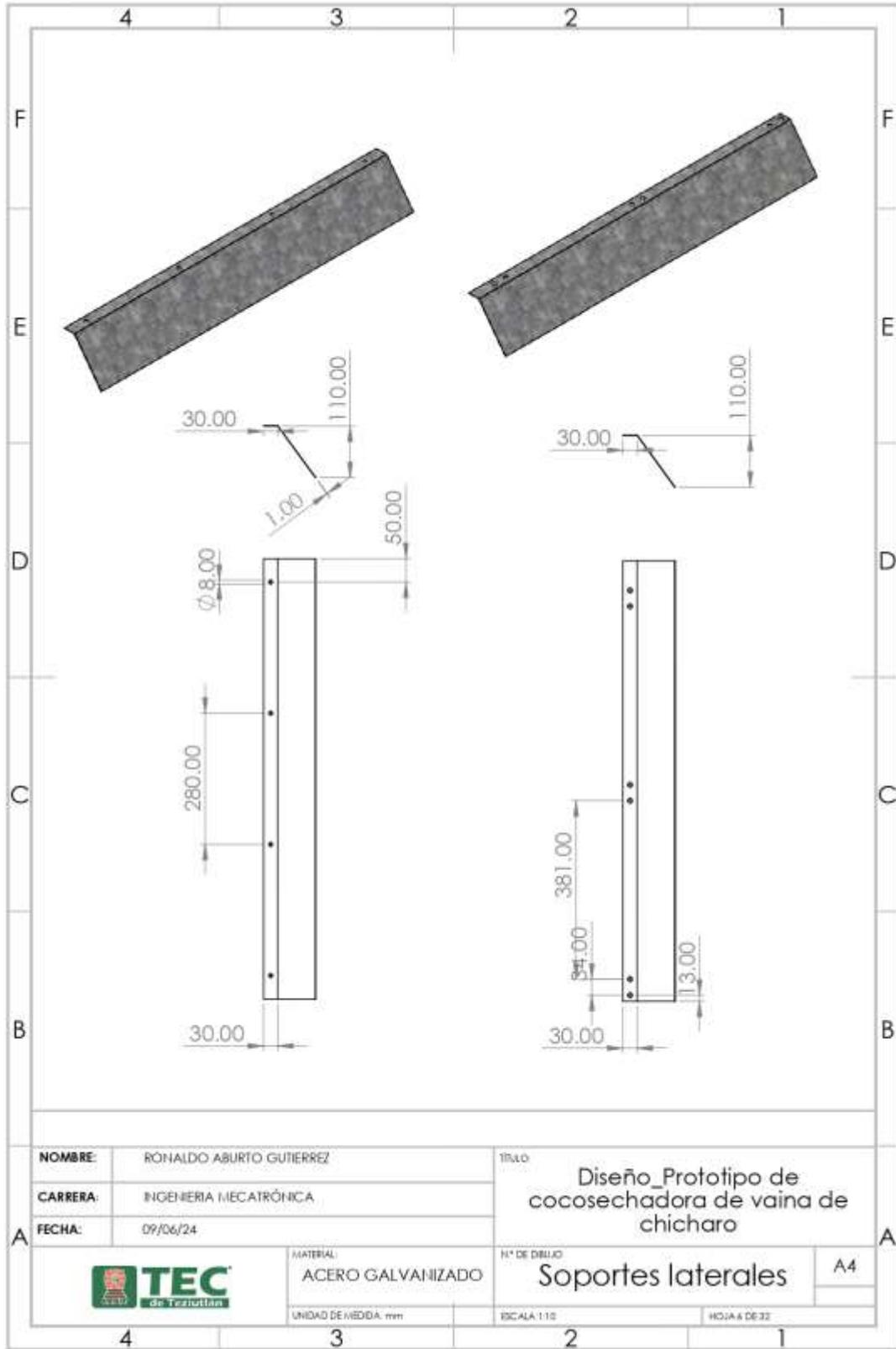
**N° DE DIBUJO:** Base\_Grande

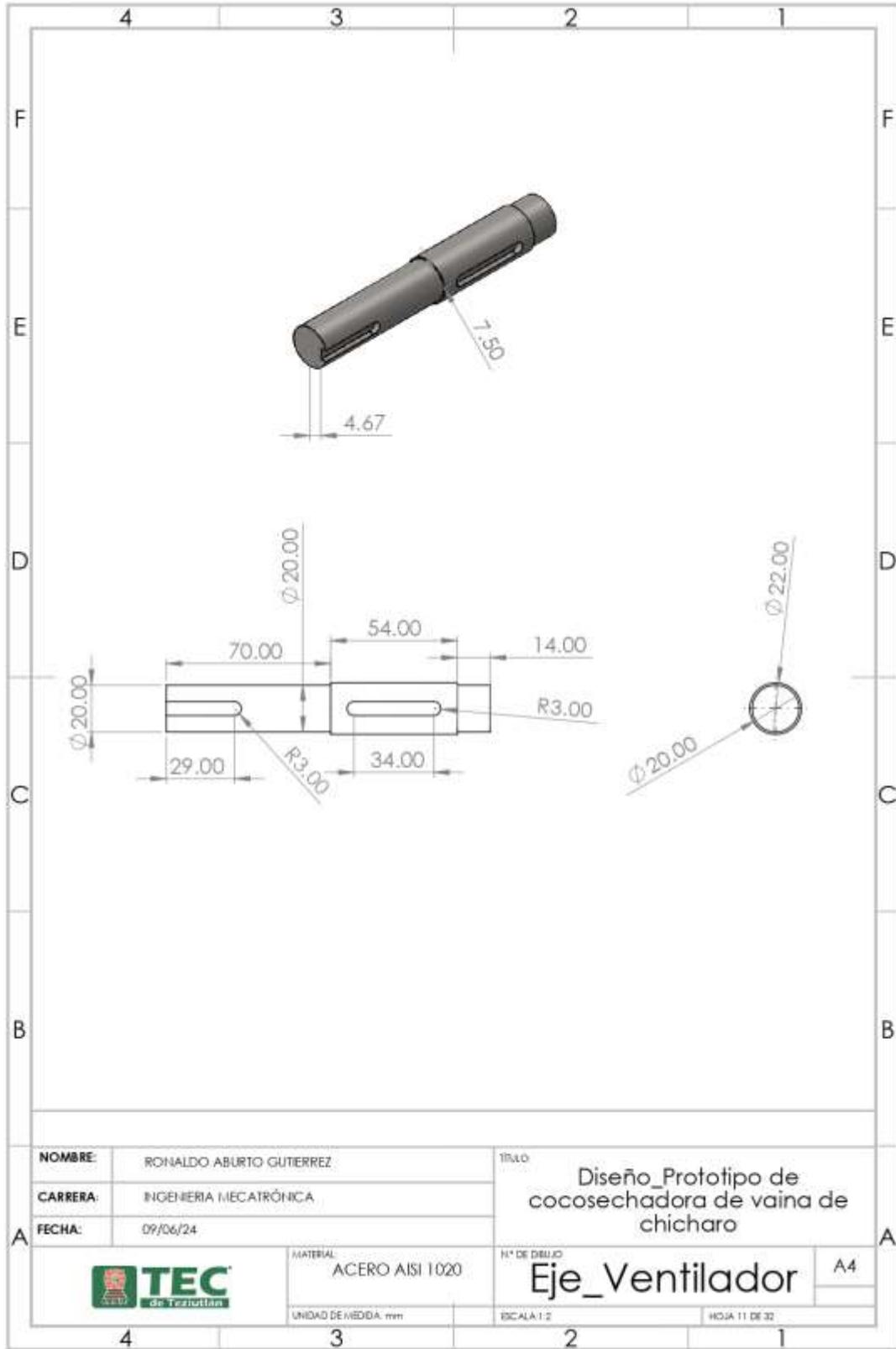
A4

UNIDAD DE MEDIDA: mm

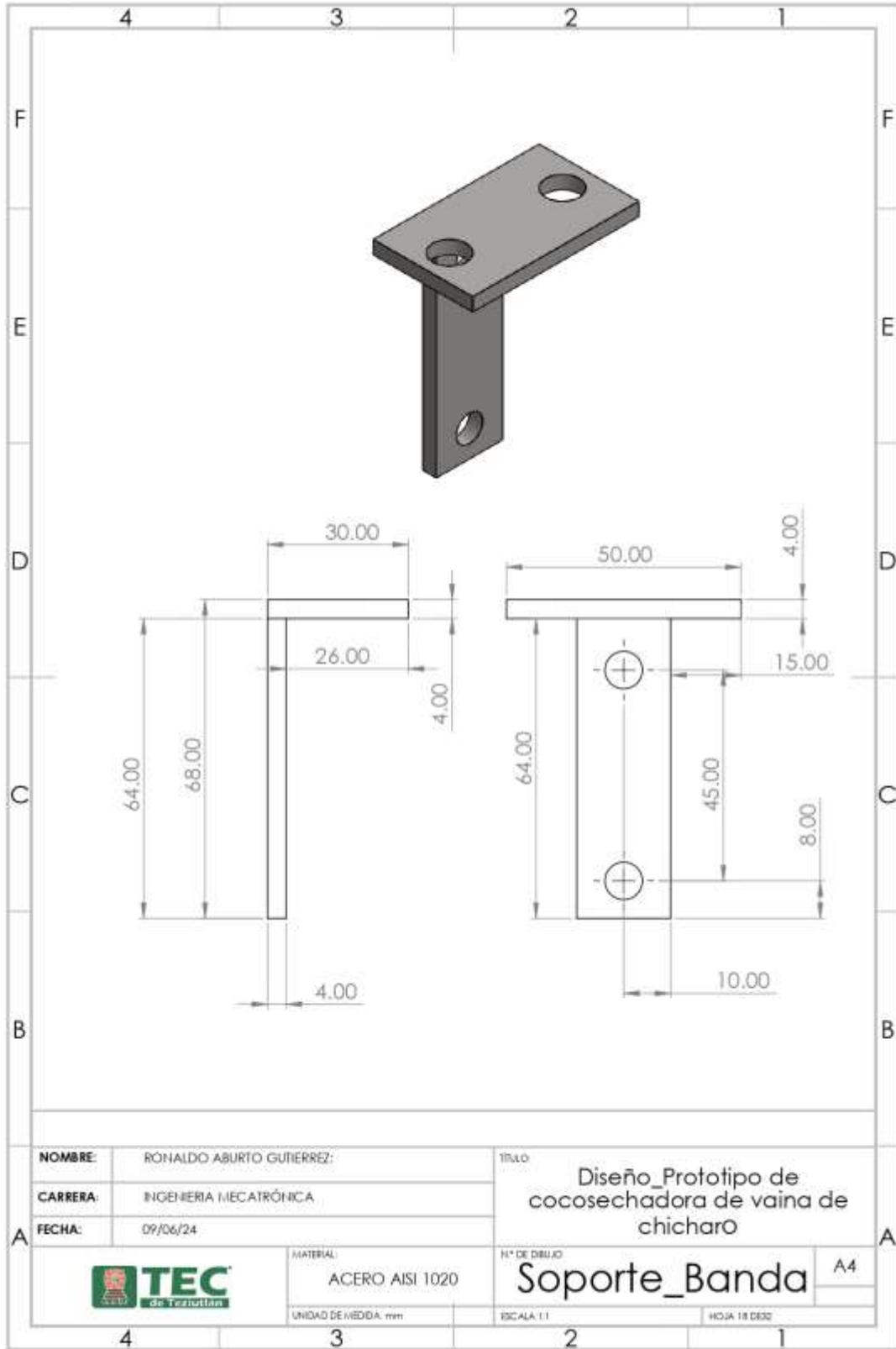
ESCALA: 1:10

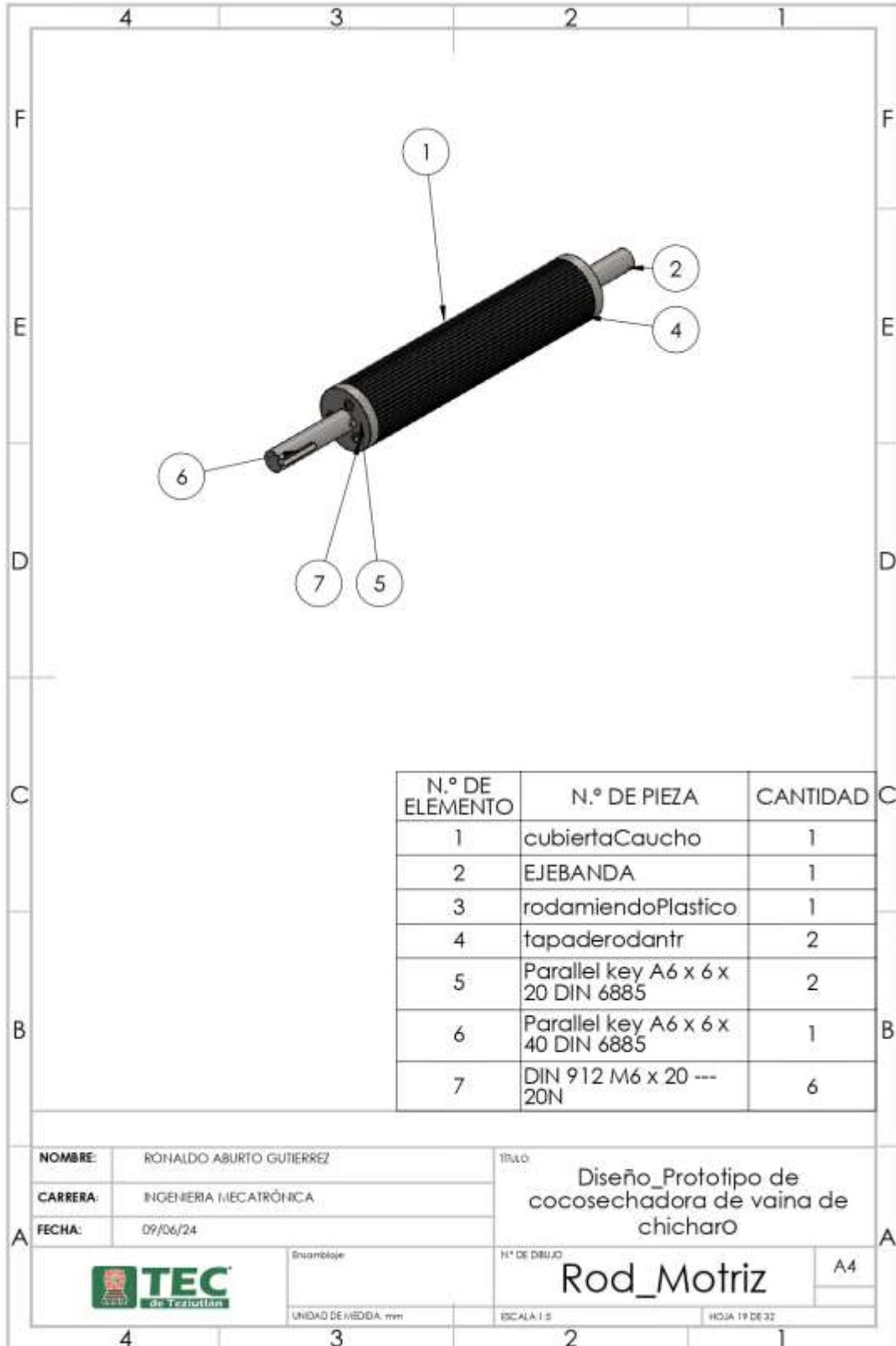
HOJA 17 DE 32



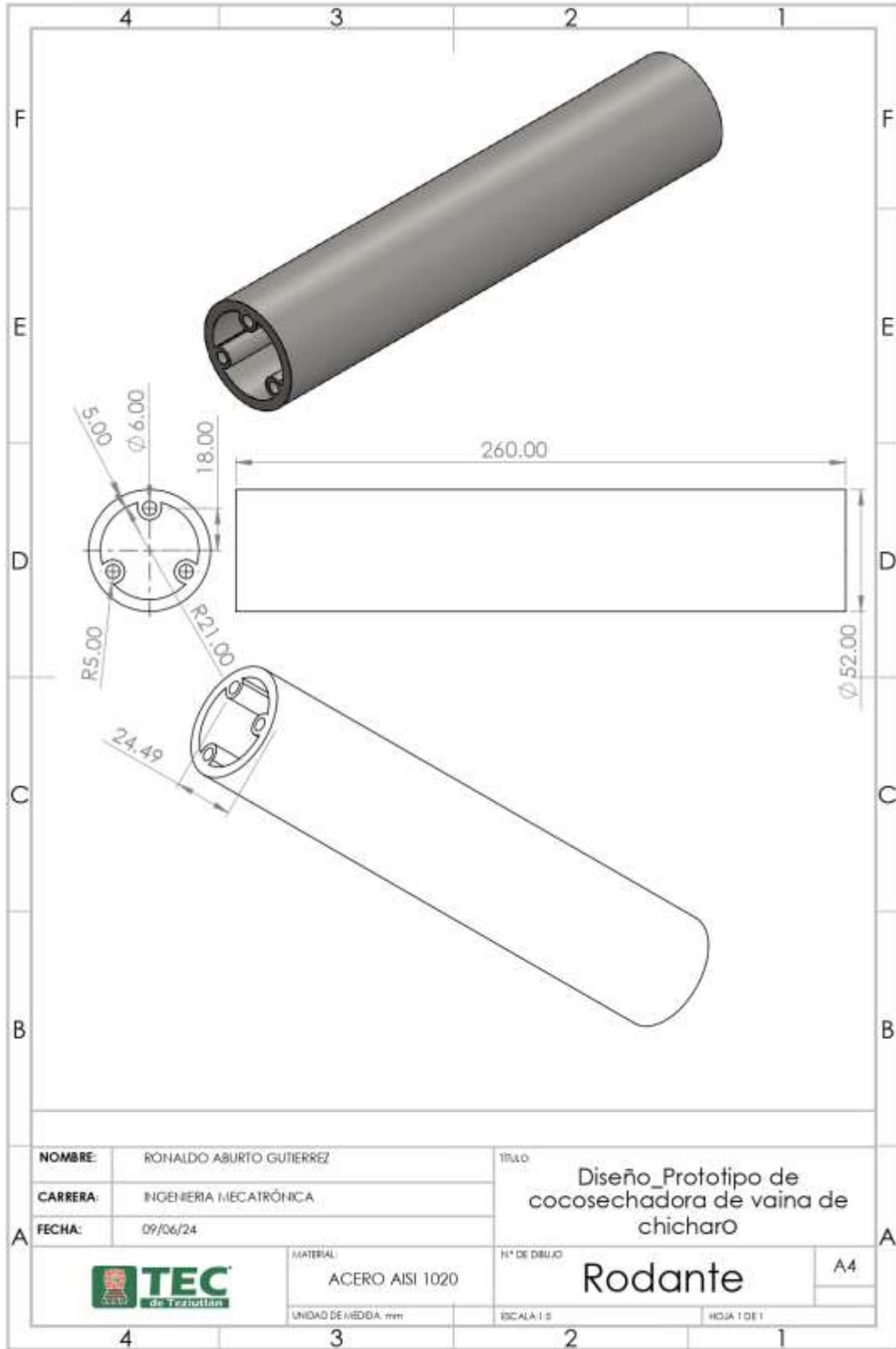


A	NOMBRE:	RONALDO ABURTO GUTIERREZ	TÍTULO:	Diseño_Prototipo de cosechadora de vaina de chicharo	
	CARRERA:	INGENIERIA MECATRÓNICA	N° DE DISEÑO:	Eje_Ventilador	A4
	FECHA:	09/06/24	UNIDAD DE MEDIDA:	mm	ESCALA:
		MATERIAL: ACERO AISI 1020		HOJA 11 DE 32	

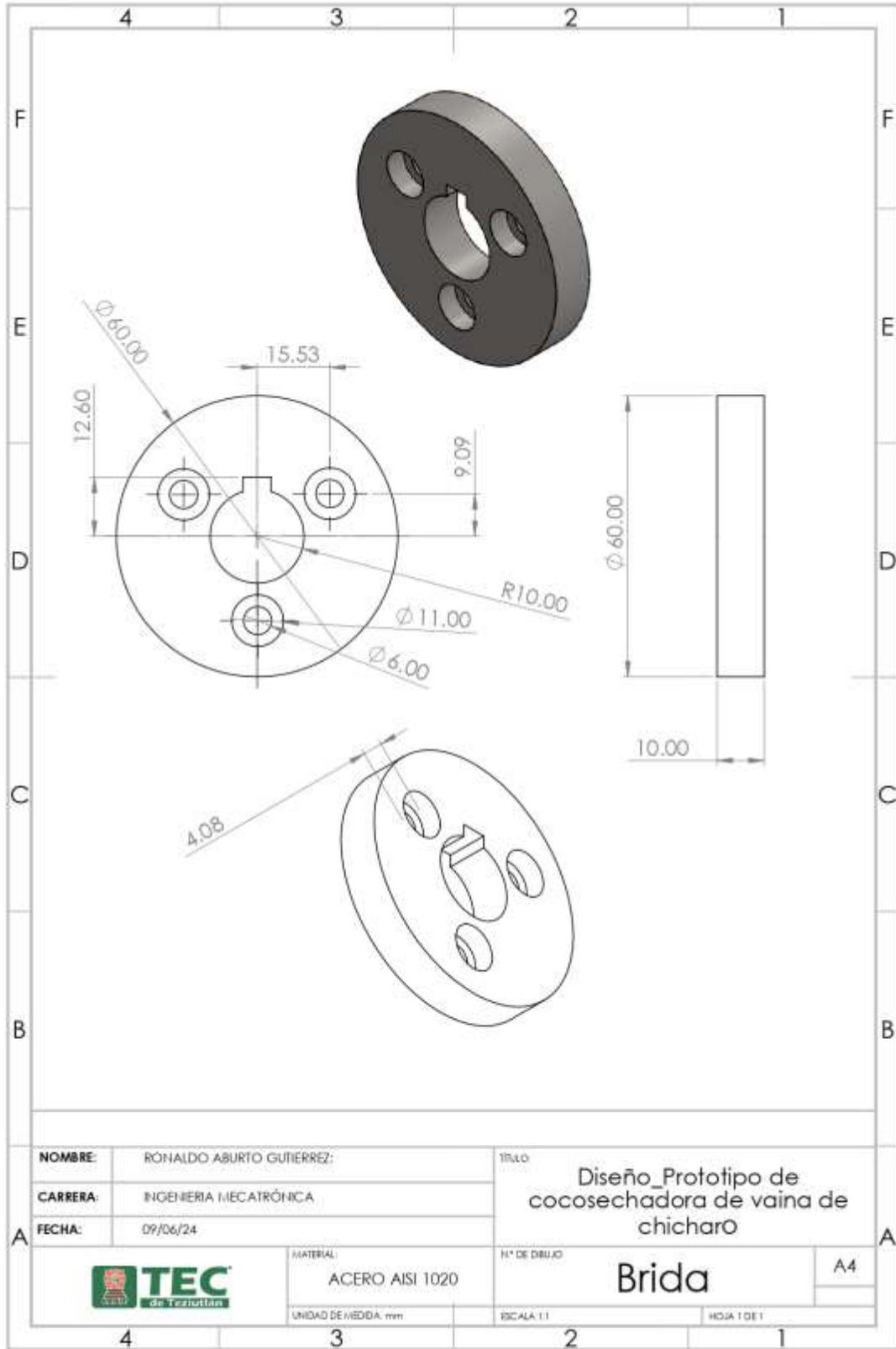


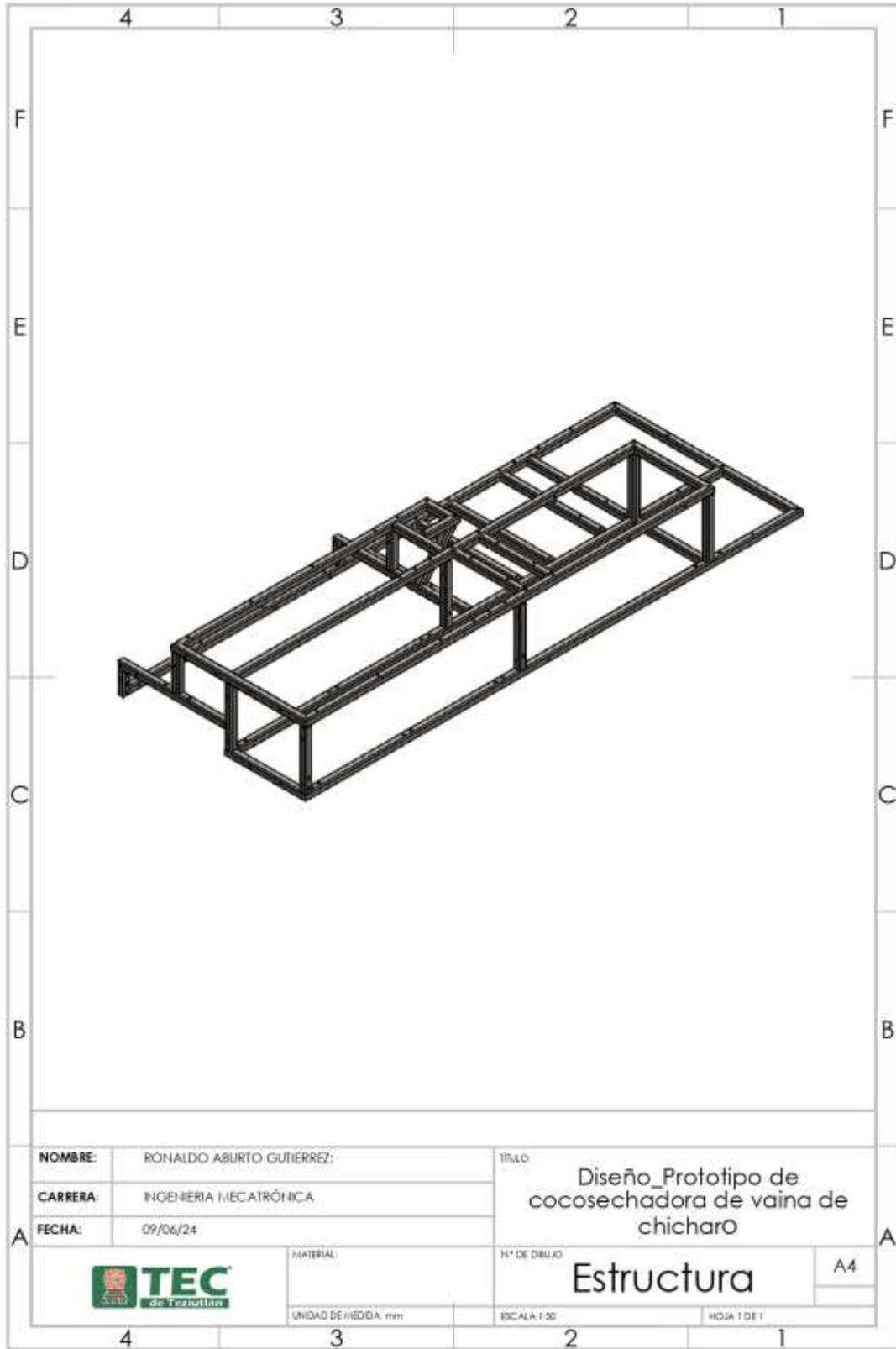




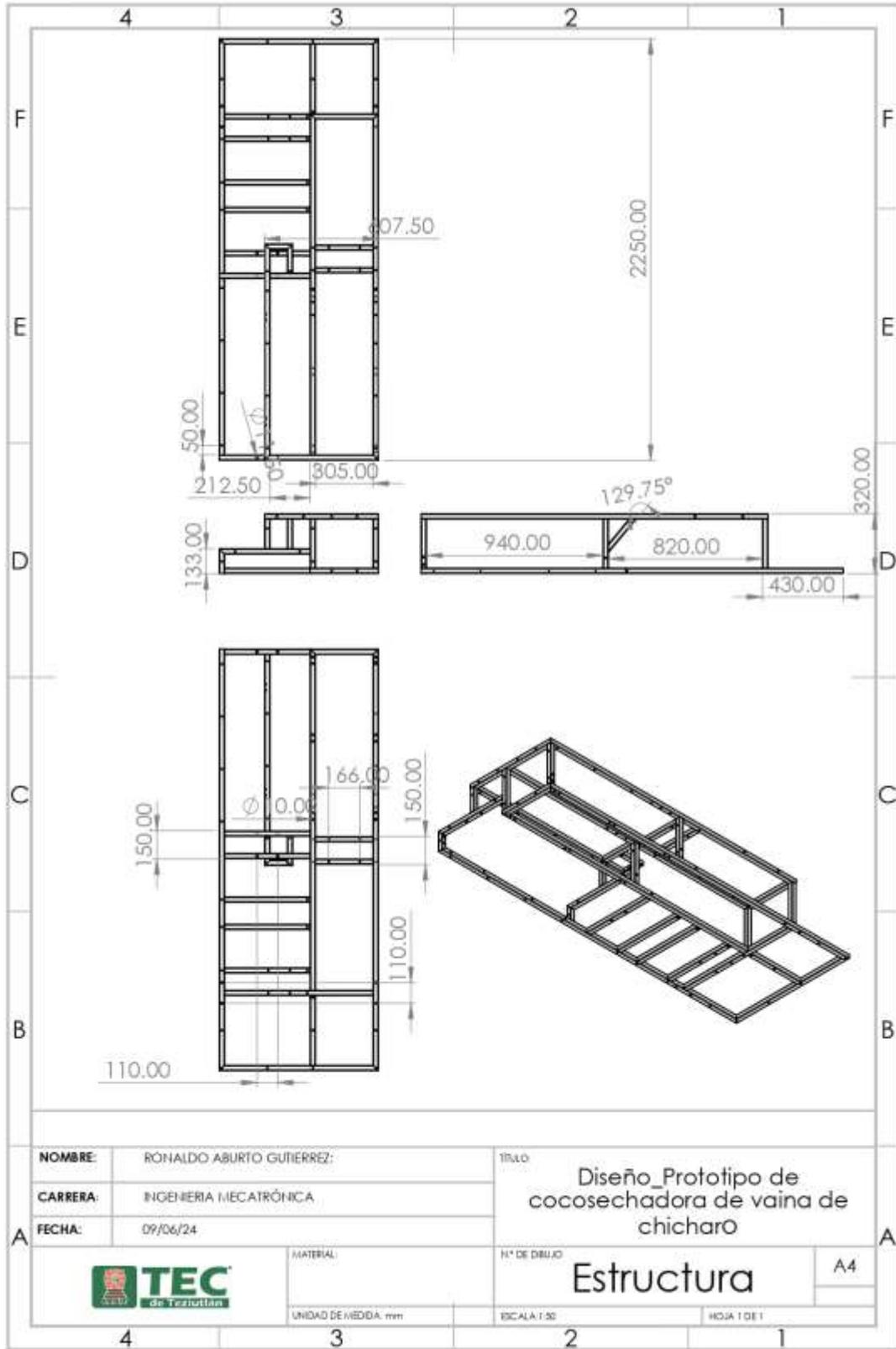


A	NOMBRE:	RONALDO ABURTO GUTIERREZ	TÍTULO:	Diseño_Prototipo de cosechadora de vaina de chicharo	
	CARRERA:	INGENIERIA MECATRÓNICA			
	FECHA:	09/06/24	N° DE DIBUJO:	Rodante	A4
		MATERIAL:	ACERO AISI 1020	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1
		UNIDAD DE MEDIDA:	mm		



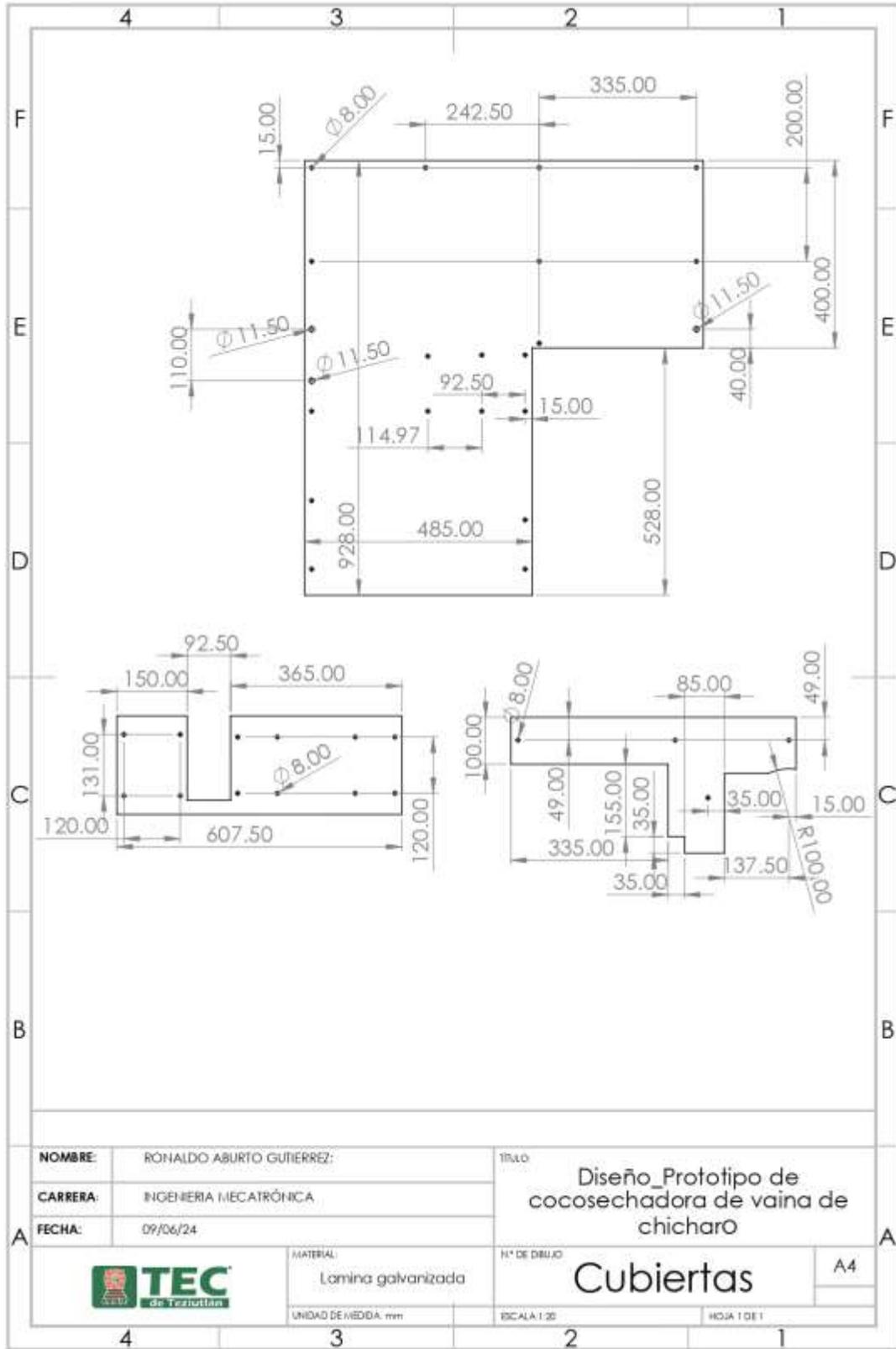


A	NOMBRE:	RONALDO ABURTO GUTIERREZ:	TÍTULO:	Diseño_Prototipo de cosechadora de vaina de chicharo	
	CARRERA:	INGENIERIA MECATRÓNICA	N° DE DIBUJO:	Estructura	A4
	FECHA:	09/06/24	MATERIAL:		
			UNIDAD DE MEDIDA: mm	ESCALA: 1:50	HOJA 1 DE 1

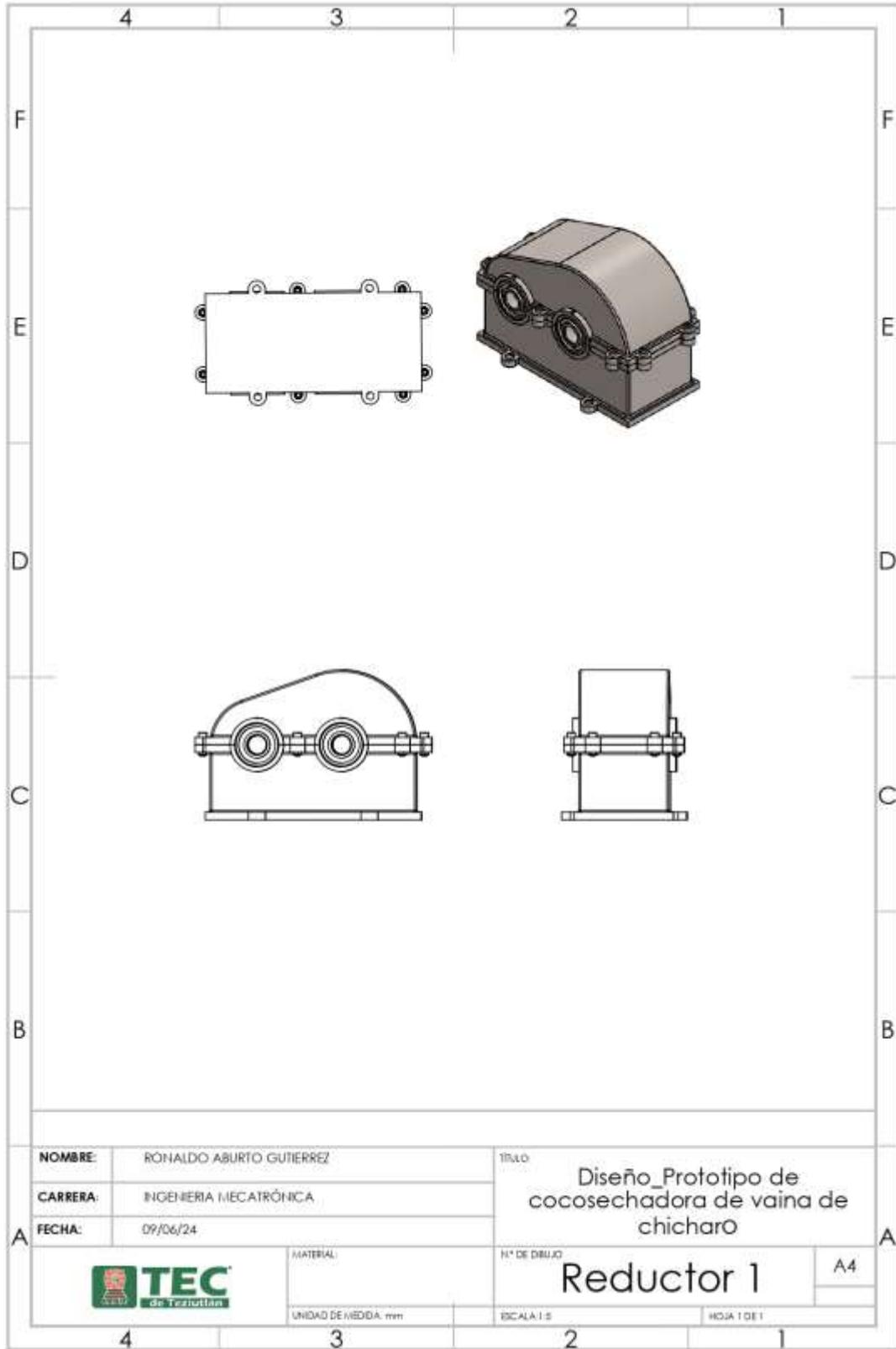


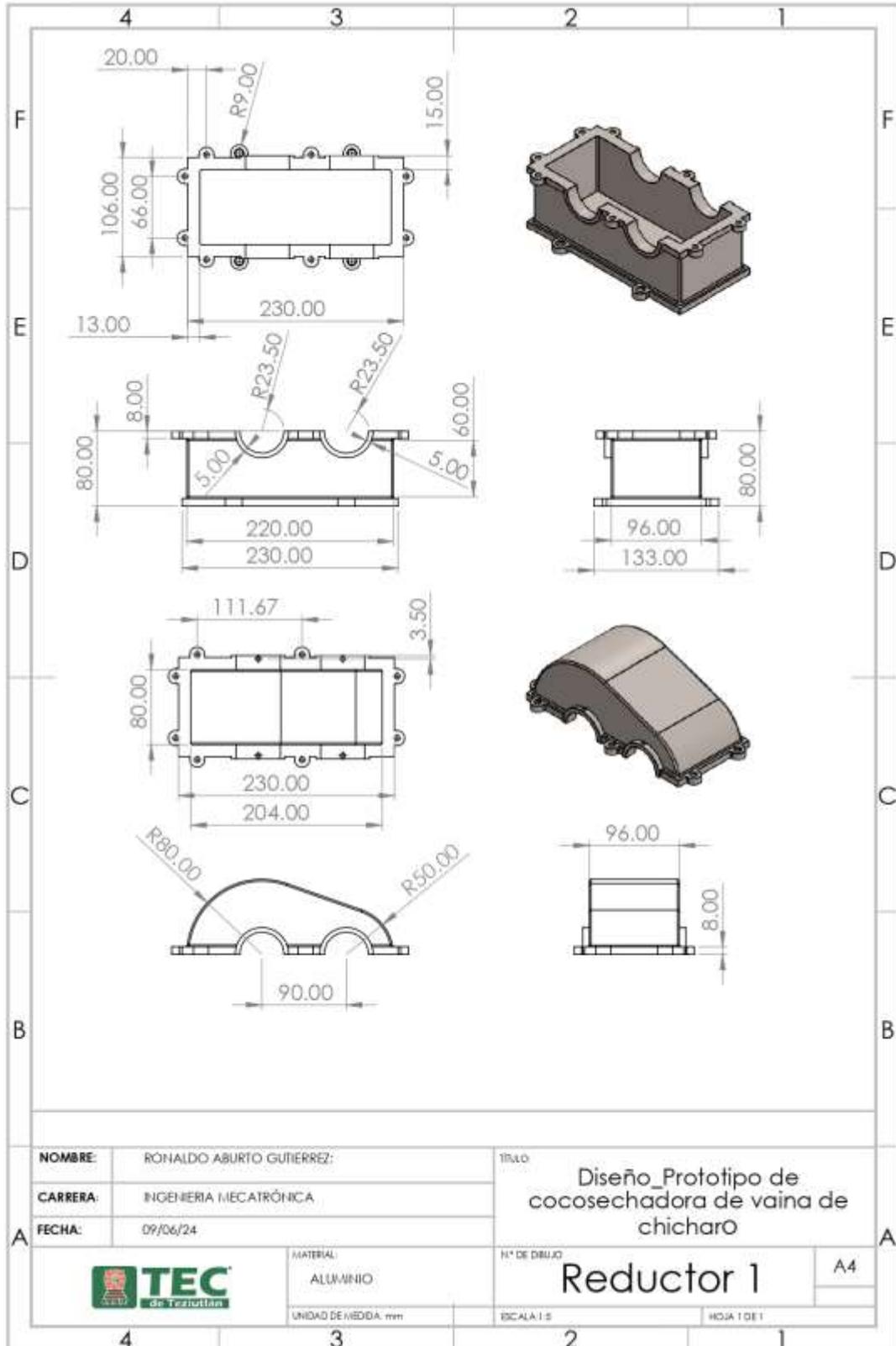
A	NOMBRE:	RONALDO ABURTO GUTIERREZ:	TÍTULO:	Diseño_Prototipo de cosechadora de vaina de chicharo	
	CARRERA:	INGENIERIA MECATRÓNICA	N° DE DIBUJO:	Estructura	A4
	FECHA:	09/06/24	ESCALA:	1:50	HOJA:
			MATERIAL:		
		UNIDAD DE MEDIDA:	mm		



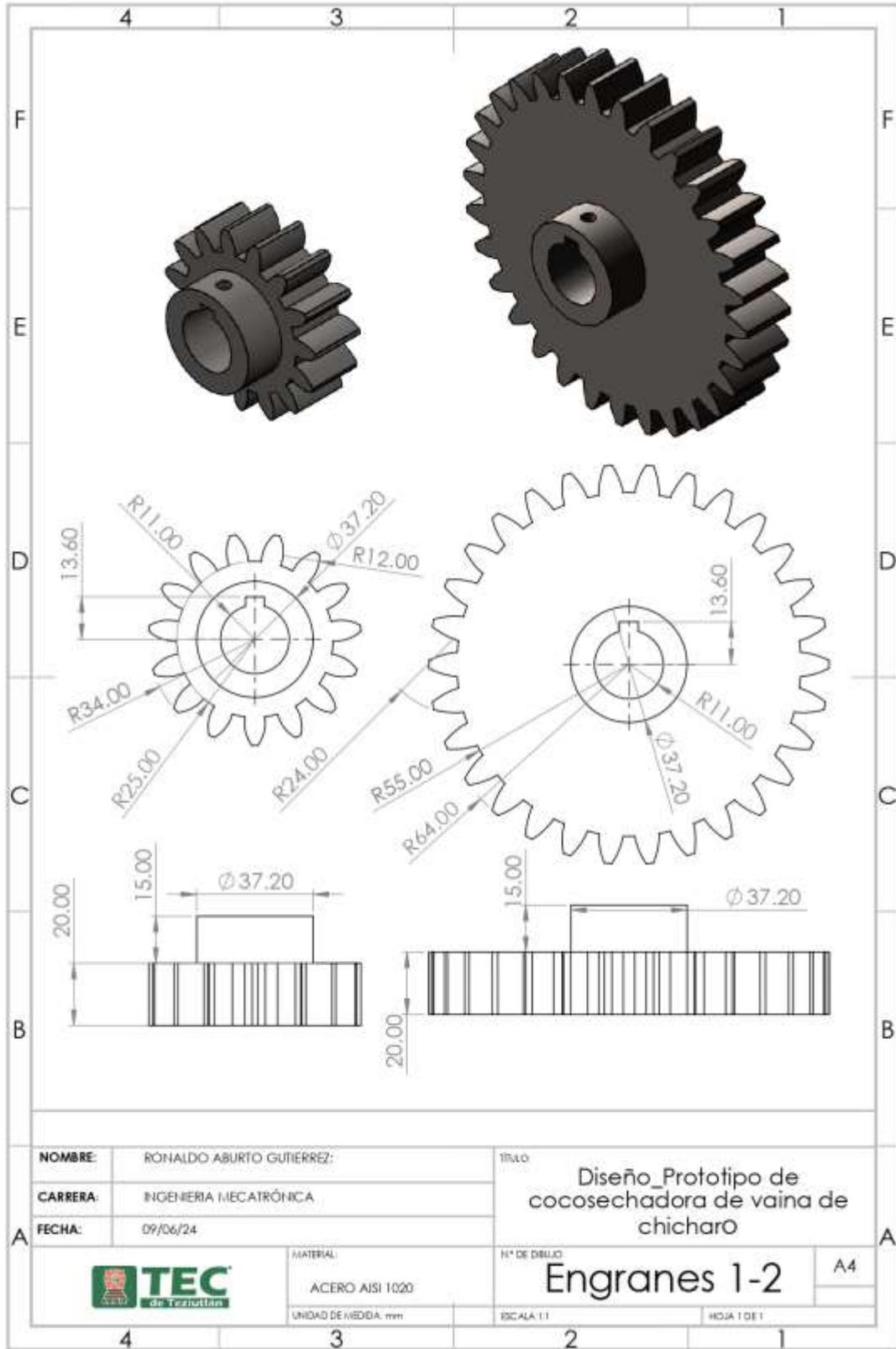


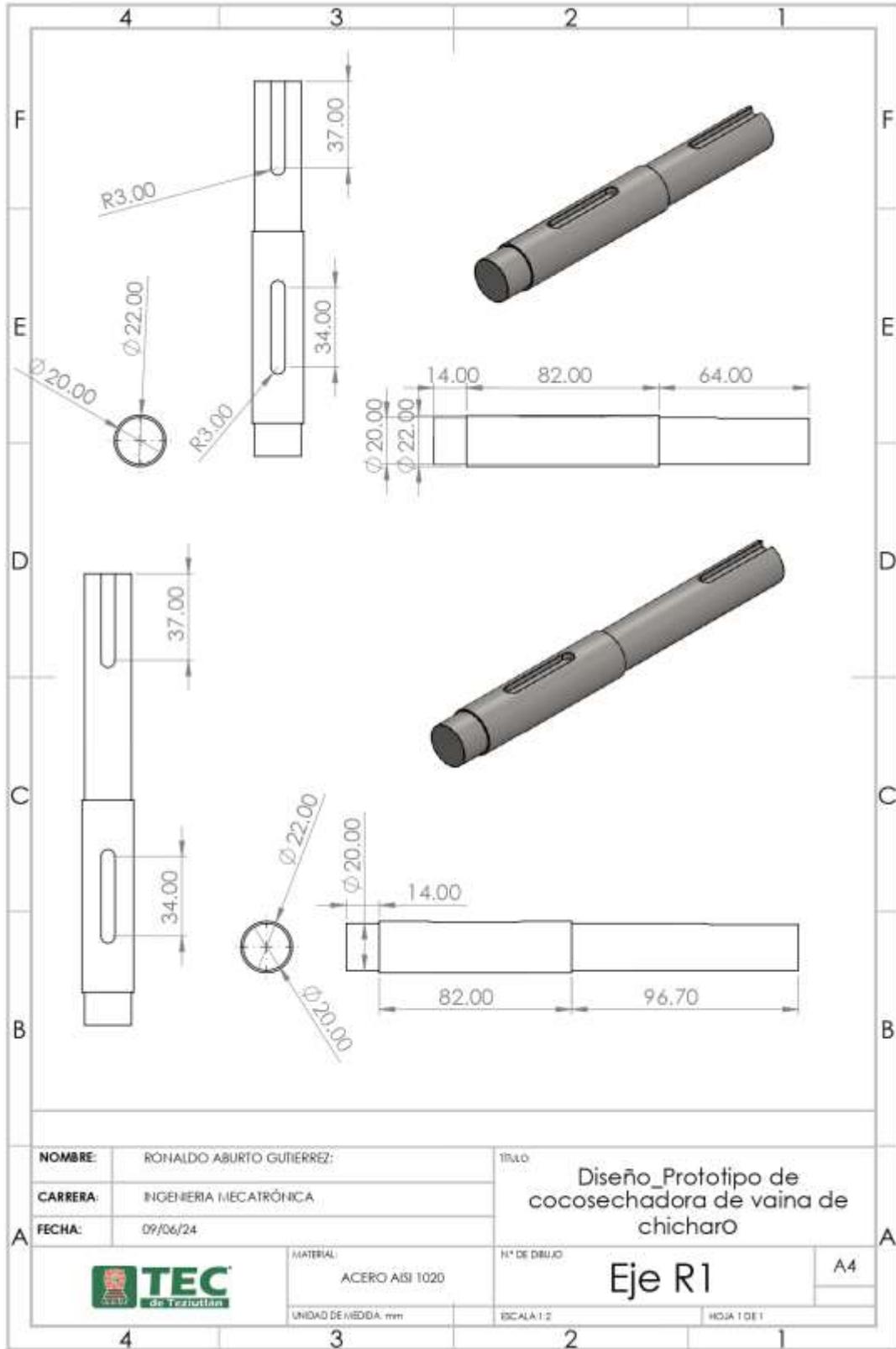
A	NOMBRE:	RONALDO ABURTO GUTIERREZ:	TÍTULO	Diseño_Prototipo de cosechadora de vaina de chicharo		
	CARRERA:	INGENIERIA MECATRÓNICA		N° DE DIBUJO	Cubiertas	
	FECHA:	09/06/24			A4	
		MATERIAL:	Lamina galvanizada	ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1	



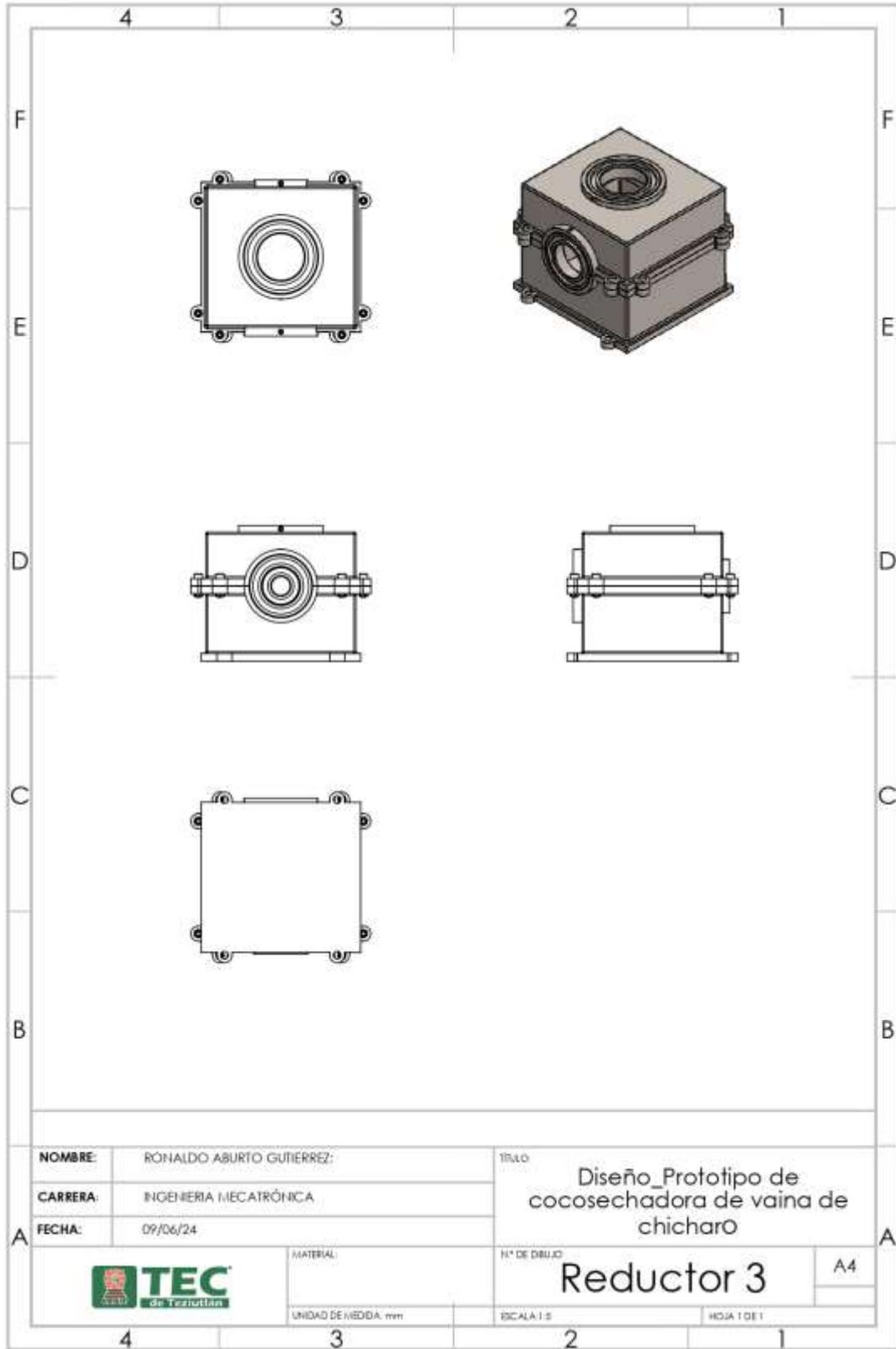


A	NOMBRE:	RONALDO ABURTO GUTIERREZ:	TÍTULO:	Diseño_Prototipo de cosechadora de vaina de chicharo	
	CARRERA:	INGENIERIA MECATRÓNICA			
	FECHA:	09/06/24			
			MATERIAL:	ALUMINIO	N° DE DIBUJO:
			UNIDAD DE MEDIDA:	mm	Reductor 1
					ESCALA: 1:1
					HOJA 1 DE 1

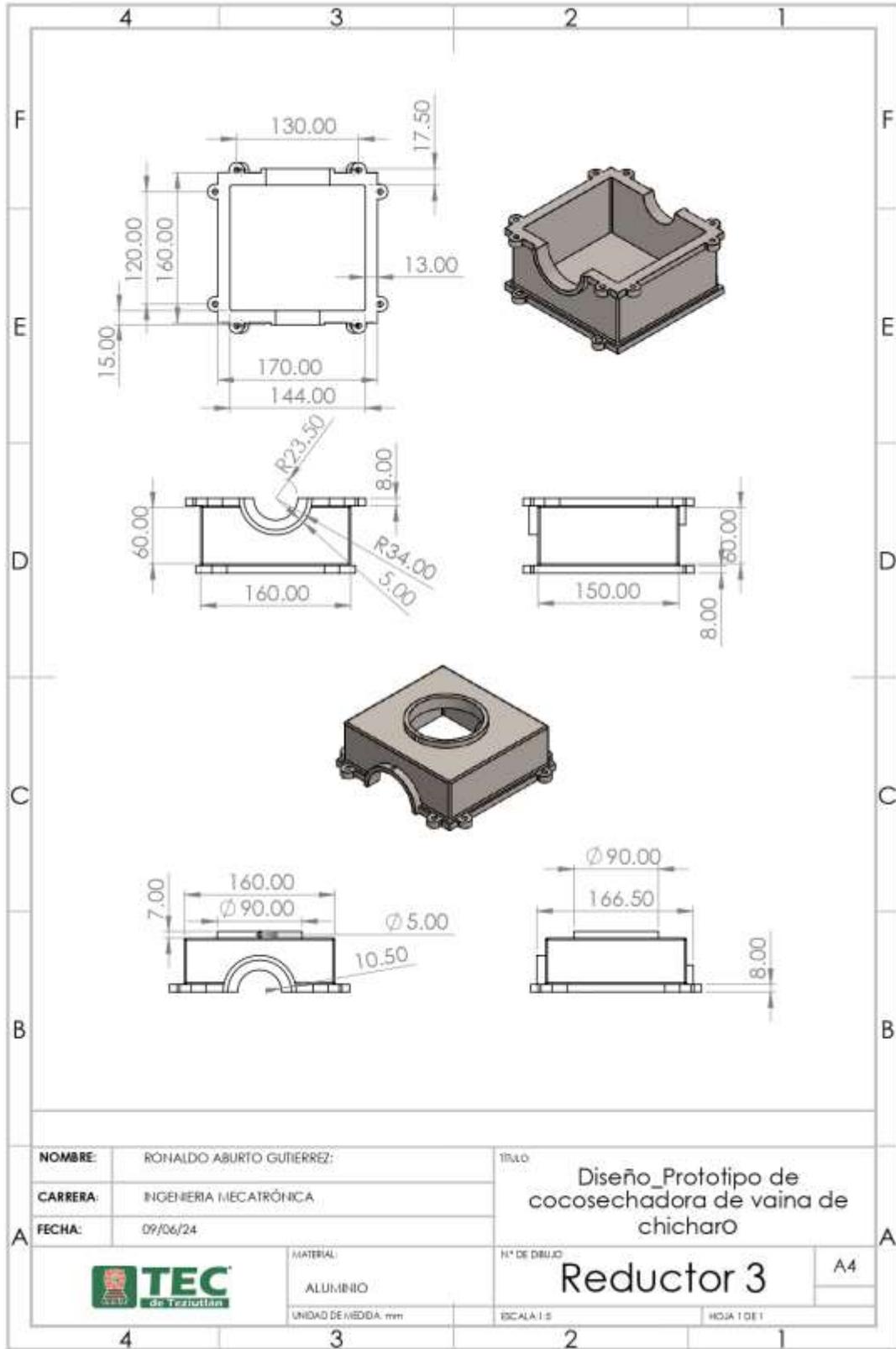


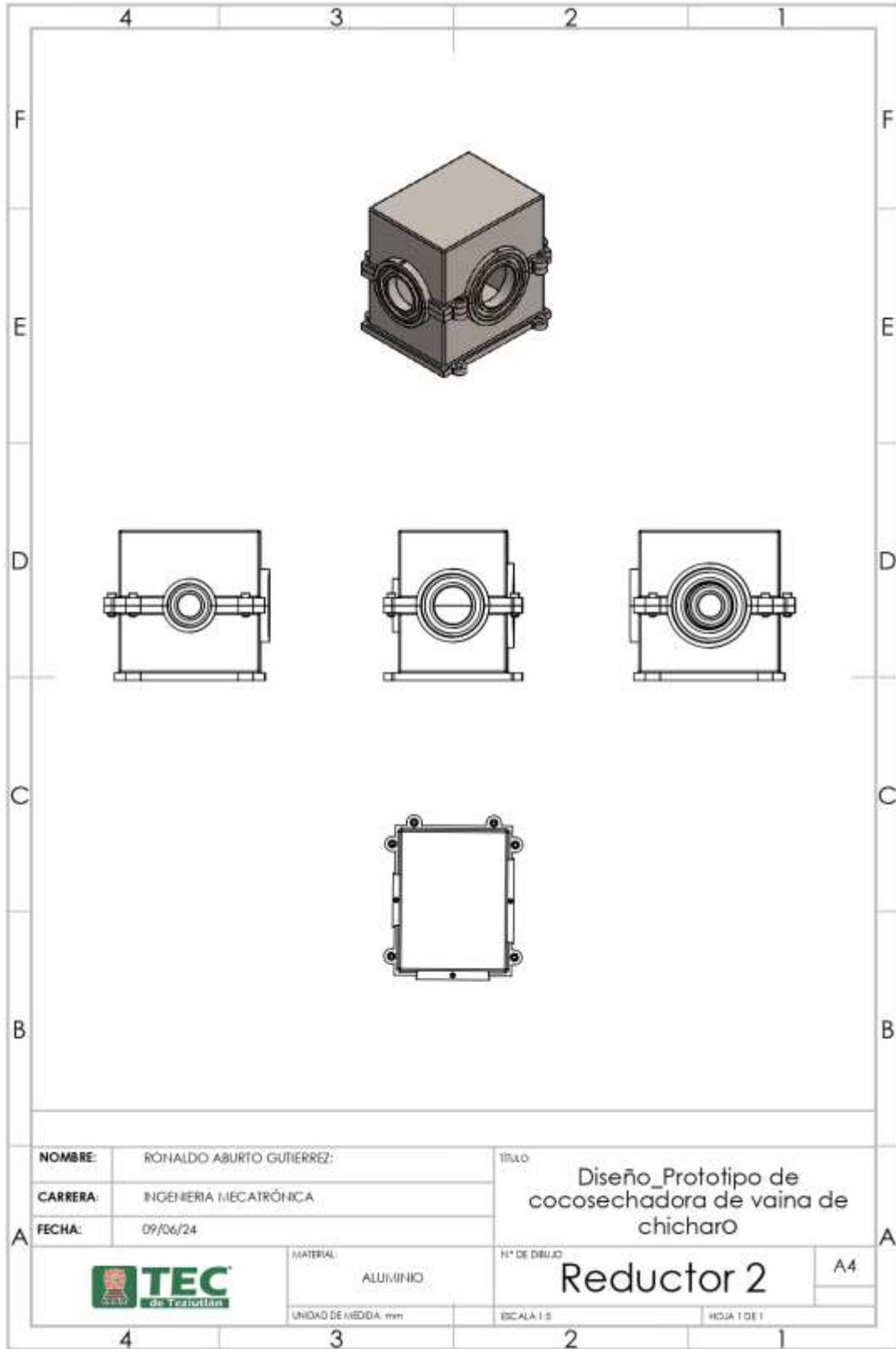


A	NOMBRE:	RONALDO ABURTO GUTIERREZ:	TÍTULO:	Diseño_Prototipo de cocosechadora de vaina de chicharo	
	CARRERA:	INGENIERIA MECATRÓNICA	N° DE DIBUJO:	Eje R1	A4
	FECHA:	09/06/24	UNIDAD DE MEDIDA:	mm	ESCALA:
		MATERIAL:	ACERO AISI 1020	HOJA:	1 DE 1

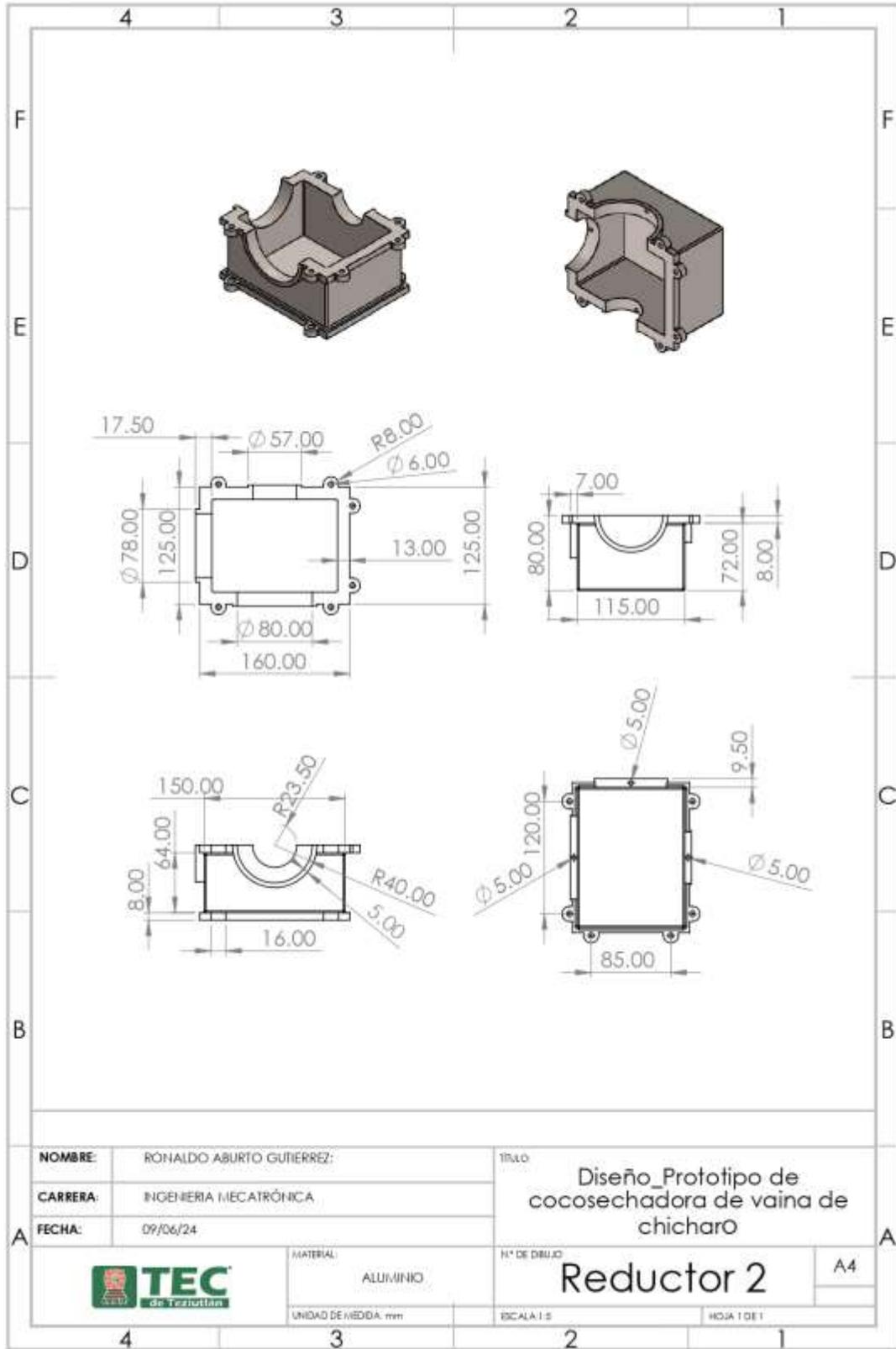


A	<b>NOMBRE:</b>	RONALDO ABURTO GUTIERREZ:	TÍTULO	Diseño_Prototipo de cosechadora de vaina de chicharo		A
	<b>CARRERA:</b>	INGENIERIA MECATRÓNICA		N° DE DIBUJO	Reductor 3	
	<b>FECHA:</b>	09/06/24				
		<b>MATERIAL:</b>				
		<b>UNIDAD DE MEDIDA:</b> mm	<b>ESCALA:</b> 1:1	<b>HOJA:</b> 1 DE 1		

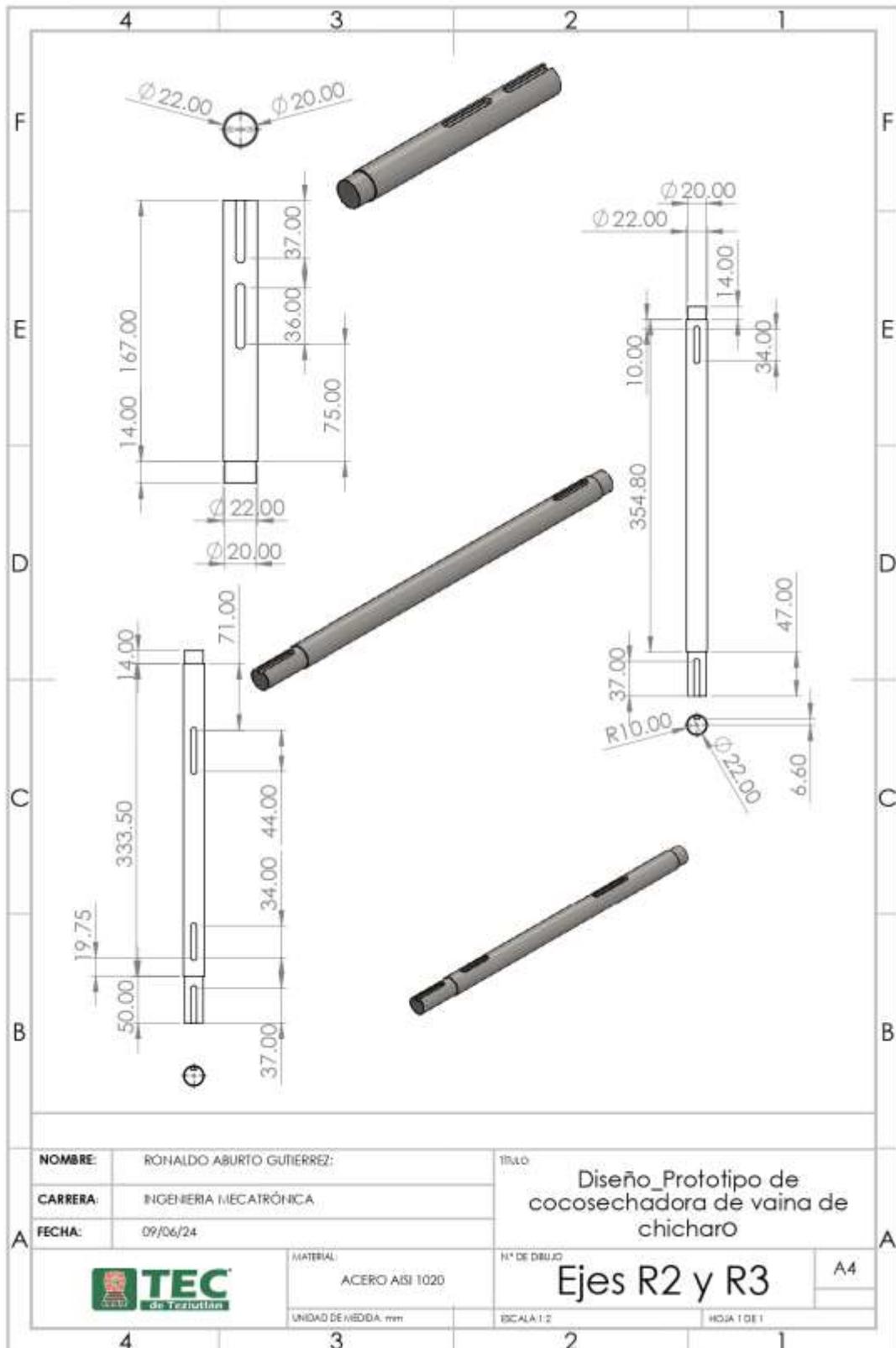




A	NOMBRE:	RONALDO ABURTO GUTIERREZ:	TÍTULO:	Diseño_Prototipo de cosechadora de vaina de chicharo	
	CARRERA:	INGENIERIA MECATRÓNICA	N° DE DIBUJO:	Reductor 2	A4
	FECHA:	09/06/24	ESCALA:	1:1	HOJA 1 DE 1



a



# Anexo 12. Asignación de Asesor(a), Comisión revisora, Entrega de Trabajo Profesional y Dictamen.

  Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

"2024, año del Libro y la Lectura".

Asunto: **Asignación de Asesor(a), Comisión Revisora, Entrega de Trabajo Profesional y Dictamen**

Teziutlán, Puebla, **08/septiembre/2024**

Asesor(a): **GABRIEL ANGEL RAMIREZ VICENTE**  
Integrante de Comisión Revisora: **ALFREDO CARRASCO ARAOZ**  
Integrante de Comisión Revisora: **LUIS MANUEL GARCIA MARTINEZ**  
Presentes

Por este medio me permito informar que ha sido asignado como asesor(a) y comisión revisora del trabajo profesional que se convertirá en Tesis de:

Alumno (a): **ABURTO GUTIERREZ RONALDO**  
Apellido paterno/materno/nombre (s)

Número de Control: **19TE0437** Licenciatura o Posgrado: **INGENIERIA MECATRONICA**

Plant: **2010** Correo Electrónico: **L19TE0437@TEZIUTLAN.TECNM.MX**

Cuyo tema es: **DISEÑO Y SIMULACION DE MECANISMO RECOLECTOR DE VAINAS DE CHICHARO EN SEMBRADIOS AGRICOLAS A CIELO ABIERTO**

25 palabras (máximo)

Se ha enviado a su correo institucional el trabajo profesional o de grado, por lo cual la comisión revisora tendrá 5 días hábiles para realizar las observaciones al alumnado, el(la) interesado(a) tendrá igualmente **5 días** para corregir y las enviará al correo electrónico institucional de la comisión revisora, agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de licenciatura o de posgrado de nuestro alumnado egresado.

**Dictamen de Comisión Revisora, Aprobación de Impresión o Grabación y Autorización para subirla al Repositorio del TecNM**

Siendo el día: 20 de septiembre de 2024 se reunieron los miembros de la comisión para revisar el trabajo asignado y una vez analizado se decidió liberarlo y aprobarlo para su grabación y programación de examen profesional.

**GABRIEL ANGEL RAMIREZ VICENTE**  
Nombre y Firma de la Asesoría

**ALFREDO CARRASCO ARAOZ**  
Nombre y Firma de integrante de la Comisión Revisora

**LUIS MANUEL GARCIA MARTINEZ**  
Nombre y Firma de integrante de la Comisión Revisora

**MYRIAM SANCHEZ PEREZ**  
Subdirección Académica

RO8/06/2023

 **INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN**  
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA

F-SAC-18

Fracción I y II s/n Alre Libre, Teziutlán, Puebla, C.P. 73960 Tels. 231 311 4000 / 4001 / 4002 / 4003  
e-mail: itsteciutlan@hotmail.com | www.teziutlan.tecnm.mx

 **2024 Felipe Carrillo PUERTO**  
GOBIERNO DEL ESTADO DE PUEBLA

## Anexo 13. Licencia de uso

LICENCIA DE USO OTORGADA POR Ronaldo Aburto Gutiérrez, de nacionalidad mexicana, mayor de edad, con domicilio ubicado en la calle Fernando Montes de Oca, Colonia Heroico Colegio Militar en la ciudad de Teziutlán, Puebla, en mi calidad de titular de los derechos patrimoniales y morales y autor(a) de la tesis denominada "Diseño y simulación de mecanismo recolector de vainas de chicharo en sembradíos agrícolas a cielo abierto" en adelante "LA OBRA" quien para todos los fines del presente documento se denominará "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR", a favor del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán del Tecnológico Nacional de México, la cual se regirá por las cláusulas siguientes:

**PRIMERA –OBJETO:** "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR", mediante el presente documento otorga al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán del Tecnológico Nacional de México, licencia de uso gratuita e indefinida respecto de "LA OBRA", para almacenar, preservar, publicar, reproducir y/o divulgar la misma, con fines académicos, por cualquier medio en forma física y a través del repositorio institucional y del repositorio nacional, éste último consultable en la página: (<https://www.repositorionacionalcti.mx/>).

**SEGUNDA - TERRITORIO:** La presente licencia se otorga, de manera no exclusiva, sin limitación geográfica o territorial alguna, de manera gratuita e indefinida.

**TERCERA -ALCANCE:** La presente licencia contempla la autorización para formato uso de "LA OBRA" en cualquier formato o soporte material y se extiende a la utilización, de manera enunciativa más no limitativa a los siguientes medios: óptico, magnético, electrónico, virtual (en red), mensaje de datos o similar, conocido o por conocerse.

**CUARTA – EXCLUSIVIDAD:** La presente licencia de uso aquí establecida no implica exclusividad en favor del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán; por lo tanto, "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR" conserva los derechos patrimoniales y morales de "LA OBRA", objeto del presente documento.

**QUINTA – CRÉDITOS:** El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán y/o el Tecnológico Nacional de México reconoce que "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR" es el(la) único(a), primigenio(a) y perpetuo(a) titular de los derechos morales sobre "LA OBRA"; por lo tanto, siempre deberá otorgarle los créditos correspondientes por la autoría de la misma.

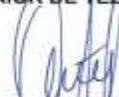
**SEXTA – AUTORÍA:** "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR" manifiesta ser el(la) único(a) titular de los derechos de autor que derivan de "LA OBRA" y declara que el material objeto del presente fue realizado por él(ella), sin violentar o usurpar derechos de propiedad intelectual de terceros; por lo tanto, en caso de controversia sobre los mismos, se obliga a ser el(la) único(a) responsable. Dado en la Ciudad de Teziutlán, Puebla, a los veintisiete días del mes de junio de dos mil veinticuatro.

"EL(LA) AUTOR(A) Y/O  
EL(LA) TITULAR",



Ronaldo Aburto Gutiérrez  
Nombre y Firma

"EL INSTITUTO TECNOLÓGICO  
SUPERIOR DE TEZIUTLÁN"



Jessica Leticia Domínguez Andrade  
Directora General  
Nombre, Firma y Sello



# Anexo 13. Carta de autorización del(la) autor(a) para la consulta y publicación electrónica del trabajo de investigación.

Tecnológico Nacional de México  
Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

## CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL(LA) AUTOR(A) PARA LA CONSULTA Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El que suscribe:

**RONALDO**

**ABURTO**

**GUTIÉRREZ**

Con Número de Control **19TE0437**

Pertenciente al Programa Educativo **INGENIERÍA MECATRÓNICA**

Por este conducto me permito informar que he dado mi autorización para la consulta y publicación electrónica del trabajo de investigación en los repositorios académicos.

Registrado con el producto: **TESIS**

Cuyo Tema es:

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE MECANISMO RECOLECTOR DE VAINAS DE CHÍCHARO EN SEMBRADÍOS AGRÍCOLAS A CIELO ABIERTO**

Correspondiente al periodo:

**ENERO-JUNIO 2024**

Y cuyo(a) director(a) de tesis es:

**M.S.C GABRIEL ÁNGEL RAMÍREZ VICENTE**

ATENTAMENTE

RONALDO ABURTO GUTIÉRREZ

Nombre y firma

Fecha de emisión: **27 DE JUNIO DE 2024**  
c.c.p. Subdirección Académica