

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA AVANZADA DE MANUFACTURA

**DISEÑO Y MANUFACTURA DEL PROTOTIPO DE UN SISTEMA
DE TRANSMISIÓN INTERCAMBIABLE ENTRE UNA PICADORA
DE FORRAJE Y UNA DESGRANADORA DE MAÍZ**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN TECNOLOGÍA AVANZADA DE MANUFACTURA

PRESENTA:

ING. ULISES JUÁREZ RUIZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ÁLVARO JESÚS MENDOZA JASSO

CODIRECTOR:

M.D.I. FERNANDO ITURBIDE JIMÉNEZ

HEROICA CIUDAD DE HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA, MÉXICO.

21 DE NOVIEMBRE DE 2025

Dedicatoria

A mi madre, Guadalupe Ruiz Bautista, por su amor incondicional, por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la honestidad, y la perseverancia. Gracias por cada sacrificio silencioso, por cada palabra de aliento y por nunca permitir que renunciara a mis sueños.

A mi padre, Aurelio Marcelo Juárez Vásquez, quien sigue presente en cada paso que doy y en cada meta alcanzada; su recuerdo me fortalece y me inspira.

A mis hermanas Montserrat Fernanda Juárez Ruiz y Sayuri Reyes Ruiz, por su compañía, paciencia y apoyo en los momentos más desafiantes. Dedicado también a mi sobrina Diana, por recordarme siempre la importancia de esforzarse y avanzar con el corazón lleno de ilusión.

A Iris, por su paciencia y apoyo incondicional durante este proceso.

A todos mis familiares y amigos, con amor, admiración y respeto.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios por la fortaleza, salud y por permitirme culminar una etapa más de mi vida.

A mi madre, por su motivación, comprensión y apoyo incondicional en los momentos más difíciles, por confiar y respaldar cada una de mis decisiones. A mis hermanas Fernanda y Sayuri, y a mi sobrina Diana, gracias por su apoyo, paciencia y motivación permanente.

A Iris, por su comprensión infinita, apoyo incondicional y siempre acompañarme firmemente en cada paso de este camino. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles, y recordarme siempre lo que soy capaz de lograr.

Al Dr. Álvaro Jesús Mendoza Jasso, quien dirigió este trabajo de tesis y al M.D.I. Fernando Iturbide Jiménez, por el tiempo, consejos y seguimiento brindado para la elaboración de este proyecto. De igual forma, a mis sinodales: Dra. Orquídea Sánchez López, Dr. Ignacio Hernández Castillo, M.C. Moisés Manzano Herrera y al Dr. Fermín Hugo Ramírez Leyva, así como al Dr. Salvador Montesinos González por los consejos y conocimientos compartidos.

A mis compañeros y amigos, por los buenos momentos, el apoyo, los consejos y las experiencias inolvidables que hicieron este recorrido más ligero y significativo.

A mis docentes de la maestría, por compartir su conocimiento, por su guía académica y orientación constante durante este proceso. Gracias por su dedicación, exigencia y profesionalismo, que enriquecieron profundamente mi formación.

Agradezco profundamente a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo económico brindado mediante la beca otorgada, misma que hizo posible mi formación de posgrado y el desarrollo de este proyecto. Gracias por confiar en mi potencial y por impulsar la investigación y el desarrollo profesional en nuestra región.

Finalmente, a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la culminación de este logro académico, mi más sincera gratitud.

Ulises Juárez Ruiz

Noviembre 2025

Resumen

El presente trabajo de tesis tuvo como objetivo desarrollar el prototipo de un sistema de transmisión intercambiable que permita acoplar una sola fuente de potencia (motor de combustión interna) a dos máquinas agrícolas estacionarias (picadora de forraje y desgranadora de maíz). Estas máquinas son empleadas comúnmente por agricultores y veterinarios pertenecientes a la región de la Mixteca Alta del estado de Oaxaca, según las necesidades identificadas en la región por la brigada de promoción al desarrollo de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

La falta de herramientas y maquinaria estacionaria para la producción agrícola a pequeña y mediana escala dificulta el desarrollo de actividades cotidianas como lo son: la cosecha de maíz, el picado de granos y forraje para alimentar ganado propio o ventas en pequeños volúmenes. Las máquinas identificadas en este trabajo de investigación son las más empleadas en la región y presentan características similares de funcionamiento, además de no emplearse simultáneamente. Esta situación favorece el uso de una sola fuente de potencia para estas. Con este fin, al acoplar el prototipo desarrollado al motor de combustión interna, se compensa la potencia (velocidad) de funcionamiento necesaria en cada caso. De esta manera se reducen los costos derivados de la adquisición de sendas fuentes de potencia.

El desarrollo del prototipo se realizó utilizando los herramientas y maquinaria disponibles en los talleres y laboratorios de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, así como la selección de materiales y componentes disponibles en la región. Los resultados demostraron que el sistema cumple con los requerimientos planteados, constituyendo una alternativa viable para optimizar el aprovechamiento de recursos en comunidades rurales.

Índice general

Índice de figuras	XII
Índice de tablas	XVIII
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Estado del arte.....	2
1.1.1. Agronomía y agricultura	2
1.1.2. Origen y evolución de la maquinaria agrícola.....	3
1.1.3. Desgranadora de Maíz.....	4
1.1.4. Picadora de Forraje.....	5
1.1.5. Sistema de transmisión	6
1.2. Planteamiento del problema	7
1.3. Justificación	8
1.4. Hipótesis	9
1.5. Objetivos.....	9
1.5.1. Objetivo general	9
1.5.2. Objetivos específicos.....	10
1.6. Metas.....	10
1.7. Limitaciones de la tesis.....	11
1.8. Metodología.....	12
Capítulo 2. Marco teórico	15
2.1. Diseño de elementos de máquinas	15
2.2. Transmisión de potencia	16
2.2.1. Tipos de transmisiones	16
2.2.1.1. Trenes de engranes	16
2.2.1.2. Bandas.....	18
2.2.1.3. Cadenas	19
2.2.1.4. Cardán.....	20
2.3. Elementos mecánicos empleados en sistemas de transmisión de potencia	20
2.3.1. Ejes y flechas.....	20

2.3.2. Cojinetes	21
2.3.3. Cuñas, pasadores y prisioneros	23
2.3.4. Anillos de retención y escalones	24
2.4. Procesos de manufactura	25
2.4.1. Operaciones de proceso	27
2.4.2. Operaciones de ensamble	30
2.5. Despliegue de la función de calidad	31
Capítulo 3. Desarrollo de la metodología	35
3.1. Fase 0: Planeación	35
3.2. Fase 1: Desarrollo del concepto	36
3.2.1. Identificación de las necesidades del cliente	36
3.2.2. Establecer especificaciones del producto	40
3.2.3. Generación de conceptos del producto	43
3.2.4. Selección del concepto del producto	46
3.3. Fase 2: Diseño en el nivel sistema	48
3.3.1. Definición de la arquitectura del producto	48
3.3.1. Identificación de subsistemas y componentes	49
3.3.2. Función de los subsistemas y componentes	50
3.3.3. Esquema preliminar del ensamble final	52
3.4. Fase 3: Diseño a detalle	53
3.4.1. Selección y definición de materiales	54
3.4.2. Análisis Modal de Efectos y Fallos	57
3.4.3. Definición de la geometría	58
3.4.4. Esquema del proceso de fabricación	59
3.4.5. Modelado tridimensional del sistema	60
3.4.6. Documentación técnica mediante planos generados en SolidWorks	61
3.4.7. Integración del sistema de transmisión con las máquinas agrícolas estacionarias ...	63
3.5. Fase 4: Pruebas y refinamiento	64
3.5.1. Análisis de elementos finitos	64
3.5.2. Refinamiento del sistema	68
3.5.3. Planeación para la manufactura del prototipo	69

3.5.3.1. Hojas de ruta de los componentes	69
3.5.3.2. Hojas de operaciones	72
3.5.3.3. Adquisición de materiales.....	74
3.5.4. Manufactura del prototipo	76
Capítulo 4. Resultados	83
4.1. Ensamble del sistema de transmisión como prototipo final	83
4.2. Análisis de costos	86
4.3. Pruebas.....	87
4.4. Validación.....	88
Capítulo 5. Conclusiones	89
5.1. Trabajos futuros	90
Bibliografía.....	91
Apéndice A. Encuesta.....	95
Apéndice B. Matriz de necesidades-métricas.....	97
Apéndice C. Casa de la calidad simplificada	98
Apéndice D. Definición de engranes, chumaceras, cuñas y eje	99
Apéndice E. Diagrama de Operaciones del Proceso	113
Apéndice F. Planos técnicos.....	114
Apéndice G. Parámetros de maquinado	123

Índice de figuras

Figura 1.1. Evolución de la maquinaria agrícola [5].	4
Figura 1.2. Partes de la mazorca de maíz [6].	4
Figura 1.3. Desgranadora de maíz marca Rayken modelo RKDM1800 [8].	5
Figura 1.4. Desgranadora de maíz marca Antarix modelo 1800 [9].	5
Figura 1.5. Picadora de forraje marca Raiken modelo RKP1800-RE65 [8].	6
Figura 1.6. Picadora de forraje marca Antarix modelo THCF1800K6 [9].	6
Figura 1.7. Componentes comunes en un sistema de transmisión de potencia [12].	7
Figura 1.8. Metodología para el diseño y desarrollo de productos [13].	12
Figura 2.1. Tractor como equipo agrícola [18].	16
Figura 2.2. Máquina de ensamblado automático para componentes automotrices [18].	16
Figura 2.3. Engrane recto con ranura para cuña [19].	17
Figura 2.4. Engranajes helicoidales [19].	17
Figura 2.5. Engranajes cónicos acoplados [19].	17
Figura 2.6. Engranaje de tornillo sin fin [10].	18
Figura 2.7. Tipos de bandas: a) dentada, b) en V simple y c) en V múltiple [21].	18
Figura 2.8. Cadena de rodillos y eslabones [20].	19
Figura 2.9. Transmisión por cadena [23].	19
Figura 2.10. Cardán conectado a dos ejes paralelos [20].	20
Figura 2.11. Métodos de sujeción para elementos giratorios en ejes [10].	21
Figura 2.12. Elementos para transmisión de potencia y sujeción en ejes [23].	21
Figura 2.13. Eje estacionario [10].	22
Figura 2.14. Cojinete de una hilera de bolas con ranura Honda [19].	22
Figura 2.15. Cojinete con pestaña acoplado a chumacera: a) chumacera de piso y b) chumacera de brida [10].	22
Figura 2.16. a) Montaje y sujeción entre eje con engrane y b) cuñas comerciales [19].	23
Figura 2.17. Pasadores: a) cilíndrico, b) cónico y c) de resorte [19].	23
Figura 2.18. Prisioneros aplicados entre un engrane y un eje [19].	24
Figura 2.19. Anillos de retención y su aplicación: a) externo y b) interno [20].	25
Figura 2.20. Eje escalonado con chaflán, redondeo y ranura [11].	25

Figura 2.21. Ámbitos de la manufactura: a) tecnológico y b) económico [24].	26
Figura 2.22. Clasificación de los procesos de manufactura [25].	26
Figura 2.23. Procesos de fundición [26].	28
Figura 2.24. Procesos de formado de hojas metálicas [26].	28
Figura 2.25. Procesos de deformación volumétrica [26].	29
Figura 2.26. Métodos de procesamiento de polímeros [26].	29
Figura 2.27. Procesos de maquinado y acabado [26].	30
Figura 2.28. Procesos de unión [26].	31
Figura 2.29. Uniones comúnmente empleadas en soldadura blanda [26].	31
Figura 2.30. Ejemplo de la primera casa de la calidad para la puerta de un automóvil [28].	33
Figura 3.1. Pasos fundamentales para el desarrollo del concepto [13].	36
Figura 3.2. Descomposición del problema.	44
Figura 3.3. Concepto del sistema de transmisión de potencia mixto.	47
Figura 3.4. Bosquejo del sistema de transmisión.	48
Figura 3.5. Disposición geométrica aproximada del sistema de transmisión mixto.	48
Figura 3.6. Esquema de funcionamiento y ubicación del sistema de transmisión.	49
Figura 3.7. Vista explosionada e identificación en trozos (subsistemas) del producto (Figura 3.5).	49
Figura 3.8. Subsistemas y componentes del sistema.	50
Figura 3.9. Diagrama de flujo para el ensamble final del sistema de transmisión.	52
Figura 3.10. Dibujos y gráfica de ensamble preliminar para el sistema de transmisión.	53
Figura 3.11. DOP para la fabricación del sistema de transmisión propuesto.	59
Figura 3.12. Asa fabricada con solera de 1/8" x 3/4".	60
Figura 3.13. Carcasa como parte de la tapa.	60
Figura 3.14. Engrane recto con 50 dientes.	60
Figura 3.15. Engrane recto con 25 dientes.	60
Figura 3.16. Eje escalonado y con cuñeros para engrane y polea.	60
Figura 3.17. Chumacera de piso 3/4".	60
Figura 3.18. Base fabricada con placa de 1/8".	60
Figura 3.19. Soporte (calza).	60
Figura 3.20. Ensamble del sistema de transmisión.	61

Figura 3.21. Formato de hoja para la documentación de los planos técnicos.	62
Figura 3.22. Plano general del sistema de transmisión.	62
Figura 3.23. Vista superior del montaje de la picadora de forraje con su acople original, sin requerir el sistema de transmisión.	63
Figura 3.24. Vista superior del montaje de la desgranadora de maíz, acoplada al sistema de transmisión y motor de combustión interna.	63
Figura 3.25. Definición de la geometría del eje y material.	64
Figura 3.26. Definición de restricciones de frontera (fuerzas y sujeciones que inciden sobre el eje).	65
Figura 3.27. Definición de mallado y selección de variables de interés (tensiones y deformaciones).	65
Figura 3.28. Tensión máxima del eje 4.99×10^7 N/m ²	66
Figura 3.29. Desplazamiento máximo del eje (0.0258 mm).	66
Figura 3.30. Deformación unitaria del eje (0.0001726).	67
Figura 3.31. Factor de seguridad mínimo (FDS = 11).	67
Figura 3.32. Ubicación original de asas en el sistema de transmisión.	68
Figura 3.33. Reubicación de asas en el sistema de transmisión.	68
Figura 3.34. Preparación de placa para doblado: a) rectificación, b) canales en V y c) corte de excesos.	77
Figura 3.35. Manufactura de la base: a) doblado y soldado, b) barrenado y c) acabado final.	77
Figura 3.36. Manufactura de los soportes: a) corte, b) barrenado y c) acabado final.	78
Figura 3.37. Manufactura del eje: a) montaje y rectificación, b) escalonamiento y c) verificación de diámetros.	79
Figura 3.38. Maquinado de cuñeros en ejes: a) centrado de eje, b) maquinado de cuñeros y c) ejes con cuñeros.	79
Figura 3.39. Preparación en torno para dentado de engranes: a) desbaste, barrenado y cuñeros, b) barrenado y roscado con machuelo para opresores y c) montaje de redondos en los ejes para dentado de engranes.	80
Figura 3.40. Dentado de engranes: a) centrado del material y cortador, b) maquinado de dientes y c) engranes maquinados.	80

Figura 3.41. Fabricación de carcasa: a) corte de lámina, b) doblado de lámina y c) soldadura por puntos.	81
Figura 3.42. Fabricación de carcasa: a) barrenado y corte de lámina, b) montaje de seguros y c) acabado final.....	81
Figura 3.43. Manufactura de asas: a) corte y doblado, b) barrenado y c) acabado final,	82
Figura 4.1. Piezas y/o componentes para ensamble del sistema de transmisión.	83
Figura 4.2. Herramientas convencionales necesarias para el ensamble del sistema de transmisión.	83
Figura 4.3. Dibujos y gráfica del ensamble final para el sistema de transmisión.	84
Figura 4.4. a) Ensamble de la base y b) subensamble de ejes.	84
Figura 4.5. a) Ensamble de los ejes a la base y b) ensamble final.....	85
Figura 4.6. a) Sistema de transmisión sin tapa y b) sistema de transmisión con tapa.	85
Figura 4.7. Comparación de costos entre un motor Husky y el prototipo del sistema de transmisión propuesto.....	86
Figura 4.8. a) Montaje y acople del sistema de transmisión al motor eléctrico y b) tacómetro rpm.....	87
Figura 4.9. a) Velocidad en el eje de entrada 191.2 rpm y b) velocidad en el eje de salida 382.5 rpm.....	87
Figura 4.10. Peso total del prototipo de transmisión fabricado: 10.600 kg.....	87
Figura A. Matriz de necesidades-métricas para este trabajo de tesis.	97
Figura B. Desarrollo de la primera casa de la calidad simplificada (matriz de relaciones y correlación entre características del cliente y características del producto) como herramienta para identificar y priorizar los parámetros de diseño más relevantes.....	98
Figura C. Distribución y dimensiones del sistema de transmisión.....	100
Figura D. Nomenclatura para los dientes de engranes rectos [10], [20].	101
Figura E. Configuración preliminar del eje y dimensionamiento.	104
Figura F. Diagrama de fuerzas ejercidas sobre el eje.	105
Figura G. Características y medidas de la chumacera de piso de 3/4" [35].	111
Figura H. Diagrama de operaciones del proceso para el sistema de transmisión propuesto...	113
Figura I. Plano general del sistema de transmisión.	114

Figura J. Plano técnico del “engrane recto 1 (grande)”.....	115
Figura K. Plano técnico "engrane recto 2 (pequeño)"......	116
Figura L. Plano técnico y especificaciones del eje.....	117
Figura M. Plano técnico de base fabricada con placa.	118
Figura N. Plano técnico de soportes (calzas).....	119
Figura O. Plano técnico de la carcasa.	120
Figura P. Plano técnico de la carcasa (lámina desplegada).	121
Figura Q. Plano técnico para asa.	122

Índice de tablas

Tabla 2.1. Características de los tipos de bandas existentes [20].	19
Tabla 2.2. Clasificación y descripción de los cojinetes [10].	22
Tabla 3.1. Declaración de la misión del proyecto [13].	35
Tabla 3.2. Respuestas de funcionalidad e importancia del sistema propuesto en este trabajo de investigación como solución a la problemática encontrada.	37
Tabla 3.3. Respuestas sobre necesidades y equipo con que cuentan los médicos veterinarios para picar forraje.	38
Tabla 3.4. Respuestas sobre necesidades y equipo con que cuentan los médicos veterinarios para desgranar maíz.	39
Tabla 3.5. Interpretación de las necesidades del cliente y su importancia relativa.	40
Tabla 3.6. Información de la competencia (máquinas desgranadoras de maíz y picadoras de forraje comerciales).	41
Tabla 3.7. Lista de métricas para el sistema de transmisión de potencia, donde un valor igual o cercano a 1 no es tan importante como el que es igual o cercano a 5.	42
Tabla 3.8. Lista de especificaciones objetivo.	43
Tabla 3.9. Combinación de concepto para el sistema de transmisión de potencia.	45
Tabla 3.10. Combinación de concepto para el sistema de transmisión de potencia por medio de poleas y bandas.	45
Tabla 3.11. Combinación de concepto para el sistema de transmisión de potencia, por medio de ejes, engranes y cuñas.	45
Tabla 3.12. Combinación de concepto para el sistema de transmisión de potencia mixto.	46
Tabla 3.13. Matriz de selección de conceptos.	46
Tabla 3.14. Función del prototipo del sistema de transmisión.	50
Tabla 3.15. Función de los subsistemas.	51
Tabla 3.16. Función de los componentes.	51
Tabla 3.17. Identificación y definición de componentes: fabricados y comprados.	55
Tabla 3.18. Lista de materiales para los componentes y características.	56
Tabla 3.19. AMEF de diseño para el sistema de transmisión.	57

Tabla 3.20. Lista de partes y código de identificación para cada parte según la Figura 3.10. ...	69
Tabla 3.21. Hoja de ruta No. 1 (Base).....	70
Tabla 3.22. Hoja de ruta No. 2 (Soportes).....	70
Tabla 3.23. Hoja de ruta No. 3 (Asa).....	70
Tabla 3.24. Hoja de ruta No. 4 (Ejes).....	71
Tabla 3.25. Hoja de ruta No. 5 (Engranajes).....	71
Tabla 3.26. Hoja de ruta No. 6 (Carcasa).	71
Tabla 3.27. Hoja de operación B01 (Base).....	72
Tabla 3.28. Hoja de operación B02 (Base).....	72
Tabla 3.29. Hoja de operación B03 (Base).....	73
Tabla 3.30. Hoja de operación B04 (Base).....	73
Tabla 3.31. Hoja de operación B05 (Base).....	73
Tabla 3.32. Hoja de operación B06 (Base).....	74
Tabla 3.33. Hoja de operación B07 (Base).....	74
Tabla 3.34. Hoja de operación B08 (Base).....	74
Tabla 3.35. Costos de partes y/o componentes adquiridos para la fabricación del sistema de transmisión.	75
Tabla 3.36. Costos de herramientas y/o consumibles necesarios para la fabricación del sistema de transmisión.....	76
Tabla 4.1. Validación de las especificaciones objetivo, definidas en la sección 3.2.2.....	88
Tabla A. Características de funcionamiento del motor Husky RLM650M 6.5 hp.....	99
Tabla B. Diagramas de carga cortante y flexionante para la Figura F.	106
Tabla C. Tamaño nominal y estándar de las cuñas en función del diámetro del eje [19].	112
Tabla D. Parámetros, valores típicos y consideraciones para el torno paralelo.	123
Tabla E. Parámetros, valores típicos y consideraciones para fresado (horizontal y vertical).	123
Tabla F. Parámetros, valores típicos y consideraciones para Soldadura (SMAW, MIG/MAG, TIG).	124

1. Introducción

La agricultura se define como el conjunto de técnicas y conocimientos relativos al cultivo [1], por lo que, se puede interpretar como toda actividad relacionada al procesamiento de cultivo y/o cosecha mediante herramientas y maquinaria agrícola especializada. Esta es de suma importancia para los seres humanos, ya que contribuye mayormente a la producción de alimentos, fibras y demás bienes y servicios ecológicos esenciales [2].

El origen de la maquinaria agrícola se remonta hasta el primer momento en que el hombre se enfrentó a los trabajos de campo, esto al tener que idear herramientas de trabajo con los materiales disponibles a su alcance, con el objetivo de romper la cohesión del suelo y así prepararlo para la siembra. Las primeras herramientas creadas por el hombre fueron muy simples, ya que estaban conformadas principalmente por palos, piedras y se sujetaban con cuerdas, estas herramientas cumplían con tareas prioritarias como: cavar, deshierbar, suavizar el terreno, sembrar y cosechar, hasta llegar a las máquinas que conocemos hoy en día como: tractores, desgranadoras, picadoras de forraje, desbrozadoras, etc. [3].

Un estudio realizado por el Instituto Valenciano de la Exportación en el año 2006 evidenció que en México el 34% de la población se dedicaba al trabajo agrícola en terrenos pequeños, de estos el 85 % disponía de superficies de cultivo que no superan las cinco hectáreas, y dentro de este grupo, el 90 % trabajaba en terrenos menores a tres hectáreas. Este panorama resalta la necesidad de desarrollar maquinaria agrícola que sea compacta, ligera y accesible económicamente [4].

En la región de la Mixteca Alta del estado de Oaxaca existen agricultores que se dedican a la producción del cultivo de maíz y demás productos agrícolas a pequeña escala o como autoconsumo, por lo que, el adquirir maquinaria agrícola estacionaria para estas actividades es un obstáculo debido a los elevados costos que esto implica. Analizando estas situaciones se identificaron dos máquinas comunes y necesarias que son las desgranadoras de maíz y las

picadoras de forraje, por otra parte, se observó que estas no funcionan simultáneamente, es decir, dependiendo del tipo de cosecha u operación a realizar estas pueden estar en funcionamiento o no, ya que cumplen con propósitos diferentes. Por lo anterior, en este trabajo de tesis se planteó realizar el análisis de los diversos tipos de transmisión existentes para diseñar un sistema que permita simplificar la fuente de potencia a una sola, donde esta sea intercambiable mediante un sistema de desmontado fácil y ergonómico, para adaptarse a estas máquinas y así poder comparar los sistemas existentes con el propuesto.

Por lo anterior, y con la finalidad de emplear diversas herramientas disponibles en ingeniería, el sistema diseñado se modeló en computadora para posteriormente emplear ingeniería asistida por computadora, con la finalidad de identificar y corregir posibles fallas, así como tener un pequeño prototipo digital que permita refinar detalles. El sistema de transmisión de potencia se realizó empleando componentes comerciales para reducir el costo de fabricación de esta, planteando el proceso de diseño y fabricación en este trabajo de tesis, buscando tener un impacto positivo en los agricultores que producen a pequeña escala o que producen para satisfacer necesidades propias.

1.1. Estado del arte

1.1.1. Agronomía y agricultura

Según la RAE (Real Academia Española), la agronomía es el estudio científico y técnico del cultivo de la tierra, es decir, es el arte o acción de cultivar la tierra para generar alimentos u otras materias primas de utilidad para el ser humano [1].

Por otra parte, la agricultura se define como el conjunto de técnicas y conocimientos relativos al cultivo, por lo que, se puede interpretar como toda actividad relacionada al procesamiento de cultivo y/o cosecha. La agricultura es una actividad de suma importancia para los seres humanos, ya que contribuye mayormente a la producción de alimentos, fibras y demás bienes y servicios ecológicos esenciales. Por otra parte, el biólogo Eugene Pleasants Odum definió que la agricultura consiste en la modificación de los ecosistemas naturales para

transformarlos en agroecosistemas, es decir, un tipo especial de ecosistema que presenta características intermedias entre los sistemas naturales y sistemas industriales [2].

1.1.2. Origen y evolución de la maquinaria agrícola

El origen de la maquinaria agrícola se remonta hasta el primer momento en que el hombre se enfrentó a los trabajos de campo, esto al tener que idear herramientas de trabajo con la poca materia disponible que tenía a su alcance, con el objetivo de fracturar la cohesión del suelo y así prepararlo para la siembra. Las primeras herramientas creadas por el hombre fueron muy simples, ya que se formaban principalmente por palos, piedras y estas se sujetaban mediante cuerdas. Estas herramientas cumplían con tareas prioritarias como: cavar, deshierbar, suavizar el terreno, sembrar y cosechar [3].

A lo largo del tiempo, estas herramientas fueron evolucionando debido a la implementación de diversos recursos que el hombre descubrió con el paso del tiempo. Uno de los materiales predominantes fue la piedra debido a su dureza y los restos óseos de animales, principalmente empleados para la caza. Con el paso del tiempo el humano incrementó su necesidad alimenticia, por lo que trató de mejorar y aumentar la producción.

Con la finalidad de reducir el esfuerzo humano, el hombre echó mano de los animales, es decir, comenzó a sustituir parte de la fuerza humana por la fuerza de tiro que los animales proporcionaban, principalmente para trabajos que implicaban tratar el suelo para siembra y posterior cultivo. A mediados del siglo XIX, se comenzó la etapa de máquinas agrícolas tiradas por caballos, dando origen a sembradoras, cultivadoras y recolectoras [3]. El principio de estas máquinas prevaleció durante muchos años, ya que simplemente se actualizaba el elemento que tenía contacto directo con el terreno, es decir, los palos y piedras principalmente usados se sustituyeron por elementos de acero, hasta que en 1835 se dio paso a la introducción de motores de vapor. A partir de 1878 se dieron a conocer máquinas automotoras como: cultivadora rotativa automotriz, segadoras y sembradoras (Figura 1.1). Fue hasta 1904 que se pusieron en funcionamiento los primeros tractores Ivel en el campo, impulsado por un motor de combustión interna, cuyo desarrollo y transformación es constante en la actualidad [3].

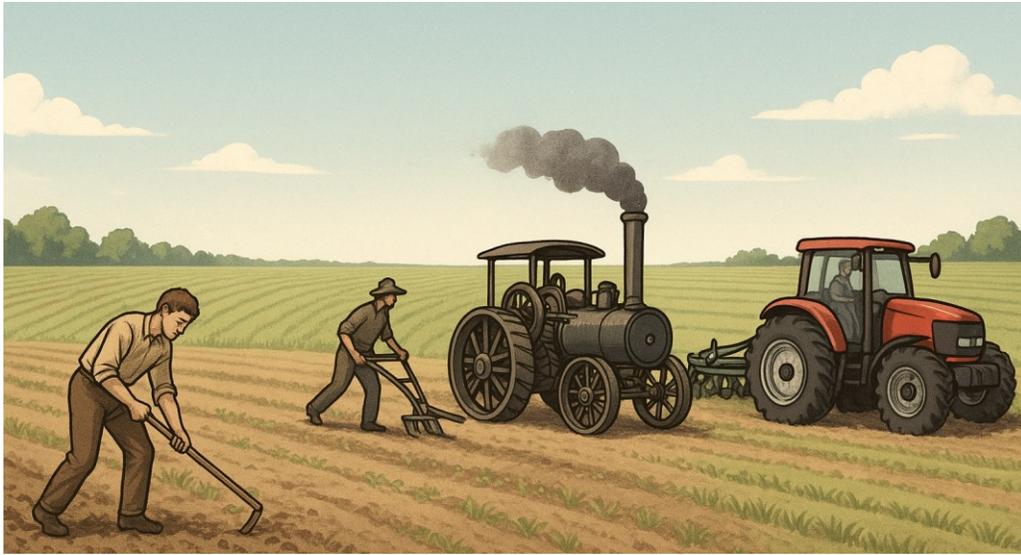


Figura 1.1. Evolución de la maquinaria agrícola [5].

1.1.3. Desgranadora de Maíz

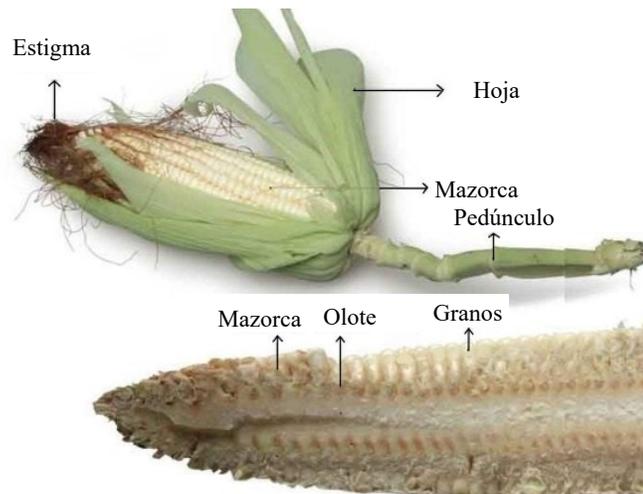


Figura 1.2. Partes de la mazorca de maíz [6].

La desgranadora de maíz es una máquina que tiene como objetivo separar los granos de maíz del olote (Figura 1.2), esto mediante el golpeteo de la mazorca sin hojas en una tolva que gira constantemente. Estas máquinas pueden ser impulsadas mediante la toma de fuerza de un tractor o mediante el acople a motores eléctricos y de combustión interna. Este último muestra un rendimiento eficiente en pequeños volúmenes de producción [7]. A continuación se muestran algunas de las máquinas comerciales.

- Desgranadora de maíz marca Rayken RKDM1800 con motor de combustión interna a gasolina marca Husky de 6.5 hp (\$ 10755.00 MXN). Producción de 1000 kg/h [8].



Figura 1.3. Desgranadora de maíz marca Rayken modelo RKDM1800 [8].

- Desgranadora de maíz marca Antarix 1800 con motor de combustión interna a gasolina marca Ukura de 7 hp (\$ 12946.00 MXN) (costo aproximado del motor \$ 3600.00 MXN). Producción de 205 kg/h.



Figura 1.4. Desgranadora de maíz marca Antarix modelo 1800 [9].

1.1.4. Picadora de Forraje

Las máquinas picadoras de forraje son empleadas para cortar, desmenuzar o fragmentar una variedad de materiales vegetales, tales como el heno, paja, maíz y hierba, entre otros que sirven como alimento para ganado. Estas pueden ser impulsadas por motores eléctricos, de combustión interna o mediante la toma de fuerza de un tractor, empleando cuchillas o martillos

que cortan y trituran el material vegetal, donde, algunas incluyen zarandas o tamices para obtener distintos tamaños de partículas. La versatilidad de las picadoras de forraje les permite adaptarse a diversas necesidades y cultivos [7]. A continuación se muestran algunas de las máquinas comerciales.

- Picadora/cortadora de Forraje marca Rayken RKP1800 con motor de combustión interna marca Swedish Husky de 6.5 hp, 3600 revoluciones por minuto (rpm), 14 Nm (\$ 9495.00 MXN) (costo aproximado del motor \$ 3200.00 MXN). Producción 700 kg/h.



Figura 1.5. Picadora de forraje marca Raiken modelo RKP1800-RE65 [8].

- Picadora/cortadora de forraje marca Antarix con motor de combustión interna marca Kohler de 6.5 hp, 3600 rpm, 13.8 Nm ((\$ 15880.00 MXN) (costo aproximado del motor \$ 4000.00 MXN). Producción 1500-1800 kg/h.



Figura 1.6. Picadora de forraje marca Antarix modelo THCF1800K6 [9].

1.1.5. Sistema de transmisión

Un sistema de transmisión se refiere a un conjunto de partes tanto mecánicas como electrónicas cuya finalidad es llevar a cabo la transferencia de energía o movimiento desde un punto inicial (motor de combustión interna) hacia uno final (máquina agrícola) dentro de una

máquina o dispositivo. Este conjunto puede comprender una variedad de elementos tales como engranajes, correas, cadenas, ejes, embragues, transmisiones, entre otros, los cuales se seleccionan dependiendo del tipo de transmisión y su aplicación en particular. La tarea fundamental de estos sistemas radica en dirigir de manera eficiente y controlada la energía o el movimiento generados por una fuente de potencia hacia un mecanismo de salida [10]. En este contexto, una máquina puede definirse como un aparato formado por unidades interrelacionadas llamadas elementos de máquinas, con el objetivo de transformar movimientos y fuerzas [11].



Figura 1.7. Componentes comunes en un sistema de transmisión de potencia [12].

1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad, las máquinas agrícolas son una herramienta fundamental en la agricultura moderna, ya que facilitan diversas tareas con la finalidad de aumentar la eficiencia y productividad, reduciendo el desgaste físico de las personas. En el campo de la agricultura existen diversos tipos de maquinaria para tareas específicas: mezcladoras, segadoras, sembradoras, cultivadoras, picadoras, etc., donde la mayoría de estas pueden ser adquiridas como un accesorio principalmente para tractores, ya que estos cuentan con una toma de fuerza que proviene de la caja de velocidades y justifican su costo debido a los grandes volúmenes de producción donde son empleados.

Por otra parte, para bajos niveles de producción o para satisfacer necesidades propias, existen máquinas agrícolas estacionarias, las cuales necesitan una fuente de potencia propia para transmitir movimiento y así realizar satisfactoriamente tareas específicas, sin embargo, el emplear un motor de combustión interna para cada máquina implica elevar el costo de

adquisición de esta. Adicionalmente, en la agricultura a pequeña escala es común no emplear la maquinaria simultáneamente, debido a las temporadas y tipos de cosecha, por lo que no todas las máquinas funcionan al mismo tiempo.

Al tener un acercamiento con los médicos veterinarios pertenecientes a la brigada de promoción al desarrollo de la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM), se identificó que los pequeños productores de la región Mixteca Alta del estado de Oaxaca emplean dos máquinas agrícolas estacionarias principales: picadora de forraje y desgranadora de maíz, en donde una de las principales necesidades planteadas e identificadas fue la posibilidad de acoplar un solo motor a estas máquinas, debido a que la adquisición de un motor independiente para cada equipo representa un costo considerable, sin incluir costos derivados de mantenimiento.

Por lo anterior, este trabajo de tesis pretende realizar el diseño de un sistema de transmisión intercambiable para adaptar un motor de combustión interna a las máquinas antes descritas. Esto se logra mediante el análisis de las diversas características y requisitos necesarios para cada máquina según la tarea que esta realiza, con el objetivo de elegir un motor de combustión interna capaz de satisfacer las necesidades de estas, donde este será intercambiable junto con el sistema de transmisión diseñado.

1.3. Justificación

A través de la brigada de promoción al desarrollo de la UTM, se identificó y planteó que una de las principales problemáticas propias y a las que se enfrentan los pequeños agricultores de la región es el elevado costo de adquirir maquinaria agrícola estacionaria, ya que estas implican costos considerables derivados de la adquisición de la máquina y el motor de combustión interna en conjunto. Al realizar producción a pequeña escala los agricultores se ven obligados a adquirir o fabricar diversas máquinas para diferentes tipos de trabajos, donde comúnmente estas no son empleadas simultáneamente.

Además, se identificó que cuando se presentan fallas en los motores de sus máquinas, los usuarios suelen recurrir a la adaptación de distintos tipos de motores, los cuales, en muchos

casos no cumplen con las características técnicas requeridas. Esta práctica genera acoplamientos inadecuados que provocan daños y un deterioro prematuro en las máquinas.

La implementación de un sistema de transmisión de potencia intercambiable para una máquina picadora de forraje y una desgranadora de maíz, permite emplear un solo motor de combustión interna como única fuente de potencia, donde, estos se adaptan a las máquinas mencionadas de forma ergonómica y rápida. La elección de un motor de combustión interna resulta de la necesidad de realizar trabajos en zonas remotas, mismas en las que en ocasiones no existen fuentes de energía establecidas y por tanto este es idóneo para estas condiciones de trabajo. Por lo que, el desarrollo de este trabajo de investigación tiene un impacto directo en la sociedad, específicamente para el sector agrícola de producción a pequeña escala o de autoconsumo en la región de la Mixteca Alta del estado de Oaxaca.

Atender esta necesidad permitirá reducir costos de adquisición y mantenimiento derivados de contar con un motor de combustión interna para cada máquina, optimizar el uso de los recursos disponibles y promover el desarrollo tecnológico accesible para los pequeños productores de la región.

1.4. Hipótesis

Con el diseño y manufactura del prototipo de un sistema de transmisión para máquinas agrícolas estacionarias, se obtendrá una solución mecánica, funcional y adaptable a las necesidades de pequeños productores de la región Mixteca Alta del estado de Oaxaca.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Diseñar y manufacturar el prototipo de un sistema de transmisión para una fuente de potencia intercambiable entre una picadora de forraje y una desgranadora de maíz convencional.

1.5.2. Objetivos específicos

- I. Documentar y analizar los diferentes tipos de transmisión de potencia empleados en máquinas, específicamente sistemas por medio de bandas, cadenas y engranes, con el fin de seleccionar el sistema más adecuado.
- II. Analizar el diseño de máquinas agrícolas estacionarias utilizadas en la producción a pequeña escala, con el propósito de definir las máquinas de interés y determinar sus principales características.
- III. Identificar los requerimientos de funcionamiento de las máquinas elegidas, para definir la potencia del motor de combustión interna comercial a emplear.
- IV. Proponer conceptos del sistema de transmisión que permita adaptar una sola fuente de potencia a la picadora de forraje y desgranadora de maíz.
- V. Realizar un diseño ergonómico y de fácil montaje para el sistema de transmisión y motor, considerando materiales ligeros, dimensiones razonables y procedimiento de montaje y desmontaje rápidos, derivados del análisis bibliográfico.
- VI. Especificar los procesos de manufactura a emplear y manufacturar el prototipo, limitando estos a las máquinas y herramientas disponibles en la UTM.

1.6. Metas

Durante el desarrollo del presente trabajo de tesis para obtener como resultado final el prototipo de una transmisión, se establecen las siguientes metas:

- M1. Análisis comparativo documentado que justifique la selección del sistema de transmisión de potencia más adecuado para el proyecto en la fase 1 de la metodología (objetivo I).
- M2. Registro de características y especificaciones del funcionamiento de las máquinas agrícolas seleccionadas como parte de la fase 2 (objetivo II).

- M3. Elección del motor de combustión interna con base en su potencia, costo y compatibilidad con las máquinas seleccionadas como parte de la fase 2 (objetivo II y III).
- M4. Diseño conceptual y estructural del sistema de transmisión, considerando los requerimientos de cada máquina y motor definidos, así como las metas previas para la fase 2 (objetivos IV y V).
- M5. Listado detallado de dimensiones, componentes y materiales del sistema de transmisión, empleando medidas estándar y elementos disponibles en el mercado, como parte de la fase 3 (objetivo V).
- M6. Modelado tridimensional del sistema de transmisión, mediante un programa de diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en inglés), como representación visual del diseño propuesto y base para la fase 3 (objetivo V).
- M7. Planeación detallada de los procesos de manufactura requeridos para la manufactura del prototipo como parte de la fase 3 (objetivo VI).
- M8. Construcción y validación del sistema de transmisión diseñado como prototipo alfa, verificando su funcionamiento mediante pruebas de entrada y salida de potencia como parte de la fase 4 (objetivo VI).

1.7. Limitaciones de la tesis

- El trabajo de tesis se limitará al diseño de un sistema de transmisión para un motor de combustión interna.
- El sistema de transmisión se limitará a una potencia de entrada y una potencia de salida según el motor elegido y las especificaciones de las máquinas.
- Respecto a la manufactura y ensamble del prototipo, este se limitará a la maquinaria y herramientas disponibles en los talleres y laboratorios de la UTM.

1.8. Metodología

Para la elaboración de este trabajo de investigación se eligió la metodología propuesta y desarrollada por Ulrich y Eppinger [13] para el diseño y desarrollo de productos, debido al tipo de proyecto que se desarrollará. En la Figura 1.8 se presenta el esquema que consta de seis fases. Esta metodología tiene un enfoque mixto, ya que la parte cualitativa es referente a la recopilación de las necesidades del cliente mediante encuestas y relación directa con este, posteriormente se analizan los resultados y se convierten en cuantitativos para definir las necesidades y especificaciones del cliente mediante puntuaciones y métricas.

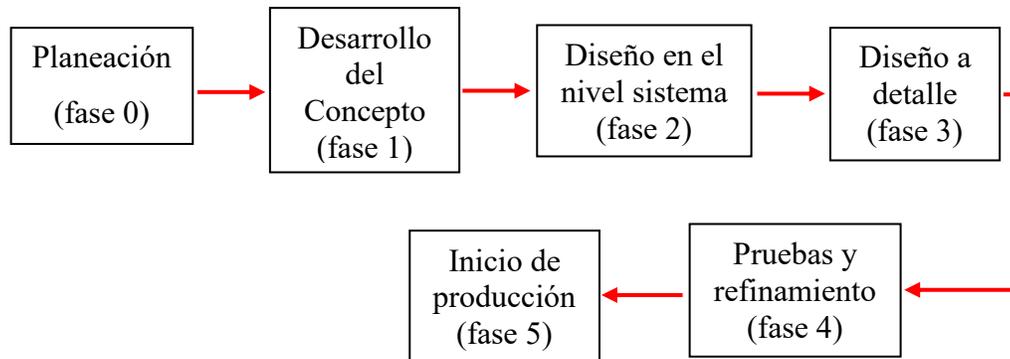


Figura 1.8. Metodología para el diseño y desarrollo de productos [13].

Para este trabajo de tesis las fases consisten en:

- *Planeación.* Esta fase consiste en la identificación de oportunidades guiada por estrategias, abarcando la evaluación de los avances tecnológicos y los objetivos del mercado o sociedad. Como resultado de esta fase se declara la misión del proyecto, que especifica el objetivo principal del producto (sistema de transmisión), metas, hipótesis y limitaciones.

Concretamente para este trabajo de tesis, se identificó como oportunidad la falta de maquinaria agrícola estacionaria para bajos niveles de producción y de costo accesible, proponiendo un sistema de transmisión intercambiable entre dos máquinas agrícolas estacionarias, con la finalidad de que estas trabajen con una sola fuente de potencia que sea intercambiable, debido a que estas máquinas

generalmente no son usadas simultáneamente, posteriormente en esta fase se definen los objetivos, metas, limitaciones y se plantea la hipótesis.

- *Desarrollo del concepto.* En esta fase se identifican las necesidades del mercado objetivo, generando y evaluando diversos conceptos del producto como alternativas adicionales. Todo esto mediante la descripción de forma, función y características de un producto que generalmente se encuentra acompañado por un conjunto de especificaciones, un análisis de productos existentes o de la competencia y una justificación económica del proyecto adecuada. El sistema de transmisión será desarrollado desde una fase inicial de diseño, partiendo de las especificaciones del motor y de las máquinas elegidas, donde se evaluarán métodos de transmisión de potencia para elegir el que mejor se adapte y satisfaga las necesidades definidas.
- *Diseño en el nivel sistema.* La fase de diseño a nivel sistema consiste en definir la arquitectura del producto (sistema de transmisión), especificando subsistemas y componentes. Como requisito de manufactura, se definen los planes para el sistema de producción y ensamble. Obteniendo como resultado de esta fase un diseño geométrico del sistema, especificaciones funcionales de cada uno de los subsistemas o componentes y un diagrama de flujo o procesos preliminares para el ensamble final de los diversos componentes que conforman el sistema de transmisión.
- *Diseño a detalle.* Esta fase comprende la especificación completa y detallada del sistema de transmisión, es decir, geometría, materiales y tolerancias de cada una de las partes que conforman esta. Así mismo, se identifican y establecen las partes que serán manufacturadas y las que serán adquiridas con proveedores, estableciendo planes de proceso y diseño de herramientas para cada pieza que será fabricada en el proceso de producción. La salida de esta fase es la documentación de control del sistema de transmisión, mismo en el cual se encuentran contenidos dibujos, archivos, procesos y planes de fabricación de las diferentes piezas y/o herramientas de producción, así como los planes de ensamble del producto.

- *Pruebas y refinamiento.* Esta fase consta de la construcción y evaluación del prototipo del sistema de transmisión. Los primeros prototipos (alfa) son versiones iniciales de prueba construidas con piezas similares a las de producción pero no fabricadas con los mismos procesos. Se prueban para verificar el funcionamiento del diseño y si cumplen con las necesidades de los clientes. Los prototipos siguientes (beta), se fabrican con piezas y procesos finales de producción, mismos que se evalúan interna y externamente para identificar cambios necesarios en el producto final, especialmente en términos de operación y confiabilidad.
- *Inicio de producción.* Finalmente esta fase indica el inicio de la producción, es decir, el producto o sistema es creado con el sistema de producción establecido con el objetivo de capacitar al personal y resolver problemas en los procesos de producción. Sin embargo, este trabajo de tesis se limita a la fase 4 que consta de la elaboración del sistema de transmisión como un prototipo (alfa). Después de esto, es posible realizar una revisión del proyecto, que implica evaluarlo desde perspectivas tanto comerciales como técnicas, con la intención de mejorar el proceso de desarrollo para futuros proyectos.

2. Marco teórico

En este capítulo se presentan fundamentos teóricos, metodológicos y matemáticos sobre el diseño de elementos de máquinas que comprenden una transmisión, así como procesos de manufactura y ensamble empleados para el desarrollo de este trabajo de tesis.

El diseño y evolución de las máquinas empleadas en la agricultura está ligado a factores importantes como lo son las características del suelo, clima, tipo de cultivo o materia prima a procesar, así como el entorno en que estas serán empleadas. Principalmente las características del suelo y clima determinan el tipo de máquinas, ya que, en algunos casos en los que los terrenos de cultivo se encuentran aislados es conveniente emplear motores de combustión interna, en lugares con mayor disponibilidad de servicios es conveniente emplear motores eléctricos y dependiendo de los volúmenes de producción se define el tamaño de la maquinaria y si esta debe ser móvil, estacionaria o un punto medio entre estos [14].

2.1. Diseño de elementos de máquinas

El diseño es un proceso detallado y planeado por el cual se da solución a problemas o necesidades, donde, el diseño ingenieril puede definirse como la aplicación de métodos científicos o de ingeniería para determinar y definir un componente o sistema de forma detallada para dar paso a su fabricación [15]. Por otra parte, una máquina puede ser considerada como un aparato o sistema formado por unidades interrelacionadas entre sí, llamados elementos de máquinas. Estos elementos se encuentran conectados entre sí con el objetivo de transformar fuerzas o movimientos con un fin en específico, donde la relación entre fuerzas y movimientos distingue al diseño de máquinas del estructural [11], [16].

Como ejemplo de máquinas existentes en la actualidad se tienen productos al consumidor, sistemas de manufactura, equipo para la construcción, automóviles, aviones, equipo agrícola, equipo de transporte, barcos, sistemas espaciales, entre otros.



Figura 2.1. Tractor como equipo agrícola [18].

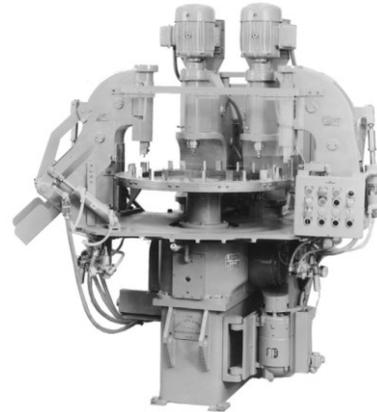


Figura 2.2. Máquina de ensamblado automático para componentes automotrices [18].

2.2. Transmisión de potencia

Los sistemas de transmisión de potencia son aquellos que hacen posible la transferencia de potencia entre dos ejes que rotan a determinada velocidad, este sistema permite incrementar o reducir la potencia, velocidad o simplemente transmitir potencia de un punto a otro [17].

2.2.1. Tipos de transmisiones

Los tipos de transmisión más conocidos y empleados en máquinas agrícolas son:

- Trenes de engranes
- Cadenas
- Bandas
- Cardán

2.2.1.1. Trenes de engranes

Los trenes de engranes o ruedas dentadas son empleados en mecanismos y máquinas, ya que permiten cambiar de velocidad o par de torsión de un dispositivo o sistema rotatorio [18].

Engranes rectos: estos presentan dientes alineados con el eje de rotación y se utilizan para transferir movimiento entre ejes paralelos, empleados comúnmente en aplicaciones que requieren altos niveles de potencia. Entre todos los tipos de engranes este es el más simple [10].



Figura 2.3. Engrane recto con ranura para cuña [19].

Engranés helicoidales: presentan dientes inclinados con respecto al eje de rotación y se emplean en las mismas situaciones que los engranes rectos. Sin embargo, su funcionamiento resulta menos ruidoso debido al acoplamiento más suave de los dientes durante la transmisión. Además, los dientes inclinados generan cargas de empuje y pares de flexión que no están presentes en los engranes rectos. Ocasionalmente se utilizan engranes helicoidales para transferir movimiento entre ejes no paralelos [10], [20].

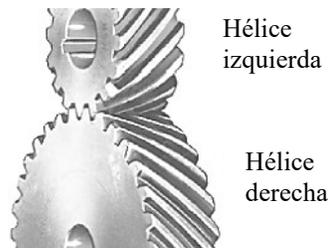


Figura 2.4. Engranés helicoidales [19].

Engranés cónicos: tienen diferentes configuraciones en superficies cónicas y se utilizan principalmente para transferir movimiento entre ejes perpendiculares. En la Figura 2.5 se muestran engranes cónicos con dientes rectos, por otra parte, los engranes cónicos en espiral tienen dientes modificados de tal forma que no son rectos, sino curvos, siguiendo un arco circular. Los engranes hipoides son muy parecidos a los engranes cónicos en espiral, excepto porque se encuentran desplazados y no se cruzan [20].



Figura 2.5. Engranés cónicos acoplados [19].

Tornillos sin fin: el tornillo sin fin o de gusano junto con su corona constituyen el cuarto tipo básico de engranes. La dirección de rotación de la corona del tornillo sin fin está determinada por la dirección de rotación del tornillo sin fin y de la disposición de los dientes de este. Estos engranes se utilizan principalmente cuando las relaciones de velocidad entre dos ejes son muy altas, es decir, superiores a 3 [20].

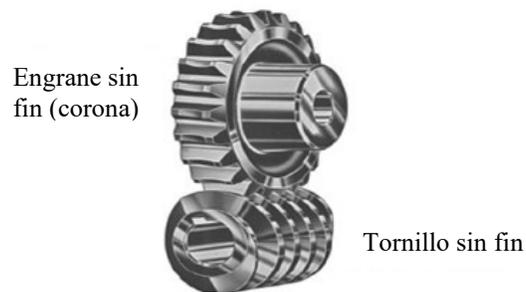


Figura 2.6. Engranaje de tornillo sin fin [10].

2.2.1.2. Bandas

Los componentes de máquinas flexibles como: bandas, cables, cadenas y otros similares, son empleados en sistemas de transporte y para la transmisión de potencia a distancias considerables. Estos elementos reemplazan engranes, ejes, cojinetes y demás elementos rígidos de transmisión de potencia, lo que simplifica el diseño de la máquina y reduce los costos. Además, estas ofrecen flexibilidad, absorción de vibraciones, transmisión eficiente de potencia a altas velocidades y resistencia en ambientes abrasivos [21], por lo que mejora la vida útil de la máquina. Sin embargo, la mayoría de estos elementos flexibles no tienen una vida útil infinita. Por lo tanto, es crucial establecer un programa de inspección para detectar desgastes, envejecimiento y pérdida de elasticidad [20].

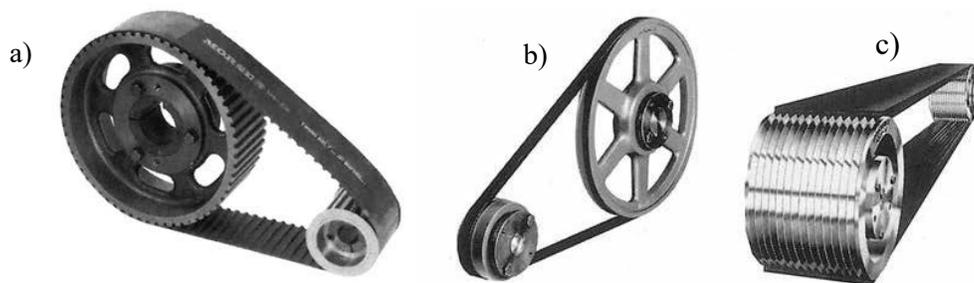
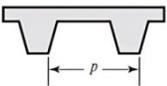


Figura 2.7. Tipos de bandas: a) dentada, b) en V simple y c) en V múltiple [21].

Tabla 2.1. Características de los tipos de bandas existentes [20].

Tipo de banda	Figura	Unión	Intervalo de tamaños	Distancia entre centros
Plana		Si	$t = \begin{cases} 0.03 \text{ a } 0.20 \text{ pulg} \\ 0.75 \text{ a } 5 \text{ mm} \end{cases}$	No hay límite superior
Redonda		Si	$d = \frac{1}{8} \text{ a } \frac{3}{4} \text{ pulg}$	No hay límite superior
Tipo V		Ninguna	$b = \begin{cases} 0.31 \text{ a } 0.91 \text{ pulg} \\ 8 \text{ a } 19 \text{ mm} \end{cases}$	Limitada
De sincronización		Ninguna	$p = 2 \text{ mm y mayor}$	Limitada

2.2.1.3. Cadenas

Una cadena de transmisión está compuesta por barras laterales, placas de eslabonamiento, uniones de pasador y bujes, formando así una articulación en cada unión con el objetivo de acoplarse a una rueda dentada [21]. Las propiedades fundamentales de las transmisiones de cadena implican una relación de transmisión constante, ya que no hay deslizamiento ni pérdida de tracción, además de una larga vida útil y la capacidad de impulsar múltiples ejes desde una fuente de potencia única, donde el paso de esta es la distancia entre los centros de las articulaciones [20], [22].

Las principales ventajas de este sistema son: no presentan deslizamiento, alta capacidad de carga y transmisión de potencia, durabilidad y larga vida útil, dimensiones compactas, funcionamiento en ambientes extremos, facilidad de ajuste y mantenimiento [20], [21].

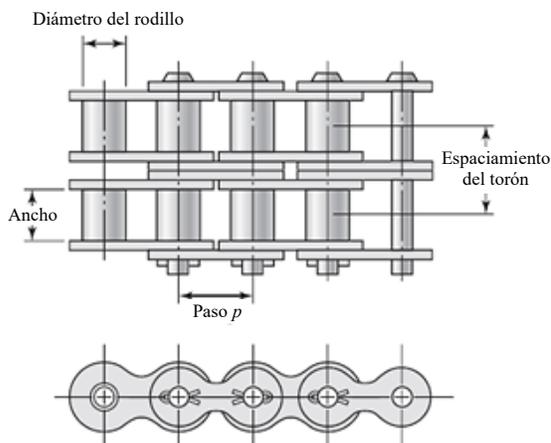


Figura 2.8. Cadena de rodillos y eslabones [20].

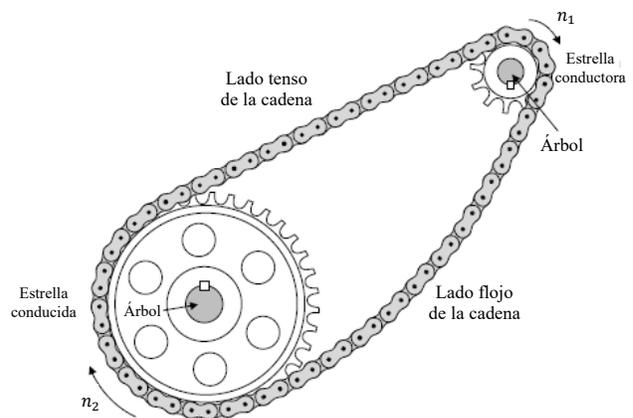


Figura 2.9. Transmisión por cadena [23].

2.2.1.4. Cardán

Un cardán es un mecanismo que facilita la transferencia de movimiento rotativo entre ejes que no están alineados angularmente. Este dispositivo consta de dos ejes conectados por una articulación universal, lo que permite la transmisión de movimiento incluso cuando los ejes no están perfectamente alineados. Los cardanes son comunes en vehículos para transmitir la potencia del motor a las ruedas o demás elementos mecánicos, especialmente cuando los ejes no están directamente alineados, como en vehículos de tracción trasera o en ejes de transmisión de maquinaria [20].

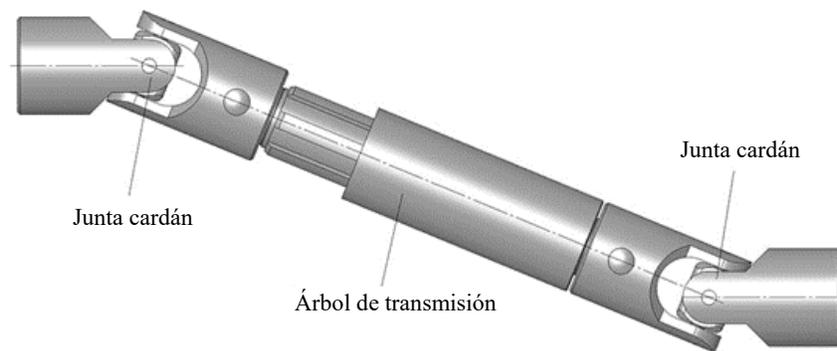


Figura 2.10. Cardán conectado a dos ejes paralelos [20].

2.3. Elementos mecánicos empleados en sistemas de transmisión de potencia

2.3.1. Ejes y flechas

Los ejes y flechas (árboles) son elementos mecánicos de sección transversal circular y son empleados en máquinas, con el objetivo de soportar elementos que giran en conjunto o en torno a ellos, fijando estos mediante anillos de retención, escalones en el eje, pasadores, entre otros (Figura 2.11). Un eje es un elemento mecánico en el que se montan componentes rotativos (ruedas rotatorias, poleas, etc.), con el objetivo de transmitir movimiento rotacional o simplemente funcionar como un elemento estático (soporte) ya que generalmente estos no transmiten potencia, comúnmente este movimiento proviene de un motor (de combustión interna o eléctrico) al cual se encuentran conectados por medio de acoplamientos [20].

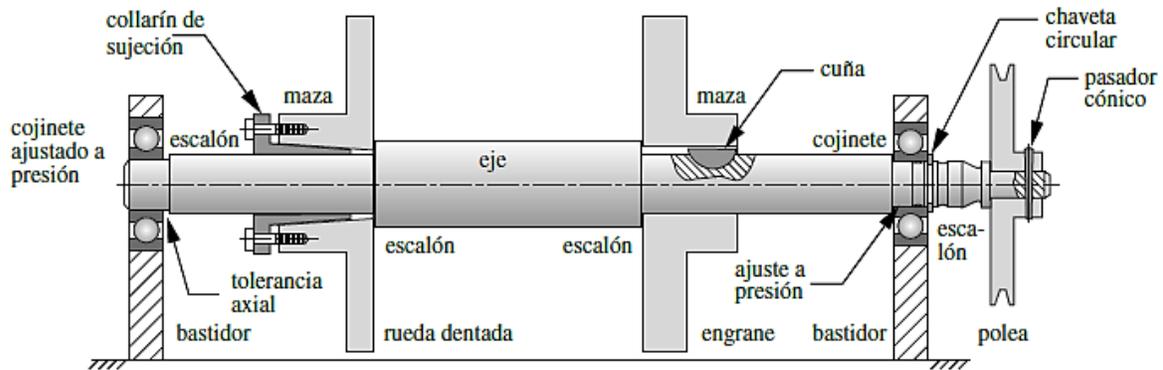


Figura 2.11. Métodos de sujeción para elementos giratorios en ejes [10].

Por otra parte, un árbol es un elemento rotatorio con el objetivo de transmitir potencia o movimiento rotativo, esto mediante diversos elementos mecánicos que se encuentran unidos a estos (engranes, poleas, volantes de inercia, manivelas, ruedas dentadas, catarinas, entre otros) provocando un giro en conjunto, es decir, no existe movimiento relativo entre la flecha y los elementos mecánicos o componentes (Figura 2.12) [20].

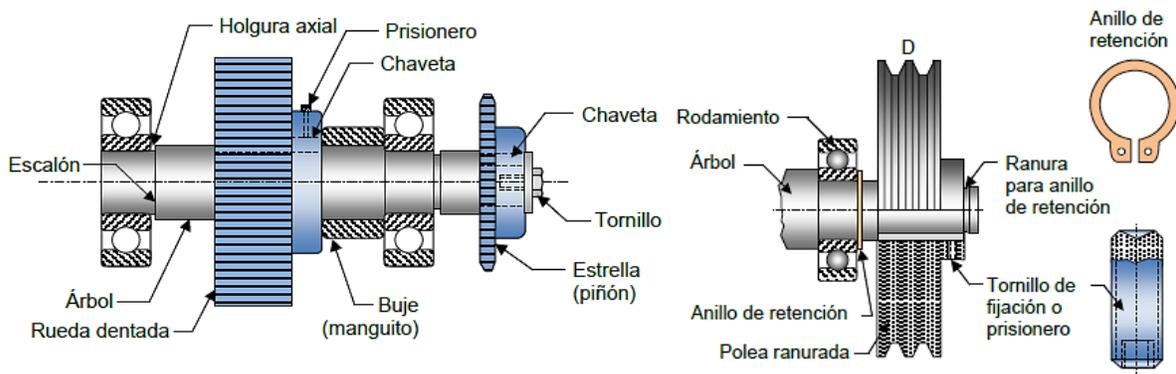
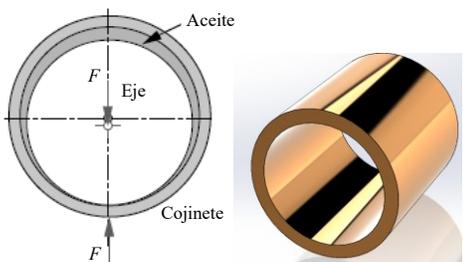
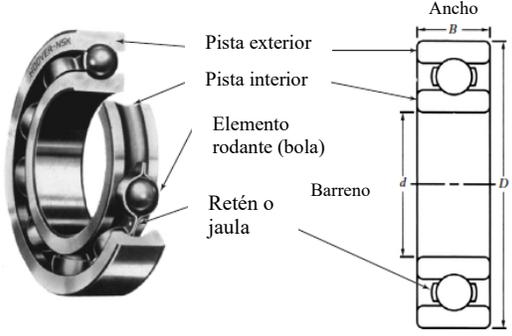


Figura 2.12. Elementos para transmisión de potencia y sujeción en ejes [23].

2.3.2. Cojinetes

Un cojinete puede definirse como un elemento mecánico que permite el movimiento relativo entre superficies que se encuentran en contacto, mismas por las cuales se transmite una carga o movimiento. El contacto entre estas superficies provoca fricción y por tanto desgaste, por lo cual se emplean lubricantes líquidos como el aceite o lubricantes sólidos como el grafito, disulfuro de molibdeno o simplemente aire a presión [17]. Como se muestra en la Tabla 2.2, los cojinetes se clasifican como deslizantes (o planos) y de empuje (o rodadura).

Tabla 2.2. Clasificación y descripción de los cojinetes [10].

Clasificación	Descripción	Ilustración
<p>Cojinetes deslizantes (planos)</p>	<p>Formados por dos materiales con contacto mutuo, ya que permiten el deslizamiento directo entre las superficies mediante lubricantes. Son empleados con cargas elevadas y a velocidades bajas. Ejemplos: cojinetes de bronce, casquillos, babbit (polímero no metálico), entre otros.</p>	 <p>Figura 2.13. Eje estacionario [10].</p>
<p>Cojinetes de empuje (rodadura)</p>	<p>Estos están formados por elementos rodantes como bolas o rodillos que permiten el movimiento. Son empleados con cargas axiales, cargas ligeras y velocidades medias o altas. Ejemplos: rodamientos de bolas y rodamientos de rodillos.</p>	 <p>Figura 2.14. Cojinete de una hilera de bolas con ranura Honda [19].</p>

Por otra parte, los elementos mecánicos empleados para alojar a los cojinetes o rodamientos se llaman chumaceras (Figura 2.15), las cuales fijan a estos en su posición correcta para evitar desbalanceo, proporcionar un giro suave y dar soporte al eje o árbol [19].

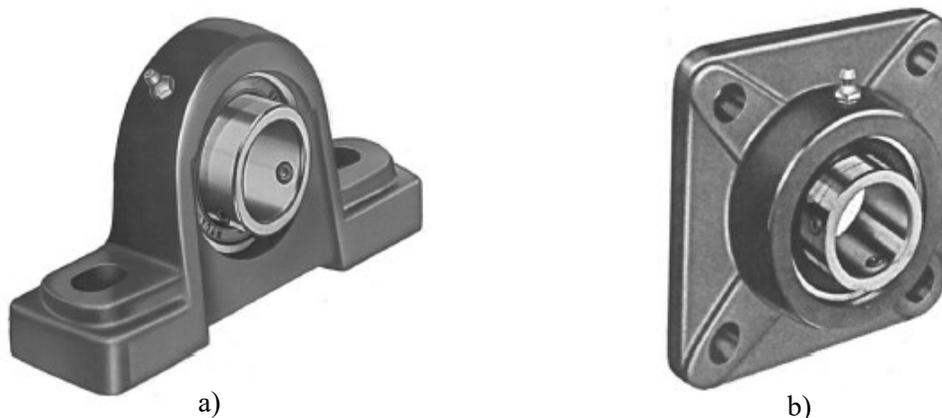


Figura 2.15. Cojinete con pestaña acoplado a chumacera: a) chumacera de piso y b) chumacera de brida [10].

2.3.3. Cuñas, pasadores y prisioneros

Una cuña (o chaveta) es un elemento comúnmente empleado en sistemas de transmisión de potencia mediante revolución, esta se instala entre un eje y el cubo de un elemento transmisor de potencia (engranes, poleas o ruedas) para transmitir par torsional [20].

Las cuñas son elementos desmontables que facilitan el montaje y desmontaje de componentes en el eje, estas son instaladas en una ranura axial, maquinada en el eje y que recibe el nombre de cuñero o chavetero, como se ilustra en la Figura 2.16 a) [19]. Estas tienen formas cuadradas, rectangulares, redondas, de medialuna, cónicas, entre otras. El diseño y tamaño de estas depende específicamente de la cantidad de fuerza que se desea transmitir, las características de los demás componentes así como dimensiones, características de funcionamiento y limitaciones.

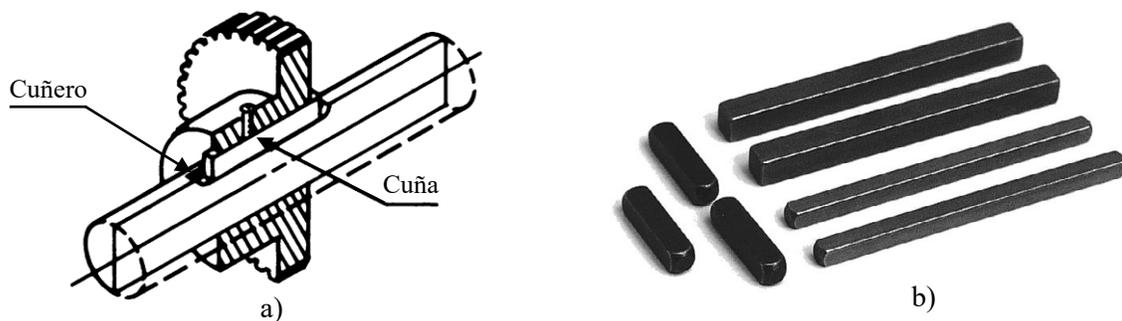


Figura 2.16. a) Montaje y sujeción entre eje con engrane y b) cuñas comerciales [19].

Por otro lado, los pasadores son empleados principalmente para fijar y posicionar axialmente los componentes en el eje (Figura 2.17), estos pueden ser usados con el objetivo de transferir torsión, empuje o ambos según el diseño del sistema [19].

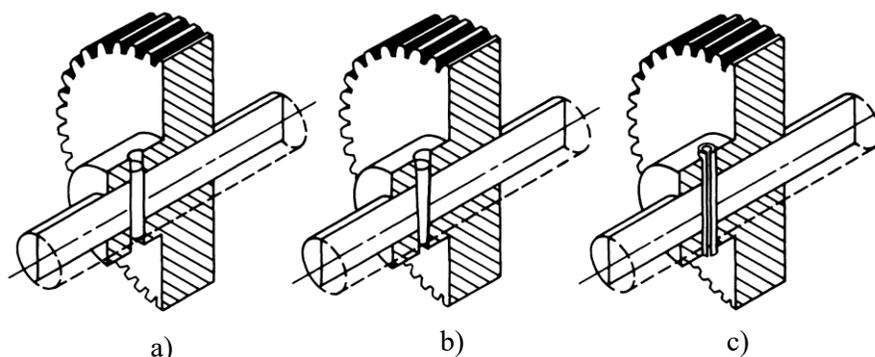


Figura 2.17. Pasadores: a) cilíndrico, b) cónico y c) de resorte [19].

Los pasadores son montados mediante un orificio realizado al cubo del elemento transmisor y el eje. Este es empleado comúnmente en donde la carga principal se somete a esfuerzos de cortante, y cuando se involucra rotación, torsión, empuje, o simplemente para fijar un componente. Cuando se desea proteger componentes críticos de un sistema, el pasador es fabricado intencionalmente con diámetros pequeños y este recibe el nombre de perno de seguridad, ya que al sufrir una sobrecarga este se fractura [19].

Un prisionero (u opresor) es un tornillo orientado radialmente en el cubo de un componente con el objetivo de mantener a este en su lugar, oprimiendo al eje o penetrando sutilmente su superficie (Figura 2.18). La punta de este es plana, ovalada, cónica o ahuecada.

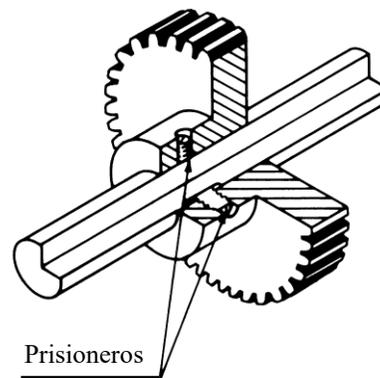


Figura 2.18. Prisioneros aplicados entre un engrane y un eje [19].

2.3.4. Anillos de retención y escalones

En los sistemas de transmisión de potencia es crucial asegurar correctamente los diversos componentes, la elección del método de sujeción y/o localización axial depende de si el elemento transmite carga axial o no. Comúnmente los engranes rectos, poleas y catarinas no producen cargas de empuje apreciables, sin embargo, la ubicación axial de estos es afectada por fuerzas incidentales debido a vibración y funcionamiento.

Los anillos de retención (o candados) son elementos de localización diseñados para instalarse en ranuras maquinadas en el eje, con el objetivo de evitar el movimiento axial de los componentes, es decir, evitar el deslizamiento de estos respecto al eje. El montaje puede ser interno o externo según los requerimientos del sistema (Figura 2.19), lo que permite variar su capacidad de empuje axial según el estilo del anillo [19].

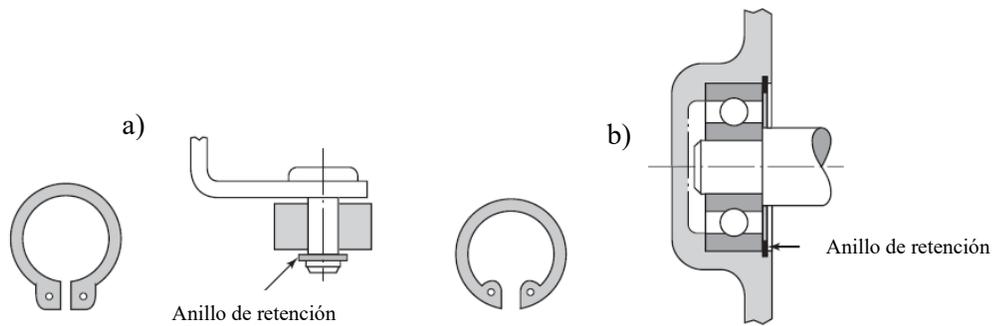


Figura 2.19. Anillos de retención y su aplicación: a) externo y b) interno [20].

Un escalón es la superficie vertical como resultado de un cambio en la sección transversal de un eje (Figura 2.20). Su función principal es ubicar axialmente un componente montado en un eje, al menos por un lado, facilitando su montaje y ubicación adecuada. Es fundamental considerar dos aspectos clave: 1) que el escalón tenga dimensiones adecuadas para posicionar correctamente el componente, y 2) incluir un chaflán (redondeo) en la base del escalón para reducir la concentración de esfuerzos y garantizar compatibilidad con la geometría del barreno del elemento acoplado [19].

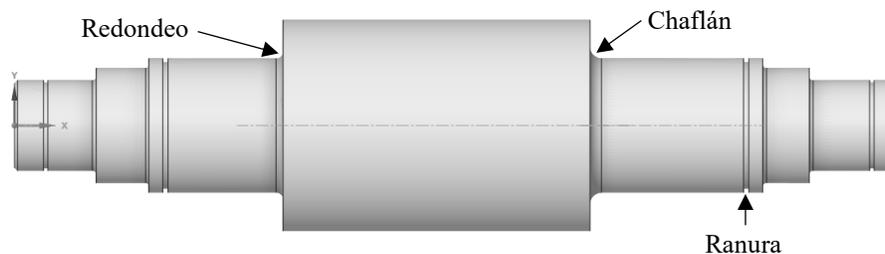


Figura 2.20. Eje escalonado con chaflán, redondeo y ranura [11].

2.4. Procesos de manufactura

El término manufactura proviene del latín manus (mano) y factus (hacer), por lo que se define como “hecho a mano”. Sin embargo, en el contexto moderno, la manufactura puede definirse desde una perspectiva tecnológica o económica (Figura 2.21). Desde el punto de vista tecnológico, la manufactura implica la transformación de un material (materia prima) en una pieza o producto, esto mediante la aplicación de procesos físicos y/o químicos para cambiar la geometría, propiedades o apariencia de un material inicial. En el ámbito económico, la

manufactura consiste en agregar valor a un producto inicial mediante la aplicación de diversos tratamientos o procesos, alterando su forma, propiedades o al combinar este con otros materiales que presentan características mejoradas [24], [25].

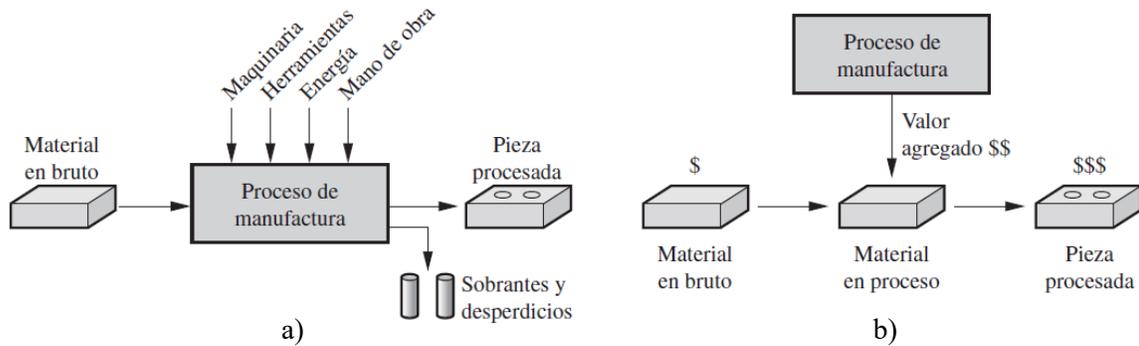


Figura 2.21. Ámbitos de la manufactura: a) tecnológico y b) económico [24].

En la Figura 2.22 se muestra la clasificación general de las operaciones de manufactura y ensamble como parte de los procesos de manufactura, según Groover [24].

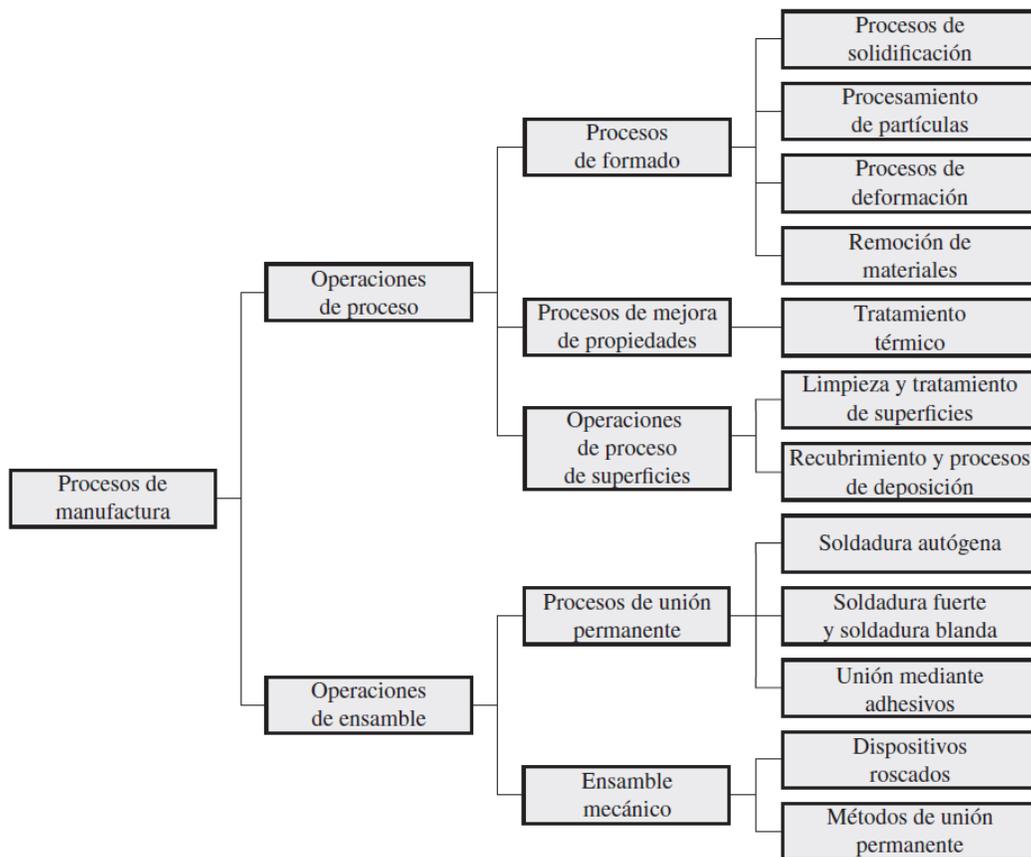


Figura 2.22. Clasificación de los procesos de manufactura [25].

2.4.1. Operaciones de proceso

Un proceso de manufactura consta de un cambio físico y/o químico de un material inicial (materia prima), con el objetivo de incrementar su valor. Este es considerado como una operación unitaria, ya que es necesario realizar un paso a la vez según la secuencia de pasos requeridos para crear un producto. Estas operaciones emplean energía (mecánica, humana, térmica, eléctrica y química) para modificar las propiedades físicas, químicas o la apariencia de una pieza, agregando valor al material inicial.

Generalmente para transformar un material en un producto es necesario emplear más de una operación para lograr la transformación de este. De acuerdo con Groover [24], se distinguen tres tipos generales de operaciones de proceso: 1) operaciones de formado, 2) operaciones de mejoramiento de propiedades y 3) operaciones de proceso de superficies. Los procesos de formado generalmente aplican calor, fuerzas mecánicas o una combinación de estas. Por otra parte, los procesos de mejoramiento de propiedades no alteran la forma del material al menos que este sea accidental, y esto se logra mediante tratamientos térmicos (como recocido, templado y sinterizado). Finalmente, los procesamientos de superficies constan de una serie de pasos fundamentales: limpieza, tratamiento de una superficie y procesos de recubrimiento [24].

Para producir piezas, partes o productos, existen diversos procesos en continua expansión. Kalpakjian [26] categoriza e ilustra estos como:

- a. Fundición: de molde desechable y de molde permanente.
- b. Formado y moldeado: laminado, forjado, extrusión, estirado en frío o trefilado, formado de lámina, metalurgia de polvos y moldeo.
- c. Maquinado: torneado, mandrinado, taladrado, fresado, cepillado, escariado y rectificado, maquinado ultrasónico, maquinado químico, eléctrico y electroquímico.
- d. Acabado: asentado, lapidado, pulido, satinado, rebabeado, tratamiento superficial, recubrimiento y chapeado.
- e. Nanofabricación: es la tecnología más precisa y avanzada, empleando técnicas de ataque, haces de electrones y rayos láser.

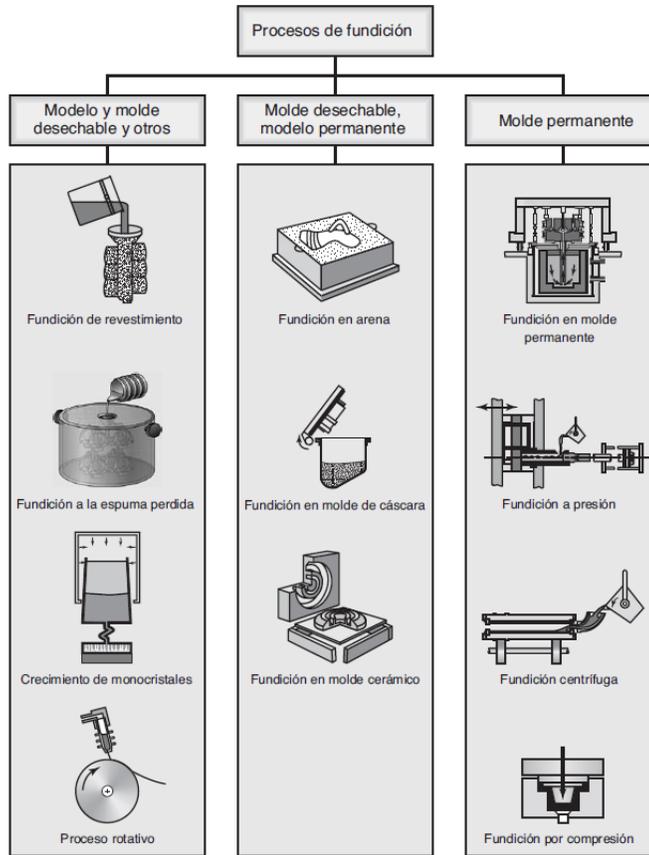


Figura 2.23. Procesos de fundición [26].

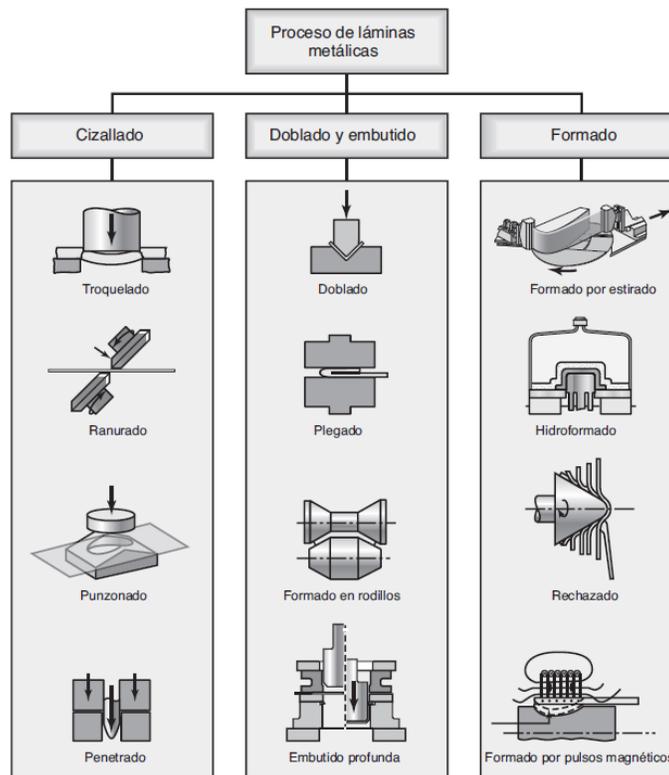


Figura 2.24. Procesos de formado de hojas metálicas [26].

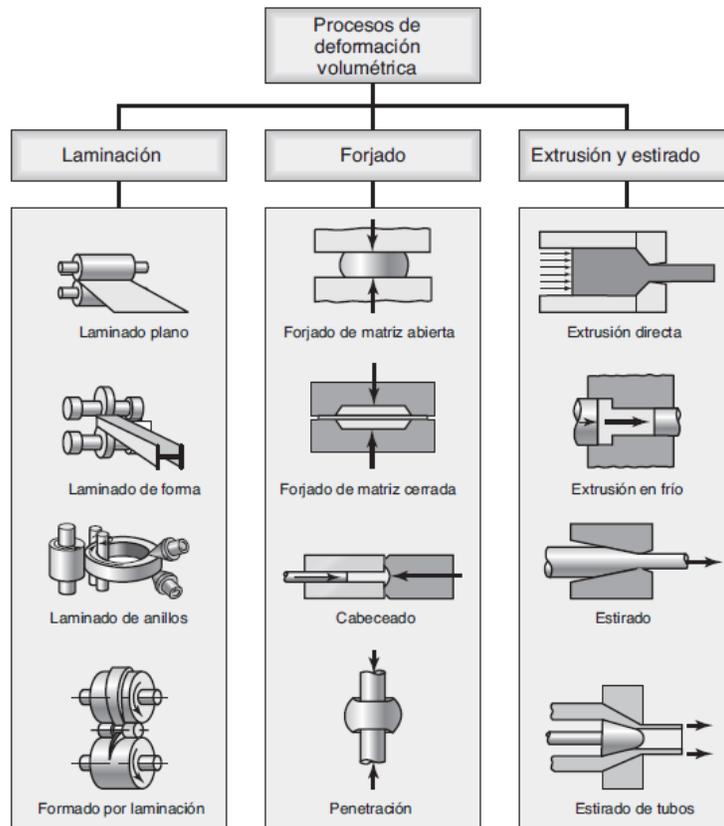


Figura 2.25. Procesos de deformación volumétrica [26].

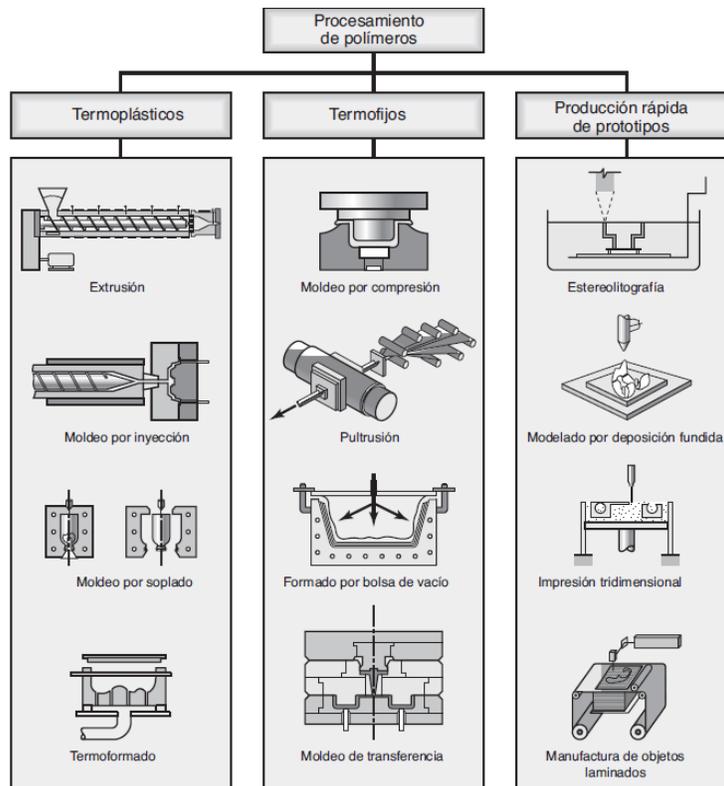


Figura 2.26. Métodos de procesamiento de polímeros [26].

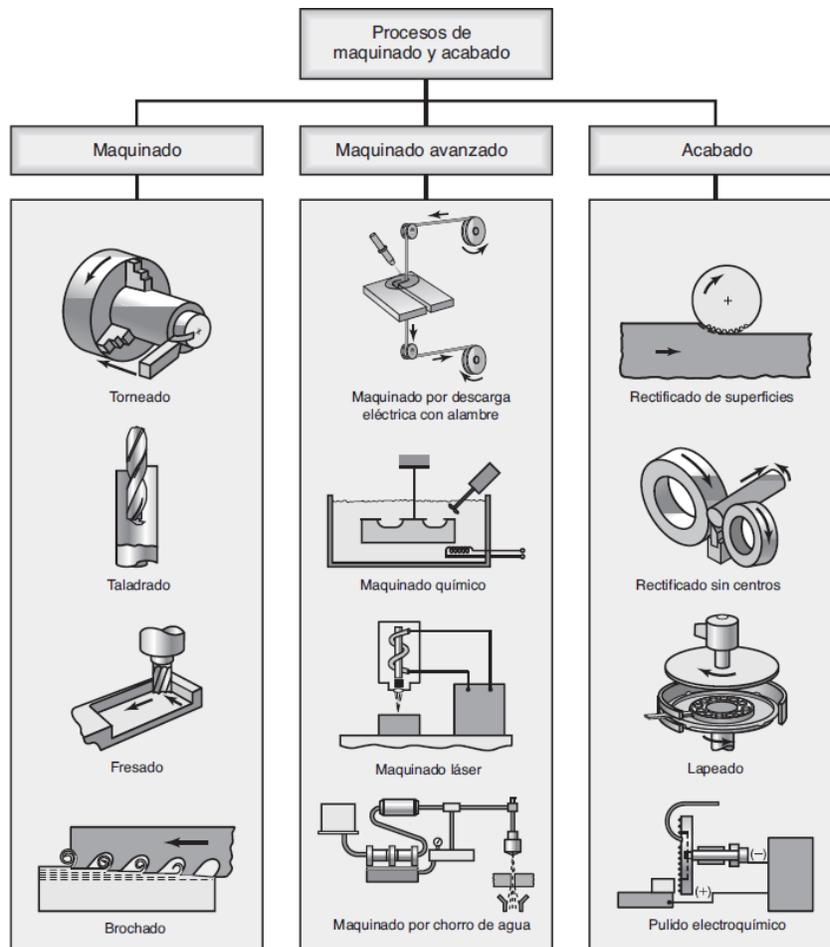


Figura 2.27. Procesos de maquinado y acabado [26].

2.4.2. Operaciones de ensamble

Una operación de ensamble como parte de un proceso consta de la unión de dos o más componentes (piezas) con el fin de crear un nuevo elemento o producto, denominado comúnmente como ensamble o subensamble. Estos componentes se conectan de forma permanente o semipermanente, los procesos de unión permanente son: soldadura autógena, soldadura fuerte, soldadura blanda y unión mediante adhesivos. Por otra parte, para unión semipermanente existen métodos de ensamble mecánico para sujetar dos o más piezas, permitiendo desarmarlos a conveniencia, empleando tornillos, remaches y demás sujetadores mecánicos. Los remaches, ajustes de presión y ajustes de expansión forman parte de técnicas de ensamblado mecánico para formar conexiones permanentes [24].

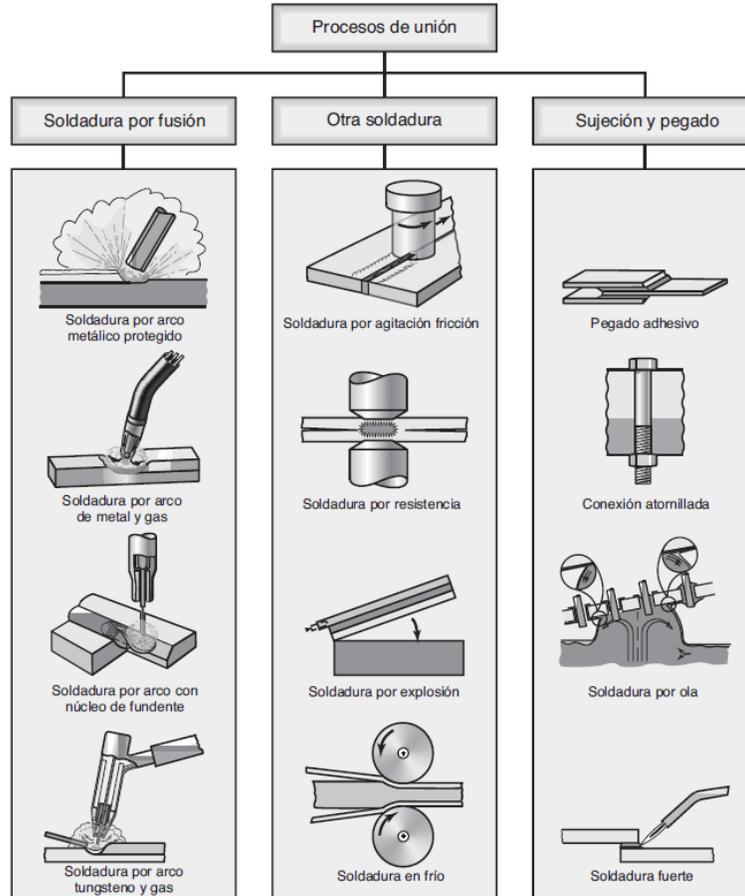


Figura 2.28. Procesos de unión [26].

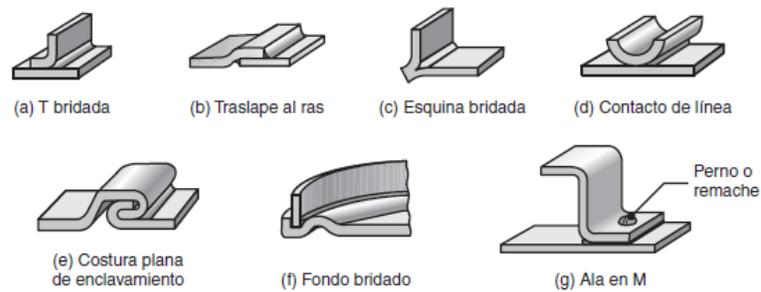


Figura 2.29. Uniones comúnmente empleadas en soldadura blanda [26].

2.5. Despliegue de la función de calidad

El despliegue de la función de calidad (QFD, por sus siglas en inglés) es una metodología empleada en el diseño y desarrollo de productos y servicios, para transformar las necesidades y

expectativas del cliente en requisitos técnicos y características de diseño. El desarrollo del QFD a través de sus cuatro matrices permite priorizar y relacionar los requerimientos del cliente con los procesos de manufactura, facilitando la toma de decisiones y elevando la calidad desde las etapas iniciales de diseño hasta la producción final [27]. La Casa de la Calidad (Figura 2.30) permite organizar esta información en una matriz que traduce los requerimientos del cliente en objetivos concretos de diseño, ingeniería y marketing. Además, fomenta la colaboración entre distintos departamentos y facilita la identificación de fortalezas y debilidades del producto, optimizando su desarrollo para mejorar su desempeño y satisfacción del cliente [28].

Generalmente el despliegue de la función de calidad consta de cuatro matrices, sin embargo, estas pueden ser más según las necesidades y requerimientos de cada proyecto [29]. Estas se describen generalmente como:

- Primera casa de la calidad (planeación del producto): esta es la matriz del QFD más conocida, consta de la recopilación y análisis de los requerimientos del cliente (la voz del cliente; ¿qué se quiere?) y se comparan con las características técnicas del producto (voz del ingeniero; ¿cómo se soluciona o satisface?). Donde, a través de una matriz de planeación del producto se identifican las relaciones entre ambos conjuntos de variables, lo que permite definir los objetivos técnicos prioritarios para el diseño.

También se realiza una comparación con productos de la competencia con el fin de determinar áreas de mejora y las ventajas competitivas que el producto debe ofrecer.

- Segunda matriz (despliegue de componentes): las características técnicas definidas en la primera fase se desglosan en componentes o subsistemas específicos del producto. Con el propósito de establecer los componentes que deben cumplir con cada uno de los requerimientos técnicos, asegurando la coherencia entre el diseño global y los elementos individuales. De esta manera, se garantiza que cada componente contribuya al cumplimiento de las expectativas del cliente y que el diseño sea factible desde el punto de vista de ingeniería.
- Tercera matriz (despliegue de procesos): aquí se vinculan los componentes del producto con los procesos de manufactura necesarios para fabricarlos, determinando los

parámetros de producción, métodos de fabricación, materiales y controles de calidad requeridos para mantener la consistencia y confiabilidad del producto.

Esta matriz asegura que los procesos seleccionados sean capaces de cumplir con las especificaciones técnicas establecidas en las etapas anteriores, favoreciendo la eficiencia productiva.

- Cuarta matriz (despliegue de producción): esta traduce los requerimientos del proceso en instrucciones operativas, planes de control y estándares de producción. Su finalidad es asegurar que el producto fabricado cumpla de manera continua con los requisitos de calidad definidos. Estableciendo las rutinas de inspección, mantenimiento y control estadístico de procesos, garantizando la reproducibilidad y la mejora continua en el entorno productivo.

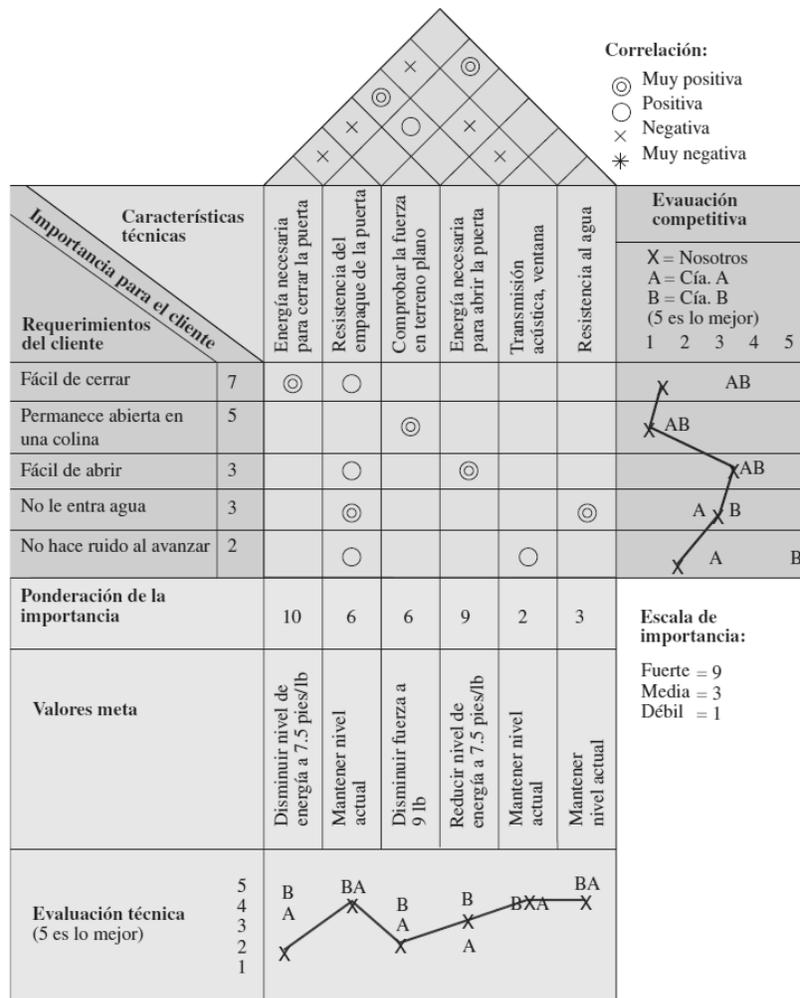


Figura 2.30. Ejemplo de la primera casa de la calidad para la puerta de un automóvil [28].

3. Desarrollo de la metodología

3.1. Fase 0: Planeación

Como fase inicial de diseño, se identificó y definió una problemática que involucra el diseño y manufactura de un producto, misma que se planteó al tener un acercamiento con los médicos veterinarios pertenecientes a la brigada de promoción al desarrollo de la UTM y profesores-investigadores que colaboran en el proyecto. Obteniendo como resultado el anteproyecto de tesis y registro del tema, mismos que pertenecen al capítulo 1 de este trabajo de tesis referente a la introducción, así como la declaración de la misión del proyecto.

Por otra parte, este trabajo se identificó y clasificó como un proyecto de “mejoras incrementales a productos existentes” [13], debido a que se agregarán y modificarán algunas funciones de productos existentes para la actualización y competitividad del producto.

Tabla 3.1. Declaración de la misión del proyecto [13].

Declaración de la misión: Proyecto de tesis	
Descripción del producto	✓ Prototipo de un sistema de transmisión intercambiable entre una picadora de forraje y una desgranadora de maíz
Propuesta de valor	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Adaptación de una fuente de potencia a dos máquinas agrícolas estacionarias mediante un sistema de transmisión ✓ Reducción de costos como resultado de la implementación de una sola fuente de potencia
Metas clave del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Prototipo físico presentado el mes de septiembre de 2025 ✓ Costos de producción accesibles ✓ Aumentar o reducir la velocidad de entrada
Mercado primario	✓ Productores agrícolas a pequeña escala
Mercados secundarios	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Productor casual ✓ Productor para autoconsumo
Suposiciones	<ul style="list-style-type: none"> <li style="width: 50%;">✓ Práctico <li style="width: 50%;">✓ Ligero <li style="width: 50%;">✓ Fácil montaje y desmontaje <li style="width: 50%;">✓ Económico y duradero
Involucrados	<ul style="list-style-type: none"> <li style="width: 50%;">✓ Posibles usuarios <li style="width: 50%;">✓ Producción (manufactura) <li style="width: 50%;">✓ Diseño <li style="width: 50%;">✓ Comité revisor

3.2. Fase 1: Desarrollo del concepto

Esta fase consta de cuatro pasos fundamentales (Figura 3.1). Para desarrollar un producto es necesario identificar las necesidades del cliente y definir especificaciones objetivo, para luego generar los conceptos del producto. Todo esto se realiza mediante diversas herramientas y métodos que permiten entablar una comunicación directa con el cliente [13].

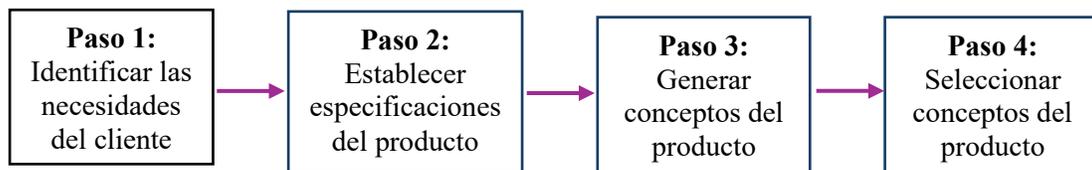


Figura 3.1. Pasos fundamentales para el desarrollo del concepto [13].

3.2.1. Identificación de las necesidades del cliente

Con el objetivo de identificar las necesidades del cliente y asegurar que el producto se enfoque en estas, se generó un canal de comunicación directa con el cliente, quienes para este trabajo de investigación son los médicos veterinarios. Como primer método se “observó el producto en uso” [13], mediante la documentación y análisis de las máquinas existentes (capítulo 1.1).

Como segundo método se aplicó una “entrevista/encuesta” a tres miembros de la brigada de promoción al desarrollo de la UTM. En esta encuesta (Apéndice A) se les pidió que indicaran las capacidades de las máquinas que emplean, que mencionaran las características y requerimientos prioritarios para ellos. Las respuestas obtenidas se presentan en la Tabla 3.2 (funcionalidad e importancia de un nuevo sistema), Tabla 3.3 (necesidades de picado de forraje) y Tabla 3.4 (necesidades de desgranado de maíz) como los datos sin procesar de los clientes.

Tabla 3.2. Respuestas de funcionalidad e importancia del sistema propuesto en este trabajo de investigación como solución a la problemática encontrada.

Funcionalidad e importancia del nuevo sistema			
Preguntas	Respuestas Veterinario 1: Pérez Vásquez	Respuestas Veterinario 2: Vázquez Mota	Respuestas Veterinario 3: -----
¿La maquinaria es propia o rentada?	Rentada	Propia	Propia
¿Sería de tu interés emplear un solo motor de menor potencia mediante un sistema de transmisión intercambiable para ambas máquinas?	Si, sería de mi interés	Si	Si
¿Estarías interesado en adquirir un sistema que permita usar un solo motor para diferentes máquinas? ¿Por qué?	Si, porque implicaría un bajo costo de inversión	Si, para disminuir el mantenimiento y costo de un motor	Si, porque sería más económico darle mantenimiento a un solo motor
¿Qué tan importante sería para ti un desmontaje fácil, rápido e intuitivo del sistema de potencia (motor y transmisión)?	Facilitaría las maniobras de trabajo	Sería muy bueno, facilitaría el uso	Sería muy importante
¿Qué tan importante sería el peso de este sistema de transmisión para ti?	Muy importante	Que sea ligero y fácil de montar	Si, para que sea operable
¿Qué esperarías de este diseño en términos de costo, diseño y practicidad?	Que fuera muy eficiente	Que sea barato, diseño fácil de usar y que sea eficiente	1.- Costo accesible 2.- Practicidad 3.- Que sea útil
¿Prefieres funcionalidad, practicidad o estética en una máquina?	Funcionalidad	1.- Funcionalidad, 2.- practicidad y 3.- estética	Funcionalidad
¿Mueves frecuentemente esta máquina de lugar o la usas en lugares remotos donde no cuentas con electricidad?	Si	Si	Si

Tabla 3.3. Respuestas sobre necesidades y equipo con que cuentan los médicos veterinarios para picar forraje.

Necesidades y equipo actual			
Máquina: Picadora de Forraje			
Preguntas	Respuestas Veterinario 1: Pérez Vásquez	Respuestas Veterinario 2: Vázquez Mota	Respuestas Veterinario 3: -----
¿Cuál es tu volumen de producción?	2 toneladas	8 toneladas	2 toneladas por semana
¿Cada cuánto empleas esta máquina?	2 veces por año	Cada 8 – 15 días Época de lluvia	Cada tercer día
¿Cuál es el uso principal que le das a esta máquina?	Moler zacate y maíz	Picar zacate para alimento de animales, moler maíz y otros granos	Picar forraje verde y seco
¿Cuál es la potencia de tu máquina actual?	9 hp	9.5 hp	5 hp
¿Son recurrentes los fallos en tu picadora de forraje actual? Si tu respuesta es sí especifica cuales.	-----	Si, en bandas, baleros, carburador y filtros	No
¿La producción es para venta o autoconsumo?	Autoconsumo	Autoconsumo	Autoconsumo
¿La máquina actual cumple con tus necesidades de producción? Si tu respuesta es no especifica.	Si	Si	Si
¿El motor actual cumple con los requerimientos de tu máquina?	No	Si	Si
¿Cada cuánto realizas el mantenimiento del motor?, menciona un costo aproximado.	-----	2 veces al año \$ 600 a \$ 1200	Cada 6 meses \$ 300
¿Empleas esta máquina para otro tipo de trabajos o tareas?, si la respuesta es sí menciona cuales.	-----	No	No

Tabla 3.4. Respuestas sobre necesidades y equipo con que cuentan los médicos veterinarios para desgranar maíz.

Necesidades y equipo actual			
Máquina: Desgranadora de Maíz			
Preguntas	Respuestas Veterinario 1: Pérez Vásquez	Respuestas Veterinario 2: Vázquez Mota	Respuestas Veterinario 3: -----
¿Cuál es tu volumen de producción?	2 toneladas	2 a 4 toneladas	2 toneladas
¿Cada cuánto empleas esta máquina?	2 veces por año	2 a 4 veces al año	1 vez al año
¿Cuál es el uso principal que le das a esta máquina?	Desgranar maíz	Desgranar mazorca	Desgranado de mazorca
¿Cuál es la potencia de tu máquina actual?	7 hp	2 hp	2 hp
¿Son recurrentes los fallos en tu picadora de forraje actual? Si tu respuesta es sí especifica cuales.	-----	Pocos	No
¿La producción es para venta o autoconsumo?	Autoconsumo	Venta 50% Autoconsumo 50%	Autoconsumo
¿La máquina actual cumple con tus necesidades de producción? Si tu respuesta es no especifica.	Si	Si	Si
¿El motor actual cumple con los requerimientos de tu máquina?	Si	Si	Si
¿Cada cuánto realizas el mantenimiento del motor?, menciona un costo aproximado.	\$ 800	Una vez al año \$ 800	Cada año \$ 200
¿Empleas esta máquina para otro tipo de trabajos o tareas?, si la respuesta es sí menciona cuales.	No	No	No

Una vez recabada esta información cualitativa y con ambigüedades, se realizó la interpretación de los datos sin procesar en términos de las necesidades del cliente para

posteriormente procesar y establecer estas, así como su importancia relativa, donde un valor igual a 1 no es de importancia y un valor igual a 5 o cercano es importante y debe estar presente (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Interpretación de las necesidades del cliente y su importancia relativa.

Necesidad – Importancia en el sistema de transmisión de potencia			
Núm. de necesidad	Sistema/componente	Necesidad	Imp.
1	Las máquinas	Emplean un solo motor	5
2	El motor	Es comercial	4
3	El motor	Es de combustión interna	5
4	El sistema de transmisión	Es de montaje y desmontaje rápido y fácil	5
5	El sistema de transmisión	Es ligero	5
6	El sistema de transmisión	Es funcional	5
7	El sistema de transmisión	Es práctico	4
8	El sistema de transmisión	Tiene un diseño estético	1
9	El sistema de transmisión	Es económico	4
10	El sistema de transmisión	Es fácil de transportar	4
11	El sistema de transmisión	Es robusto	2
12	El sistema de transmisión	Permite un mantenimiento con herramientas comunes y sencillas	5
13	El sistema de transmisión	Es de fácil acceso para mantenimiento	4
14	El sistema de transmisión	Tiene una larga vida útil	5
15	El sistema de transmisión	Contiene puntos rígidos de montaje	4
16	El sistema de transmisión	Compensa la potencia requerida	5
17	El sistema de transmisión	Inspira seguridad	5
18	El sistema de transmisión	Contiene piezas y elementos convencionales	3
19	El sistema de transmisión	No se contamina con polvo	4

3.2.2. Establecer especificaciones del producto

Como primer paso, se realizó una evaluación de la competencia para entender como otros productos en el mercado satisfacen las necesidades del cliente (Tabla 3.6).

Tabla 3.6. Información de la competencia (máquinas desgranadoras de maíz y picadoras de forraje comerciales).

Competencia	Descripción	Máquina
Desgranadoras de maíz		
Desgranadora de maíz (mazorca) manual ZAIT calidad premium [30]	Desgranador manual, fabricado en hierro fundido, fácil de transportar, capacidad aproximada de 50 kg/h (bajos niveles de producción), peso aproximado de 7.00 kg, funcionamiento: coloque la mazorca en la tolva y gire la manivela para obtener granos de maíz al instante. Dimensiones: 45 cm x 20 cm x 30 cm, costo \$ 671.25 MXN	
Desgranadora de maíz Rayken RKDM1800 [8]	Desgranadora de maíz mecánica con motor de combustión interna a gasolina marca Husky de 6.5 hp. Estructura de ángulo, solera y redondo. Flecha de rodamiento de bola. Chumacera central de balero 6205. Chumacera axial con balero 6002. Rotor balanceado y rectificado. Ventilador realizado en aluminio. Producción de 1000 kg/h (bajos y medios niveles de producción), costo \$ 10755.00 MXN, peso: 65 kg, dimensiones: 50 x 135 x 135 cm	
Picadoras de Forraje		
Picadora/cortadora de Forraje marca Rayken RKP1800 [8]	Picadora de forraje mecánica con motor de combustión interna marca Swedish Husky de 6.5 hp. Ideal para el picado de forraje como caña de azúcar, alfalfa, maíz, pastos, desintegra mazorcas, semillas y cereales. Con diferentes cribas hasta obtener el molido deseado, cuchillas de acero templado, costo \$ 9495.00 MXN (costo aproximado del motor \$ 3200.00). Producción 700 kg/h, dimensiones: 120 x 110 x 50 cm, peso: 70 kg	
Picadora/cortadora de forraje marca Antarix THCF1800K6 [9]	Cortadora de forraje mecánica para verdes y secos con motor de combustión interna marca Kohler de 6.5 hp. Contiene una boca de alimentación para verdes y secos, dos cribas de 1/8" con barrenos 3/32" y 9/16" y chasis integrado. Costo: \$ 15880.00 MXN (costo aproximado del motor \$ 4000.00 MXN). Producción 1500-1800 kg/h, peso: 75 kg	

Nota: esta comparación se limita a máquinas existentes debido a la falta de sistemas de transmisión acoplables.

A partir de los hallazgos encontrados y de la identificación de las necesidades del cliente con su importancia, se convirtieron estas de cualitativas a cuantitativas mediante métricas como se muestra en la Tabla 3.7. Estos términos son técnicos y cuantificables para cumplir con los requerimientos del cliente y se definieron con ayuda de una matriz de necesidades-métricas (Apéndice B).

Tabla 3.7. Lista de métricas para el sistema de transmisión de potencia, donde un valor igual o cercano a 1 no es tan importante como el que es igual o cercano a 5.

Métrica núm.	Núm. de necesidad	Métrica	Imp.	Unidades
1	1	Motor compartible (dimensiones 40 x 40 x 40)	5	cm
2	2	Motor convencional y económico	5	\$ MXN
3	2, 3	Potencia del motor (6.5)	4	hp
4	4	Poco tiempo para montar el sistema	5	s
5	5	Peso final del sistema (máx. 20)	4	kg
6	6	El sistema duplica o reduce la potencia (relación 2:1)	5	Binario
7	4, 7	El sistema es práctico, simple y cumple con su función	3	Binario
8	8	El sistema es visualmente estético y simétrico	1	Binario
9	9	Costo de materiales y componentes accesible (< que un motor de combustión interna)	4	\$ MXN
10	10	Personas necesarias para manipular el sistema (1)	3	Persona
11	11	Grosor mínimo de las placas para la base ($\frac{1}{8}$)	4	in
12	12, 13	Herramientas básicas y comunes para mantenimiento	4	Lista
13	12, 13	Tiempo corto de mantenimiento	3	s
14	14	Fallos estimados (máx. 1)	1	c/año
15	15	La base contiene puntos de montaje (mín. 4)	2	puntos
16	16	Volumen de producción (100-250)	4	kg/h
17	17, 19	Los componentes no se encuentran expuestos	3	Binario
18	18	Piezas estándar empleadas en el sistema (mín. 50)	3	%
19	19	El sistema se encuentra cubierto por una tapa	4	Binario

Nota: se define una potencia de 6.5 hp debido al uso de motores empleados en máquinas comerciales, requerimientos del cliente y costos.

Posteriormente, se elaboró una lista de especificaciones objetivo (Tabla 3.8), tomando en cuenta las métricas con importancia igual a 4 y 5 de la Tabla 3.7, por lo que estas son consideradas críticas y necesarias para continuar con el desarrollo de conceptos. Mismas que deben cumplirse y tomarse en cuenta para el diseño del sistema de transmisión

Tabla 3.8. Lista de especificaciones objetivo.

Especificaciones objetivo.		
Métrica núm.	Métrica	Unidades
1	Motor compartible (dimensiones 40 x 40 x 40)	cm
2	Motor convencional y económico	\$ MXN
3	Potencia del motor (6.5)	hp
4	Poco tiempo para montar el sistema	s
5	Peso final del sistema (máx. 20)	kg
6	El sistema duplica o reduce la potencia (relación 2:1)	Binario
9	Costo de materiales y componentes accesible (< que un motor de combustión interna)	\$ MXN
11	Grosor mínimo de las placas para la base ($\frac{1}{8}$)	in
12	Herramientas básicas y comunes para mantenimiento	Lista
16	Volumen de producción	kg/h
19	El sistema se encuentra cubierto por una tapa	Binario

3.2.3. Generación de conceptos del producto

Analizando diversos elementos empleados para la transmisión de potencia (capítulo 2.2), se proponen y describen tres conceptos del sistema de transmisión con el objetivo de satisfacer las necesidades definidas.

- **Sistema de transmisión por bandas:** este sistema está conformado por bandas y poleas para transmitir fuerza entre el eje del motor y el eje de entrada de potencia de la máquina.

Ventajas: sistema económico debido al uso de bandas que generalmente son fabricadas con polímeros que tienen una vida útil limitada, absorben vibraciones, golpes, son fáciles de mantener y remplazar.

Desventajas: sistema de transmisión de potencia más empleado en la industria, mismo que transfiere potencia entre ejes paralelos, donde existen pérdidas de potencia debido a la fricción y la velocidad de transmisión no es regulable.

- **Sistema de transmisión por engranes:** sistema conformado por engranajes, un eje intermedio con cuñas para transmitir y ajustar (aumentar) la potencia entre el eje del motor (fuente de potencia) y la entrada de potencia de la máquina.

Ventajas: es un sistema muy confiable cuando se desea aumentar o disminuir la potencia entre el eje de entrada y el eje de salida, es de fácil mantenimiento, soporta cargas elevadas y es más preciso en cuanto a transmisión de potencia.

Desventajas: costos más elevados que la transmisión por poleas, derivado de los componentes más duraderos y material en que estos están fabricados.

- **Sistema de transmisión mixto:** este sistema de transmisión es un punto intermedio entre las propuestas anteriores, debido a que emplea el sistema de bandas, cadenas y poleas para transmitir potencia de un eje de entrada a un eje de salida, por otra parte, el sistema de transmisión por engranes cumple con la parte de aumentar o disminuir la potencia de salida del eje intermedio según la configuración de los engranes.

Ventajas: costo intermedio debido a la sustitución de algunos componentes del sistema de transmisión de engranes por poleas y bandas, tiene una larga vida útil y las bandas una vida limitada, pero al ser de polímeros estas son económicas. Se puede aumentar o disminuir la potencia mediante los engranes.

Desventajas: costos considerables derivados del tren de transmisión de engranes, robustez y mayor número de componentes.

Posteriormente a la descripción de estos conceptos, en la Figura 3.2 se muestra el funcionamiento principal del sistema (descomposición del problema [13]).

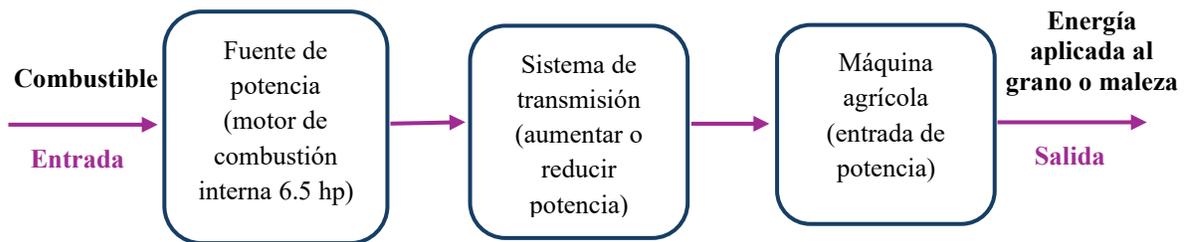


Figura 3.2. Descomposición del problema.

Una vez definido el funcionamiento principal del sistema se procedió a realizar la Tabla 3.9, misma en la que se presenta la combinación de conceptos para el sistema de transmisión de potencia, proponiendo tres conceptos: sistema de transmisión por medio de poleas y bandas, sistema por medio de ejes, engranes y cuñas, y finalmente un sistema mixto.

Tabla 3.9. Combinación de concepto para el sistema de transmisión de potencia.

Fuente de potencia	Sistema de transmisión (aumentar potencia)	Máquina agrícola (entrada de potencia)
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">Motor de combustión interna (6.5 hp)</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto; margin-bottom: 10px;">Poleas y bandas</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto; margin-bottom: 10px;">Ejes, engranes y cuñas</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">Mixto (poleas, bandas, ejes, cadenas, engranes rectos y cuñas)</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto; margin-bottom: 10px;">Desgranadora de maíz</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">Picadora de forraje</div>

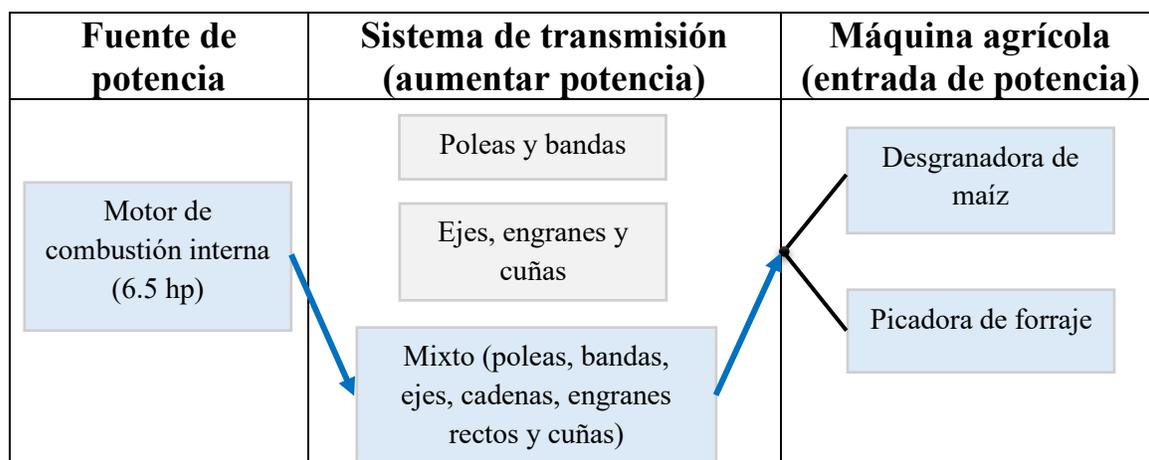
Tabla 3.10. Combinación de concepto para el sistema de transmisión de potencia por medio de poleas y bandas.

Fuente de potencia	Sistema de transmisión (aumentar potencia)	Máquina agrícola (entrada de potencia)
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto; background-color: #f0e6ff;">Motor de combustión interna (6.5 hp)</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto; background-color: #f0e6ff; margin-bottom: 10px;">Poleas y bandas</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto; margin-bottom: 10px;">Ejes, engranes y cuñas</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">Mixto (poleas, bandas, ejes, cadenas, engranes rectos y cuñas)</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto; background-color: #f0e6ff; margin-bottom: 10px;">Desgranadora de maíz</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto; background-color: #f0e6ff;">Picadora de forraje</div>

Tabla 3.11. Combinación de concepto para el sistema de transmisión de potencia, por medio de ejes, engranes y cuñas.

Fuente de potencia	Sistema de transmisión (aumentar potencia)	Máquina agrícola (entrada de potencia)
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto; background-color: #e0ffe0;">Motor de combustión interna (6.5 hp)</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto; margin-bottom: 10px;">Poleas y bandas</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto; background-color: #e0ffe0; margin-bottom: 10px;">Ejes, engranes y cuñas</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">Mixto (poleas, bandas, ejes, cadenas, engranes rectos y cuñas)</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto; background-color: #e0ffe0; margin-bottom: 10px;">Desgranadora de maíz</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto; background-color: #e0ffe0;">Picadora de forraje</div>

Tabla 3.12. Combinación de concepto para el sistema de transmisión de potencia mixto.



3.2.4. Selección del concepto del producto

Se evaluaron los sistemas propuestos con respecto a las necesidades del cliente y otros criterios, comparando fortalezas y debilidades con el objetivo de elegir uno o dos de los sistemas propuestos. La selección del concepto se lleva a cabo mediante la matriz de evaluación de conceptos [13], al no existir un sistema de referencia en el mercado la comparación se realiza entre las propuestas realizadas, así como las necesidades e importancia.

Tabla 3.13. Matriz de selección de conceptos.

Criterios de selección	Conceptos		
	Sistema de transmisión por bandas y poleas	Sistema de transmisión por eje, engranes y cuñas	Sistema de transmisión mixto
Facilidad de montaje	+	-	0
Facilidad de desmontaje	+	0	0
Facilidad de manejo	+	-	+
Durabilidad	-	+	+
Portabilidad	0	+	0
Facilidad de mantenimiento	0	0	+
Facilidad de manejo	-	+	+
Económico	+	-	0
Suma +	4	3	4
Suma 0	2	2	4
Suma -	2	3	0
Evaluación neta	2	0	4
¿continuar?	Si	No	Si

Nota: para evaluar estos conceptos se definió; “+” para mejor que, “0” igual a y “-” peor que.

Al realizar la matriz de selección de conceptos, se identificaron dos sistemas de transmisión de potencia para su desarrollo: el sistema de transmisión mixto y el sistema de transmisión por bandas y poleas. Se determinó que el sistema de transmisión mixto es el que mejor se adapta a este trabajo de investigación, ya que permite acoplar ejes en diferentes posiciones, facilitando el incremento de potencia. Esto se logra mediante el uso de diversos componentes mecánicos, lo cual es una ventaja frente al sistema de transmisión de potencia mediante bandas y poleas, ya que estas transmiten directamente la potencia.

Adicionalmente, con el objetivo de reducir costos, se identificó y observó que las máquinas picadoras de forraje emplean comúnmente un motor de combustión interna de 6.5 hp a 3500 o 3600 rpm, mientras que las desgranadoras de maíz emplean motores que proporcionan una velocidad rotacional entre 1700 y 1800 rpm. Situación que evidencia y permite definir un sistema de transmisión con relación de 2:1 para acoplar este motor a la máquina desgranadora de maíz. De igual forma, al ser un sistema que reduce o duplica la velocidad, esta puede ser adaptada a máquinas con mayor capacidad y así compensar la potencia de motores comúnmente empleados (2 - 9 hp) para niveles de producción bajos o medios. Al no existir una relación de 2:1 para diversas configuraciones con otras máquinas, puede realizarse un cambio en la relación de engranes para obtener las velocidades y potencia necesarios, sin afectar los componentes originales de las máquinas, ya que el cambio sería al interior de la transmisión (rediseño de engranes, ajuste de sujeciones y posición según la distancia entre centros).

En la Figura 3.3 se muestra un bosquejo del sistema de transmisión seleccionado.

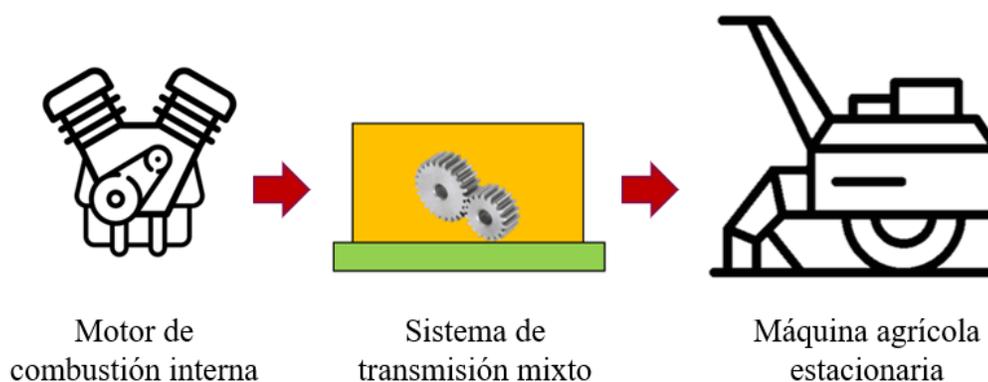


Figura 3.3. Concepto del sistema de transmisión de potencia mixto.

3.3. Fase 2: Diseño en el nivel sistema

Esta fase se enfoca en definir la arquitectura del producto, los subsistemas y componentes principales, así como sus interacciones con el objetivo de visualizar la estructura del sistema y asegurar el funcionamiento de los subsistemas en conjunto para cumplir con los objetivos del proyecto [13].

3.3.1. Definición de la arquitectura del producto

Partiendo de las fases anteriores y del sistema de transmisión planteado en la Figura 3.3, se realizó un bosquejo del sistema de transmisión, identificando componentes de conexión entre el motor, transmisión y máquina (Figura 3.4), así como una vista/modelo preliminar del sistema de transmisión mixto elaborado en el programa SolidWorks® (Figura 3.5). Este modelo es representativo y adimensional, debido a que en esta fase solo se identificaron los elementos clave del sistema de transmisión, mismos que se detallan en la fase 3.

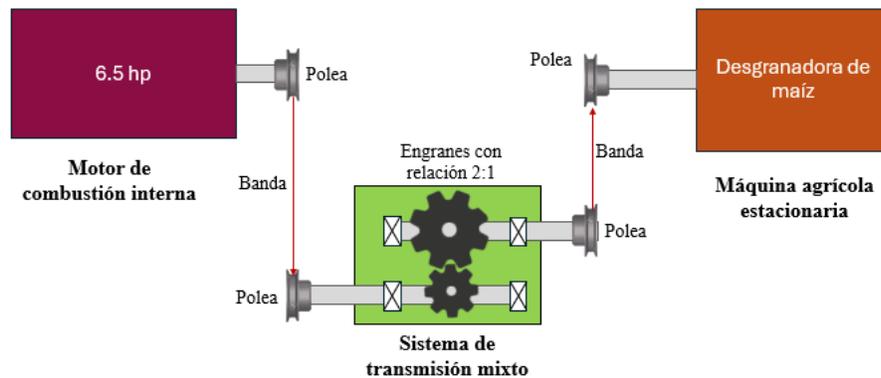


Figura 3.4. Bosquejo del sistema de transmisión.

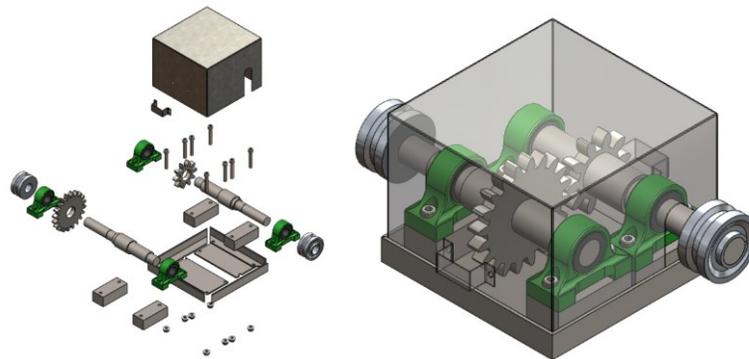


Figura 3.5. Disposición geométrica aproximada del sistema de transmisión mixto.

3.3.2. Identificación de subsistemas y componentes

Con el objetivo de plasmar clara y ordenadamente el proceso de transmisión de potencia, se elaboró un esquema del producto, agrupando los elementos necesarios para el funcionamiento del sistema, acoplado a una máquina agrícola estacionaria para picar forraje o desgranar maíz, identificando en la Figura 3.6 el sistema de transmisión que se desarrolla en este trabajo de tesis.

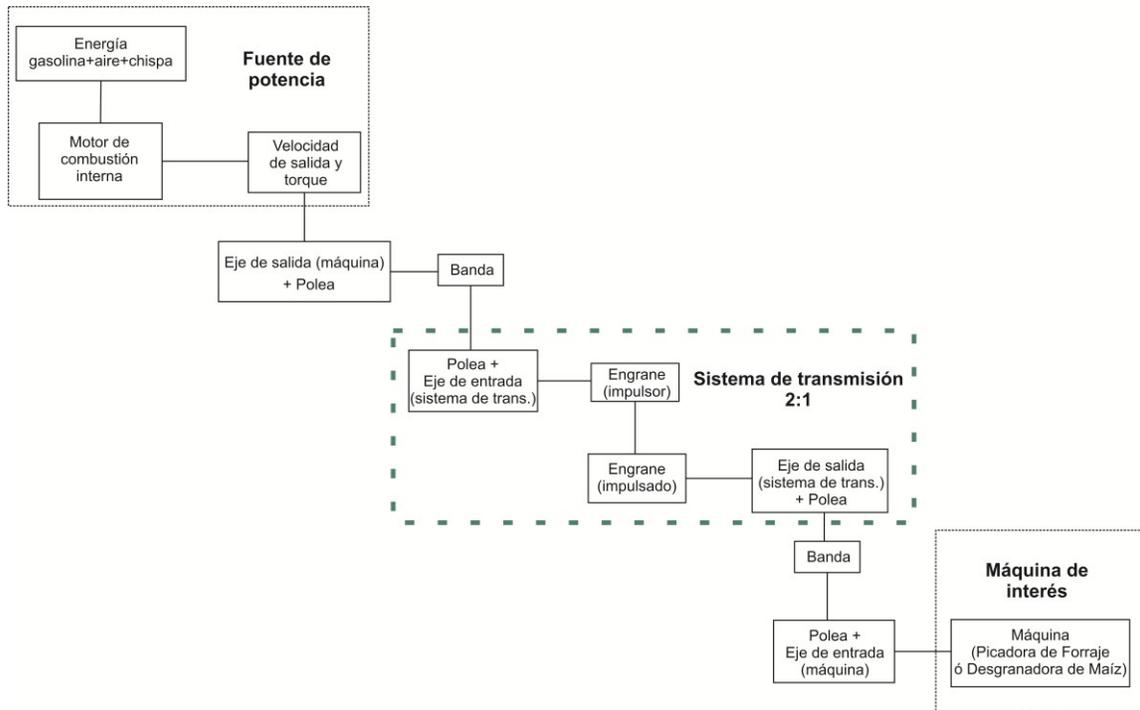


Figura 3.6. Esquema de funcionamiento y ubicación del sistema de transmisión.

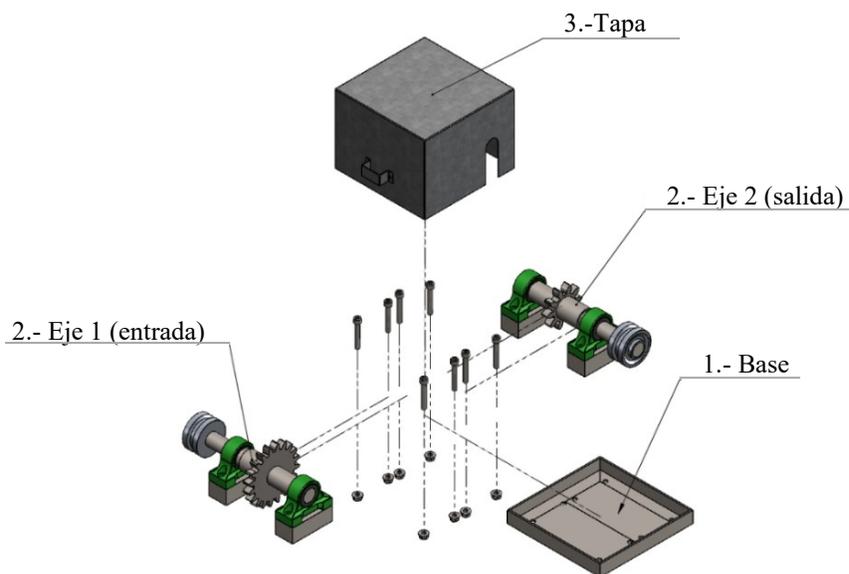


Figura 3.7. Vista explosionada e identificación en trozos (subsistemas) del producto (Figura 3.5).

En la Figura 3.7 se asignó cada uno de los elementos a un trozo, donde un trozo son los elementos físicos de un producto, mismos que pertenecen a elementos físicos de construcción más grandes [13]. Identificando tres trozos (subsistemas) relacionados con la base, ejes (entrada, salida) y tapa. Así mismo, se definió el sistema transmisión como sistema de interés y los componentes necesarios en cada uno de estos (Figura 3.8).

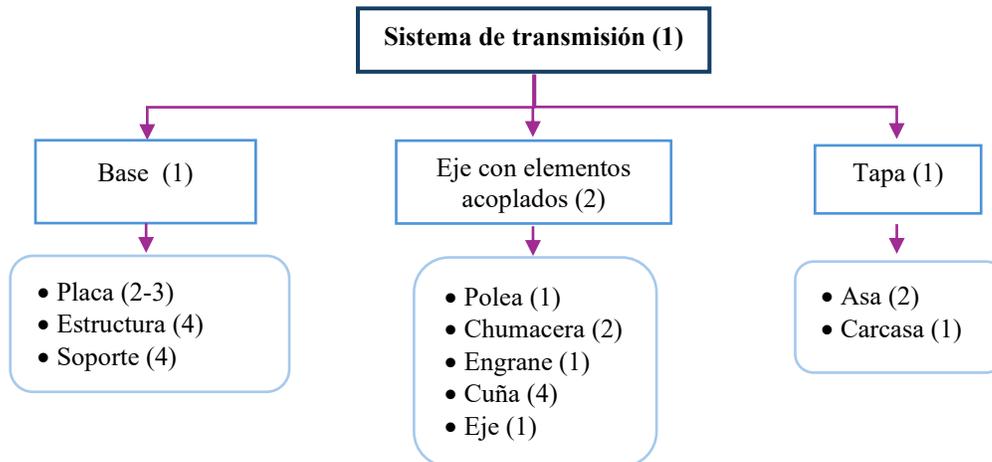


Figura 3.8. Subsistemas y componentes del sistema.

Por otra parte, existen demás elementos físicos y funcionales que no aparecen en los diagramas e ilustraciones mostrados, ya que estos se especifican y detallan a medida que el diseño del sistema se desarrolla.

3.3.3. Función de los subsistemas y componentes

Con el objetivo de comprender el funcionamiento del sistema de transmisión en su conjunto, este se definió en la Tabla 3.14. En la Tabla 3.15 se presentan las funciones de los subsistemas y en la Tabla 3.16, los componentes acompañados de una pequeña ilustración.

Tabla 3.14. Función del prototipo del sistema de transmisión.

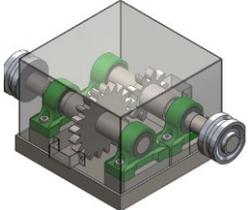
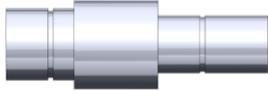
Sistema		Función
	Transmisión	Transferir la potencia generada por el motor a las máquinas estacionarias de interés, adaptando la velocidad y el torque según las necesidades de operación. Relación 2:1 o 1:2 según su orientación

Tabla 3.15. Función de los subsistemas.

Subsistema	Función
Base	Soportar y alinear los componentes internos, unir ejes o componentes para transferir potencia mecánica, compensando desalineaciones y reducir vibraciones durante la operación
Eje con elementos acoplados	Modificar la relación entre la velocidad de entrada y la de salida, ajustando el torque para satisfacer las necesidades del sistema, mediante engranes, poleas, rodamientos y demás elementos acoplados
Tapa	Proteger de contaminantes, retener el lubricante, reducir el ruido y vibraciones, fijar el sistema al equipo y servir como protección para evitar accidentes con el usuario

Tabla 3.16. Función de los componentes.

Componente	Ilustración	Función
Eje		Transmitir movimiento y potencia a través de rotación, soportando otros elementos como engranajes o poleas
Cuña		Transmitir fuerza y mantener un componente en su lugar
Polea		Cambiar la dirección de una fuerza o transmitir movimiento a través de una correa o cable
Engrane		Transmitir potencia, cambiar la velocidad de rotación o ajustar el torque en el sistema
Chumacera		Permitir que el eje gire con facilidad y dar soporte
Cojinete		Reducir la fricción entre dos superficies móviles, permitiendo el giro del eje o componentes sin desgaste excesivo
Banda		Transmitir movimiento entre componentes, como poleas, mediante fricción o acoplamiento
Estructura y/o placa		Proporcionar soporte y estabilidad a los demás componentes

Componente	Ilustración	Función
Carcasa		Proteger los componentes internos de la suciedad, desgaste o daños físicos
Sujetadores		Fijar y asegurar la tapa de lámina a la estructura, proporcionando estabilidad y resistencia al conjunto

Nota: ilustraciones elaboradas en el programa SolidWorks®.

3.3.4. Esquema preliminar del ensamble final

Para entender el proceso y orden de ensamble de los componentes del sistema de transmisión, se realizó un diagrama de flujo para el ensamble final (Figura 3.9) con el objetivo de proporcionar una aproximación inicial del diseño, disposición y secuencia necesarios para complementar el sistema. Este esquema sirve como guía para identificar y planificar los pasos requeridos antes de la ejecución detallada o ensamble definitivo.

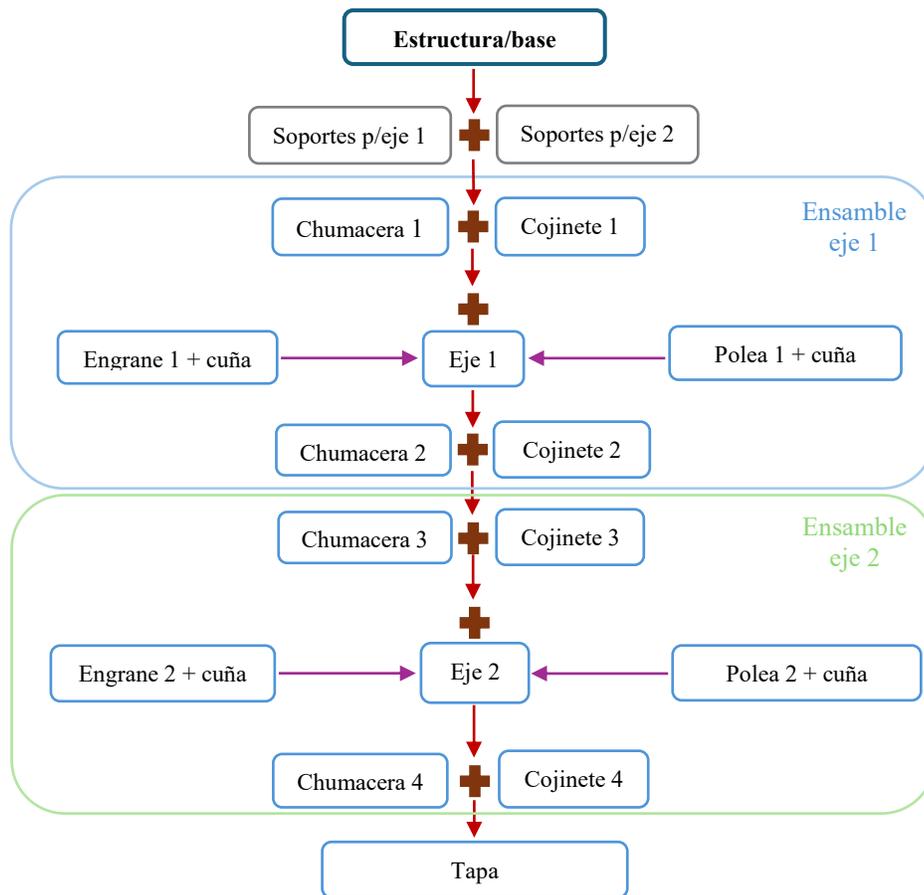


Figura 3.9. Diagrama de flujo para el ensamble final del sistema de transmisión.

Adicionalmente, se elaboró una gráfica preliminar de ensamble (Figura 3.10). Esta es una representación visual que muestra las etapas y secuencias necesarias para ensamblar un producto o sistema, destacando los pasos que deben seguirse, los componentes que deben ser utilizados, y cómo se interrelacionan entre sí [31].

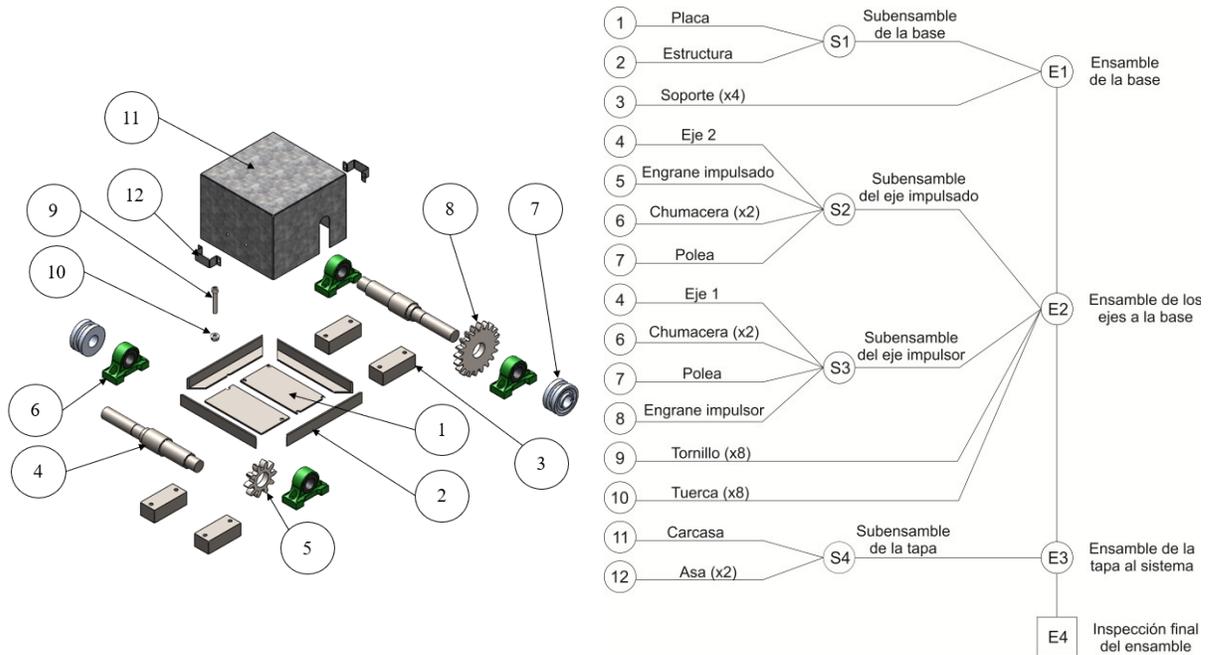


Figura 3.10. Dibujos y gráfica de ensamble preliminar para el sistema de transmisión.

3.4. Fase 3: Diseño a detalle

Esta fase se centra en el desarrollo de un diseño técnico completo que permita la fabricación del producto. Para ello, se realizó la especificación detallada del sistema de transmisión, considerando aspectos como la geometría, los materiales y tolerancias de sus componentes. Además, se definieron las partes fabricadas y las adquiridas, estableciendo los procesos necesarios y el diseño de los herramientales requeridos. Como resultado, se generó la documentación de control del producto, la cual incluye planos, archivos técnicos, procesos, planes de fabricación y ensamblaje [13].

Previo al desarrollo de esta fase, se desarrolló una versión simplificada de la primera casa de la calidad presentada en la Figura B del apéndice C, con el fin de relacionar las preferencias de los usuarios con las características técnicas del sistema de transmisión. En esta

etapa no se realizó la comparación con productos de la competencia ya que no existen demás elementos mecánicos o funcionales que satisfagan específicamente esta necesidad, por lo que el objetivo principal fue identificar y priorizar los parámetros de diseño más relevantes. Del análisis de la matriz se definieron los aspectos esenciales que debe incorporar el sistema, ponderados según su nivel de prioridad para considerarse en las siguientes fases del proyecto.

En primer lugar, se observó que un motor compartible, poco tiempo para montar el sistema, una potencia del motor de 6.5 hp, practicidad y funcionalidad del sistema son características importantes para cumplir con las necesidades del cliente. Por otra parte, la estética, la tapa para cubrir los componentes y los puntos de montaje no son críticos, pero deben estar presentes para asegurar la calidad del sistema, sin embargo, estos pueden variar en cuanto a ubicación, dimensiones, materiales y calidad para reducir costos que es una característica de interés.

Adicionalmente, con el objetivo de recabar información específica y estandarizada para determinar detalladamente las características del sistema de transmisión, y así determinar los diversos componentes con ayuda de cálculos matemáticos (apéndice D), el día 3 de marzo del año en curso se visitaron a diversos agricultores pertenecientes a dos comunidades de la región (Asunción Cuyotepeji y Santa María Camotlán), así como un taller dedicado a la reparación de motores para maquinaria agrícola estacionaria ubicada en el centro de la Heroica Ciudad de Huajuapán de León, para recabar información específica como dimensiones de ejes, poleas y demás medidas generales.

3.4.1. Selección y definición de materiales

Como primer paso para la selección de materiales, se consideró que estos sean de uso comercial y puedan adquirirse preferentemente en la región de la Mixteca Alta del estado de Oaxaca, específicamente en Huajuapán de León. En caso de no encontrarse disponibilidad y variedad, se contempló la opción de adquirir algunos componentes a través de proveedores en línea o estados vecinos (principalmente el estado de Puebla y Oaxaca). Una vez planteada esta situación, en la Tabla 3.17 se indican los componentes que se fabricarán y los que se comprarán, tomando en cuenta los costos derivados de su fabricación, así como las limitaciones de las máquinas y herramientas disponibles en la UTM.

Tabla 3.17. Identificación y definición de componentes: fabricados y comprados.

Componente / pieza	Fabricar o Comprar	Justificación
Placas	Fabricar	Se fabrica para asegurar que cumple con las dimensiones y especificaciones necesarias para acoplarse adecuadamente al diseño final, ya que este es un diseño propio
Estructura	Fabricar	Se fabrica la estructura por ser un diseño propio, respetando las dimensiones y tolerancias especificadas, asegurando su calidad y optimizando su resistencia mecánica según las máquinas y herramientas disponibles en la UTM
Soporte	Fabricar	Se fabrica para garantizar que el componente cumple con las tolerancias específicas requeridas para el proyecto, evitando problemas de ensamble y adaptaciones no funcionales
Eje	Fabricar	El eje es un componente personalizado y crítico que debe cumplir tolerancias exactas, por lo cual debe ser fabricado para asegurar la calidad y el ajuste necesario para el ensamble y funcionamiento de todos los componentes en conjunto
Engrane impulsado	Fabricar	Los engranes suelen requerir procesos de fabricación complejos (como fresado o moldes especializados), sin embargo, el fabricar estos con las máquinas y herramientas disponibles reducen costos respecto a su adquisición
Chumacera	Comprar	Estos componentes están estandarizados, por lo cual no es viable su fabricación al ser componentes vitales
Polea	Comprar	Comprar poleas es más económico y garantiza que cumplen con los estándares industriales, reduciendo riesgos de fallas
Engrane impulsor	Fabricar	Los engranes suelen requerir procesos de fabricación complejos (como fresado o moldes especializados), sin embargo, el fabricar estos con las máquinas y herramientas disponibles reducen costos respecto a su adquisición
Tornillos	Comprar	Estos componentes son de uso común y estandarizados, por lo que comprarlos es más rentable que fabricarlos, además de garantizar su calidad
Tuercas	Comprar	Estos componentes son de uso común y estandarizados, por lo que comprarlos es más rentable que fabricarlos, además de garantizar su calidad
Carcasa	Fabricar	Al ser un diseño único esta debe ser fabricada para garantizar el funcionamiento y protección de los componentes internos
Asa	Fabricar	Fabricar el asa permite personalizarla ergonómicamente, asegurando que sea cómoda y funcional, además de reducir costos derivados de la compra y envío

Tabla 3.18. Lista de materiales para los componentes y características.

No. de parte	Nombre de la pieza	Cantidad	Material	Características del material
1	Placa	2	Solera de 1/8" x 3" (acero ASTM A1011)	Acero laminado en caliente, alta resistencia mecánica y ductilidad
		1	Solera de 1/8" x 1 1/2" (acero ASTM A1011)	
2	Estructura	4	Ángulo de 1/8" x 1" (acero A36)	Acero estructural con buena soldabilidad y resistencia
3	Soporte	4	Perfil tubular cuadrado de 1 1/2" x 1 1/2" (acero A36), C-16	Resistencia mecánica y a la corrosión, alta durabilidad
4	Eje	2	Redondo de 1" (acero cold rolled 1045)	Resistencia al desgaste y la deformación, alta resistencia a la tracción. Material común en ejes y maquinaria
5	Engrane impulsado	1	Engrane recto de Nylomaq, 25 dientes, diámetro externo de 54 mm, módulo 2	Rigidez, dureza, tenacidad, bajo coeficiente de fricción, resistencia al desgaste y facilidad de maquinado
6	Chumacera	4	Chumacera de piso 3/4" UCP 204-12	Soporta carga radial y facilita el montaje
7	Polea	2	Polea de aluminio para flecha de 3/4"	Ligera, resistente a la corrosión y fácil de mecanizar
8	Engrane impulsor	1	Engrane recto de Nylomaq, 50 dientes, diámetro externo de 104 mm, módulo 2	Rigidez, dureza, tenacidad, bajo coeficiente de fricción, resistencia al desgaste y facilidad de maquinado
9	Tornillos	8	Tornillo hexagonal para máquina galvanizado G2 1/2"-13	Alta resistencia a la corrosión y a la tracción
10	Tuercas	8	Tuerca con inserto nylon 1/2" -13	Resistente a la corrosión y con excelente fijación
11	Carcasa	1	Lámina de acero negro Calibre 20 (0.9 mm)	Alta soldabilidad, maquinabilidad y fácil manipulación.
12	Asa	1	Solera de 1/8" x 3/4" (acero ASTM A1011)	Acero laminado en caliente, alta resistencia mecánica y ductilidad

Nota: para sustituir las partes 1 y 2 como componentes de la base, se puede emplear una placa de acero A36 de 1/8", para reducir costos de adquisición del material como materia prima.

3.4.2. Análisis Modal de Efectos y Fallos

A medida que se desarrolla esta etapa, es importante anticiparse a posibles problemas o situaciones que puedan comprometer el desempeño del sistema. El Análisis Modal de Efectos y Fallos (AMEF), es una metodología de gestión de riesgos y debilidades potenciales de un producto, proceso o servicio. Esta herramienta de gestión de riesgos es comúnmente empleada en ingeniería y manufactura debido a su capacidad de identificar, priorizar y mitigar posibles fallos en sistemas complejos antes de que ocurran [32].

En la Tabla 3.19 se presenta el AMEF global de diseño, elaborado específicamente para el sistema de transmisión como un conjunto funcional integrado. Se identificaron los modos de fallo más probables y que podrían comprometer el funcionamiento del sistema, así como sus efectos potenciales, causas, controles actuales y recomendaciones para mitigar el riesgo. Este enfoque global permite evaluar los riesgos de manera integral para priorizar las acciones correctivas que afectan directamente el desempeño del sistema.

Tabla 3.19. AMEF de diseño para el sistema de transmisión.

Análisis Modal de Efectos y Fallos									
Diseño <input checked="" type="checkbox"/>		Proceso <input type="checkbox"/>		Medios <input type="checkbox"/>					
Nombre del proceso o producto:		Prototipo del sistema de transmisión			Elaborado por:		Ing. Ulises Juárez Ruiz		Página: 1 de 1
Cliente		Médicos veterinarios			Fecha AMEF:		10/11/2025		Rev.
Modo de Fallo	Efecto potencial	S	Causa principal	O	Control actual	D	NPR	Recomendación	
Fallo por desgaste o lubricación insuficiente	Pérdida de potencia, ruido, aumento de fricción y daño prematuro	8	Falta de lubricación y contaminación	5	Inspección visual ocasional	4	160	Programar mantenimiento periódico, limpieza continua y monitorear vibraciones anormales	
Desalineación del conjunto de transmisión	Vibración, pérdida de eficiencia y fallo de componentes	8	Montaje incorrecto o sobrecargas	6	Revisión de montaje y límites de carga	4	192	Definir procedimiento de alineación, tolerancias geométricas y control en montaje	
Deslizamiento o fallo por tensión insuficiente (transmisión por banda)	Pérdida de transmisión de potencia intermitente	7	Ajuste inadecuado de tensión, desgaste de banda	5	Inspección visual y ajuste ocasional	6	210	Implementar método de medida de tensión e inspección visual de componentes	
Bloqueo o sobrecarga del eje	Paro total y daño en ejes o engranes	8	Sobrecarga, falta de detección temprana	6	Monitoreo de vibración ocasional y calentamiento	4	192	Definir límites de carga, programa de inspección preventiva y lubricación periódica	
Fallo estructural (carcasa, montaje y fijaciones)	Fisuras, ruidos por vibración e inestabilidad	6	Material inadecuado o apriete insuficiente	4	Inspección visual periódica	5	120	Revisar espesores de materiales críticos y emplear tornillería de alto grado	
Aflojamiento (errores en ensamblaje)	Vibraciones, desalineación, fallos secundarios	8	Procedimiento de montaje deficiente	5	Verificación visual	3	120	Verificación de montaje y usar arandelas de seguridad o sellador de roscas	
Daños por manejo o sujeción (asa, protecciones)	Dificultad para movilizar; riesgo de daño por caída	9	Fijación pobre y diseño no robusto	4	Revisión visual antes de transporte	6	216	Reubicar puntos de agarre y definir puntos específicos de sujeción	

Nota: S: severidad (1-10), O: ocurrencia (1-10), D: detección (1-10), NPR: número de prioridad de riesgo.

Los valores del NPR indican el orden en que deben ser atendidos y corregidos los problemas, si estos son mayores a 200 son de alta prioridad y deben corregirse, si están entre 100 y 200 son de mediana prioridad y si son menores a 100 son de baja prioridad [32]. Por lo cual, se analizaron los resultados obtenidos del AMEF y se solucionaron problemáticas respecto al desgaste de los componentes mediante la etapa de diseño al emplear factores de seguridad que garantizan una sobrecarga de los componentes y así una larga vida útil. En la Tabla 3.19 se plantearon recomendaciones para dar solución y evitar estos fallos.

3.4.3. Definición de la geometría

Para la definición de la geometría, se realiza un listado de las geometrías de los componentes fabricados, previos a la elaboración de los planos y descripción específica de los componentes, por otra parte, en los componentes necesarios para la fabricación de la base, se decidió emplear una placa de acero cuadrada en la que se incluyen las pestañas necesarias para la geometría establecida con el objetivo de unificar operaciones, procesos y reducir costos ya que al consultar proveedores de la región se identificó que esta es la opción óptima porque se puede adquirir solo la sección deseada a comparación del caso en que debe emplearse solera y ángulo que comercialmente son vendidas en presentaciones de 6 metros de largo como mínimo.

- Base: componente rectangular de $10'' \times 9 \frac{1}{2}''$. Fabricada con placa de acero A36 de $\frac{1}{8}''$ de grosor y dimensiones de $12'' \times 11 \frac{1}{2}''$ (contemplando dobleces de la base).
- Soporte: perfil tubular cuadrado de $1 \frac{1}{2}'' \times 1 \frac{1}{2}''$. Cuatro secciones de 5".
- Eje: sección escalonada con longitud de $9 \frac{3}{4}''$.
- Carcasa: caja en forma de cubo con dimensiones $9 \frac{3}{4}''$ de largo x 5.90" de alto y una profundidad de $9 \frac{1}{4}''$
- Asa: sección rectangular con largo de 7.5" y ancho $\frac{3}{4}''$ (contemplando dobleces).
- Engranajes: redondo de Nylomaq con diámetro $4 \frac{1}{2}''$ y largo de 6". Maquinados a 25 y 50 dientes rectos (diámetro externo de 54 y 104 mm respectivamente) y módulo 2.

Este listado es una especificación inicial de la geometría de los componentes clave para el diseño y fabricación del ensamblaje. Esta especificación abarca, a grandes rasgos, las formas, tamaños y relaciones generales entre las piezas, como su tipo de material y dimensiones básicas. Sin embargo, este es un proceso continuo, por lo que se sigue trabajando en los detalles y ajustes

necesarios para garantizar que todas las piezas encajen correctamente y cumplan con las tolerancias requeridas.

Los detalles adicionales y las verificaciones de calidad se seguirán afinando durante las siguientes etapas del proyecto.

3.4.4. Esquema del proceso de fabricación

Con el objetivo de plasmar el proceso de fabricación del prototipo desarrollado en este trabajo de investigación, se desarrolló el Diagrama de Operaciones del Proceso (DOP) ilustrado en la Figura 3.11, ya que esta es una representación gráfica empleada para analizar y documentar las principales operaciones y actividades dentro de un proceso de producción o ensamblaje (Figura H, apéndice E). Este diagrama permite visualizar de forma clara la secuencia de pasos necesarios para transformar materiales o componentes en un producto terminado, destacando tanto operaciones como inspecciones involucradas [28]. Por lo cual, se tomaron en cuenta los procesos de manufactura expuestos en el capítulo 2.4, así como las máquinas y herramientas disponibles en los talleres y laboratorios de la UTM.

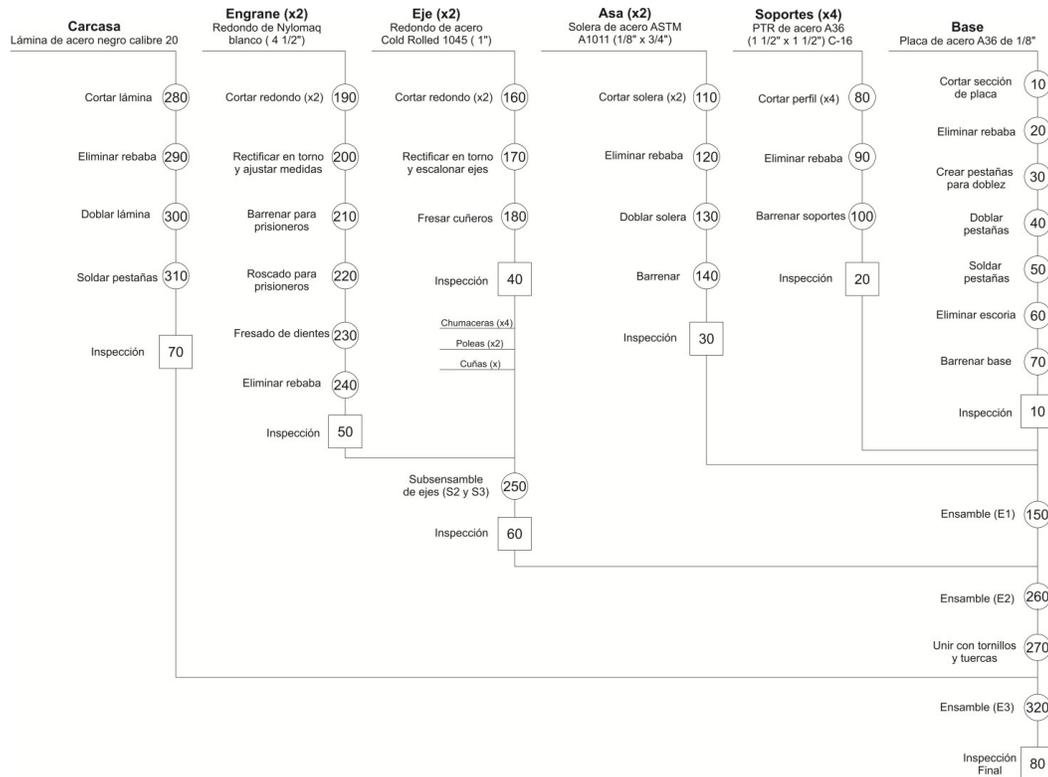


Figura 3.11. DOP para la fabricación del sistema de transmisión propuesto.

3.4.5. Modelado tridimensional del sistema

Para el modelado en 3D del sistema de transmisión como resultado de este trabajo de tesis, se eligió el programa de SolidWorks® 2024, versión de estudiante SP2.1, por ser una interfaz intuitiva, confiable y común en la industria.

El desarrollo del modelo 3D se basó en las geometrías, dimensiones definidas en las fases previas y en los cálculos reportados en el apéndice D, específicamente para los componentes fabricados como el eje, la base, engranes y tapa. Por otra parte, para el modelado de los componentes estandarizados se emplearon los disponibles en la librería proporcionada por SolidWorks. En el caso de chumaceras y poleas, estas fueron diseñadas con base en medidas estándares. En las siguientes ilustraciones (Figura 3.12 a Figura 3.19) se muestran las partes principales del modelo 3D y el ensamble final de este.



Figura 3.12. Asa fabricada con solera de 1/8" x 3/4".



Figura 3.13. Carcasa como parte de la tapa.



Figura 3.14. Engrane recto con 50 dientes.



Figura 3.15. Engrane recto con 25 dientes.



Figura 3.16. Eje escalonado y con cuñeros para engrane y polea.

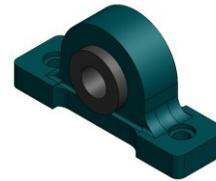


Figura 3.17. Chumacera de piso 3/4".



Figura 3.18. Base fabricada con placa de 1/8".

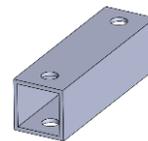


Figura 3.19. Soporte (calza).

Finalmente, en la Figura 3.20 se muestra el ensamble final del sistema de transmisión desarrollado.

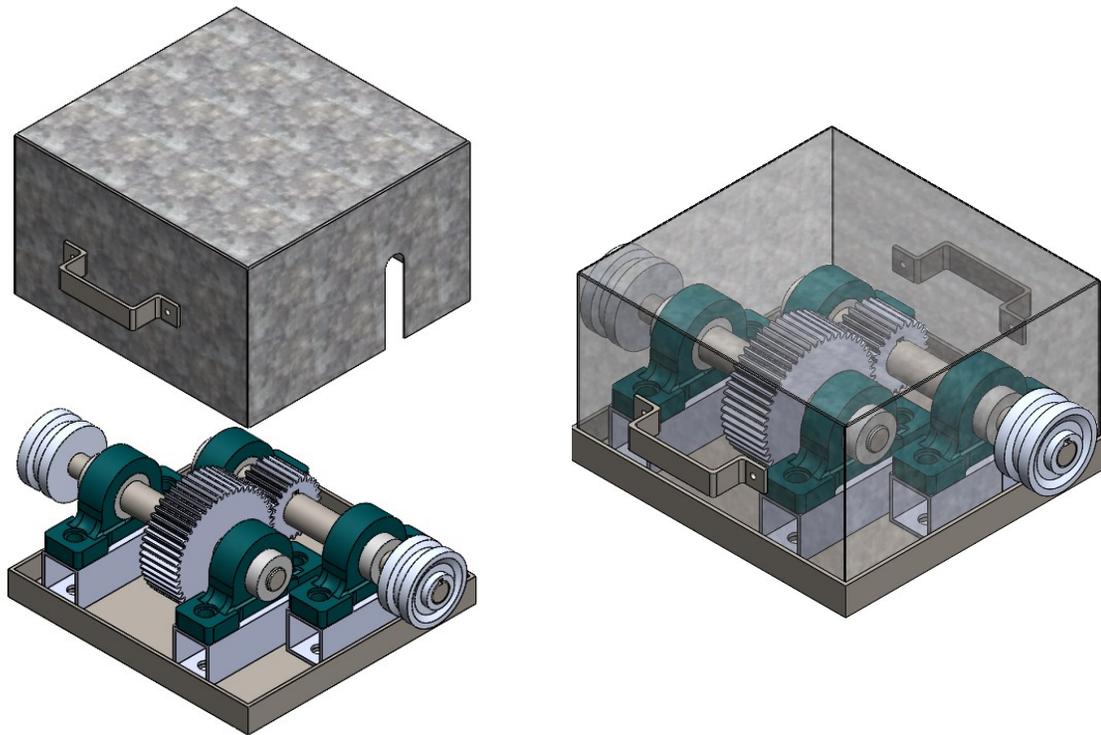


Figura 3.20. Ensamble del sistema de transmisión.

3.4.6. Documentación técnica mediante planos generados en SolidWorks

Además del modelado 3D, se generaron los planos técnicos detallados de los componentes a fabricar, utilizando el programa SolidWorks®. Estos planos incluyen vistas isométricas, cortes seccionales, tolerancias y anotaciones de dimensiones o especificaciones críticas con el propósito de facilitar la fabricación y ensamble del sistema de transmisión.

Para garantizar la precisión y claridad en la documentación técnica, se aplicaron configuraciones personalizadas de formatos, escalas y normas de dibujo, conforme a los estándares técnicos reconocidos y empleados en la industria.

Como se puede observar en la Figura 3.21, se definió un formato de hoja personalizado para elaborar los planos técnicos necesarios para la fabricación de los diversos componentes del sistema de transmisión (Apéndice F), y como se muestra en la Figura 3.22 se ilustra un plano general del sistema de transmisión en el que se muestran las medidas generales del sistema.



Figura 3.21. Formato de hoja para la documentación de los planos técnicos.

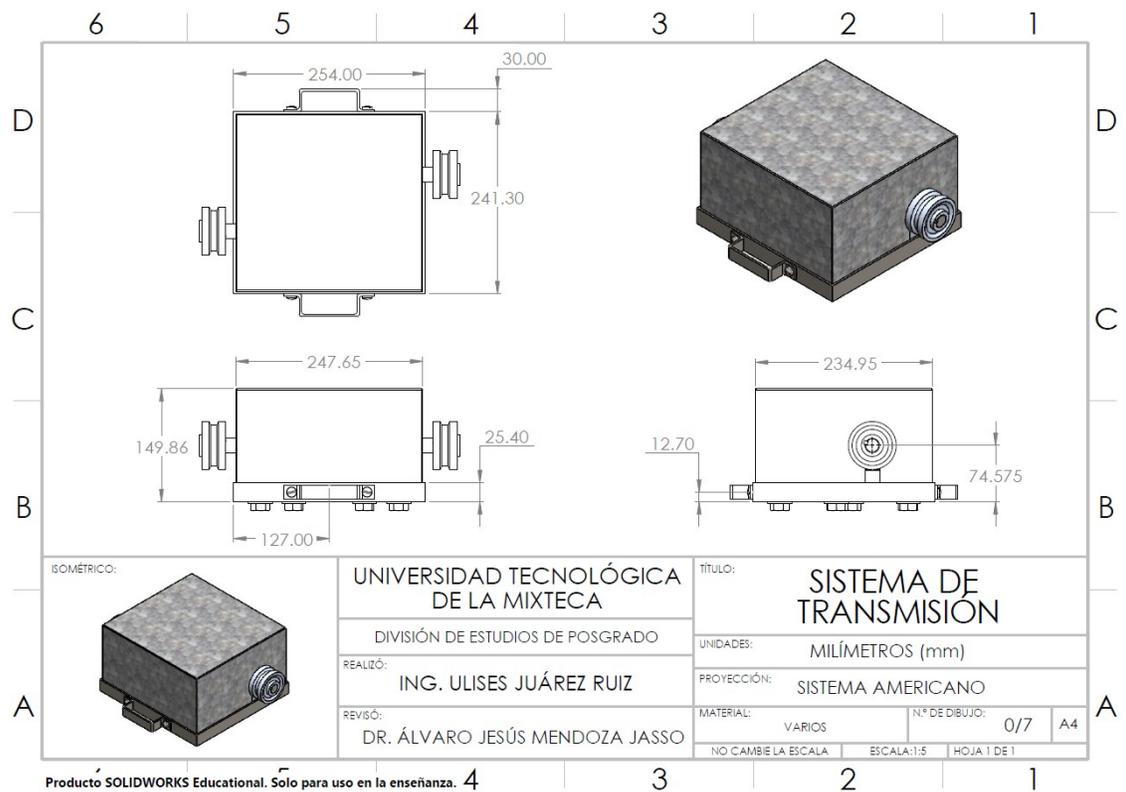


Figura 3.22. Plano general del sistema de transmisión.

3.4.7. Integración del sistema de transmisión con las máquinas agrícolas estacionarias

El uso del motor de combustión interna (C. I.) estándar de 6.5 hp, empleado originalmente en la picadora de forraje estacionaria, implica que no se requiere realizar ninguna modificación a dicha máquina. De esta manera, tanto el motor como la picadora se utilizan conforme a su diseño original. En la Figura 3.23 se presenta una vista superior del montaje y acoplamiento del sistema de transmisión correspondiente a esta máquina.

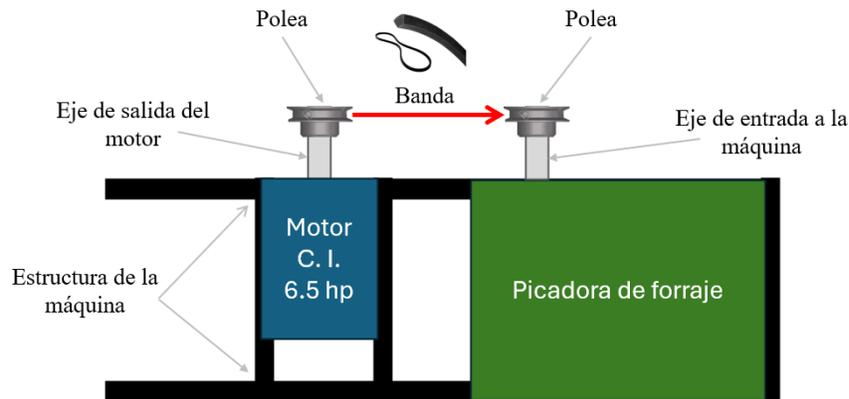


Figura 3.23. Vista superior del montaje de la picadora de forraje con su acople original, sin requerir el sistema de transmisión.

Por otra parte, en la Figura 3.24 se muestra el montaje de la desgranadora de maíz, donde para esta aplicación en particular es necesario incorporar el sistema de transmisión entre el motor y la máquina, ya que este permite sustituir el motor original de menor capacidad. Para ello, se emplea el sistema de poleas y bandas propio de la máquina, sin modificar su funcionamiento.

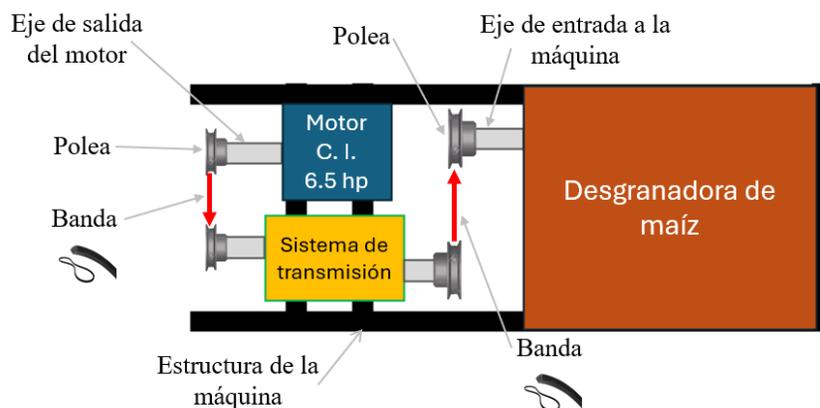


Figura 3.24. Vista superior del montaje de la desgranadora de maíz, acoplada al sistema de transmisión y motor de combustión interna.

3.5. Fase 4: Pruebas y refinamiento

En esta fase se utilizó como parte de las pruebas el análisis de los elementos finitos mediante un programa de ingeniería asistida por computadora, con el objetivo de identificar posibles fallos derivados de la simulación, es decir, puntos o zonas con esfuerzos críticos o considerables que pudieran comprometer su funcionamiento. Esta información permitió validar, corregir o modificar estos de ser necesario como parte del proceso de refinamiento del sistema.

3.5.1. Análisis de elementos finitos

Para el análisis por elementos finitos se eligió el programa SolidWorks® con una licencia para estudiantes al ser un programa intuitivo y amigable para el usuario. En este análisis se decidió analizar únicamente el eje en 3D ya que en este inciden directamente las cargas generadas por los diversos componentes. El análisis de elementos finitos consta de tres pasos: preprocesamiento, procesamiento y postprocesamiento, los cuales se describen a continuación.

En el preprocesamiento, inicialmente se definió la geometría del eje 3D, se asignó como material el acero AISI 1045 estirado en frío y se inició un estudio estático. El eje consta de secciones transversales circulares de $\frac{3}{4}$ " y 1" como se muestra en la Figura 3.25.

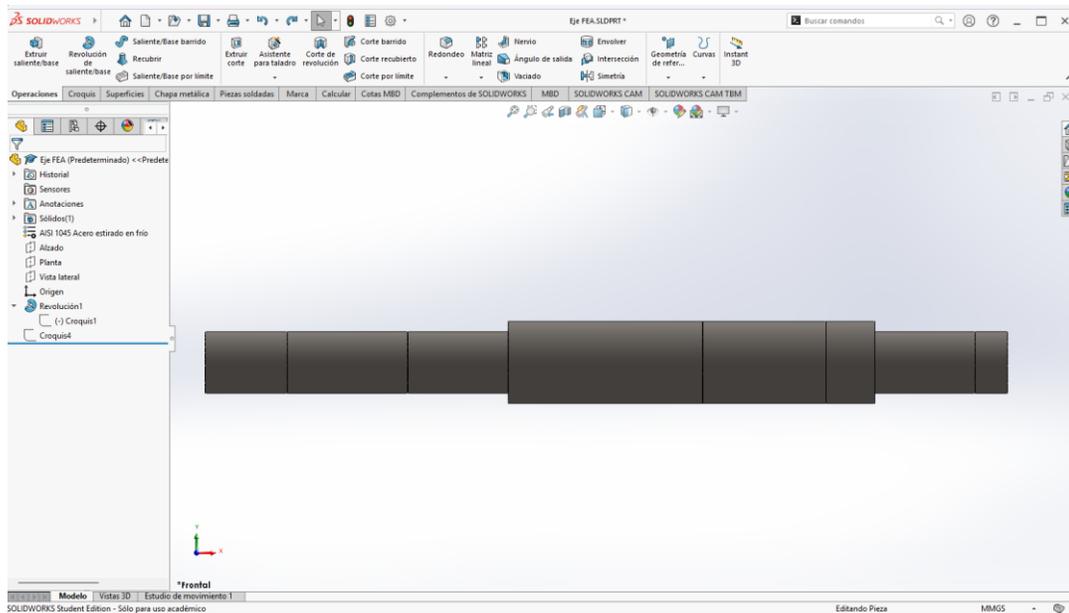


Figura 3.25. Definición de la geometría del eje y material.

Posteriormente, se definieron las condiciones de frontera (Figura 3.26), es decir, se establecieron las sujeciones y fuerzas que actúan sobre el eje y lo restringen. Asimismo, se realizó el mallado del eje y se definieron las variables de interés (Figura 3.27).

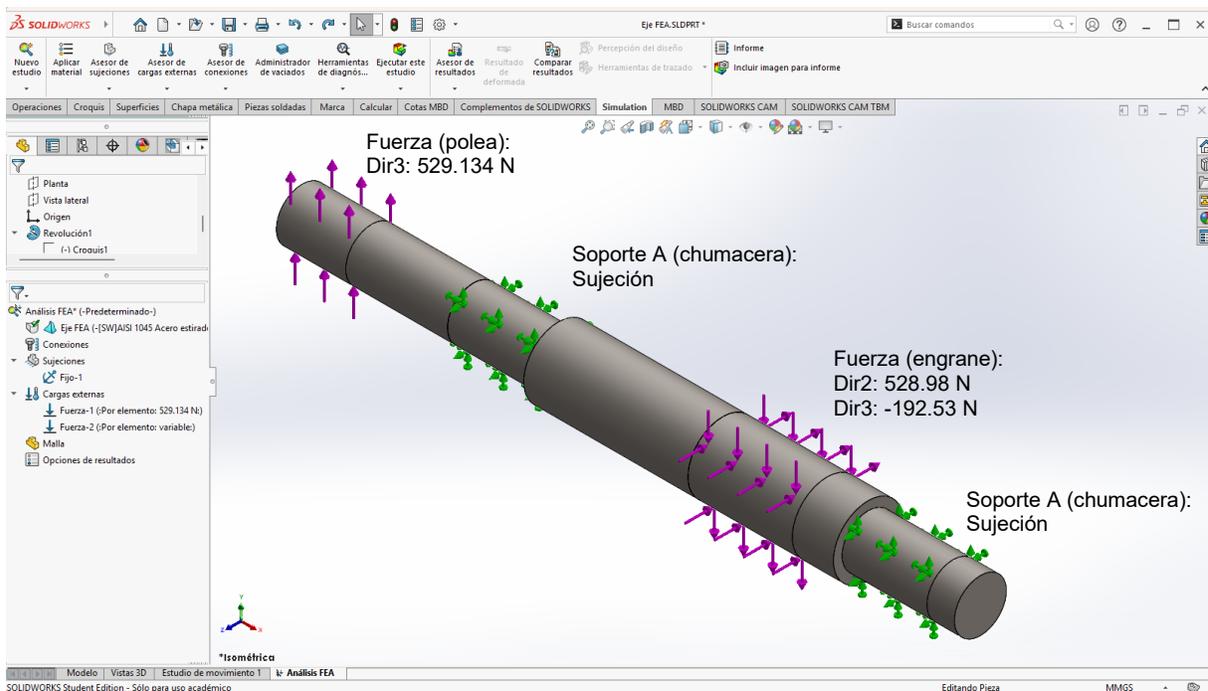


Figura 3.26. Definición de restricciones de frontera (fuerzas y sujeciones que inciden sobre el eje).

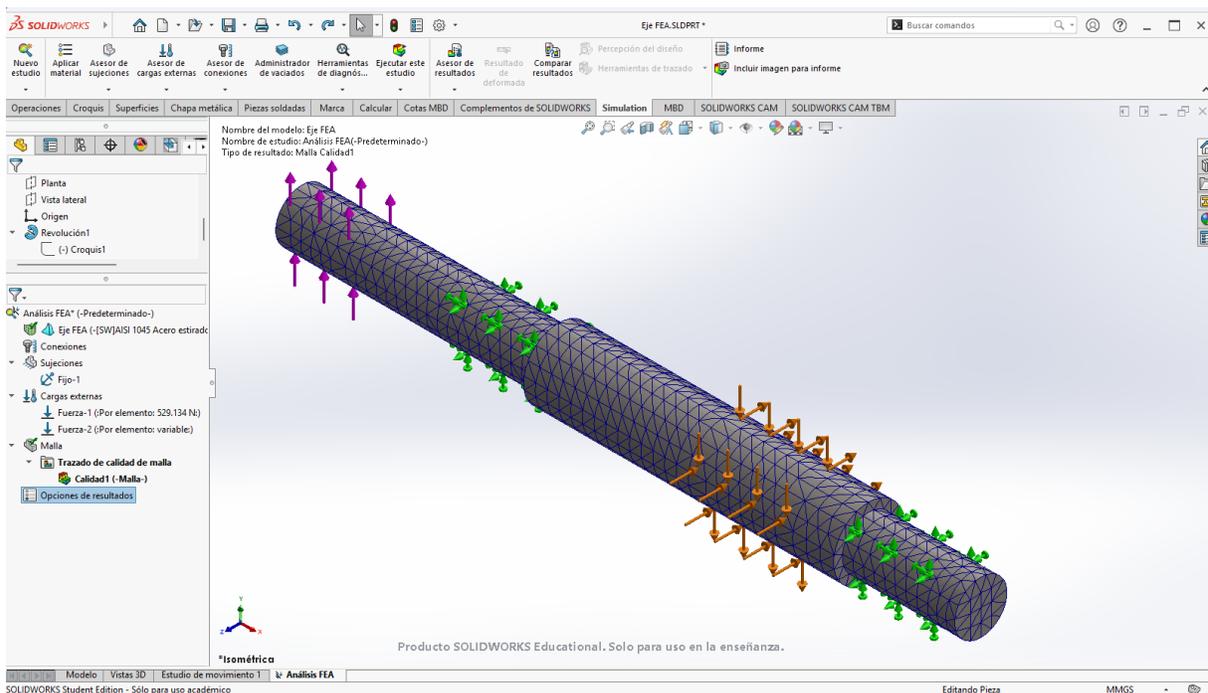


Figura 3.27. Definición de mallado y selección de variables de interés (tensiones y deformaciones).

Como parte del procesamiento o solución, el programa resolvió internamente el análisis mediante métodos numéricos. Finalmente, como parte del postprocesamiento se generaron gráficos e ilustraciones para su análisis e interpretación (Figura 3.28 a Figura 3.31).

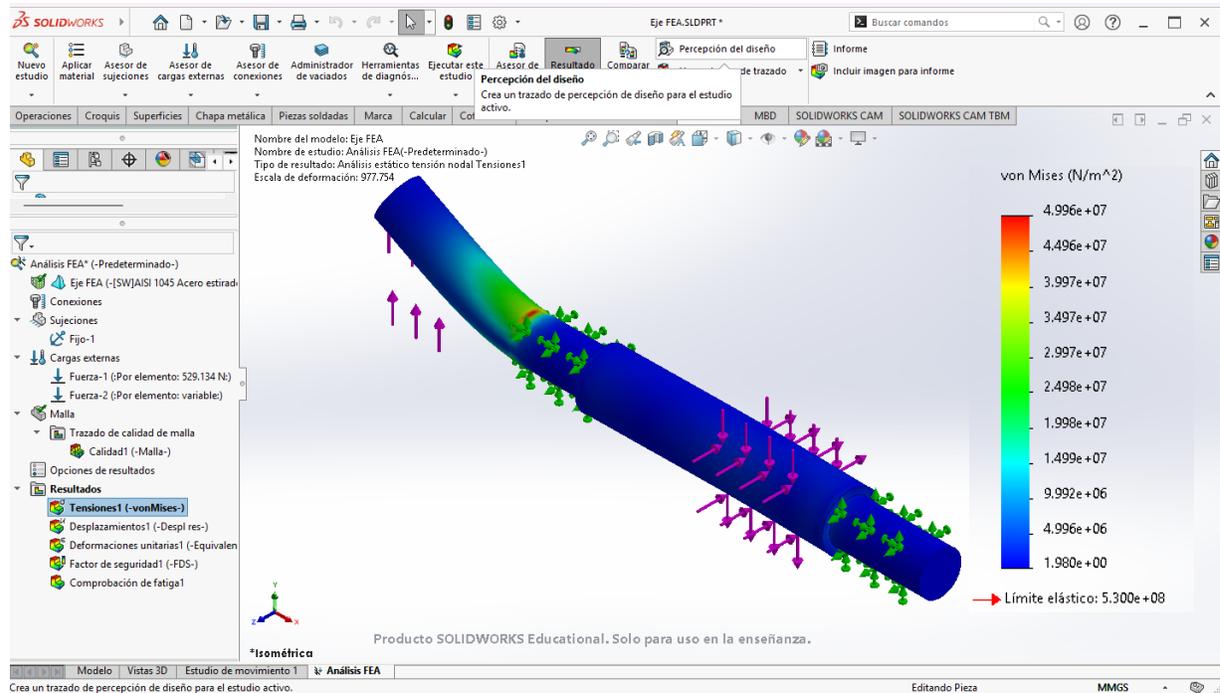


Figura 3.28. Tensión máxima del eje ($4.99 \times 10^7 \text{ N/m}^2$).

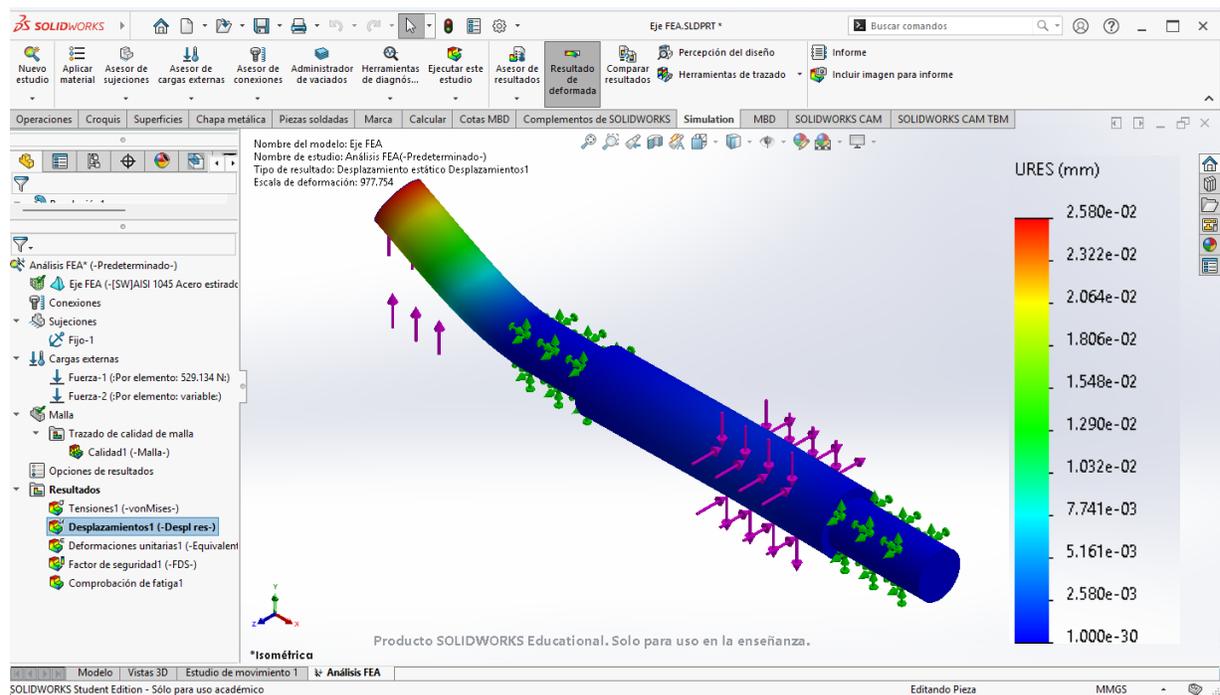


Figura 3.29. Desplazamiento máximo del eje (0.0258 mm).

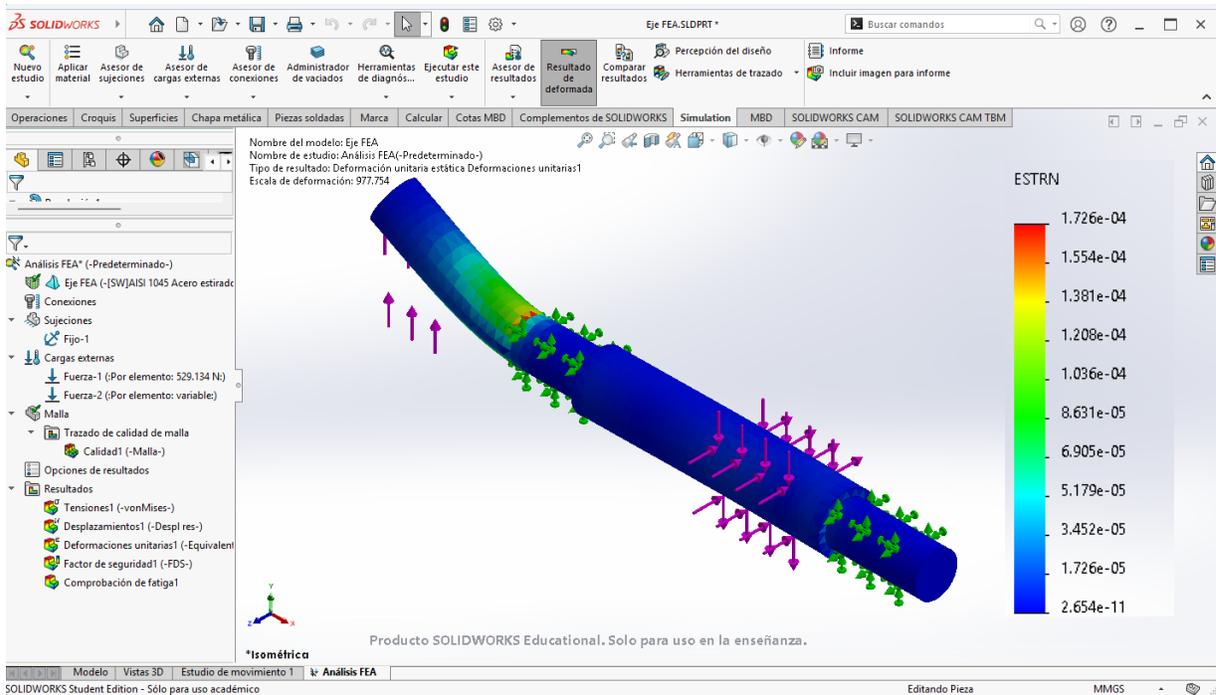


Figura 3.30. Deformación unitaria del eje (0.0001726).

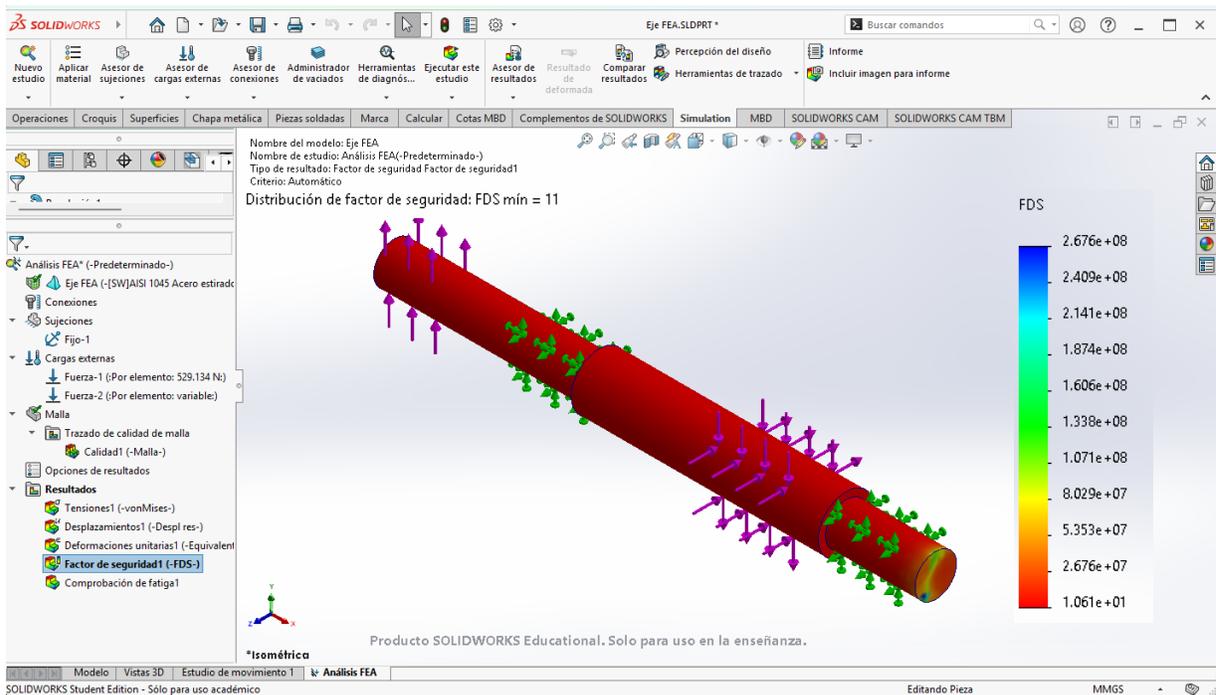


Figura 3.31. Factor de seguridad mínimo (FDS = 11).

En la Figura 3.28 se observa que la tensión máxima calculada en el eje ($4.99 \times 10^7 \text{ N/m}^2$) es menor que el límite elástico del material ($5.3 \times 10^8 \text{ N/m}^2$), lo que indica que no se alcanzan niveles críticos de esfuerzo.

Asimismo, en la Figura 3.29 se muestra una deformación máxima del eje de 0.0258 mm, misma que según la literatura puede considerarse despreciable en este tipo de aplicaciones [18], [20], por lo que se considera como despreciable en términos prácticos.

Finalmente en la Figura 3.31 se presenta el factor de seguridad igual a 11, lo que implica que el sistema puede soportar hasta 11 veces la carga de diseño. Este valor permite asegurar un correcto funcionamiento del componente, mismo que es considerado como crítico dentro del sistema de transmisión desarrollado.

3.5.2. Refinamiento del sistema

Observando y analizando el funcionamiento del sistema, se identificó un área de mejora relacionada con las asas de la tapa del sistema. Estas, al ser los elementos encargados de soportar el peso total del sistema durante su manipulación, podrían generar fallos en el punto de sujeción originalmente definido (Figura 3.32), ya que la tapa está fabricada con un material delgado (lámina calibre 20).

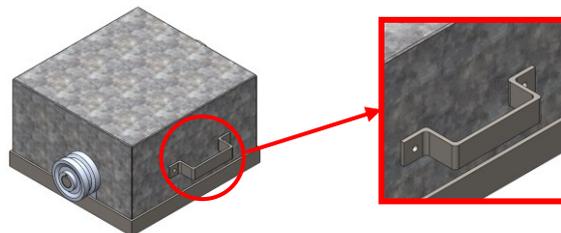


Figura 3.32. Ubicación original de asas en el sistema de transmisión.

La nueva ubicación propuesta implica un punto de sujeción firme, sujetando estas directamente a la base/estructura del sistema, lo que garantiza una mayor rigidez y maniobrabilidad del sistema, tal como se muestra en la Figura 3.33. Estos cambios fueron incorporados en los planos finales correspondientes a la tapa y base.

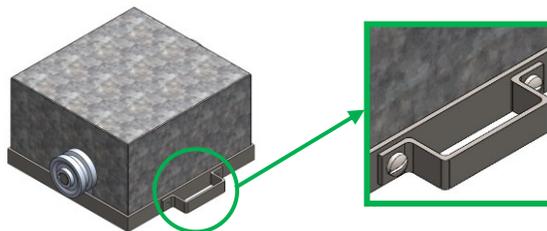


Figura 3.33. Reubicación de asas en el sistema de transmisión.

3.5.3. Planeación para la manufactura del prototipo

La planeación o planificación de la manufactura es el proceso de organizar anticipadamente los recursos, procesos y actividades necesarias para la producción del sistema propuesto de forma eficiente, cumpliendo con los objetivos de calidad, costos y tiempo.

Para la identificación de cada parte con su hoja de ruta u operación, en la Tabla 3.20 se asignó un código a cada una de estas.

Tabla 3.20. Lista de partes y código de identificación para cada parte según la Figura 3.10.

No. de parte	Código	Nombre de la pieza	Cantidad	Material
1	BA-010	Placa	2	Solera de 1/8" x 3" (acero ASTM A1011)
	BA-015		1	Solera de 1/8" x 1 1/2" (acero ASTM A1011)
2	BA-020	Estructura	4	Ángulo de 1/8" x 1" (acero A36)
3	SO-010	Soporte	4	Perfil tubular cuadrado de 1 1/2" x 1 1/2", C-16
4	EJ-010	Eje	2	Redondo de 1" (acero cold rolled 1045)
5	EN-010	Engrane impulsado	1	Engrane recto de Nylomaq, 25 dientes, diámetro externo de 54 mm, módulo 2
6	CH-010	Chumacera	4	Chumacera de piso 3/4" UCP 204-12
7	PO-010	Polea	2	Polea de aluminio 3/4"
8	EN-020	Engrane impulsor	1	Engrane recto de Nylomaq, 50 dientes, diámetro externo de 104 mm, módulo 2
9	TO-010	Tornillo	8	Tornillo hexagonal para máquina galvanizado G2 1/2"-13
10	TU-010	Tuerca	8	Tuerca galvanizada con inserto nylon 1/2" -13
11	CA-010	Carcasa	1	Lámina de acero negro Calibre 20 (0.9 mm)
12	CA-020	Asa	2	Solera de 1/8" x 3/4" (acero ASTM A1011)

Nota: la parte 1 y 2 son consideradas en conjunto para las hojas de ruta y operación, ya que estas se sustituyeron con una sola placa de acero A36 con el objetivo de reducir costos y operaciones.

3.5.3.1. Hojas de ruta de los componentes

Las hojas de ruta de fabricación muestran el orden en que se fabrica un producto, pieza o componente, detallando la secuencia de pasos del proceso de fabricación, el cual debe ser lo más eficiente posible [24]. Para las hojas de ruta de este prototipo (Tabla 3.21 a Tabla 3.26) se tomaron en cuenta únicamente las piezas manufacturadas, ya que los componentes adquiridos son estandarizados.

Tabla 3.21. Hoja de ruta No. 1 (Base).

	Nombre de parte: <u>Base</u>		Fecha: <u>27/05/2025</u>	
	Número de ensamble: <u>E1</u>		Expedido por: <u>Ulises Juárez</u>	
	Número de parte: <u>1 y 2</u>		Hoja: <u>01 de: 06</u>	
	Operación	Descripción	Departamento	Herramientas/equipo
	10	Medir y cortar placa	Maquinado y corte	Esmeril y fresadora vertical
	20	Eliminar rebaba	Limpieza y detallado	Esmeril y lima plana
	30	Marcar cortes para doblez	Maquinado	Fresadora vertical
	40	Doblar placa	Doblado	Dobladora de metal
	50	Soldar esquinas	Soldado	Mesa de trabajo y planta para soldar
	60	Eliminar escoria	Limpieza y detallado	Mesa de trabajo y esmeril
70	Barrenar base y laterales	Maquinado	Taladro de banco	
10	Inspección	Calidad	Vernier y flexómetro	

Tabla 3.22. Hoja de ruta No. 2 (Soportes).

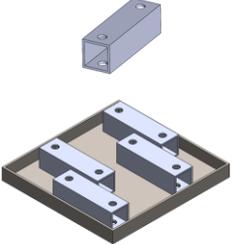
	Nombre de parte: <u>Soporte</u>		Fecha: <u>27/05/2025</u>	
	Número de ensamble: <u>E1</u>		Expedido por: <u>Ulises Juárez</u>	
	Número de parte: <u>3</u>		Hoja: <u>02 de: 06</u>	
	Operación	Descripción	Departamento	Herramientas/equipo
	80	Medir y cortar PTR (4 pzas)	Corte	Flexómetro y cortadora de metal
	90	Eliminar rebaba	Limpieza y detallado	Esmeril y lima plana
	100	Barrenar PTR	Maquinado	Taladro de banco
20	Inspección	Calidad	Vernier y flexómetro	
150	Montar con base	Ensamble	Mesa de trabajo	

Tabla 3.23. Hoja de ruta No. 3 (Asa).

	Nombre de parte: <u>Asa</u>		Fecha: <u>27/05/2025</u>	
	Número de ensamble: <u>E1</u>		Expedido por: <u>Ulises Juárez</u>	
	Número de parte: <u>12</u>		Hoja: <u>03 de: 06</u>	
	Operación	Descripción	Departamento	Herramientas/equipo
	110	Medir y cortar solera (2 pzas)	Corte	Flexómetro y cortadora de metal
	120	Eliminar rebaba	Maquinado	Esmeril
	130	Doblar solera	Maquinado	Dobladora manual
	140	Barrenar PTR	Maquinado	Taladro de banco
	30	Inspección	Calidad	Mesa de trabajo
150	Montar con base	Ensamble	Mesa de trabajo	

Tabla 3.24. Hoja de ruta No. 4 (Ejes).

	Nombre de parte: <u>Eje</u>		Fecha: <u>27/05/2025</u>	
	Número de ensamble: <u>E2</u>		Expedido por: <u>Ulises Juárez</u>	
	Número de parte: <u>4, 5, 6, 7 y 8</u>		Hoja: <u>04 de: 06</u>	
	Operación	Descripción	Departamento	Herramientas/equipo
	160	Cortar redondo de acero 1" (2 pzas)	Corte	Sierra de banda
	170	Rectificar y escalonar redondo (2 pzas)	Maquinado	Torno paralelo
	180	Fresar cuñeros (2 por eje)	Maquinado	Fresa vertical
	40	Inspección	Calidad	Vernier
250	Subensamble y montaje de 1 engrane, 2 chumaceras, 3 cuñas y 1 polea	Ensamble	Mesa de trabajo	
60	Inspección	Calidad		

Tabla 3.25. Hoja de ruta No. 5 (Engranés).

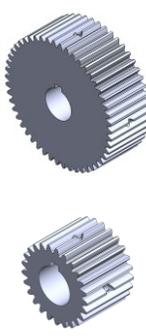
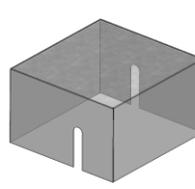
	Nombre de parte: <u>Engranés</u>		Fecha: <u>27/05/2025</u>	
	Número de ensamble: <u>E2</u>		Expedido por: <u>Ulises Juárez</u>	
	Número de parte: <u>5 y 8</u>		Hoja: <u>05 de: 06</u>	
	Operación	Descripción	Departamento	Herramientas/equipo
	190	Medir y cortar redondo	Maquinado	Torno paralelo
	200	Rectificado exterior, interior y corte (2 pzas)	Maquinado	Torno paralelo
	210	Barrenar para prisionero	Maquinado	Fresa vertical
	220	Roscado para prisionero	Maquinado	Prensa y machuelo
	230	Fresado de dientes (25 y 50 dientes)	Maquinado	Cabezal divisor y fresa horizontal
	240	Eliminar rebaba	Limpieza y detallado	Cúter y lima plana
50	Inspección	Calidad	Vernier	
250	Subensamble y montaje de engranes	Ensamble	Mesa de trabajo	

Tabla 3.26. Hoja de ruta No. 6 (Carcasa).

	Nombre de parte: <u>Carcasa</u>		Fecha: <u>27/05/2025</u>	
	Número de ensamble: <u>E3</u>		Expedido por: <u>Ulises Juárez</u>	
	Número de parte: <u>11</u>		Hoja: <u>06 de: 06</u>	
	Operación	Descripción	Departamento	Herramientas/equipo
	280	Cortar lámina calibre 20	Corte	Cizalla, tijeras para lámina y esmeril
	290	Eliminar rebaba	Maquinado	Esmeril
	300	Doblar lámina	Maquinado	Dobladora manual
	310	Soldar pestañas	Maquinado	Soldadora por puntos
	70	Inspección	Calidad	Mesa de trabajo
320	Colocar tapa	Ensamble	Mesa de trabajo	

3.5.3.2. Hojas de operaciones

Las hojas de operación o también conocidas como hojas de proceso, son herramientas técnicas que describen de manera detallada las actividades, herramientas, materiales y parámetros necesarios para realizar un proceso o ensamblaje específico. Siendo fundamentales para garantizar la calidad, uniformidad y eficiencia de las operaciones en la producción [28].

Para este trabajo de investigación se elaboraron únicamente las hojas de operaciones para la base (como ejemplo), estas hojas comprenden de la Tabla 3.27 a la Tabla 3.34.

Tabla 3.27. Hoja de operación B01 (Base).

<p>Nota: El corte de la placa debe ser aproximado inicialmente con el esmeril, posteriormente este se debe cuadrar y rectificar en la fresadora vertical.</p> 	<p>Nombre: Base Descripción: Medir y cortar placa Máquina: Fresadora vertical Hecho de: Placa de 1/8" (acero A36)</p>	<p>Parte No. 1 y 2 Operación No. 10 P.I. No. 100 Hoja No. B01</p>
	<p>Dimensiones: 11 1/2" × 12".</p> <p>Herramientas: Esmeril, disco de corte, pinzas para mesa y cortador 1/2".</p> <p>Equipo de protección: Bata, botas de casquillo y gafas de seguridad.</p> <p>Recomendaciones: Alinear correctamente la placa y cortar por fuera de la línea marcada para mantener las dimensiones especificadas.</p> <p>Observaciones: Revisar el estado del disco de corte, sujetar fuertemente con las pinzas para evitar perturbaciones y dejar una tolerancia de ± 1/16" para el corte en la fresadora vertical.</p>	

Tabla 3.28. Hoja de operación B02 (Base).

<p>Nota: Eliminar rebaba y contaminantes provocados por el corte de la placa. Remover la rebaba sin exceder las dimensiones de la placa indicadas en la hoja No. 1.</p> 	<p>Nombre: Base Descripción: Eliminar rebaba Máquina: Esmeril Hecho de: Placa de 1/8" (acero A36)</p>	<p>Parte No. 1 y 2 Operación No. 20 P.I. No. 101 Hoja No. B02</p>
	<p>Herramientas: Disco de desbaste, guantes de cuero o gamuza, lima plana y pinzas para mesa.</p> <p>Equipo de protección: Bata, botas de casquillo y gafas de seguridad.</p> <p>Observaciones: Precaución con el desprendimiento de viruta, dirección de giro del esmeril, sujetar correctamente la placa y no exceder la fuerza para evitar cortes o desgaste de la pieza.</p>	

Tabla 3.29. Hoja de operación B03 (Base).

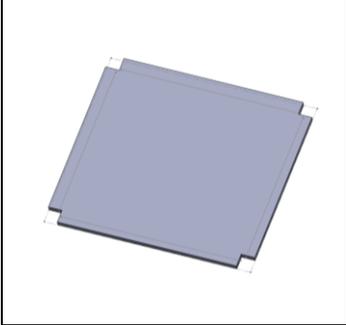
<p>Nota: Para marcar los trazos se debe hacer un corte superficial (sin atravesar el material) por un solo lado de la placa, con el objetivo de facilitar el doblado de la placa posteriormente.</p> 	<p>Nombre: Base Descripción: Marcar cortes para dobléz Máquina: Fresadora vertical Hecho de: Placa de 1/8" (acero A36)</p>	<p>Parte No. 1 y 2 Operación No. 30 P.I. No. 102 Hoja No. B03</p>
	<p>Dimensiones: Pestañas de 1" + 1/16" de tolerancia para dobléz.</p>	
	<p>Herramientas: Cortador HSS 1/4", vernier, escuadra y flexómetro.</p> <p>Equipo de protección: Bata, botas de casquillo, esmeril y gafas de seguridad.</p> <p>Recomendaciones: Alinear correctamente la placa y cortar por fuera de la línea marcada para mantener las dimensiones especificadas.</p> <p>Operaciones extra: Cortar intersección de las pestañas (en las esquinas 1" x 1").</p>	
	<p>Observaciones: Revisar el estado del disco de corte, sujetar fuertemente con las pinzas para evitar perturbaciones y dejar una tolerancia de + 1/16" para el dobléz.</p>	

Tabla 3.30. Hoja de operación B04 (Base).

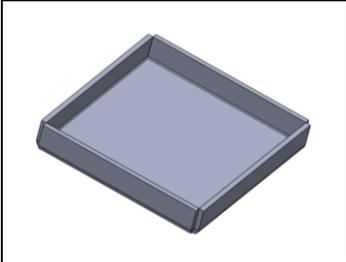
<p>Nota: Los cortes realizados según la hoja No. B03 facilitan el doblado de la placa, si se excede la fuerza puede exceder el ángulo de dobléz (90°).</p> 	<p>Nombre: Base Descripción: Doblar placa Máquina: Dobladora de metal Hecho de: Placa de 1/8" (acero A36)</p>	<p>Parte No. 1 y 2 Operación No. 40 P.I. No. 103 Hoja No. B04</p>
	<p>Herramientas: Dobladora manual y escuadra.</p>	
	<p>Equipo de protección: Bata, botas de casquillo y gafas de seguridad.</p> <p>Recomendaciones: Alinear correctamente la placa y doblar gradualmente la placa según las guías realizadas en la hoja No. B03.</p>	
	<p>Observaciones: Emplear la dobladora de metal con la mordaza que más se aproxime a la dimensión a doblar y doblar gradualmente la placa.</p>	

Tabla 3.31. Hoja de operación B05 (Base).

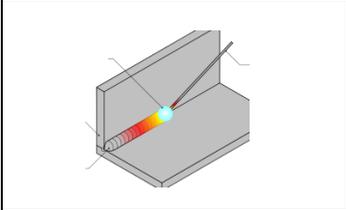
<p>Nota: Cordón de soldadura en las esquinas (uniones).</p> 	<p>Nombre: Base Descripción: Soldar esquinas Máquina: Soldadora inversora Hecho de: Placa de 1/8" (acero A36)</p>	<p>Parte No. 1 y 2 Operación No. 50 P.I. No. 104 Hoja No. B05</p>
	<p>Herramientas: Mesa de trabajo, pinzas de mesa y electrodo E6013.</p>	
	<p>Equipo de protección: Bata, botas de casquillo, gafas de seguridad, pantalón de mezclilla, guantes y careta para soldar.</p>	
	<p>Observaciones: Realizar la unión preliminar con puntos de soldadura y posteriormente realizar el cordón por secciones.</p>	

Tabla 3.32. Hoja de operación B06 (Base).

<p>Nota: Usar gafas de protección ya que la escoria tiende a proyectarse.</p>	<p>Nombre: Base Descripción: Eliminar escoria Máquina: Mesa de trabajo Hecho de: Placa de 1/8" (acero A36)</p>	<p>Parte No. 1 y 2 Operación No. 60 P.I. No. 105 Hoja No. B06</p>
	<p>Herramientas: Esmeril, cepillo y martillo. Equipo de protección: Bata, botas de casquillo y gafas de seguridad.</p>	
	<p>Observaciones: Martillar suavemente la soldadura.</p>	

Tabla 3.33. Hoja de operación B07 (Base).

<p>Nota: Se sujeta la base en la mesa de trabajo de la fresa mediante bridas, evitando la intersección con las zonas a maquinar.</p>	<p>Nombre: Base Descripción: Barrenar la base (x8) Máquina: Fresa de banco Hecho de: Placa de 1/8" (acero A36)</p>	<p>Parte No. 1 y 2 Operación No. 70 P.I. No. 106 Hoja No. B07</p>
	<p>Herramientas: Broca para metal de 1/4" y 1/2", vernier, bridas, tuercas T y llave española 3/4". Equipo de protección: Bata, botas de casquillo y gafas de seguridad.</p>	
	<p>Observaciones: Ubicación de barrenos según el plano de la Figura M, lubricar antes de realizar cada perforación y emplear primero la broca de 1/4" y finalmente 1/2".</p>	

Tabla 3.34. Hoja de operación B08 (Base).

<p>Nota: Realizar las mediciones en zonas limpias y planas.</p>	<p>Nombre: Base Descripción: Inspección Máquina: Hecho de: Placa de 1/8" (acero A36)</p>	<p>Parte No. 1 y 2 Inspección No. 20 P.I. No. 107 Hoja No. B08</p>
	<p>Herramientas: Vernier. Equipo de protección: Bata, botas de casquillo y gafas de seguridad.</p>	
	<p>Observaciones: Revisar distancia entre barrenos, diámetro correcto y dimensiones de la base según el plano de la Figura M.</p>	

3.5.3.3. Adquisición de materiales

Con el objetivo de reportar los costos derivados de la fabricación del sistema de transmisión, se elaboró la Tabla 3.35, en la que se define el costo de adquisición de la materia prima y componentes necesarios para la fabricación de un sistema de transmisión.

Adicionalmente, en la Tabla 3.36 se reportó el costo de herramientas y consumibles necesarios para la fabricación de ciertos componentes del sistema de transmisión, estos no se contemplan en el costo final del sistema de transmisión ya que son herramientas y consumibles que son necesarios para el proyecto y se adquieren para fabricar cierto número de componentes o piezas.

Tabla 3.35. Costos de partes y/o componentes adquiridos para la fabricación del sistema de transmisión.

Parte / componente	Descripción	Proveedor	Precio total (MXN)
Chumaceras	Chumaceras de piso 3/4", modelo UCP204-12 (paquete de 4 pzas)	Mercado Libre	\$ 348.00
Base	Placa de acero estructural A36 de grosor 1/8" (sección de 12" x 12")	El marro (Oaxaca)	\$ 84.90
Engranés	Redondo de Nylomaq 4 1/2" (sección de 7.5 cm)	La paloma metales (Puebla)	\$ 385.35
Soportes	Tubular PTR 1 1/2 x 1 1/2" C-16 (Sección de 60 cm)	Taller de balconería (Oaxaca)	\$ 68.40
Ejes	Redondo 1" acero 1045 Cold Rolled	Mercado libre	\$ 530.00
Tornillería para base	Rondana plana 12 mm, rondana de presión galvanizada 1/2", tuerca con inserto nylon 1/2" -13, tornillo cabeza hexagonal para máquina galvanizado G2 1/2"-13 (8 juegos)	Centro tornillero (Huajuapán de León)	\$ 279.52
Tornillería para asas	Tuerca con inserto de nylon 1/4"-20, tornillo gota galvanizado 1/4" x 3/4" (4 juegos)	Centro tornillero (Huajuapán de León)	\$ 15.44
Cuñas	Cuñas cuadradas de 1/4" (2 pzas) y de 3/16" (2 pzas)	Motores y refacciones Huajuapán	\$ 60.00
Asas	Solera de 1/8 " x 3/4 " (sección de 45 cm)	Taller de balconería (Oaxaca)	\$ 30.00
Carcasa	Lámina de acero negro Calibre 20 (sección de 55x55 cm)	Taller de herrería (Huajuapán de León)	\$ 74.00
Opresor 3/16"	Opresor Allen estándar 3/16 x 1/4" (2 pzas)	Centro tornillero (Huajuapán de León)	\$ 4.36
Opresor 1/4"	Opresor Allen estándar 1/4 x 5/16" (2 pzas)	Centro tornillero (Huajuapán de León)	\$ 4.48
Polea	Poleas de 2" para motor con flecha de 3/4" (2 pzas)	Motores y refacciones Huajuapán	\$ 180.00
Seguros para tapa	Broche para baúl de acero galvanizado marca Veker (2 pzas)	The Home Depot (Oaxaca)	\$ 176.00
Total			\$ 2240.45

Nota: el precio total incluye costos de envío para compras realizadas en línea (mercado libre).

Tabla 3.36. Costos de herramientas y/o consumibles necesarios para la fabricación del sistema de transmisión.

Herramental / consumible	Descripción	Proveedor	Precio total (MXN)
Fresa p/engrane #4	Fresa para engrane recto m2 21-25 dientes	Ali express	\$ 263.00
Fresa p/engrane #6	Fresa para engrane recto m2 35-54 dientes	Ali express	\$ 263.00
Lija # 120 para metal	1 hoja de lija	Ferretería local	\$ 10.00
Lija # 220 para metal	2 hojas de lija	Ferretería local	\$ 30.00
Lija # 600 para metal	1 hoja de lija	Ferretería local	\$ 15.00
Remaches 1/8" x 1/2"	1 bolsa de remaches (50 pzas)	Ferretería local	\$ 25.00
Pintura y primer	Pintura Aero Comex 400 ml (1 verde ecológico, 1 amarillo medio y 1 primario para pintura gris)	Comex	\$ 303.00
Thinner	Solvente thinner estándar 500 ml	Comex	\$ 35.00
Electrodo 6013	Soldadura 6013, electrodo 3/32 (1/2 kg)	Ferretería local	\$ 35.00
Disco de corte 4 1/2"	Disco abrasivo para corte de metal, diámetro 4 1/2" , para esmeriladora angular	Ferretería local	\$ 15.00
Disco de desbaste 4 1/2"	Disco abrasivo para desbaste de metal, diámetro 4 1/2", para esmeriladora angular	Ferretería local	\$ 45.00
Total			\$ 1039.00

Nota: el precio total incluye impuestos para compras realizadas en línea (Ali express).

3.5.4. Manufactura del prototipo

La manufactura del sistema de transmisión se realizó en el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura y el Taller de Metalmecánica a cargo de los técnicos C. Rodolfo Palma Guzmán y C. Roberto Ramírez, respectivamente. Este proceso se realizó conforme la planeación documentada previamente (planos, hojas de ruta, esquemas y diagramas de operaciones). Adicionalmente, en cada apartado se mencionan las especificaciones y parámetros empleados para la fabricación de las piezas, según el tipo de materiales, capacidades de las máquinas y recomendaciones realizadas por los encargados de dichos talleres (Apéndice G).

1. Base

Para la fabricación de la base, se utilizó una placa de acero A36 con un espesor de $\frac{1}{8}$ " (Figura 3.34 a)). Posteriormente, la placa fue rectificada en la fresadora vertical convencional y un cortador recto de $\frac{3}{4}$ ", trabajando a bajas revoluciones (80 rpm) con avance continuo y refrigeración. Una vez rectificadas los bordes y ajustadas a las dimensiones a $12" \times 11 \frac{1}{2}"$, se sustituyó el cortador recto de $\frac{3}{4}"$ por uno de $\frac{1}{4}"$. Inclinando el cabezal de la fresa con un ángulo de 45° para maquinar canales guía en V, con una profundidad y tolerancias laterales de $\frac{1}{16}"$. Estos canales facilitaron el doblado de la placa en la dobladora manual (Figura 3.34 b) y c)).

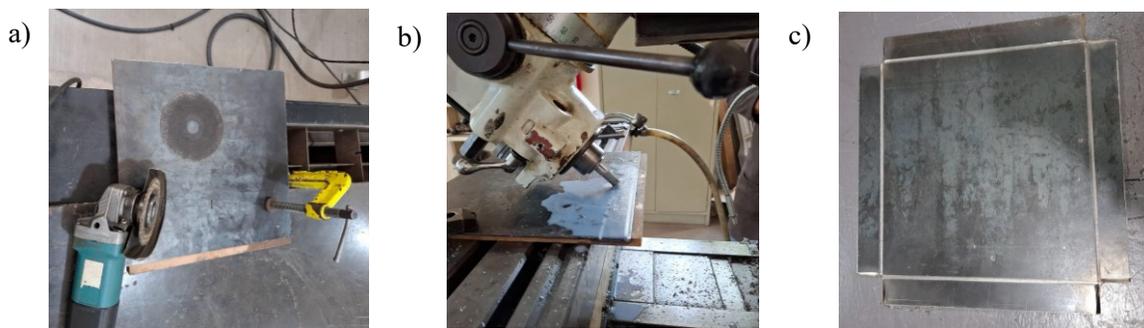


Figura 3.34. Preparación de placa para doblado: a) rectificación, b) canales en V y c) corte de excesos.

Una vez doblada la placa en la dobladora de lámina con la muela más adecuada, se procedió a soldar las esquinas mediante soldadura por arco eléctrico, empleando un electrodo 6013 y corriente de 125 A (Figura 3.35 a)). Posteriormente, se realizaron barrenos en el taladro de banco con una broca de $\frac{1}{4}"$ para la ubicación de las asas y $\frac{1}{2}"$ para el resto de los orificios (Figura 3.35 b)). Finalmente se detalló la soldadura y rebabas, con el fin de aplicar un primario para pintura y dar el acabado final con pintura en aerosol de color verde (Figura 3.35 c)).



Figura 3.35. Manufactura de la base: a) doblado y soldado, b) barrenado y c) acabado final.

2. Soportes

Los soportes se fabricaron a partir de un perfil tubular cuadrado de acero A36 C-16 de $1\frac{1}{2}$ " , cortando cuatro secciones de 5" en la cortadora de metales (Figura 3.36 a)). Posteriormente, se realizaron barrenos pasados en el taladro de banco con brocas para metal de $\frac{1}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ " , con el fin de escalonar el barrenado y así evitar daños en las herramientas (Figura 3.36 b)). Finalmente, los soportes fueron detallados con una lima plana y lijas, dejando la superficie preparada para la aplicación de primario para pintura y, posteriormente dar el acabado final con pintura en aerosol de color verde (Figura 3.36 c)).

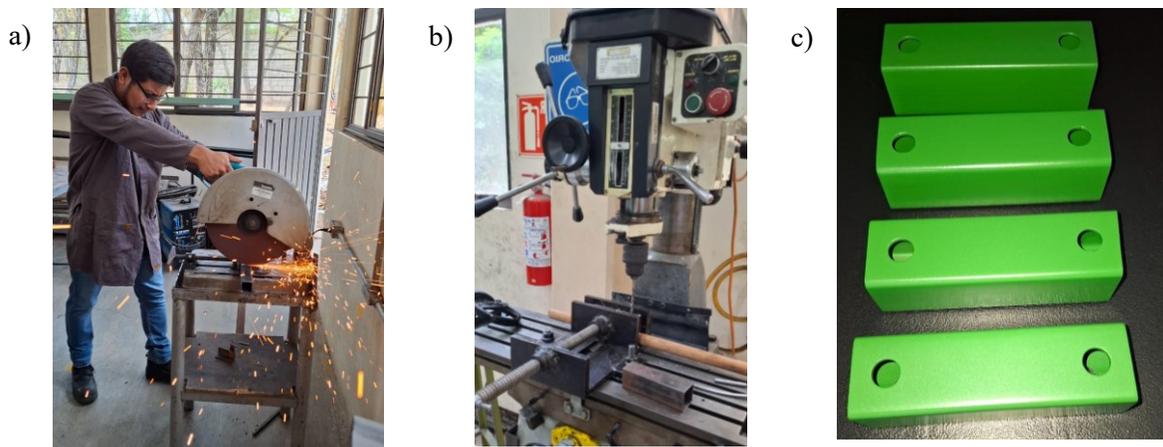


Figura 3.36. Manufactura de los soportes: a) corte, b) barrenado y c) acabado final.

3. Ejes

Debido a las dificultades para adquirir una sección de redondo de acero cold rolled AISI 1045 en la región, se optó por utilizar un acero para herramientas con un diámetro de $1\frac{1}{16}$ ". Este se montó en el torno mediante un plato de 3 mordazas, rectificando una de las caras del eje con un buril de acero rápido (HSS) previamente afilado y configurando el torno a 630 rpm. Posteriormente, se realizó un barrenado con la broca de centros, lo que permitió montar el contrapunto antes de rectificar y escalonar el eje (Figura 3.37 a)). Una vez centrado, se realizó el escalonamiento conforme las especificaciones del plano técnico, aplicando refrigeración constante y manteniendo una tolerancia de -0.005 " (0.127 mm). Las dimensiones fueron verificadas con un micrómetro, calibrador vernier e indicador de carátula, con el fin de asegurar tanto la precisión dimensional como la correcta alineación de la pieza (Figura 3.37 b) y c)).

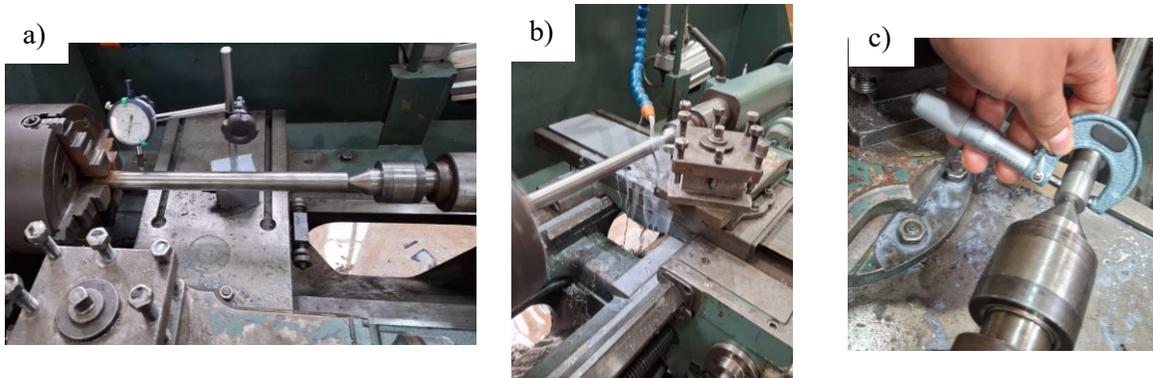


Figura 3.37. Manufactura del eje: a) montaje y rectificación, b) escalonamiento y c) verificación de diámetros.

Una vez fabricados los dos ejes necesarios, se montaron uno por uno en la bancada de la fresadora vertical convencional con ayuda de una prensa, para posteriormente maquinar los cuñeros requeridos. Como se muestra en la Figura 3.38, inicialmente se verificó la alineación del eje con el apoyo de un indicador de carátula, asegurando que estuviera correctamente centrado. La fresadora se configuró a 660 rpm y aplicando refrigeración con avance constante, se procedió al maquinado de los cuñeros conforme el plano técnico (1 cuñero de $\frac{1}{4}$ " y 1 cuñero de $\frac{3}{16}$ "), Para esto se emplearon cortadores rectos de $\frac{1}{4}$ " y $\frac{3}{16}$ ", junto con las boquillas R8 correspondientes. A los cuñeros se les dio una tolerancia de -0.003 " (0.0762 mm).

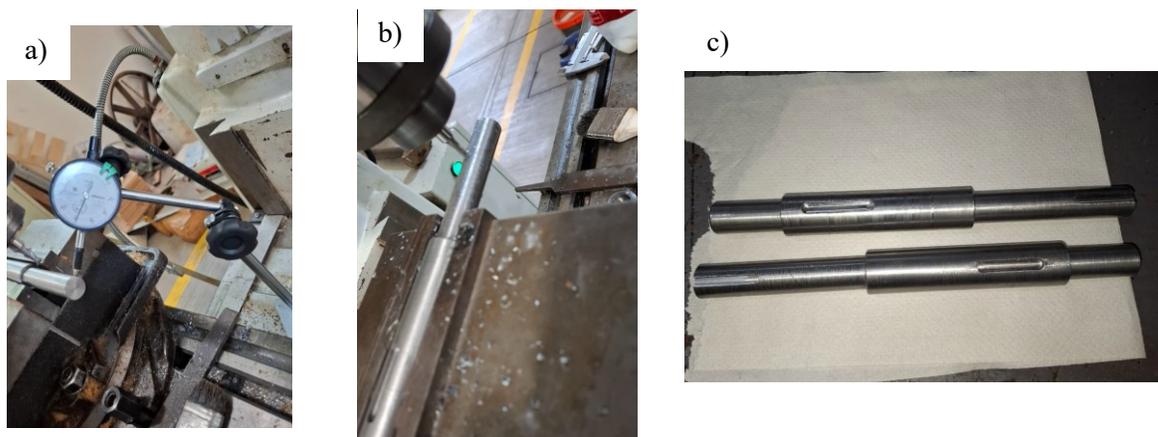


Figura 3.38. Maquinado de cuñeros en ejes: a) centrado de eje, b) maquinado de cuñeros y c) ejes con cuñeros.

4. Engranés

Para la fabricación de los engranes, se utilizó un redondo de Nylomaq con un diámetro de $4 \frac{1}{2}$ ". Este material fue maquinado en un torno horizontal a una velocidad de 630 rpm, según

las indicaciones del fabricante [33]. Las operaciones realizadas incluyeron desbaste, barrenado y la elaboración de un cuñero de $\frac{1}{4}$ " para cada uno, conforme las especificaciones de los planos técnicos. Donde, para alinear, verificar dimensiones y tolerancias se empleó un indicador de carátula, un calibrador vernier y un calibrador telescópico. Una vez obtenidos, estos fueron montados en la fresadora vertical para maquinarse dos barrenos con rosca (empleando una broca de $\frac{3}{16}$ " y un machuelo estándar de $\frac{1}{4}$ "), dispuestos a una equidistancia de 90° , con el fin de alojar tornillos opresores que evitan el movimiento axial del engrane (Figura 3.39).

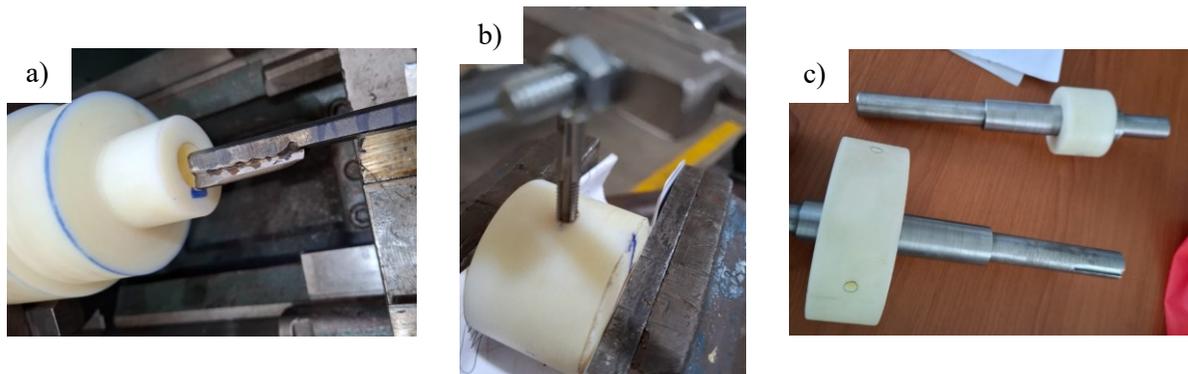


Figura 3.39. Preparación en torno para dentado de engranes: a) desbaste, barrenado y cuñeros, b) barrenado y roscado con machuelo para opresores y c) montaje de redondos en los ejes para dentado de engranes.

Posteriormente, con ayuda de fresas para engranes con módulo 2 para 25 y 50 dientes, un cabezal divisor con relación 40:1 (plato perforado #1 con 20 orificios) y un contrapunto, se maquinaron los dientes de cada engrane en la fresa horizontal a una velocidad de 600 rpm, empleando el indicador de caratula para alinear el cabezal y el redondo a maquinarse, como se muestra en la Figura 3.40.

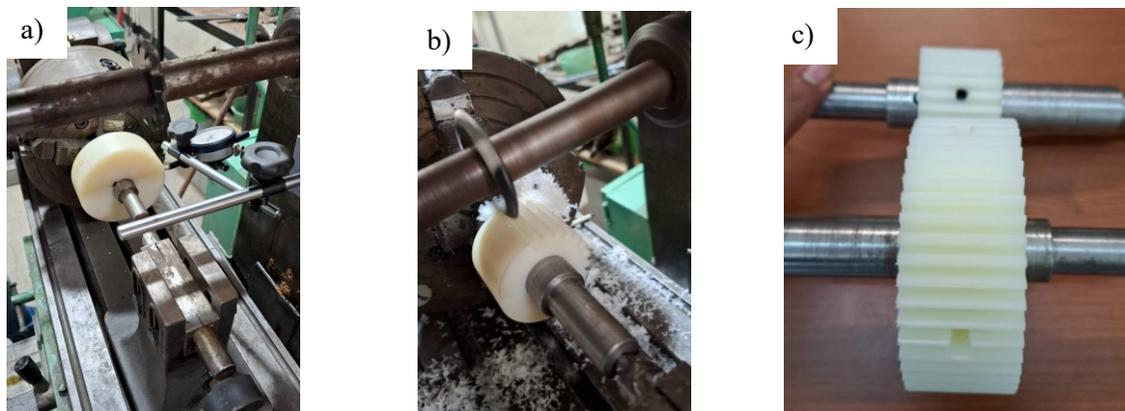


Figura 3.40. Dentado de engranes: a) centrado del material y cortador, b) maquinado de dientes y c) engranes maquinados.

5. Carcasa

La carcasa se fabricó a partir de una lámina de acero negro Calibre 20 (0.9 mm). Previo al corte del material, se agregaron pestañas de 1" a cada lado del plano técnico para que en el proceso de fabricación estas se plegaran al interior de esta para dar soporte y rigidez a la pieza, Asimismo, se consideró una pestaña de 1" en las uniones laterales de la tapa para permitir su unión por medio de soldadura. Una vez trazadas las dimensiones en la lámina, se realizaron los cortes principales en la cizalla y, posteriormente, los cortes de las pestañas y excedentes con tijeras para lámina. Para la formación de los dobleces se empleó la dobladora de lámina, seleccionando la muela más adecuada. Finalmente, las pestañas fueron unidas mediante soldadura por puntos, otorgando soporte estructural y firmeza a la carcasa (Figura 3.41).



Figura 3.41. Fabricación de carcasa: a) corte de lámina, b) doblado de lámina y c) soldadura por puntos.

Después, se realizó el barrenado y corte de la carcasa según las especificaciones del plano técnico, utilizando un taladro con sacabocados de 20 mm. Para el acabado final, la superficie fue lijada, limpiada con thinner, recubierta con primario para pintura y finalmente se aplicó pintura en aerosol color amarillo medio. Además, se incorporaron dos seguros para fijar la tapa a la base mediante remaches de $\frac{1}{8}$ " x $\frac{1}{2}$ ", con orificio guía de $\frac{1}{8}$ " (Figura 3.42).

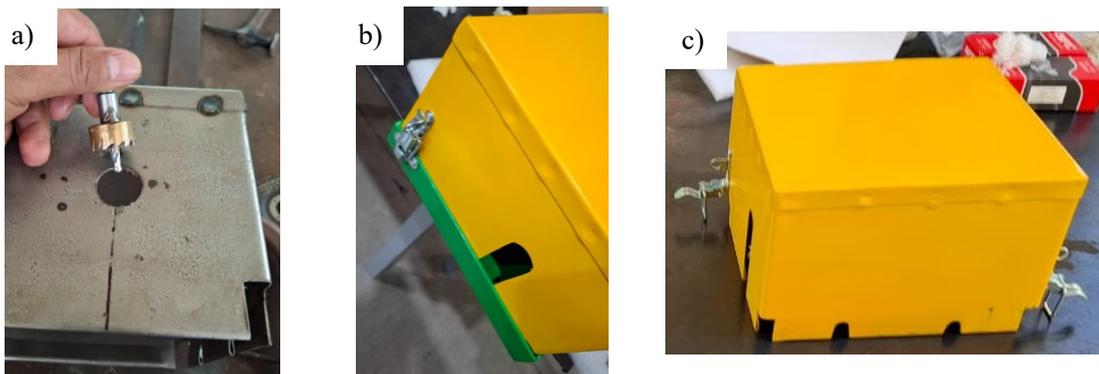


Figura 3.42. Fabricación de carcasa: a) barrenado y corte de lámina, b) montaje de seguros y c) acabado final.

6. Asas

Las asas se fabricaron a partir de solera de $\frac{1}{8}$ " x $\frac{3}{4}$ ". Inicialmente se cortaron secciones de $7\frac{1}{4}$ ", considerando los dobleces requeridos. Las zonas de doblez se marcaron con un esmeril y disco de corte a una profundidad de $\frac{1}{16}$ ", posteriormente se realizaron los dobleces empleando un tornillo de banco y un mazo de goma. Los dobleces fueron reforzados con soldadura, empleando la soldadora de arco eléctrico, un electrodo 6013 y corriente de 100 A. Una vez reforzados, se realizaron los barrenos indicados en el plano técnico con un taladro y una broca para metal de $\frac{1}{4}$ ". Finalmente, se lijó y limpió el asa para aplicar primario para pintura y dar el acabado final con pintura en aerosol color verde (Figura 3.43). Este proceso se repitió para obtener la segunda asa.

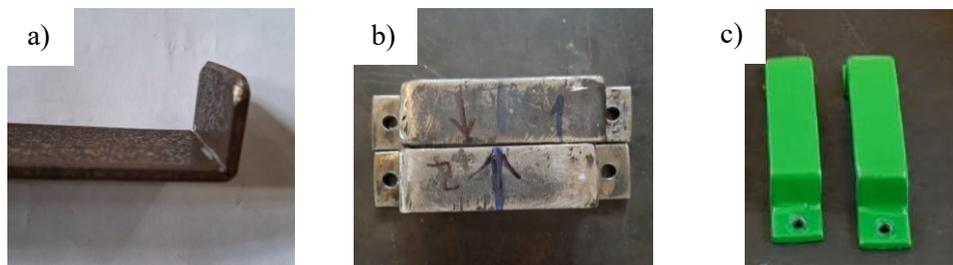
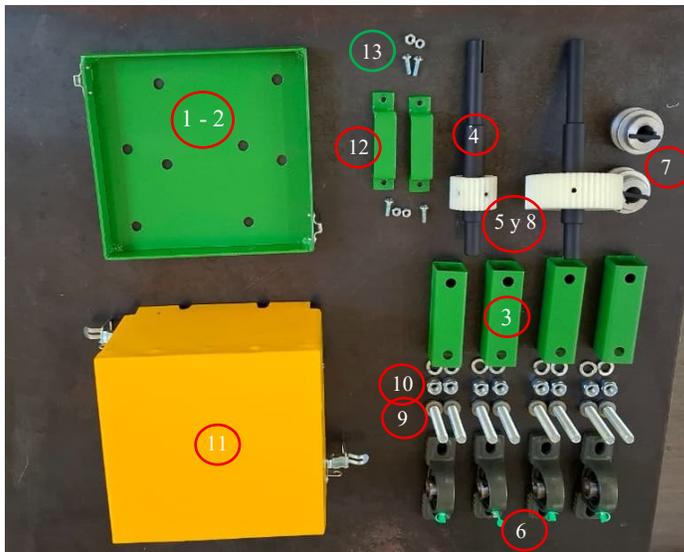


Figura 3.43. Manufactura de asas: a) corte y doblez, b) barrenado y c) acabado final,

4. Resultados

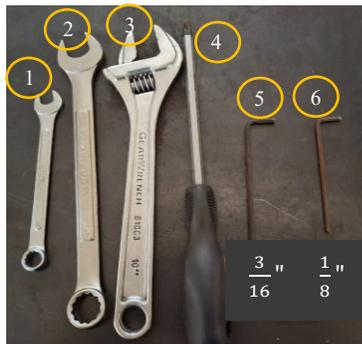
4.1. Ensamble del sistema de transmisión como prototipo final

Una vez fabricadas y adquiridas las diversas piezas y componentes del sistema de transmisión, se dio paso al ensamble final de este. En la Figura 4.1 se muestran las piezas y componentes necesarios, mientras que en la Figura 4.2 se ilustran las herramientas empleadas para realizar el ensamble del sistema.



No. de parte	Nombre de la pieza	Cantidad
1-2	Base	1
3	Soporte	4
4	Eje	2
5	Engrane impulsado	1
6	Chumacera	4
7	Polea	2
8	Engrane impulsor	1
9	Tornillo	8
10	Tuerca	8
11	Carcasa	1
12	Asa	2

Figura 4.1. Piezas y/o componentes para ensamble del sistema de transmisión.



No. de Herramienta	Herramienta
1	Llave combinada de 11 mm
2	Llave combinada de 3/4"
3	Llave ajustable de 8"
4	Desarmador de cruz o plano
5	Llave Allen de 3/16"
6	Llave Allen de 1/8"

Figura 4.2. Herramientas convencionales necesarias para el ensamble del sistema de transmisión.

Una vez definidas e identificadas las diversas piezas y componentes, se procedió a realizar el ensamble conforme el esquema del ensamble final mostrado en la Figura 4.3.

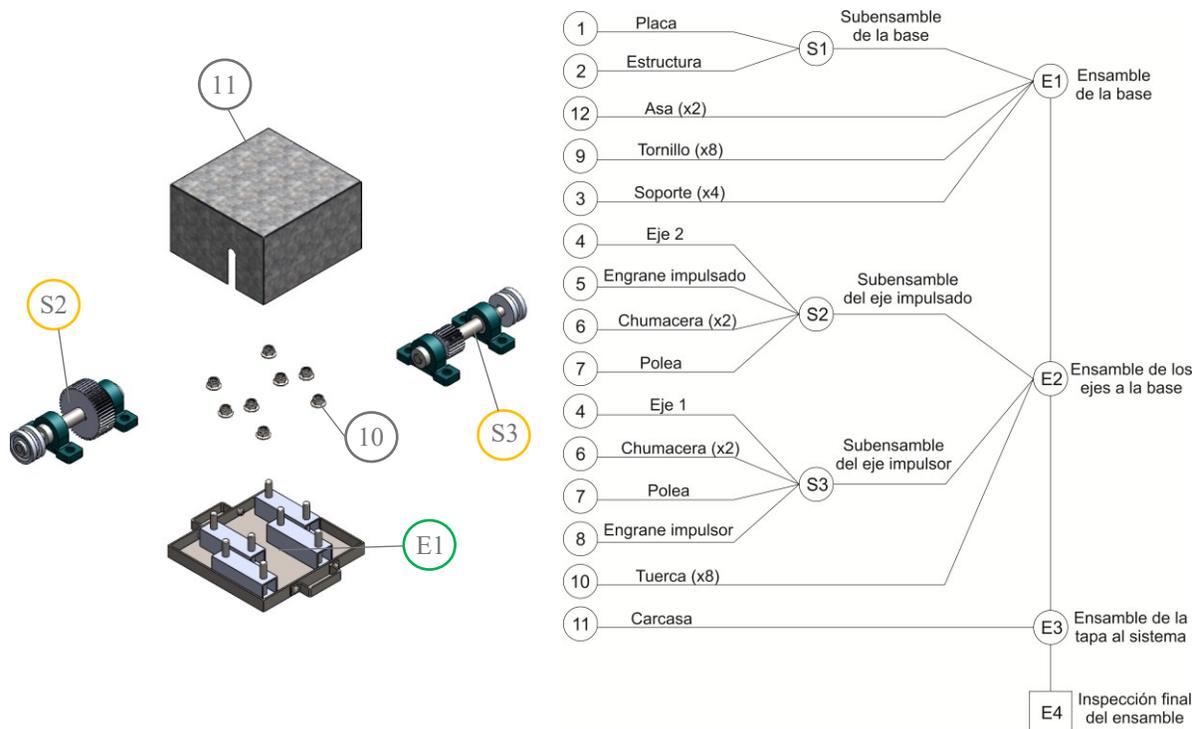


Figura 4.3. Dibujos y gráfica del ensamble final para el sistema de transmisión.

Para el ensamble de la base, inicialmente se montaron las asas y se fijaron mediante dos tornillos de goma de $\frac{1}{4}$ " x $\frac{3}{4}$ " y tuercas de seguridad, utilizando un desarmador de cruz y una llave combinada de 11 mm. Posteriormente, se introdujeron los tornillos de $\frac{1}{2}$ " junto con una arandela, con el fin de posicionar los soportes, tal como se muestra en la Figura 4.4 a).

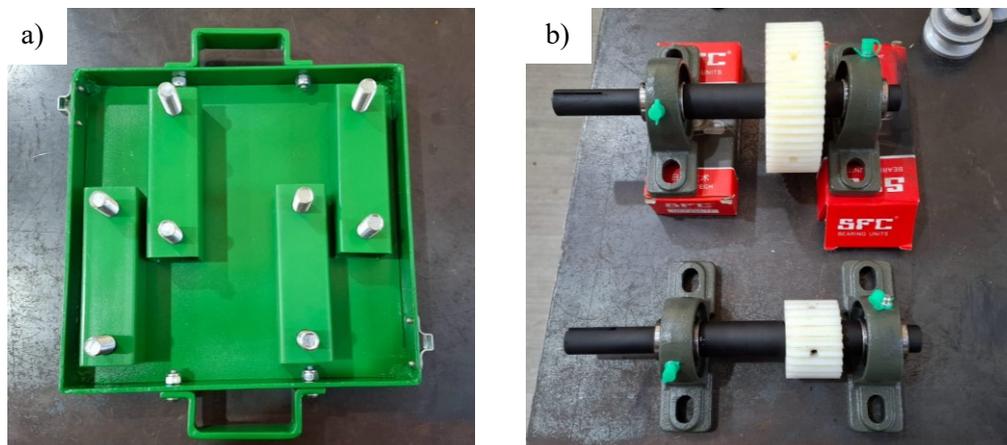


Figura 4.4. a) Ensamble de la base y b) subensamble de ejes.

Como parte del subensamble de los ejes (Figura 4.4 b)), inicialmente se montó un engrane, el cual se aseguró mediante una cuña de $\frac{1}{4}$ " y dos tornillos opresores de $\frac{1}{4}$ ", utilizando una llave Allen de $\frac{1}{8}$ ". Posteriormente, se instalaron las dos chumaceras y se fijaron sus tornillos opresores con la misma llave. Finalmente, se montó la polea, la cual se sujetó con una cuña de $\frac{3}{16}$ " y un tornillo opresor de $\frac{3}{16}$ ", empleando la llave de $\frac{3}{16}$ ".

Como siguiente paso, se instalaron los subensambles de los ejes a la base (Figura 4.5 a)), colocando las arandelas y tuercas de seguridad correspondientes, para lo cual se empleó una llave ajustable y la llave combinada de $\frac{3}{4}$ ". Por último, se instaló la tapa y se aseguró con los sujetadores previamente colocados en la tapa y base, tal como se muestra en la Figura 4.5 b).

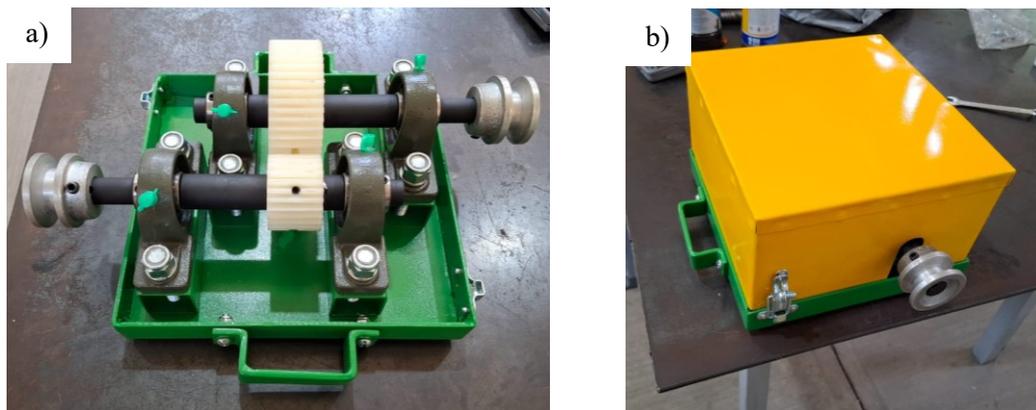


Figura 4.5. a) Ensamble de los ejes a la base y b) ensamble final.

De esta manera, se obtuvo el prototipo del sistema de transmisión finalizado, el cual se ilustra en la Figura 4.6.

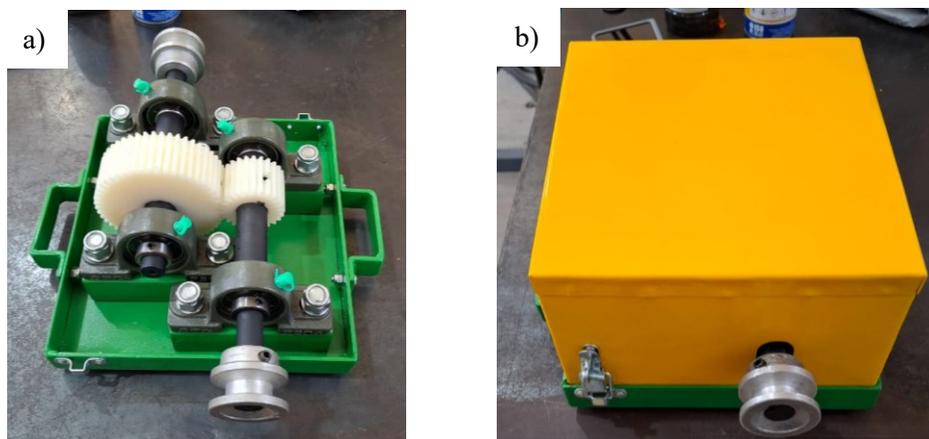


Figura 4.6. a) Sistema de transmisión sin tapa y b) sistema de transmisión con tapa.

4.2. Análisis de costos

En este apartado se consideró como referencia que el costo de este tipo de motores en la región de la Mixteca Alta del estado de Oaxaca oscila entre \$ 3200.00 y \$ 4500.00 pesos mexicanos. En particular, el motor de la marca Husky con 6.5 hp, 14 Nm y 3500 rpm tiene un precio promedio de \$ 3500.00 (al 03/03/2025) en talleres de la región.

Una vez concluida la fabricación del prototipo del sistema de transmisión, y como se observa en el apartado 3.5.3.3, el costo respectivo a la materia prima necesaria fue de \$ 2240.45 pesos mexicanos, sin considerar costos de mano de obra ni uso de maquinaria y equipo por ser un proyecto de promoción al desarrollo, y la inversión de \$ 1039.00 destinada a insumos y herramientas necesarias. Estos últimos no se contemplan en el costo directo, ya que pueden emplearse para fabricar cierto número de piezas, es decir, no se consumen exclusivamente en la elaboración de un solo sistema. Por otra parte, el costo del sistema de transmisión puede reducirse o compensar los costos de mano de obra al aumentar la producción y adquirir el material en volumen, ya que en este trabajo se compraron secciones específicas de materia prima, lo que elevó el costo al tratarse de cantidades pequeñas.

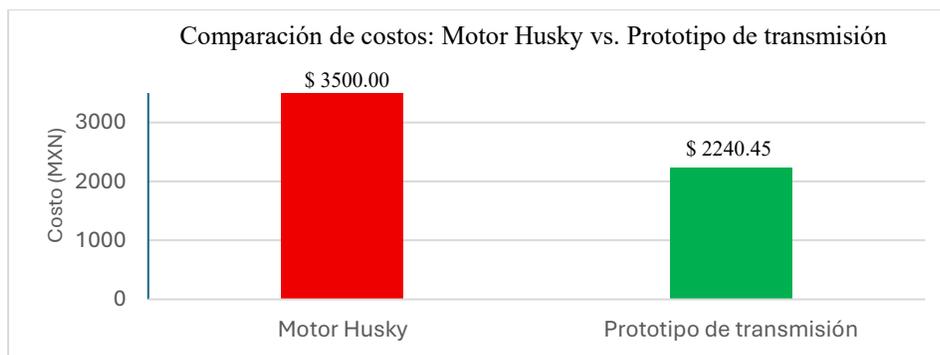


Figura 4.7. Comparación de costos entre un motor Husky y el prototipo del sistema de transmisión propuesto.

Como se observa en la gráfica de la Figura 4.7, se prevé que la fabricación del sistema de transmisión para adaptar un solo motor a estas máquinas resulta considerablemente viable, se estima que aun considerando los costos de mano de obra y uso de maquinaria, la propuesta de esta transmisión es más conveniente que el uso de dos motores. Con estas consideraciones, el prototipo es aproximadamente un 36.0 % más económico que el motor Husky de \$ 3500.00, donde el costo del motor no involucra costos derivados del mantenimiento y refacciones.

4.3. Pruebas

Al no contar con las máquinas específicas ni con el motor de combustión interna para realizar las pruebas del prototipo, se optó por simular un entorno de funcionamiento equivalente. Para ello, el sistema fue acoplado a una fuente motriz, que en este caso fue un motor eléctrico con una velocidad constante de 192 rpm (Figura 4.8 a)). Para verificar la variación de velocidad y potencia, se empleó un tacómetro, con el fin de medir la velocidad tanto en el eje de entrada como en el de salida (Figura 4.8 b)). De esta manera, se comprobó que el sistema de transmisión cumple con las características de diseño para las cuales fue desarrollado.

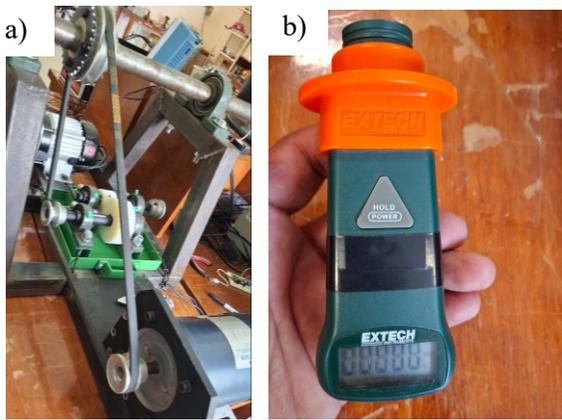


Figura 4.8. a) Montaje y acople del sistema de transmisión al motor eléctrico y b) tacómetro rpm.

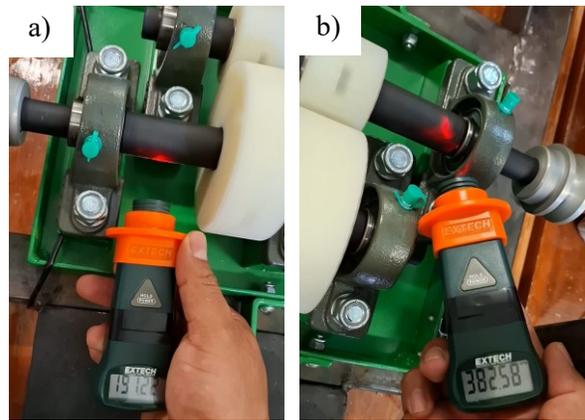


Figura 4.9. a) Velocidad en el eje de entrada 191.2 rpm y b) velocidad en el eje de salida 382.5 rpm.

En la Figura 4.9 se presentan los resultados obtenidos en los ejes de entrada y salida del sistema de transmisión, donde se observa que la velocidad se duplica. Adicionalmente, el peso total del sistema fue determinado mediante una báscula, como se muestra en la Figura 4.10.



Figura 4.10. Peso total del prototipo de transmisión fabricado: 10.600 kg.

4.4. Validación

Como parte de la validación del prototipo del sistema de transmisión, se realizó una evaluación de las especificaciones objetivo planteadas y definidas en la sección 3.2.2, que se derivaron de las necesidades expresadas por los usuarios para verificar que el diseño cumple con los requisitos funcionales y dimensionales establecidos.

Tabla 4.1. Validación de las especificaciones objetivo, definidas en la sección 3.2.2.

Validación de especificaciones objetivo			
Métrica núm.	Métrica	Especificaciones del prototipo	Validación
1	Motor compatible (dimensiones 40 x 40 x 40 cm)	41.5 x 38.5 x 37 cm	✓
2	Motor convencional y económico (\$ MXN)	\$ 3500.00 MXN	✓
3	Potencia del motor (6.5 hp)	6.5 hp	✓
4	Poco tiempo para montar el sistema (seg)	-	-
5	Peso final del sistema (máx. 20 kg)	10.600 kg	✓
6	El sistema duplica o reduce la potencia (relación 2:1)	2:1 ó 1:2	✓
9	Costo de materiales y componentes accesible (< que un motor de combustión interna) (\$ MXN)	\$ 2240.45 MXN	✓
11	Grosor mínimo de las placas para la base ($\frac{1}{8}$ in)	$\frac{1}{8}$ in	✓
12	Herramientas básicas y comunes para mantenimiento	Si	✓
16	Volumen de producción (kg/h)	Bajo o autoconsumo	✓
19	El sistema se encuentra cubierto por una tapa	Si	✓

Como se observa en la Tabla 4.1, se cumplieron satisfactoriamente las especificaciones objetivo identificadas en las encuestas realizadas a los médicos veterinarios. En consecuencia, el diseño desarrollado y manufacturado satisface las especificaciones-requerimientos más relevantes para los clientes, de acuerdo con su importancia relativa.

5. Conclusiones

Con la aplicación de una metodología específicamente para el diseño y desarrollo de productos se llevó a cabo este trabajo de tesis, desde la identificación de una problemática social hasta la fabricación del prototipo como una posible solución. De esta manera se cumplió con la hipótesis planteada, al diseñar, desarrollar y manufacturar el sistema de transmisión como una solución mecánica, funcional y acorde a las necesidades de los pequeños productores de la región.

Por otra parte, se cumplió con el objetivo general de diseñar y manufacturar el prototipo de un sistema de transmisión para una fuente de potencia intercambiable entre las máquinas antes descritas, así como los objetivos específicos y metas pertinentes. Los resultados obtenidos demostraron que el prototipo desarrollado es técnicamente viable, al permitir el acoplamiento funcional y seguro entre el motor y las máquinas (por medio del sistema original), asegurando la transmisión de potencia de manera eficiente. Asimismo, se comprobó que la implementación de este mecanismo representa una alternativa económica frente a la adquisición de motores adicionales.

Al comparar el costo del prototipo desarrollado con el de un motor de combustión interna empleado en las máquinas de interés, se observó que resulta factible utilizar un solo motor de combustión interna junto con el prototipo para ambas máquinas, lo que representa un ahorro aproximado del 36% en comparación con la adquisición de un motor para cada máquina. Cabe señalar que el análisis económico no consideró costos de mano de obra ni uso de maquinaria y equipo, dado que el proyecto se desarrolló en el marco de promoción al desarrollo, sin embargo, esta exclusión no altera la validez del ahorro estimado, ya que el principal impacto económico se encuentra en la reducción del número de motores requeridos. Así mismo, se cumplieron las necesidades expresadas por los usuarios, algunas de estas son: motor común, potencia de 6.5 hp, peso final del sistema menor a 20 kg, costo accesible, herramientas básicas y comunes para mantenimiento, entre otras.

Si bien no fue posible realizar pruebas en condiciones de operación reales debido a la falta de estas máquinas, las simulaciones y pruebas en entornos controlados permiten concluir que el prototipo es una solución práctica y funcional.

En conclusión, el prototipo del sistema de transmisión intercambiable desarrollado representa una alternativa viable, económica y adaptable para el sector agrícola, ofreciendo una contribución significativa a la reducción de costos y a la eficiencia en el uso de recursos mecánicos.

5.1. Trabajos futuros

Inicialmente este trabajo de tesis se desarrolló con el objetivo de emplearse con motores de combustión interna y máquinas agrícolas estacionarias destinadas a picar forraje o desgranar maíz. Sin embargo, el hecho de que el sistema de transmisión invierta el giro del motor evidencia su posible adaptación a motores eléctricos bifásicos, comúnmente empleados en estas máquinas, ya que estos pueden invertir su sentido de giro mediante la polaridad, situación que facilita el montaje y acoplamiento del sistema.

Por otra parte, este sistema de transmisión puede ser adaptado a otras máquinas o sistemas que operen bajo condiciones de funcionamiento similares, mediante la propuesta y ajuste de diferentes relaciones de engranajes que puedan acoplarse al sistema según los requerimientos específicos que se presenten.

Finalmente, se propone efectuar la validación funcional del prototipo una vez montado en las máquinas agrícolas y empleado por el usuario final, con el propósito de evaluar su eficiencia, durabilidad y facilidad de operación en campo.

Bibliografía

- [1] Real Academia Española, «Diccionario de la Lengua Española,» [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/agricultura>. [Último acceso: Enero 2024].
- [2] S. J. Sarandón, El papel de la agricultura en la transformación social-ecológica de America Latina, México: Friedrich Ebert Stiftung, 2020.
- [3] F. Frazetto B. y A. Pérez, Introducción a la maquinaria agrícola, E-L Editores.
- [4] J. Cuauhtémoc Negrete, A. Liles Tavares Machado y R. Liles Tavares Machado, «Diseño de tractores agrícolas en México,» *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 21, n° 1, pp. 5-11, 2012.
- [5] «ChatGPT, (Imagen generada por IA),» 08 Septiembre 2024. [En línea]. Available: <https://chatgpt.com/>.
- [6] E. Vela, «Arqueología Mexicana (Imagen: Las Partes del Maíz),» Editorial Raices, S.A. de C.V., 2023. [En línea]. Available: <https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/antiguedad-del-maiz-mexicano>. [Último acceso: 01 Septiembre 2024].
- [7] G. Mandujano Molina, «Repositorio Dspace,» Tecnológico Nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez, Enero 2010. [En línea]. Available: <http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/handle/123456789/245>. [Último acceso: 2024 Marzo 14].
- [8] Raiker Corporation, «Catálogo de Maquinaria Raiker,» Ricarte, 2020. [En línea]. Available: <https://www.raiker.com.mx/>. [Último acceso: 2024 Marzo 14].
- [9] Antarix Corporation, «Antarix Corporation,» 2019. [En línea]. Available: <https://antarixfranquicias.com.mx/desgranadora-de-maiz-1800-c-ukura-7hp-dl1800uk7-flete-pagado-cobertura-limitada-consulte-dl1800uk7.html>. [Último acceso: 14 Marzo 2024].
- [10] R. L. Norton, Diseño de Máquinas, un Enfoque Integrado, Cuarta ed., México: Pearson Educación, 2011.
- [11] U. Juárez Ruiz, Diseño de elementos mecánicos en ANSYS (Trabajo de tesis), Oaxaca, Mexico: Universidad Tecnológica de la Mixteca, 2024, p. 137.

- [12] Gates, «Componentes de Transmisión de Potencia (Imagen),» Gates Corporation, 2024. [En línea]. Available: <https://www.gates.com/es/es/power-transmission/power-transmission-components.html>. [Último acceso: 15 Marzo 2024].
- [13] K. T. Ulrich y S. D. Eppinger, *Diseño y Desarrollo de Productos*, Quinta ed., México: Mc Graw Hill Education, 2013.
- [14] M. Gleason Alvarez, «Maquinaria Agrícola,» *Geografía Agrícola*, n° 36, pp. 129-154, 2006.
- [15] A. C. Ugural, *Mechanical Engineering Design*, Third ed., Boca Ratón: Taylor & Francis Group, 2021.
- [16] F. Díaz del Castillo Rodríguez, *Diseño de Elementos de Máquinas*, Cuautitlán Izcalli, Mexico.: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, 2011.
- [17] R. C. Juvinall y K. M. Marshek, *Diseño de Elementos de Máquinas*, Segunda ed., México: Limusa Wiley, 2013.
- [18] R. L. Norton, *Diseño de Maquinaria*, Cuarta ed., México: Mc Graw Hill Education, 2009.
- [19] R. L. Mott, *Diseño de Elementos de Máquinas*, Cuarta ed., México: Pearson Education, 2006.
- [20] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, Décima ed., México: Mc Graw Hill Education, 2018.
- [21] C. Jensen, J. D. Helsel y D. R. Short, *Dibujo y Diseño en Ingeniería*, Sexta ed., México: Mc Graw Hill, 2004.
- [22] V. M. Faires, *Diseño de Elementos de Máquinas*, Cuarta ed., Barcelona: Montaner y Simón, 1970, p. 802.
- [23] L. V. Venegas Useche, *Diseño de Elementos de Máquinas*, Primera ed., Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2018, p. 521.
- [24] M. P. Groover, *Introducción a los Procesos de Manufactura*, México: Mc Graw Hill Education, 2014.
- [25] J. T. Black y R. A. Kohser, *DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing*, Thirteenth ed., Hoboken: Wiley, 2019.

- [26] S. Kalpakjian y S. R. Schmid, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*, Quinta ed., México: Pearson Educación, 2008, p. 1328.
- [27] W. Chen, B. Yang y Y. Liu, «An integrated QFD and FMEA approach to identify risky components of products,» *Advanced Engineering Informatics*, vol. 54, pp. 1-11, 2022.
- [28] R. B. Chase y F. R. Jabos, *Administración de Operaciones: Producción y Cadena de Suministros*, Decimotercera ed., México: Mc Graw Hill Education, 2014.
- [29] E. Holmen y P. S. Kristensen, «Downstream and upstream extension of the house of quality,» *MAPP working paper*, n° 37, 1996.
- [30] ZAIT Alto Rendimiento, «Desgranadora De Maiz (mazorca) Manual Zait Calidad Premium,» ZAIT, [En línea]. Available: <https://zait.com.mx/producto/desgranadora-de-maiz-mazorca-manual-zait-calidad-premium-2/>.
- [31] G. Mikell P., *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*, Fourth ed., USA: PEARSON, 2015.
- [32] S. Rojas Lema, «Implementación de Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE),» *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, pp. 64-75, 2019.
- [33] La Paloma Compañía de Metales S.A. de C.V., «La Paloma, Nylomaq,» [En línea]. Available: https://lapaloma.com.mx/lapaloma_metales/nylomaq.html. [Último acceso: 04 08 2025].
- [34] K. T. Ulrich y S. D. Eppinger, *Product Design and Development*, Sixth ed., Pennsylvania: Mc Graw Hill Education, 2016.
- [35] Mercado Libre, «Chumacera De Piso 3/4 Pulgada Ucp204-12 Paquete 4 Pzas,» [En línea]. Available: <https://www.mercadolibre.com.mx/>.
- [36] Newgena, «Línea de tiempo histórica maquinaria agrícola,» Depositphotos, [En línea]. Available: <https://depositphotos.com/es/vector/historical-timeline-farm-machinery-186974268.html>. [Último acceso: 15 Marzo 2024].
- [37] Mapfre Corporation, «Motor Blogs,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.motor.mapfre.es/consejos-practicos/consejos-de-mantenimiento/cambiar-cardan-coche/>. [Último acceso: 14 Marzo 2024].
- [38] Agriseiva, «Agricultura de precisión (Imagen),» Agriseiva, Consultoría y Planeación Agropecuaria, [En línea]. Available: <https://agriseiva.com.br/servicos/agricultura-de-precisao/>. [Último acceso: 14 Marzo 2024].

- [39] M. Ashby, H. Shercliff y D. Cebon, *Materials: Engineering, Science, Processing and Design*, Forth ed., Oxford: Butterworth Heinemann, 2019.
- [40] G. Boothroyd, P. Dewhurst y W. A. Knight, *Product Design for Manufacture and Assembly*, Third ed., Boca Raton: CRC Press, 2011.
- [41] M. P. Groover, *Fundamentos de Manufactura Moderna*, Tercera ed., México: Mc Graw Hill, 2007.
- [42] B. W. Niebel y A. Freivalds, *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*, Duodécima ed., México: Mc Graw Hill, 2009.
- [43] J. Cuauhtémoc Negrete, «Políticas de mecanización agrícola en México,» *Revista Iberoamericana de Ciencia Tecnología y Sociedad*, p. 22, 2011.

A. Encuesta

Este trabajo de investigación se basa en diseñar un sistema de transmisión intercambiable entre una picadora de forraje y una desgranadora de maíz, con el objetivo de emplear una sola fuente de potencia entre estas, buscando la reducción de costos derivados de la adquisición y mantenimiento de un motor para cada máquina. Por lo que se plantean las siguientes preguntas con el objetivo de recabar información de usuarios que emplean estas máquinas:

Propietario (la maquinaria es propia): (si) (no)

Usuario (la maquinaria empleada es rentada): (si) (no)

1. ¿Sería de tu interés emplear un solo motor de menor potencia mediante un sistema de transmisión intercambiable para ambas máquinas?
2. ¿Estarías interesado en adquirir un sistema que permita usar un solo motor para diferentes máquinas? ¿Por qué?
3. ¿Qué tan importante sería para ti un desmontaje fácil, rápido e intuitivo del sistema de potencia (motor y transmisión)?
4. ¿Qué tan importante sería el peso de este sistema de transmisión para ti?
5. ¿Qué esperarías de este diseño en términos de costo, diseño y practicidad?
6. ¿Prefieres funcionalidad, practicidad o estética en una máquina?
7. ¿Mueves frecuentemente esta máquina de lugar o la usas en lugares remotos donde no cuentas con electricidad?

Picadora de forraje:

1. ¿Cuál es tu volumen de producción?
2. ¿Cada cuánto empleas esta máquina?
3. ¿Cuál es el uso principal que le das a esta máquina?

4. ¿Cuál es la potencia de tu máquina actual?
5. ¿Son recurrentes los fallos en tu picadora de forraje actual? Si tu respuesta es sí especifica cuales.
6. ¿La producción es para venta o autoconsumo?
7. ¿Tu máquina actual cumple con tus necesidades de producción? Si tu respuesta es no especifica.
8. ¿El motor actual cumple con los requerimientos de tu máquina?
9. ¿Cada cuanto realizas el mantenimiento del motor?, menciona un costo aproximado.
10. ¿Empleas esta máquina para otro tipo de trabajos o tareas?, si la respuesta es sí menciona cuales.

Desgranadora de maíz:

1. ¿Cuál es tu volumen de producción?
2. ¿Cada cuánto empleas esta máquina?
3. ¿Cuál es el uso principal que le das a esta máquina?
4. ¿Cuál es la potencia de tu máquina actual?
5. ¿Son recurrentes los fallos en tu picadora de forraje actual? Si tu respuesta es sí especifica cuales.
6. ¿La producción es para venta o autoconsumo?
7. ¿Tu máquina actual cumple con tus necesidades de producción? Si tu respuesta es no especifica.
8. ¿El motor actual cumple con los requerimientos de tu máquina?
9. ¿Cada cuanto realizas el mantenimiento del motor?, menciona un costo aproximado.
10. ¿Empleas esta máquina para otro tipo de trabajos o tareas?, si la respuesta es sí menciona cuales.

B. Matriz de necesidades-métricas

Una matriz de necesidades-métricas es una herramienta empleada comúnmente en la planificación, diseño y desarrollo de productos o servicios, esta con el objetivo de relacionar las necesidades o requisitos de los clientes (lo que se quiere) con las métricas o características cuantificables (como se evalúa) que permiten satisfacer las necesidades del cliente. Esta matriz es clave en la casa de la calidad, misma que es una técnica empleada en el despliegue de la función de calidad (QFD, por sus siglas en inglés) [34].

Necesidad	Métrica																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
		Motor compatible (dimensiones 40x40x40 cm)	Motor convencional y económico	Potencia del motor (6.5 hp)	Poco tiempo para montar sistema	Peso final del sistema (máx. 20 kg)	El sistema duplica o reduce la potencia (relación 2:1)	El sistema es práctico, simple y cumple con su función	El sistema es visualmente estético y simétrico	Costo de manufactura accesible (< que un motor de C. I.)	Personas necesarias para manipular el sistema (1)	Grosor mínimo de las placas para la base (1/16")	Herramientas básicas y comunes para mantenimiento	Tiempo corto de mantenimiento	Fallos estimados (1 cada años)	La base contiene puntos de montaje (mín. 4)	Volumen de producción (100-250 kg/hr)	Los componentes no se encuentran expuestos	Piezas estándar empleadas en el sistema (< 80%)	El sistema se encuentra cubierto por una tapa (lámina)
1	Las máquinas emplean un solo motor	●																		
2	El motor es comercial		●	●																
3	El motor es de combustión interna			●																
4	El sistema de transmisión es de montaje fácil y rápido				●		●													
5	El sistema de transmisión es ligero					●														
6	El sistema de transmisión es funcional						●													
7	El sistema de transmisión es práctico							●												
8	El sistema de transmisión tiene un diseño estético								●											
9	El sistema de transmisión es económico									●										
10	El sistema de transmisión es fácil de transportar										●									
11	El sistema de transmisión es robusto											●								
12	El sistema de transmisión permite un mantenimiento con herramientas comunes y sencillas												●	●						
13	El sistema de transmisión es de fácil acceso para mantenimiento												●	●						
14	El sistema de transmisión tiene una larga vida útil														●					
15	El sistema de transmisión contiene puntos rígidos de montaje															●				
16	El sistema de transmisión compensa la potencia requerida																●			
17	El sistema de transmisión inspira seguridad																	●		
18	El sistema de transmisión contiene piezas y elementos convencionales																		●	
19	El sistema de transmisión no se contamina con el polvo																	●		●

Figura A. Matriz de necesidades-métricas para este trabajo de tesis.

D. Definición de engranes, chumaceras, cuñas y eje

Como primer paso para el diseño y cálculo de los diferentes componentes, se tienen las siguientes consideraciones y decisiones de diseño.

Según los requerimientos de las máquinas y como referencia para el desarrollo del sistema de transmisión, se eligió y definió un motor común de la marca Husky con 6.5 hp, 14 Nm, 3500 revoluciones por minuto (rpm) y un costo promedio de \$ 3500.00 (al 03/03/2025) en talleres de la región. Este motor cumple con los requerimientos de la máquina picadora de forraje (2500-3500 rpm), situación que implica acoplar directa y comúnmente el motor a la máquina sin la necesidad del sistema de transmisión, sin embargo, para la máquina desgranadora de maíz los requerimientos son aproximadamente la mitad de los requeridos por la picadora de forraje (800-1800 rpm), por lo que mediante el acoplamiento del sistema de transmisión entre el motor y la máquina este debe compensar la potencia, situación que plantea y propone una reducción de velocidad de 2:1.

Con el objetivo de ofrecer mayores prestaciones, se propone que el sistema de transmisión sea simétrico en cuanto a posiciones de sujeción y elementos acoplados, ofreciendo así la capacidad de duplicar la potencia (relación 1:2), para demás máquinas agrícolas estacionarias con mayor potencia o volumen de producción. En la Tabla A se especifican las características del motor.

Tabla A. Características de funcionamiento del motor Husky RLM650M 6.5 hp.

Motor Husky 6.5 hp	Características
	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia: 6.5 hp • Tipo: gasolina • Arranque: manual • Diámetro de flecha: $\frac{3}{4}$ ", cuña: $\frac{3}{16}$ " • Dimensiones: 41.5 x 38.5 x 37 cm • Peso: 16 kg • Velocidad rotacional del eje: 3600 rpm • Torque máximo: 14 N·m • Motor: 4 tiempos

En cuanto a las revoluciones necesarias para las máquinas de interés se definió: máquina picadora de forraje = 3500 rpm y máquina desgranadora de maíz 1750 rpm. Y en la Figura C se ilustran las dimensiones máximas del sistema de transmisión.

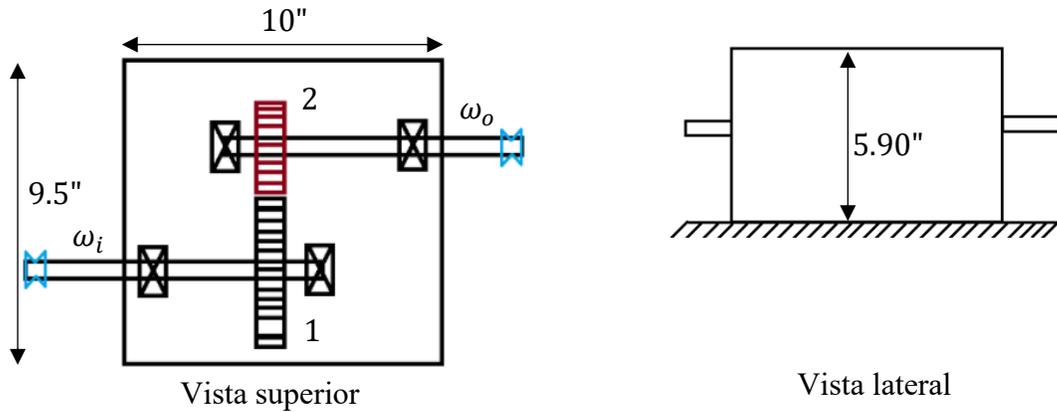


Figura C. Distribución y dimensiones del sistema de transmisión.

1. Cálculo de engranes

Una vez definidas las consideraciones se tiene una relación 1:2 y se definieron las velocidades angulares como:

$$\omega_1 = \omega_i = 1750 \text{ rpm y } \omega_2 = \omega_o = 3500 \text{ rpm} \quad (\text{D. 1})$$

Y la relación de engranes [20] está dada por:

$$e = \frac{\omega_i}{\omega_o} = \frac{T_o}{T_i} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{1750 \text{ rpm}}{3500 \text{ rpm}} = \frac{1}{2} \quad \text{ó} \quad e = \frac{\#N \text{ engrane conducido}}{\#N \text{ engrane conductor}} = \frac{N_2}{N_1} \quad (\text{D. 2})$$

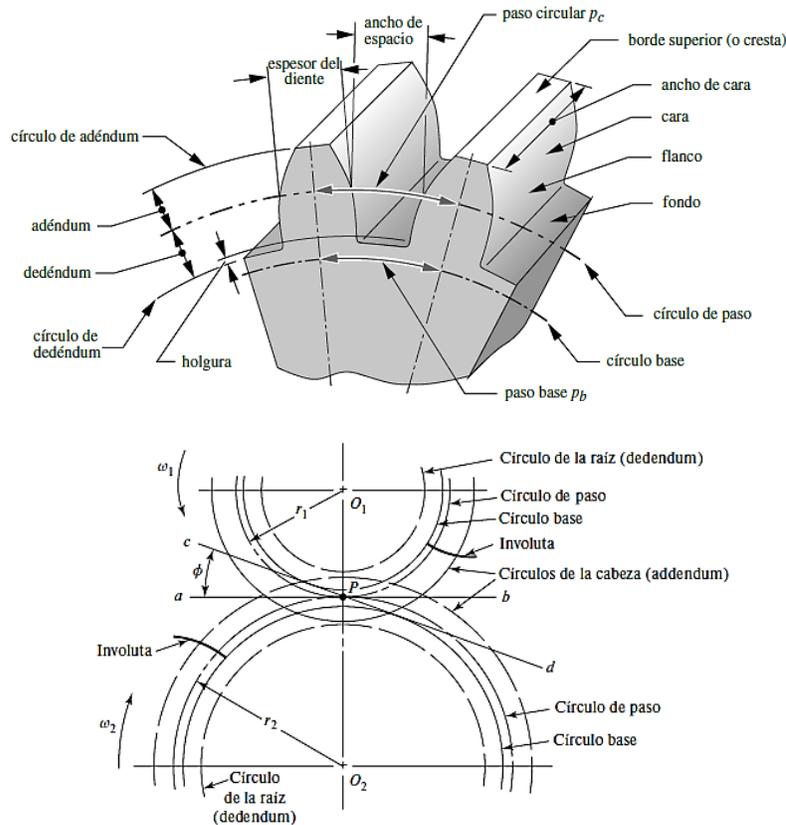
Por otra parte, con base en las restricciones de dimensiones del sistema (Figura C) se propuso un diámetro exterior máximo de los engranes: engrane impulsor (conductor) $D_{Ext,E1} = 120 \text{ mm}$ y engrane impulsado (conducido) $D_{Ext,E2} = 60 \text{ mm}$ como máximo. Así mismo, se define un módulo estándar para engranes rectos de tamaño intermedio para máquinas de $m = 2$ y un ángulo de presión $\phi = 20^\circ$ [20].

En la Figura D se muestran las partes de un engrane recto, así como su respectiva nomenclatura. De las especificaciones anteriores, se tiene una relación de engranes igual a:

$$e = \frac{1}{2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (\text{D. 3})$$

Por lo tanto, para cumplir esta condición el engrane impulsor (E_1) debe tener el doble de dientes que el engrane impulsado (E_2), es decir:

$$N_1 = 2 \cdot N_2. \quad (D. 4)$$



- D_e : diámetro exterior
- D_p : diámetro primitivo (paso)
- D_i : diámetro interior
- P : paso circular
- m : módulo
- c : espesor entre dientes
- e : espesor del diente
- h : altura total del diente
- L : altura total de la cabeza del diente
- l : altura del pie del diente
- R : radio del pie del diente
- A : distancia entre ejes (distancia entre centros)
- N : número de dientes
- ϕ : ángulo de presión

Figura D. Nomenclatura para los dientes de engranes rectos [10], [20].

Con el objetivo de cumplir esta relación, como decisión de diseño se define $N_1 = 50$ dientes, $N_2 = 25$ dientes y un módulo estándar para engranes rectos $m = 2$ [20] y [19].

Engrane impulsor E_1 . Sustituyendo m y $N=50$ dientes, resulta:

$$D_e = m \cdot (N + 2) = 104 \text{ mm} \quad (D. 5)$$

$$D_p = m \cdot N = 100 \text{ mm} \quad (D. 6)$$

$$D_i = D_p - (2m \cdot 1.167) = 95.332 \text{ mm} \quad (D. 7)$$

$$P = m \cdot \pi = 6.283185 \text{ mm} \quad (D. 8)$$

$$L = m = 2 \text{ mm} \quad (D. 9)$$

$$l = m \cdot 1.167 = 2.334 \text{ mm} \quad (D. 10)$$

$$e = m \cdot 1.5708 = 3.1416 \text{ mm} \quad (D. 11)$$

$$h = m \cdot 2.167 = 4.334 \text{ mm} \quad (D. 12)$$

Engrane impulsado E_2 . Sustituyendo m y $N=25$ dientes, resulta:

$$D_e = m \cdot (N + 2) = 54 \text{ mm} \quad (\text{D. 13})$$

$$D_p = m \cdot N = 50 \text{ mm} \quad (\text{D. 14})$$

$$D_i = D_p - (2m \cdot 1.167) = 45.332 \text{ mm} \quad (\text{D. 15})$$

$$P = m \cdot \pi = 6.283185 \text{ mm} \quad (\text{D. 16})$$

$$L = m = 2 \text{ mm} \quad (\text{D. 17})$$

$$l = m \cdot 1.167 = 2.334 \text{ mm} \quad (\text{D. 18})$$

$$e = m \cdot 1.5708 = 3.1416 \text{ mm} \quad (\text{D. 19})$$

$$h = m \cdot 2.167 = 4.334 \text{ mm} \quad (\text{D. 20})$$

La distancia entre centros es:

$$A = \frac{D_p + d_p}{2} = \frac{100 + 50}{2} = 75 \text{ mm} \quad (\text{D. 21})$$

Según la literatura el ancho de la cara del engrane debe ser 3 o 5 veces el paso circular [20], y tomando el máximo se tiene:

$$F = 5 \cdot P = 5 \cdot (6.283185) = 31.41 \text{ mm} \quad (\text{D. 22})$$

Con el objetivo de estandarizar y reducir los esfuerzos en los dientes del engrane, se estableció el ancho del engrane a $1 \frac{1}{2}$ ", es decir $F = 38.1 \text{ mm}$.

Una vez definida la geometría de los engranes, se calcularon las fuerzas/esfuerzos para definir el material de los engranes. Para esto se emplean los siguientes datos: $D_{p1} = 100 \text{ mm}$, $D_{p2} = 50 \text{ mm}$, $n = 3500 \text{ rpm}$ y $\phi = 20^\circ$.

La velocidad en la línea de paso está definida por [19]:

$$v_t = \left(\frac{D_p}{2}\right) \cdot \omega = \left(\frac{100 \text{ mm}}{2}\right) \left(3500 \frac{\text{rev}}{\text{min}}\right) \left|\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}\right| \left|\frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}\right| \left|\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}\right| \quad (\text{D. 23})$$

$$\therefore v_t = 18.33 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Por otra parte, el par torsional esta dado por [20]:

$$T = \frac{P}{n} = \frac{\text{potencia}}{\text{velocidad rotacional}} = \frac{(6.5 \text{ hp}) \left|\frac{745.7 \text{ W}}{1 \text{ hp}}\right|}{\left(3500 \frac{\text{rev}}{\text{min}}\right) \left|\frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}\right| \left|\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}\right|} \quad (\text{D. 24})$$

$$\therefore T = 13.2245 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Como se pretende que el sistema de transmisión sea simétrico y se pueda emplear para duplicar o reducir potencia, entonces se calcula la fuerza tangencial (W_t) con los dos diámetros de paso, con el objetivo de emplear el mayor y así garantizar que estos soporten la mayor cantidad de carga.

Para el engrane 1 se tiene:

$$W_{t1} = \frac{T}{\left(\frac{D_{p1}}{2}\right)} = \frac{13.2245 \text{ N} \cdot \text{m}}{\left(\frac{100 \text{ mm}}{2}\right) \left|\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}\right|} \quad (\text{D. 25})$$

$$\therefore W_{t1} = 264.49 \text{ N}$$

Para el engrane 2 se tiene:

$$W_{t2} = \frac{T}{\left(\frac{D_{p2}}{2}\right)} = \frac{13.2245 \text{ N} \cdot \text{m}}{\left(\frac{50 \text{ mm}}{2}\right) \left|\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}\right|} \quad (\text{D. 26})$$

$$\therefore W_{t2} = 528.98 \text{ N}$$

Posteriormente se calculó la fuerza radial (W_r) y normal (W_n) para cada engrane :

$$W_{r1} = W_{t1} \tan \phi = (264.49) \tan 20 = 96.26 \text{ N} \quad (\text{D. 27})$$

$$W_{r2} = W_{t2} \tan \phi = (528.98) \tan 20 = 192.53 \text{ N} \quad (\text{D. 28})$$

$$W_{n2} = \frac{W_{t1}}{\cos \phi} = \frac{264.49}{\cos 20} = 281.46 \text{ N} \quad (\text{D. 29})$$

$$W_{n2} = \frac{W_{t2}}{\cos \phi} = \frac{528.98}{\cos 20} = 562.93 \text{ N} \quad (\text{D. 30})$$

Con el objetivo de elegir el material de estos, se realizaron los siguientes cálculos:

Resistencia a la flexión del diente (ecuación de Lewis): falla por fatiga.

$$\sigma_b = \frac{W_t \cdot k_v}{F \cdot m \cdot y} \quad (\text{D. 31})$$

Donde, σ_b : es el esfuerzo de flexión en la base del diente, y : factor de forma del diente (según el número de dientes [20]), m : módulo y k_v : factor dinámico de velocidad. Este último se definió para un perfil generado con fresa o cortador [20] como:

$$k_v = \frac{1200 + v}{1200} = \frac{1200 + 3607.474}{1200} = 4.00 \quad (\text{D. 32})$$

Sustituyendo los valores del engrane 1 en la ecuación D.29 se tiene:

$$\sigma_{b1} = \frac{(264.49 \text{ N})(4.00)}{\left(38.1 \text{ mm} \left| \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right| \right) \left(2 \text{ mm} \left| \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right| \right) (0.409)} \quad (\text{D. 33})$$

$$\therefore \sigma_{b1} = 33.94 \text{ MPa} \quad (\text{D. 34})$$

Para el engrane 2 se tiene:

$$\sigma_{b2} = \frac{(528.98 \text{ N})(4.00)}{\left(38.1 \text{ mm} \left| \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right| \right) \left(2 \text{ mm} \left| \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right| \right) (0.3415)} \quad (\text{D. 35})$$

$$\therefore \sigma_{b2} = 81.31 \text{ MPa} \quad (\text{D. 36})$$

Una vez definidos estos límites de fatiga (S_n) se puede elegir un material resistente, con el objetivo de reducir costos para este trabajo de tesis se propone y trabaja con un material económico como lo es el Nylomaq (82.7 MPa aproximadamente).

2. Análisis y diseño del eje

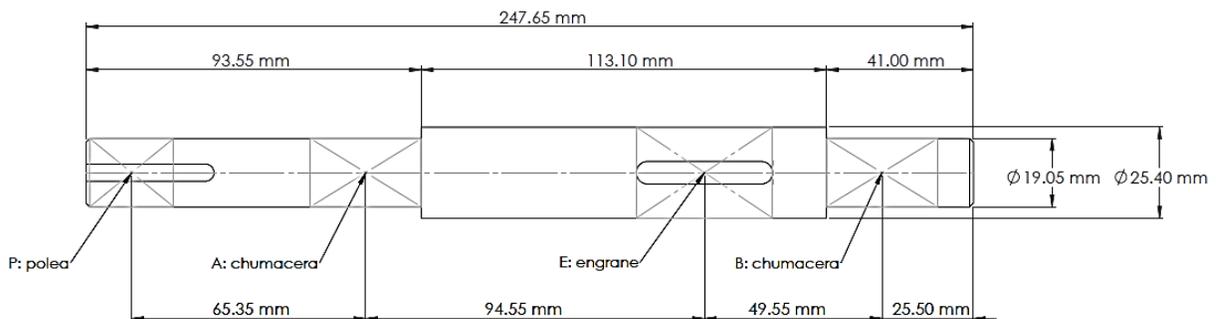


Figura E. Configuración preliminar del eje y dimensionamiento.

Inicialmente se definió el material del eje como acero AISI 1045 estirado (laminado) en frío, debido a que es un acero convencional para ejes y de costo promedio [20]. Las características de este material se describen a continuación [19], [20].

- Resistencia a la fluencia: $S_y = 531 \text{ MPa}$
- Resistencia última a la tensión: $S_u = 627.423 \text{ MPa}$
- Porcentaje de elongación: $\varepsilon = 12 \%$
- Dureza de Brinell: $HB = 170$
- Resistencia a la fatiga: $S_n = 255.106 \text{ MPa}$

Por otra parte, con base en la literatura [19] y [20] se proponen los siguientes factores correspondientes al diseño de ejes.

- Confiabilidad: 99%
- Factor de confiabilidad: $C_R = 0.81$
- Factor de tamaño: $C_S = 0.865$ (para un tamaño estándar de 1")
- Factor de diseño mínimo: $n_d = 1.5$
- Factor de tipo de esfuerzo: $C_{st} = 1$ para esfuerzo flexionante y 0.8 para tensión axial
- Factor de material: $C_m = 1$

Para la resistencia a la fatiga modificada se tiene:

$$S'_n = S_n \cdot C_m \cdot C_{st} \cdot C_R \cdot C_S \quad (D. 37)$$

Y sustituyendo resulta:

$$S'_n = (255.106 \text{ MPa})(1)(1)(0.81)(0.865) = 178.74 \text{ MPa} \quad (D. 38)$$

Con el objetivo de ilustrar las fuerzas que inciden sobre el eje y las fuerzas de reacción en los soportes (chumaceras), se muestra la Figura F.

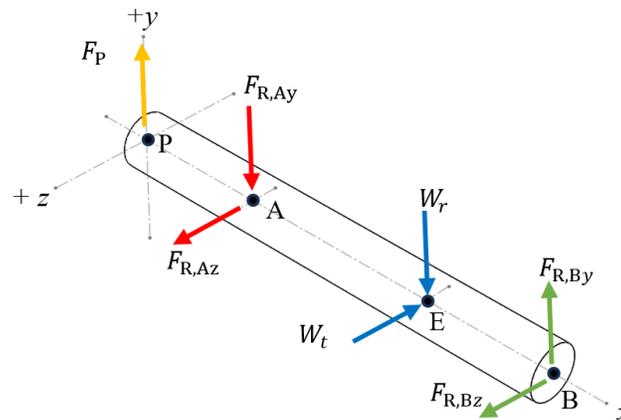


Figura F. Diagrama de fuerzas ejercidas sobre el eje.

Para estimar la fuerza ejercida por la polea, se toma en cuenta el torque máximo ejercido por el motor. Según las especificaciones de este, el torque máximo es de $T = 14 \text{ N} \cdot \text{m}$ y el diámetro de la polea igual a $3 \frac{1}{8}''$, es decir, 79.375 mm (polea estándar comúnmente empleada en estas máquinas). Según Robert L. Mott [19] la fuerza impulsora neta (F_N) está dada por:

$$F_N = \frac{2T}{D} \quad (D. 39)$$

Sustituyendo resulta:

$$F_N = \frac{2 \cdot (14 \text{ N} \cdot \text{m})}{79.375 \text{ mm} \left| \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right|} = 352.76 \text{ N} \quad (\text{D. 40})$$

Y por lo tanto, la fuerza ejercida en el eje o fuerza flexionante está dada por $F_B = 1.5 \cdot F_N$, debido a las características de las poleas en V (tensión en cada lado de la polea). Es decir:

$$F_P = 1.5 \cdot (352.76 \text{ N}) = 529.134 \text{ N} \quad (\text{D. 41})$$

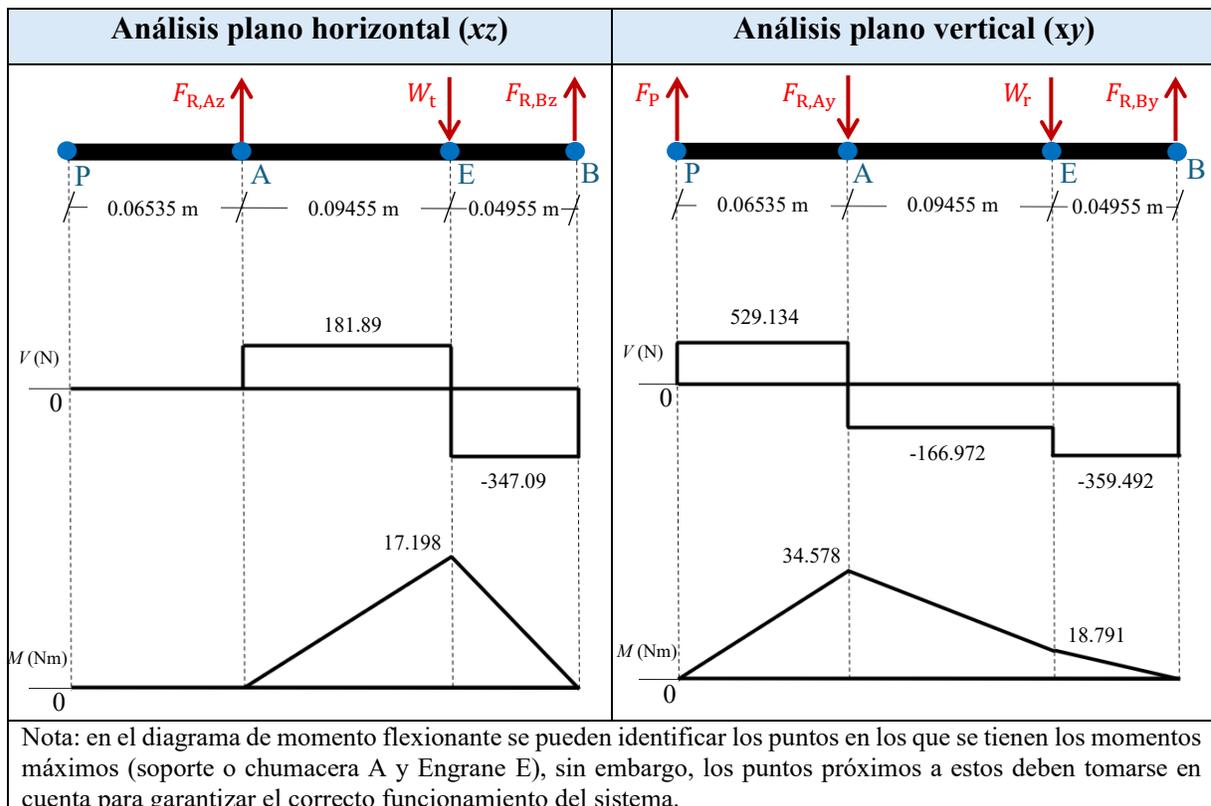
En cuanto a la fuerza radial y tangencial que inciden en el eje, se toma la fuerza máxima determinada para los engranes. Es decir:

$$W_t = W_{t2} = 528.98 \text{ N} \quad (\text{D. 42})$$

$$W_r = W_{r2} = 192.53 \text{ N} \quad (\text{D. 43})$$

Una vez definidas estas fuerzas y por medio de un análisis de equilibrio estático se determinan las fuerzas de reacción ejercidas en los cojinetes (chumaceras). Estas se obtuvieron mediante el desarrollo de los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante (método de áreas) para el eje (Tabla B), tomando en cuenta los planos de acción y direcciones correctas.

Tabla B. Diagramas de carga cortante y flexionante para la Figura F.



$\sum F_z = 0$ $F_{R,Az} - W_t + F_{R,Bz} = 0$ $F_{R,Az} + F_{R,Bz} = 528.98 \text{ N}$	$\sum F_y = 0$ $F_p - F_{R,Ay} - W_r + F_{R,By} = 0$ $F_{R,Ay} = 529.134 - 192.52 + F_{R,By}$
$\sum M_{Az} = 0$ $-W_t(0.09455) + F_{R,Bz}(0.1441) = 0$ $F_{R,Bz} = \frac{(528.98)(0.09455)}{0.1441}$ $F_{R,Bz} = 347.08 \text{ N}$ $F_{R,Az} = 181.89 \text{ N}$	$\sum M_{Ay} = 0$ $-F_p(0.06535) - W_r(0.09455) + F_{R,By}(0.1441) = 0$ $F_{R,By} = \frac{(529.134)(0.06535) + (192.52)(0.09455)}{0.1441}$ $F_{R,By} = 359.49 \text{ N}$ $F_{R,Ay} = 696.106 \text{ N}$

Por lo tanto, las magnitudes de las fuerzas de reacción en los cojinetes (chumaceras) son:

$$F_{R,A} = \sqrt{(181.89)^2 + (696.106)^2} = 719.477 \text{ N} \quad (\text{D. 44})$$

$$F_{R,B} = \sqrt{(347.08)^2 + (359.49)^2} = 499.697 \text{ N} \quad (\text{D. 45})$$

Y los momentos flexionantes en los puntos A y E están dado por:

$$M_A = \sqrt{(0)^2 + (34.578)^2} = 34.578 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (\text{D. 46})$$

$$M_E = \sqrt{(17.198)^2 + (18.791)^2} = 25.473 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (\text{D. 47})$$

Como se puede observar en el diagrama de momento flexionante y fuerza cortante, el punto A (cojinete A) y el punto E (engrane E) son los puntos en los que los elementos transfieren el mayor momento flexionante al eje. Por esto es recomendable tomar estos como puntos críticos para definir los diámetros mínimos requeridos por el eje, para validar los diámetros y geometría propuesta en la Figura E.

Adicionalmente, como consideraciones de diseño se define un chaflán agudo para la transición de escalones, ya que en estos puntos se ubican los cojinetes (chumaceras) [19].

Análisis en la sección del cojinete A. Para el análisis de esta sección se deben considerar los diversos factores que inciden en el eje para calcular los diámetros mínimos en esta sección.

Al ser un elemento de soporte, se define que en este punto inciden fuerzas cortantes derivadas de las reacciones necesarias para el equilibrio del sistema. Por lo tanto la ecuación que rige el diámetro mínimo necesario para esfuerzos cortantes de diseño [19] se define como:

$$D = \sqrt{\frac{2.94 \cdot n \cdot K_t \cdot V}{S'_n}} \quad (\text{D. 48})$$

Por lo tanto, para el punto A se define: $K_t = 2.5$ (chaflán agudo), $S'_n = 178.74$ MPa y $V = F_{R,A} = 719.477$ N. Sustituyendo estos valores se tiene:

$$D = \sqrt{\frac{(2.94)(1.5)(2.5)(719.477 \text{ N})}{178.74 \text{ MPa}}} = 6.66 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (\text{D. 49})$$

$$\therefore D = 6.66 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo necesario para la sección en la que incide el cojinete A es $D = 6.66$ mm, por lo que el diámetro propuesto en la Figura E de $\frac{3}{4}$ in o 19.05 mm es un valor válido y estándar para chumaceras comerciales. El radio de un chaflan agudo [19] se define como:

$$\frac{r}{d} = 0.03 \quad (\text{D. 50})$$

Donde r es el radio del chaflán y d es el diámetro menor respecto al escalón del eje. Por lo que sustituyendo el valor de $d = 19.05$ mm se tiene:

$$r = (0.03)(19.05 \text{ mm}) = 0.5715 \text{ mm} \quad (\text{D. 51})$$

Ahora, con el objetivo de analizar esta sección y tomando en cuenta las características del escalón y redondeo del chaflán, se realizó un análisis de esfuerzos en este punto para verificar el factor de seguridad, donde los esfuerzos fluctuantes de Von Mises (esfuerzo alternante σ'_a y esfuerzo medio σ'_m) [20] se definen como:

$$\sigma'_a = \frac{32 \cdot K_f \cdot M}{\pi \cdot d^3} \quad (\text{D. 52})$$

$$\sigma'_m = \left[3 \cdot \left(\frac{16 \cdot K_{fs} \cdot T}{\pi \cdot d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{D. 53})$$

Donde, K_{fs} es el factor de concentración de esfuerzo por fatiga modificado. Para el caso del cojinete, al ser un componente de apoyo se define $T = 0$ y $M_A = 34.578$ N · m, por lo que solo se calcula el esfuerzo alternante como sigue:

$$\sigma'_a = \frac{(32)(2.5)(34.578 \text{ N} \cdot \text{m})}{(\pi)(19.05 \text{ mm} \left| \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right|)^3} = 127.36 \text{ MPa} \quad (\text{D. 54})$$

Por otra parte, el factor de seguridad (n) para fatiga [20] emplea los esfuerzos de Von Mises y se define como:

$$n = \left(\frac{\sigma'_a}{S'_n} + \frac{\sigma'_m}{S_u} \right)^{-1} \quad (\text{D. 55})$$

Y empleando el esfuerzo de fluencia el factor de seguridad se estima como:

$$n = \frac{S_y}{\sigma'_a + \sigma'_m} \quad (\text{D. 56})$$

Sin embargo, la resistencia a la fatiga modificada debe ser recalculada, tomando en cuenta el nuevo factor de tamaño para el eje de $\frac{3}{4}$ in, por lo que para este tamaño se tiene $C_s = 0.925$ y por lo tanto la resistencia a la fatiga real es:

$$S'_n = (255.106 \text{ MPa})(1)(1)(0.81)(0.925) = 191.138 \text{ MPa} \quad (\text{D. 57})$$

Por lo tanto, el factor de seguridad para fatiga es:

$$n = \left(\frac{127.36 \text{ MPa}}{191.138 \text{ MPa}} + 0 \right)^{-1} = 1.50 \quad (\text{D. 58})$$

Y el factor de seguridad para fluencia con $S_y = 531 \text{ MPa}$ es:

$$n = \frac{531 \text{ MPa}}{127.36 \text{ MPa} + 0} = 4.17 \quad (\text{D. 59})$$

Por lo que se valida el factor de seguridad mínimo, se garantiza el correcto funcionamiento de la sección transversal en este punto y la vida útil del eje.

Análisis en la sección del Engrane E. Considerando los diversos factores que inciden en el eje, la ecuación que rige el diámetro mínimo necesario para ejes que son sometidos a flexión y a torsión [19] se define como:

$$D = \left[\frac{32n}{\pi} \sqrt{\left(\frac{M \cdot K_t}{S'_n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{1/3} \quad (\text{D. 60})$$

Por lo tanto, para el punto E se define: $K_t = 2$ (cuñero de perfil), $T_{nom} = 14 \text{ N} \cdot \text{m}$, $M_E = 25.473 \text{ N} \cdot \text{m}$, $S'_n = 178.74 \text{ MPa}$ y $S_y = 531 \text{ MPa}$. sustituyendo estos valores se tiene:

$$D = \left[\frac{(32)(1.5)}{\pi} \sqrt{\left(\frac{(25.473 \text{ N} \cdot \text{m})(2)}{178.74 \text{ MPa}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{14 \text{ N} \cdot \text{m}}{531 \text{ MPa}} \right)^2} \right]^{1/3} = 0.0163 \text{ m} \quad (\text{D. 61})$$

$$\therefore D = 16.34 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo necesario para la sección en la que incide el engrane E es $D = 16.34 \text{ mm}$, por lo que el diámetro propuesto en la Figura E de 1 in o 25.4 mm es un valor válido, estándar y común empleado en ejes.

Analizando esta sección y tomando en cuenta las características del cuñero de perfil, se realizó un análisis de esfuerzos en este punto para verificar el factor de seguridad. Para el caso del engrane se calculan los esfuerzos de Von Mises como sigue:

$$\sigma'_a = \frac{(32)(2)(25.473 \text{ N} \cdot \text{m})}{(\pi)(25.4 \text{ mm} \left| \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right|)^3} = 31.667 \text{ MPa} \quad (\text{D. 62})$$

Y para el esfuerzo medio se define el factor de concentración de esfuerzo $K_{fs} = 1.6$ [20].

$$\sigma'_m = \left[3 \cdot \left(\frac{(16)(1.6)(14 \text{ N} \cdot \text{m})}{\pi \cdot (25.4 \text{ mm} \left| \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right|)^3} \right)^2 \right]^{1/2} = 12.05 \text{ MPa} \quad (\text{D. 63})$$

Para el factor de seguridad se mantiene $S'_n = 178.74 \text{ MPa}$, ya que este fue estimado con un factor de tamaño para ejes de 1 in, por lo tanto, el factor de seguridad para fatiga es:

$$n = \left(\frac{31.667 \text{ MPa}}{178.74 \text{ MPa}} + \frac{12.05 \text{ MPa}}{627.423 \text{ MPa}} \right)^{-1} = 5.09 \quad (\text{D. 64})$$

Y el factor de seguridad para fluencia con $S_y = 531 \text{ MPa}$ es:

$$n = \frac{531 \text{ MPa}}{31.667 \text{ MPa} + 12.05 \text{ MPa}} = 12.14 \quad (\text{D. 65})$$

Por lo que se garantiza que esta sección cumple con el factor de seguridad, garantizando el correcto funcionamiento y vida útil de la sección transversal en este punto.

Finalmente, al ser un eje simétrico según las consideraciones de diseño, se respeta la geometría definida en la Figura E, ya que los diámetros propuestos son mayores que los diámetros mínimos estimados en las zonas críticas identificadas. Situación que garantiza el funcionamiento del componente.

3. Definición de chumacera

Con el objetivo de delimitar y proponer las características del eje, uno de los pasos fundamentales es definir los componentes que inciden sobre este. Para definir las chumaceras se planteó una confiabilidad del 99%, una vida útil de 12000 hrs y una velocidad rotacional (n) de 3500 rpm (máxima velocidad del motor), como consideraciones de diseño [20].

Para la elección de un cojinete, de acuerdo con Robert L. Mott [19] el número de revoluciones de diseño (L_d) para un cojinete esta dado por:

$$L_d = (\text{hrs})(\text{rpm}) \left| \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \right| \quad (\text{D. 66})$$

Por otra parte, la capacidad dinámica básica (C) para una determinada carga y duración está dada por:

$$C = P_d \cdot \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{1/k} \quad (\text{D. 67})$$

Donde, $P_d = 719.477 \text{ N}$ es la carga de diseño dada (fuerza máxima resultante de los puntos A y B del análisis estático) y k es un factor de 3 para rodamientos de bola o 3.33 para rodamientos de rodillos.

Y sustituyendo resulta:

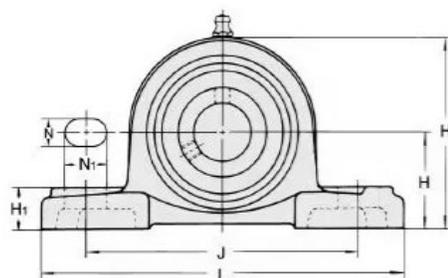
$$L_d = (12\ 000 \text{ hrs})(3500 \text{ rpm}) \left| \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \right| = 2520 \times 10^6 \text{ rev} \quad (\text{D. 68})$$

$$C = (719.477 \text{ N}) \left(\frac{2520 \times 10^6 \text{ rev}}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 9.79 \text{ kN} \quad (\text{D. 69})$$

Por lo tanto, buscando chumaceras comerciales y estándar se eligió la chumacera de piso UCP 204-12 disponible en línea [35], ya que esta soporta la carga dinámica básica estimada. Sus características son:

PILLOW BLOCKS

UCP 200 type



- $C_r = 12.8 \text{ kN}$
- $A = 38 \text{ mm}$
- $B = 31 \text{ mm}$
- $J = 95 \text{ mm}$
- $L = 127 \text{ mm}$
- $H = 33.3 \text{ mm}$
- $H_1 = 15 \text{ mm}$
- $H_2 = 65 \text{ mm}$
- $D_{eje} = 20 \text{ mm}$
- $N = \text{M10}$

Figura G. Características y medidas de la chumacera de piso de 3/4" [35].

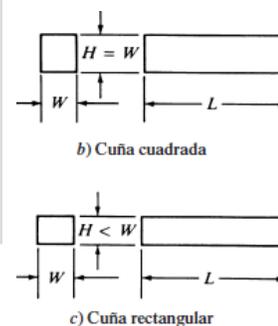
4. Definición de cuñas

Con el objetivo de delimitar las dimensiones de las cuñas y cuñeros, se estandarizaron estos a cuñas cuadradas con medidas comerciales y estándares según la literatura [19], donde se define el tamaño común de las cuñas para diferentes diámetros de ejes. Como longitud el ancho

de los engranes ($F = 38.1 \text{ mm}$) y para el caso de las poleas se delimitaron a la misma longitud, con el objetivo de tener mas versatilidad al momento de elegir el tipo, tamaño y forma de poleas o sujeciones de acople al eje del motor o máquina.

Tabla C. Tamaño nominal y estándar de las cuñas en función del diámetro del eje [19].

Tamaño nominal del eje		Tamaño nominal de la cuña		
Más de	Hasta (incl.)	Ancho, W	Altura, H	
			Cuadrada	Rectangular
5/16	7/16	3/32	3/32	
7/16	9/16	1/8	1/8	3/32
9/16	7/8	3/16	3/16	1/8
7/8	$1\frac{1}{4}$	1/4	1/4	3/16
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	5/16	5/16	1/4
$1\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{4}$	3/8	3/8	1/4
$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	1/2	1/2	3/8
$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$	5/8	5/8	7/16
$2\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$	3/4	3/4	1/2
$3\frac{1}{4}$	$3\frac{3}{4}$	7/8	7/8	5/8
$3\frac{3}{4}$	$4\frac{1}{2}$	1	1	3/4
$4\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	7/8
$5\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	1
$6\frac{1}{2}$	$7\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	$1\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{2}$
$7\frac{1}{2}$	9	2	2	$1\frac{3}{4}$
9	11	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$
11	13	3	3	2
13	15	$3\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$
15	18	4		3
18	22	5		$3\frac{1}{2}$
22	26	6		4
26	30	7		5



Fuente: Reimpreso de la norma ANSI B17.1-1967 (R98) con autorización de la American Society of Mechanical Engineers. Todos los derechos reservados.

Nota: Se prefieren los valores en las áreas no sombreadas. Las dimensiones están en pulgadas.

Según la Tabla C, para la sección del eje donde se encuentra ubicado un engrane con diámetro de $1" = 25.4 \text{ mm}$, se define una cuña cuadrada de $\frac{1}{4}"$.

Para el caso de la sección del eje donde se encuentran ubicadas las chumaceras con diámetro de $\frac{3}{4}" = 19.05 \text{ mm}$, se define una cuña cuadrada de $\frac{3}{16}"$.

Apéndice E

E. Diagrama de Operaciones del Proceso

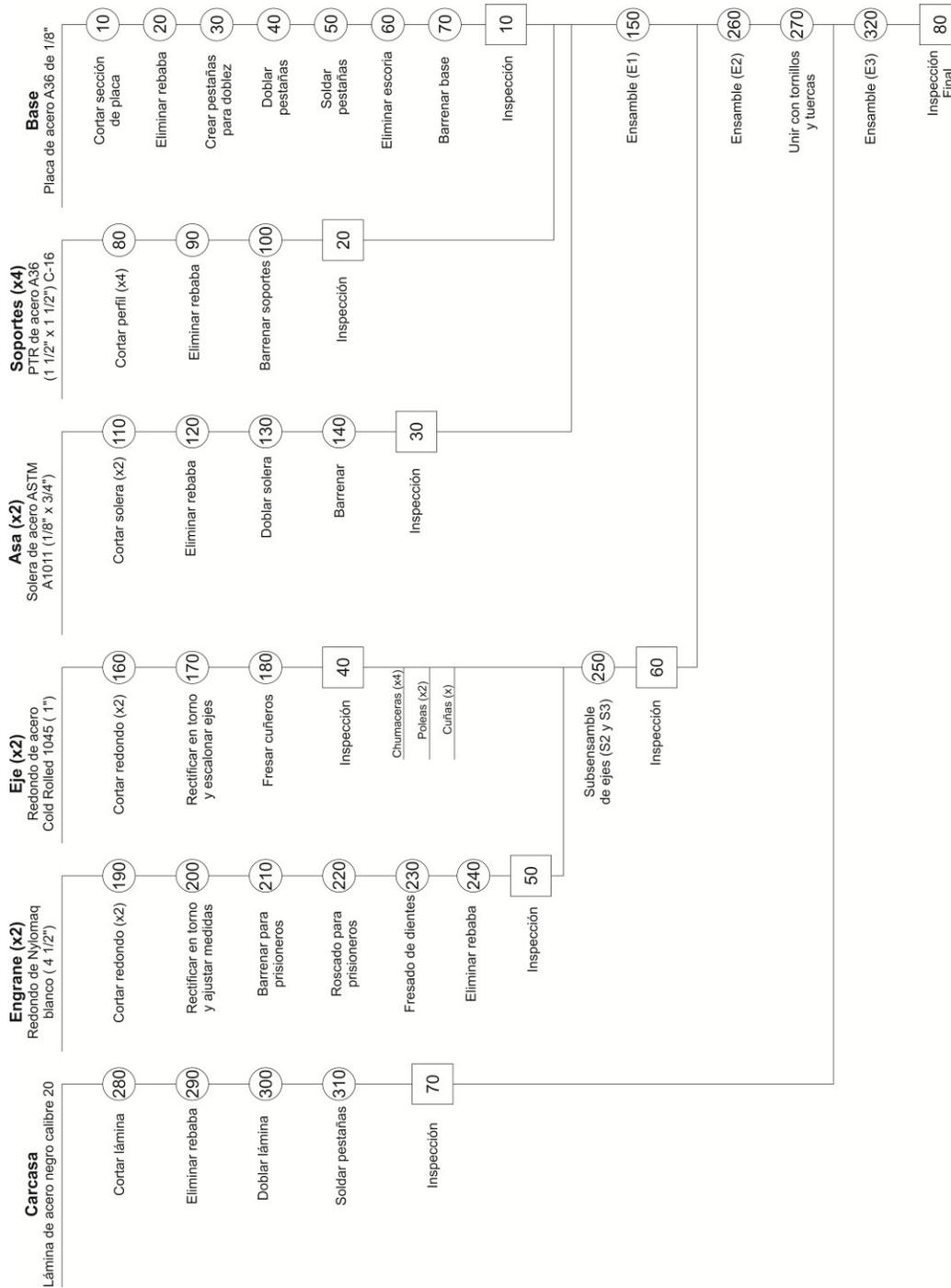


Figura H. Diagrama de operaciones del proceso para el sistema de transmisión propuesto.

F. Planos técnicos

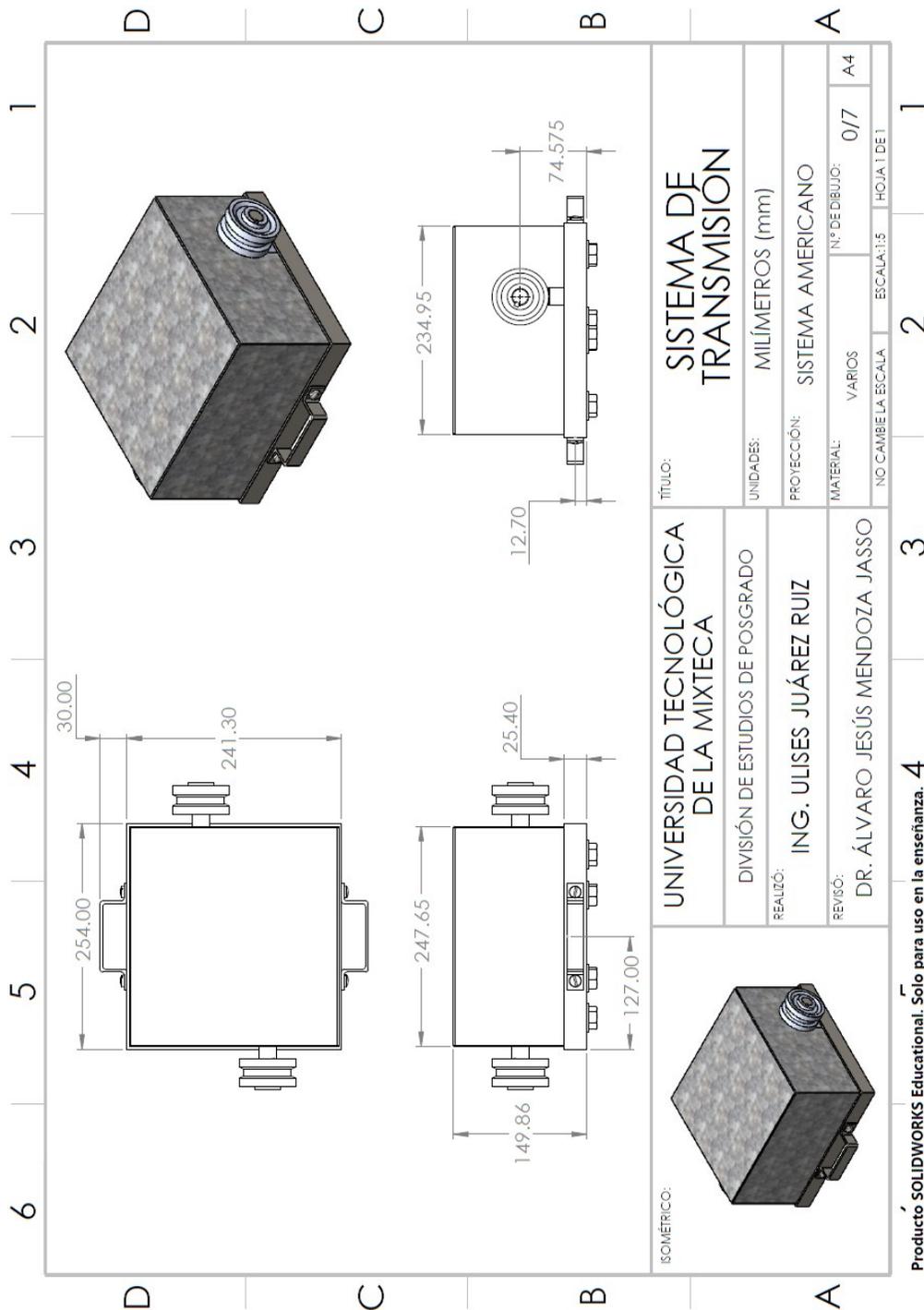


Figura I. Plano general del sistema de transmisión.

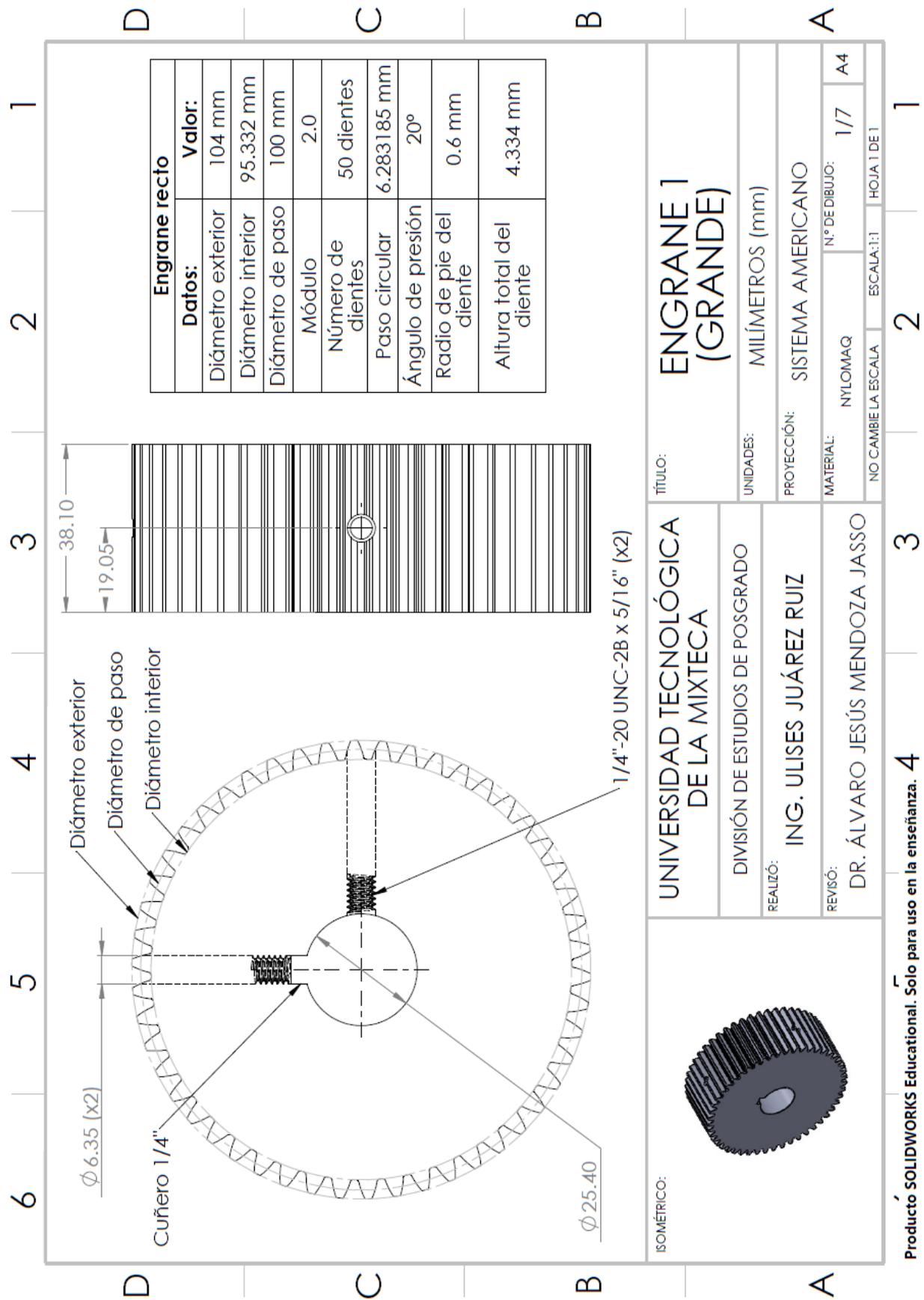


Figura J. Plano técnico del "engrane recto 1 (grande)".

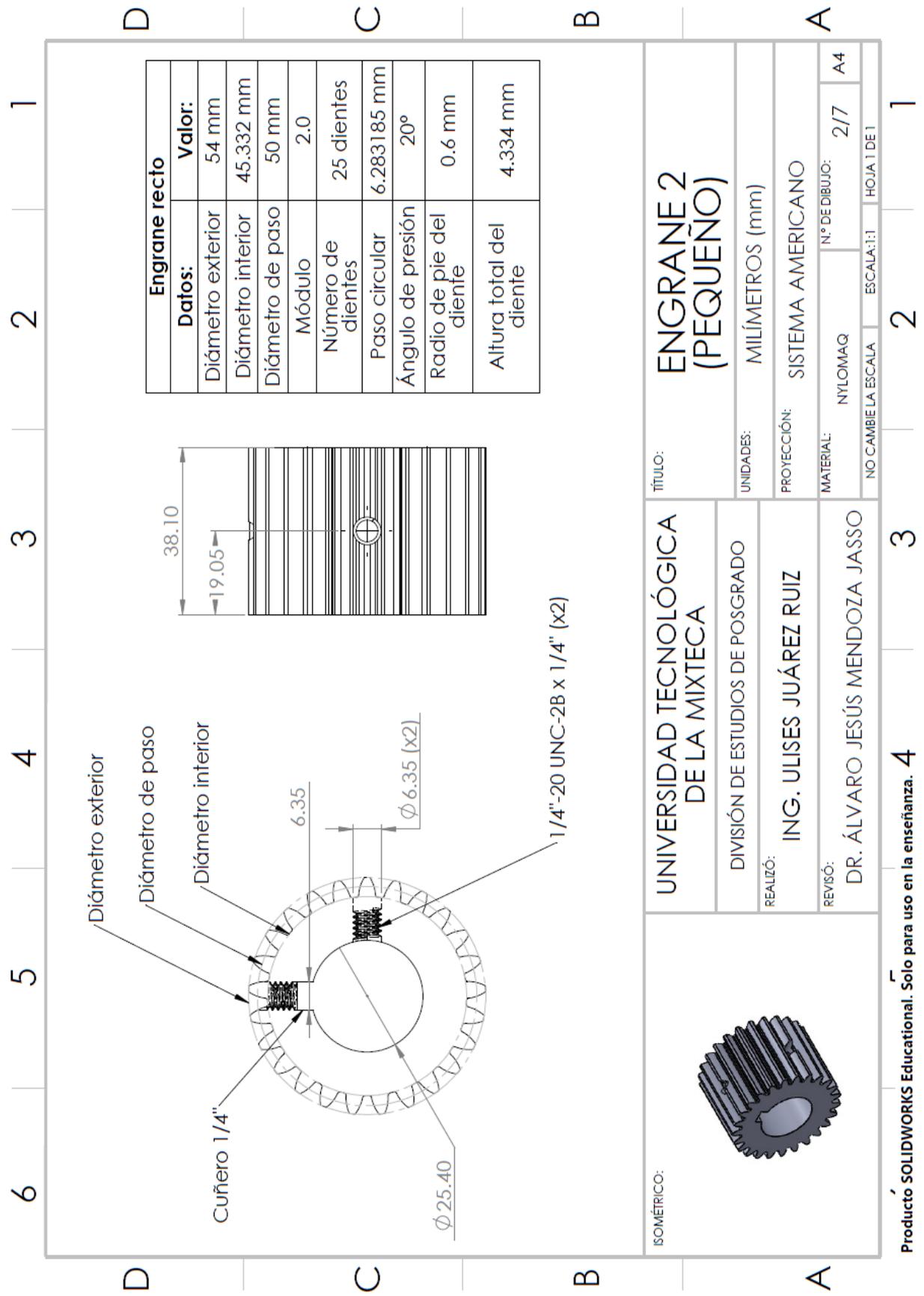
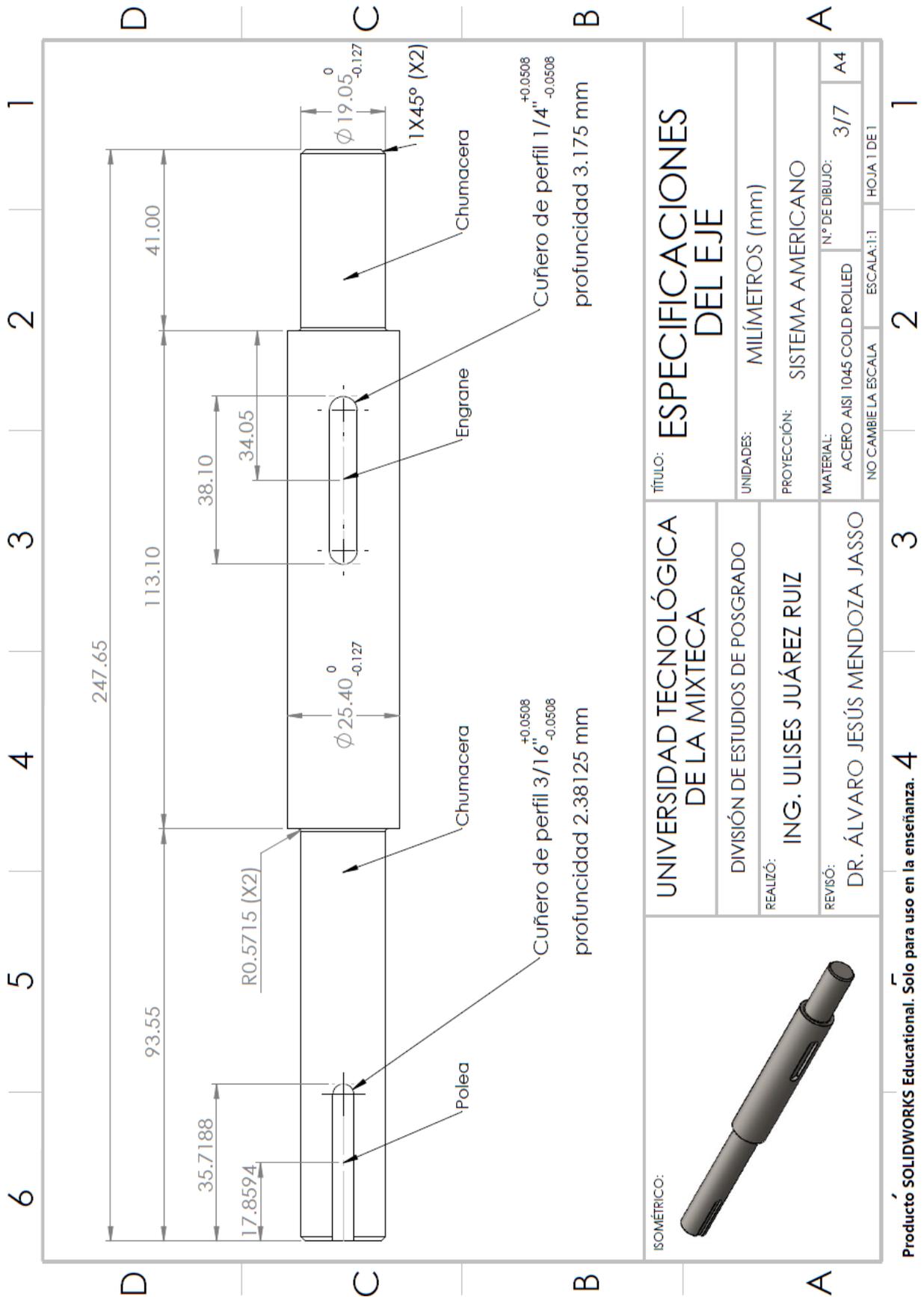


Figura K. Plano técnico "engrane recto 2 (pequeño)".



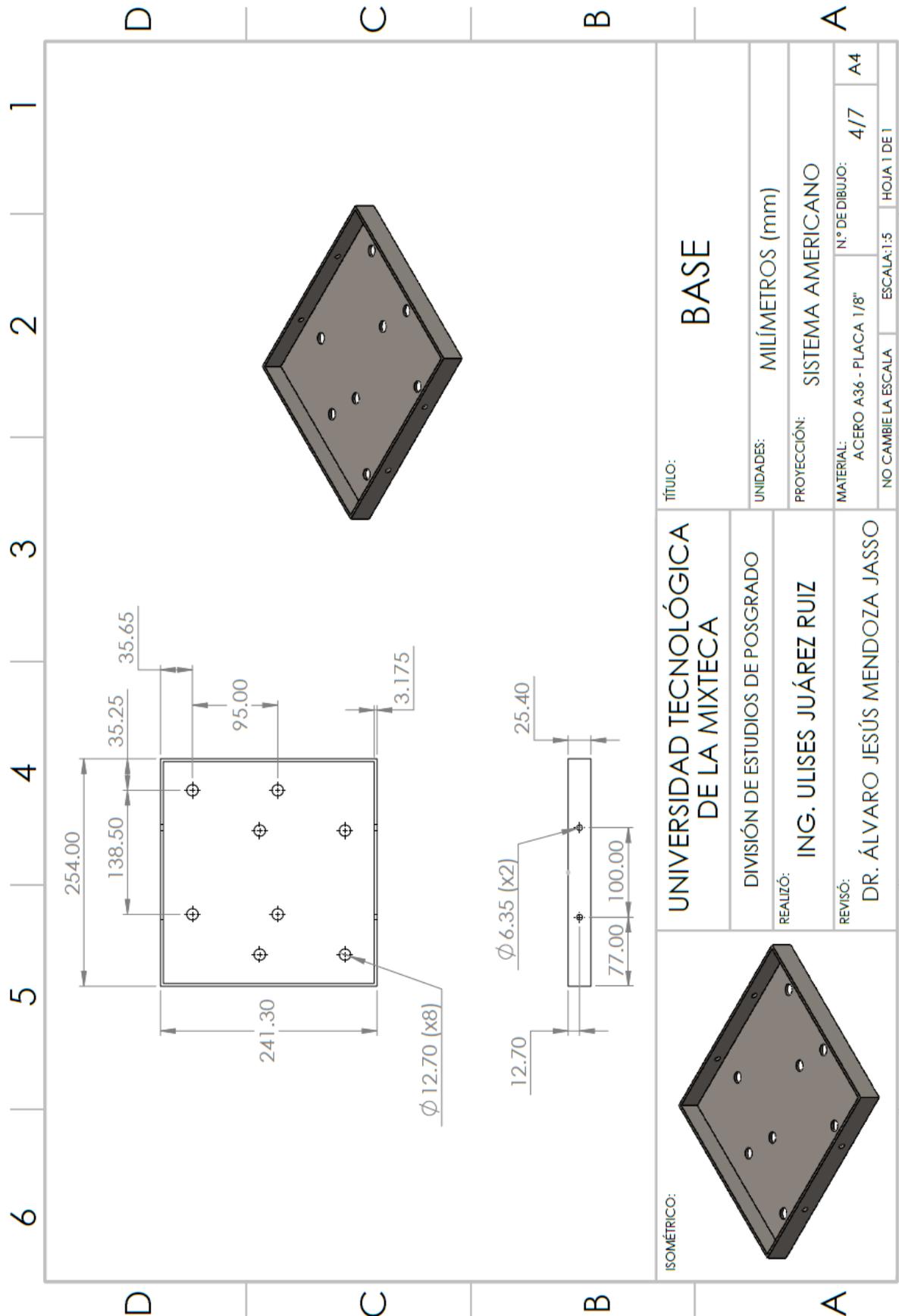
UNIDADES:		MILÍMETROS (mm)	
PROYECCIÓN:		SISTEMA AMERICANO	
MATERIAL:	ACERO AISI 1045 COLD ROLLED	N.º DE DIBUJO:	3/7
NO CAMBIE LA ESCALA		ESCALA:	1:1
		HOJA:	1 DE 1

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA		ESPECIFICACIONES DEL EJE	
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO			
REALIZÓ:	ING. ULISES JUÁREZ RUIZ		
REVISÓ:	DR. ÁLVARO JESÚS MENDOZA JASSO		



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza. 4 3 2 1

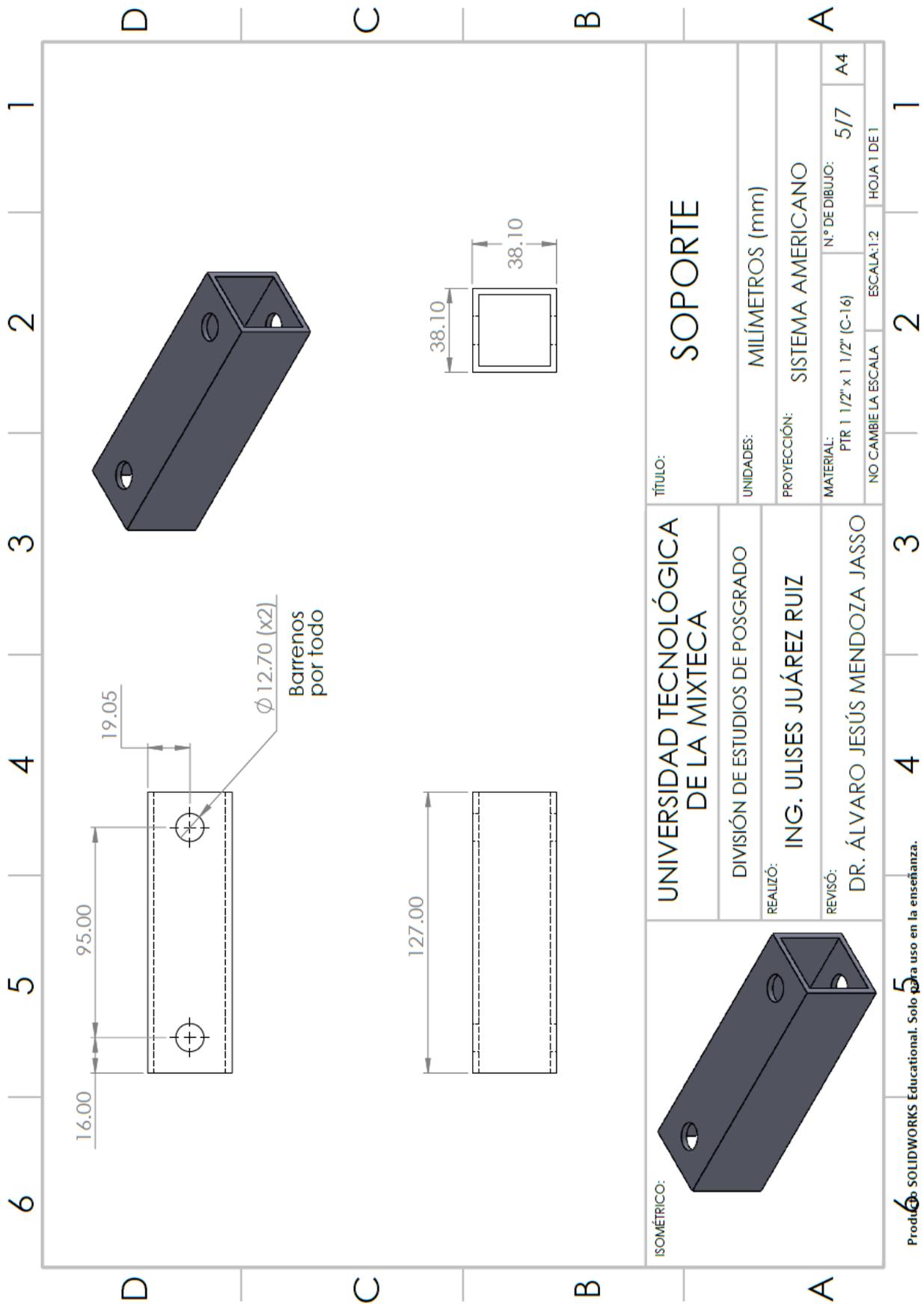
Figura L. Plano técnico y especificaciones del eje.



ISOMÉTRICO:	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA		TÍTULO: BASE	
	DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO		UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	
REALIZÓ: ING. ULISES JUÁREZ RUIZ		PROYECCIÓN: SISTEMA AMERICANO		
REVISÓ: DR. ÁLVARO JESÚS MENDOZA JASSO		MATERIAL: ACERO A36 - PLACA 1/8"		N.º DE DIBUJO: 4/7 A4
		NO CAMBIA LA ESCALA		ESCALA: 1:5 HOJA 1 DE 1

Producción SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza. 5 4 3 2 1

Figura M. Plano técnico de base fabricada con placa.



Producto SOLIDWORKS Educativo. Solo para uso en la enseñanza. 5 4 3 2 1

Figura N. Plano técnico de soportes (calzas).

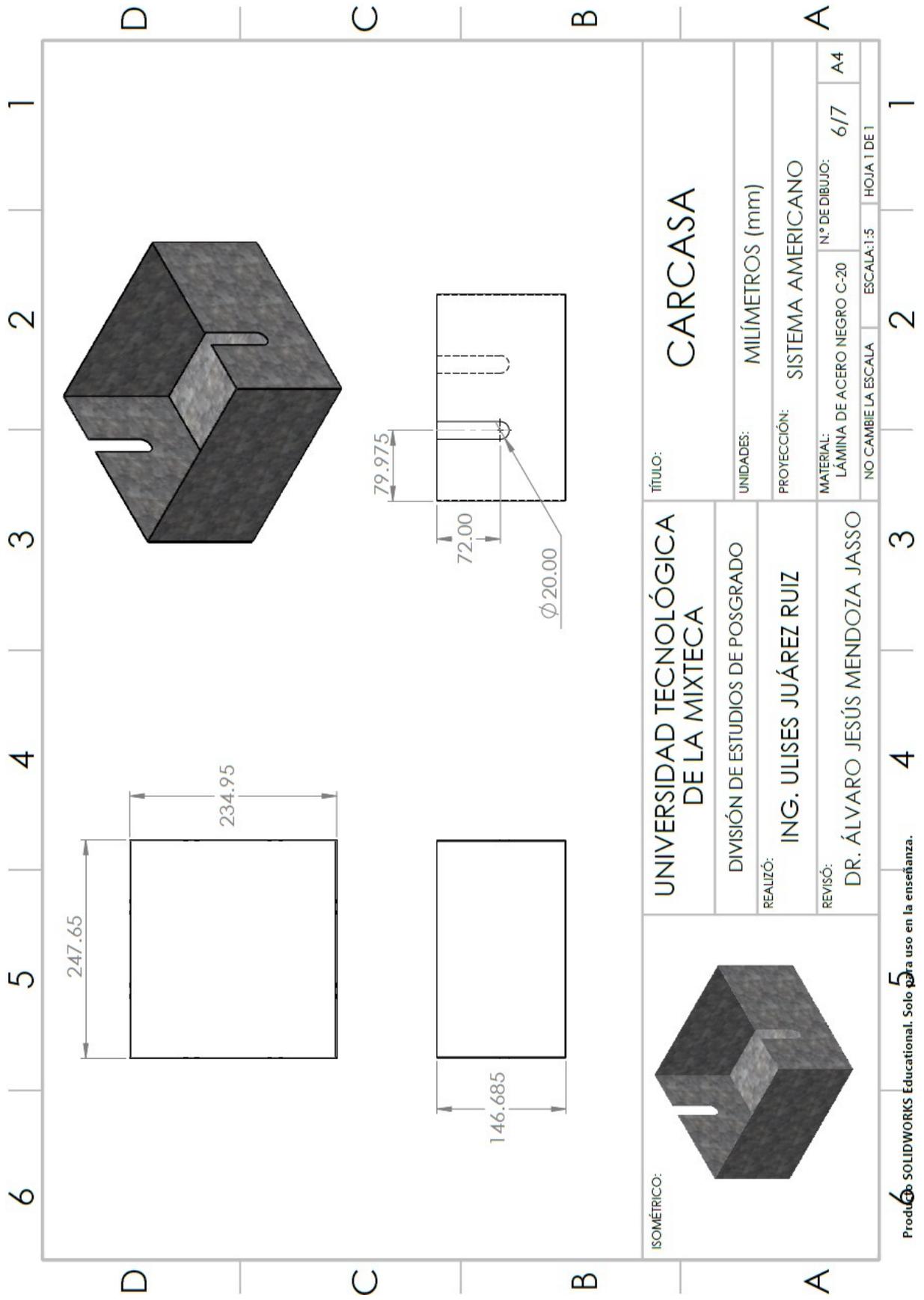
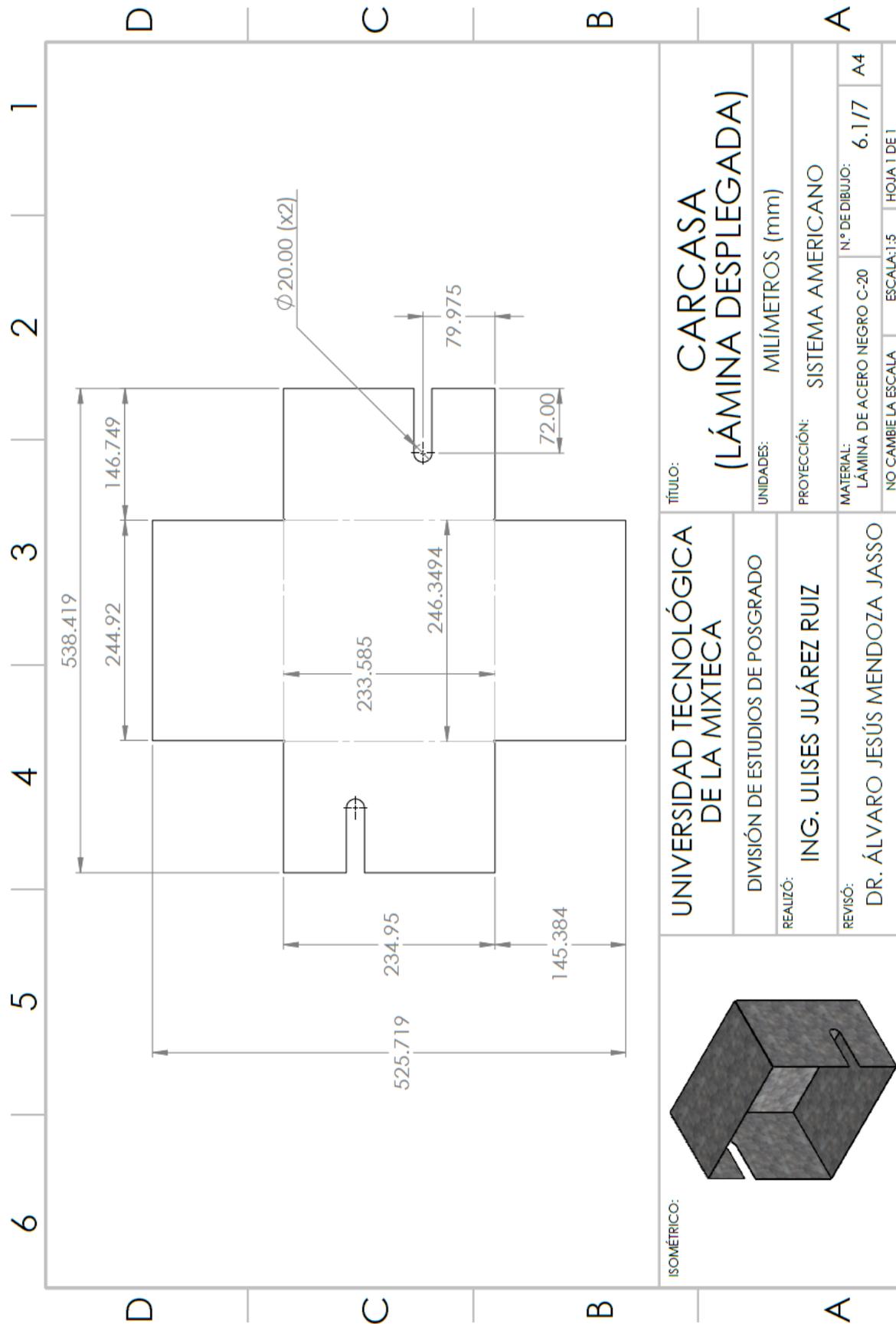
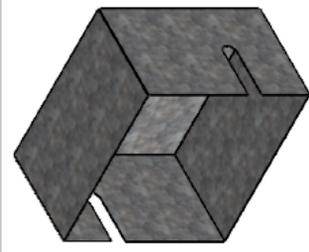


Figura O. Plano técnico de la carcasa.



ISOMÉTRICO:	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA		TÍTULO: CARCASA (LÁMINA DESPLEGADA)	
	DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO		UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	
REALIZÓ: ING. ULISES JUÁREZ RUIZ		PROYECCIÓN: SISTEMA AMERICANO		
REVISÓ: DR. ÁLVARO JESÚS MENDOZA JASSO		MATERIAL: LÁMINA DE ACERO NEGRO C-20		N° DE DIBUJO: 6.1/7
		ESCALA: 1:5		HOJA 1 DE 1



Producto SOLIDWORKS Educativa. Solo para uso en la enseñanza. **5** | **4** | **3** | **2** | **1**

Figura P. Plano técnico de la carcasa (lámina desplegada).

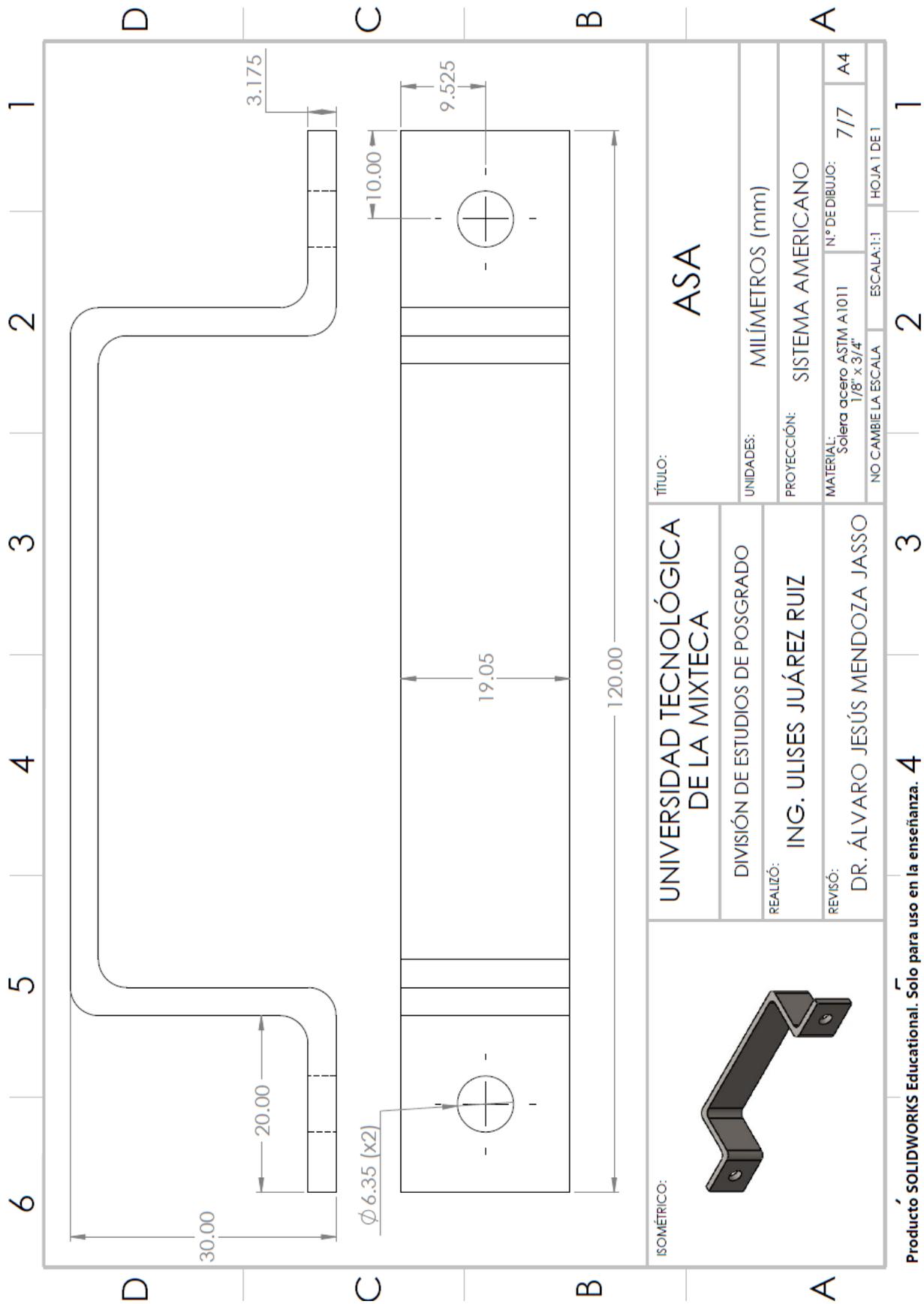


Figura Q. Plano técnico para asa.

G. Parámetros de maquinado

Con el propósito de definir condiciones óptimas de operación, en las siguientes Tablas se definen los cálculos de parámetros de maquinado [24] y [26], considerando los materiales disponibles para la fabricación del prototipo. No obstante, dichos valores se ajustaron a los rangos y especificaciones de las máquinas utilizadas, así como a las recomendaciones proporcionadas por los técnicos de los talleres.

Tabla D. Parámetros, valores típicos y consideraciones para el torno paralelo.

Parámetro	Definición	Valores típicos / Consideraciones
Velocidad de corte (V_c)	Velocidad periférica de la herramienta	Acero: 20 – 40 m/min Aluminio: 80–200 m/min Nylomaq: 100–180 m/min Fórmula: $N = \frac{(100 \cdot V_c)}{(\pi \cdot D)}$
Avance (f)	Desplazamiento de la herramienta por revolución	Desbaste: $0.2-0.5 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$ Acabado: 0.05–0.2 mm/rev
Profundidad de corte (a_p)	Espesor del material removido radialmente	Desbaste: 1–5 mm Acabado: 0.2–1 mm
Herramienta	Material de corte y geometría	HSS o carburo, ángulos según material
Refrigeración	Reduce calor y desgaste	Emulsión o aceite soluble

Nota: N son las revoluciones por minuto del husillo en rpm, y D es el diámetro del material en mm.

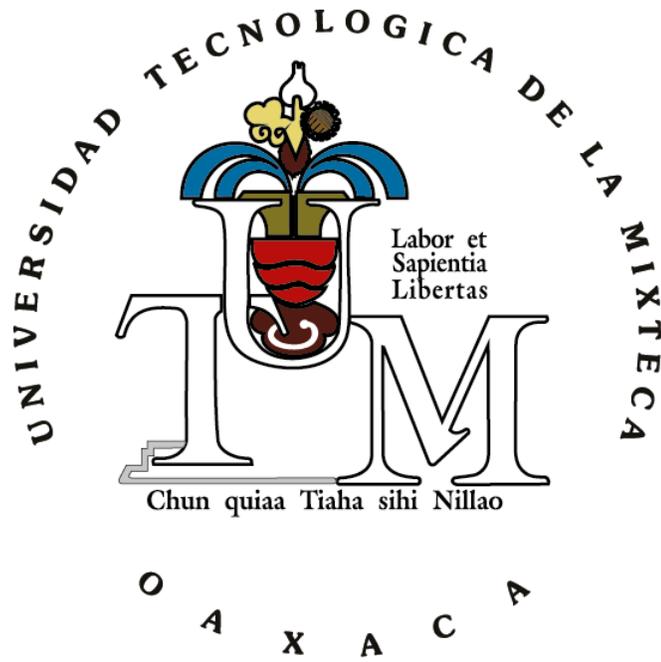
Tabla E. Parámetros, valores típicos y consideraciones para fresado (horizontal y vertical).

Parámetro	Definición	Valores típicos / Consideraciones
Velocidad de corte (V_c)	Velocidad periférica del filo de la fresa	Acero: 20 – 40 m/min Aluminio: 80–300 m/min Nylomaq: 100–200 m/min Fórmula: $N = \frac{(100 \cdot V_c)}{(\pi \cdot D)}$

Parámetro	Definición	Valores típicos / Consideraciones
Avance por diente (f_z)	Desplazamiento de la pieza por cada filo	0.02–0.2 mm/diente
Avance de mesa (V_f)	Velocidad de desplazamiento de la pieza	$V_f = N \cdot z \cdot f_z$
Profundidad de corte (a_p)	Espesor de material removido radial o axial	Desbaste: 1–5 mm Acabado: 0.2–1 mm
Herramienta	Tipo de fresa y material de corte	HSS o carburo, según operación
Refrigeración	Enfriamiento y lubricación	Aceite soluble, seco en aluminio

Tabla F. Parámetros, valores típicos y consideraciones para Soldadura (SMAW, MIG/MAG, TIG).

Parámetro	Definición	Valores típicos / Consideraciones
Corriente (I)	Intensidad aplicada para fundir electrodo/metal base	SMAW: 70 – 150 A (\varnothing 2.5 – 3.2 mm) MIG: 100–250 A TIG: 50 – 200 A
Voltaje (V)	Mantiene el arco eléctrico	18 – 30 V según proceso y espesor
Velocidad de avance	Desplazamiento de la antorcha/electrodo	Lenta en espesores grandes, rápida en delgados
Electrodo/alambre	Material de aporte	SMAW: E6011, E6013 MIG: ER70S-6 TIG: ER70S-2.
Gas protector	Protege del oxígeno y contaminantes	MIG/MAG: Ar + CO ₂ TIG: Argón puro
Polaridad	Sentido de corriente (DCEN/DCEP)	MIG y TIG: DCEN SMAW depende del electrodo
Preparación de junta	Limpieza y biselado previo	Eliminar óxido, grasa y pintura



Ciencia y Tecnología

Secretaría de Ciencia, Humanidades,
Tecnología e Innovación

