



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE UNA DESFIBRADORA DE BAMBÚ USANDO SOFTWARE DE CÓDIGO ABIERTO Y LIBRE

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA MECÁNICA

ALEX ADRIÁN SALAZAR BERMEO

alex.salazar01@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. VÍCTOR HUGO HIDALGO, PH.D.

victor.hidalgo@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. MARCO SINCHE, M.SC.

marco.sinche@epn.edu.ec

Quito, junio de 2022

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Alex Adrián Salazar Bermeo**, bajo mi supervisión.

Ing. Víctor Hugo Hidalgo, Ph.D.
DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Marco Sinche, M.Sc.
CODIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, **Alex Adrián Salazar Bermeo**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Alex Adrián Salazar Bermeo

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación se lo dedico a mi madre Luisa Bermeo por todo el apoyo, cariño, amor brindado durante mi vida, a mis hermanas Johanna y Erika que nunca perdieron su confianza en mí y a mi padre Ángel por el apoyo incondicional durante mi carrera. Sin ustedes no hubiese llegado a este punto, se los agradezco de corazón, se merecen esto y mucho más.

AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecirme con salud, energía y vida para finalizar la carrera y completar este proyecto de titulación.

A mi madre, que a pesar de los conflictos generados en la familia siempre estuvo ahí ya sea de día, noche o madrugada apoyándome y cuidándome incondicionalmente.

A mi padre, por motivarme a seguir acompañando de alegría sus consejos.

A mi hermana Johanna por siempre motivarme a ser mejor y mi hermana Erika por siempre escucharme y brindarme hasta el hombro cuando no podía seguir.

A mis sobrinos Luis, Ariel y Amelia que iluminan mis días y me ayudan a ver un mejor mañana a través de ellos.

Al PhD. Víctor Hidalgo por darme la oportunidad, soporte y apoyo para la realización del presente proyecto de titulación. Además, al Ing. Marco Sinche por su apoyo constante y contactos referentes al tema de bambú.

A los profesores y a cada miembro de la Facultad de Ingeniería Mecánica por ayudarme a forjar mi camino como ingeniero mecánico.

Sin ustedes no hubiese sido posible todo esto, muchas gracias.

Índice de Contenidos

INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos.....	2
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1. Estado del arte	3
1.1.1. Importancia y aplicaciones de la fibra de bambú	3
1.1.2. Propiedades de las fibras de bambú.....	5
1.1.3. Tipos de desfibrado	5
1.1.4. Máquinas desfibradoras	6
1.2. Benchmarking.....	8
1.3. Software de código abierto a utilizar (ventajas y desventajas)	10
2. METODOLOGÍA.....	11
2.1. Casa de la calidad	12
2.1.1. Voz del usuario:.....	12
2.1.2. Voz del ingeniero:.....	13
2.1.3. Conclusiones de la casa de la calidad	13
2.2. Determinación de especificaciones técnicas.....	14
2.3. Análisis funcional.....	15
2.3.1. Desarrollo de diagramas funcionales.....	15
2.3.2. Alternativas de diseño para cada módulo:	16
2.3.3. Matriz morfológica:	24
2.4. Diseño a detalle.....	27
Cálculos	27
2.4.1. Análisis de rendimiento requerido.....	27
2.4.2. Selección del motor	28
2.4.3. Selección de correas	31
2.4.4. Cálculos de los ejes.....	39
2.4.5. Selección del rodamiento	71
2.4.6. Cálculo de la chaveta	74
2.4.7. Planos finales	75
2.4.8. Costos	76
2.4.9. Protocolo de Pruebas	81
ENSAYO 1	81
ENSAYO 2	82
ENSAYO 3	84
ENSAYO 4	86

ENSAYO 5	87
2.4.10. Sugerencias de mantenimiento	89
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	91
3.1. Resultados	91
3.2. Discusión	93
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
4.1. Conclusiones	94
4.2. Recomendaciones	95
Referencias Bibliográficas	96
I. Anexos	99
ANEXO I Encuesta	99
ANEXO II Casa de la Calidad	104
ANEXO III Análisis Modular	105
ANEXO IV Valores de catálogo para el cálculo de las correas.	107
ANEXO V Requerimientos para cálculo del eje.	111
ANEXO VI Requerimientos para cálculo de rodamientos.	114
ANEXO VII Requerimientos para cálculo de Chavetas.	115
ANEXO VIII Planos de desfibradora	117
ANEXO IX Cotizaciones para Análisis de Costos.	118

Índice de Figuras

Figura 1.1. Máquina desfibadora de abacá sin motor	7
Figura 1.2. Máquina desfibadora de abacá con motor	8
Figura 2.1. Diagrama de flujo de metodología para el diseño de una máquina desfibadora de bambú con software libre.....	11
Figura 2.2. Función principal de la máquina.....	15
Figura 2.3. Diagrama funcional y división de módulos	16
Figura 2.4. Alternativas para el módulo 1	19
Figura 2.5. Alternativas para el módulo 2.....	23
Figura 2.6. Diseño conceptual de desfibadora de bambú	26
Figura 2.7. Representación simplificada del culmo de bambú.....	27
Figura 2.8. Láminas de bambú par ingreso a máquina.	28
Figura 2.9. Sección resistente de la lámina de bambú.....	29
Figura 2.10. Dimensiones de correa tipo Z en mm.....	32
Figura 2.11. Sistema de transmisión de potencia con poleas.....	32
Figura 2.12. Sistema de transmisión con datos.....	34
Figura 2.13. Desplazamientos para montaje y tensión de correa en mm.	38
Figura 2.14. Fuerza necesaria para la flexión de las correas en mm.	39
Figura 2.15. Ejes por analizar	40
Figura 2.16. Ejes con elementos que generarán cargas (Diámetro de poleas en mm).	41
Figura 2.17. Fuerzas que actúan en el eje 1.	43
Figura 2.18. Análisis de fuerza cortante y momento del eje 1 en el plano XY.	44
Figura 2.19. Análisis de fuerza cortante y momento del eje 1 en el plano XZ.	45
Figura 2.20. Análisis de puntos de chaveteros del eje 1.	53
Figura 2.21. Gráfico de fuerza cortante y momento en chaveteros del eje 1 en el plano XY.	54
Figura 2.22. Gráfico de fuerza cortante y momento en chaveteros del eje 1 en el plano XZ.....	54
Figura 2.23. Fuerzas que actúan en el eje 1.	57
Figura 2.24. Análisis de fuerza cortante y momento del eje 1 en el plano XY.	58
Figura 2.25. Análisis de fuerza cortante y momento del eje 1 en el plano XZ.	59
Figura 2.26. Fuerzas que actúan en el eje 1.	63
Figura 2.27. Análisis de fuerza cortante y momento del eje 3 en el plano XY.	64
Figura 2.28. Análisis de puntos de chaveteros del eje 3.	68
Figura 2.29. Gráfico de momento en chaveteros del eje 3 en el plano XY.	68
Figura 2.30. Pastel representativo del porcentaje del precio de cada módulo	80
Figura 2.31. Esquema de trabajo para el ensayo 1	82

Figura 2.32. Esquema de trabajo para el ensayo 2.....	84
Figura 2.33. Esquema de trabajo para el ensayo 3.....	85
Figura 2.34. Esquema de trabajo para el ensayo 4.....	87
Figura 2.35. Esquema de trabajo para el ensayo 5.....	89
Figura 3.1. Propuesta de máquina desfibadora de bambú.....	92
Figura 3.2. Desfibrado con prototipo.	92
<i>Figuras ANEXO IV:</i>	
Figura IV. 1. Valores de factor de servicio para corrección de potencia.	107
Figura IV. 2. Selección del tipo de correa con base en la potencia corregida y RPM.	108
Figura IV. 3. Selección del diámetro de poleas.	108
Figura IV. 4. Selección de longitud primitiva para correas 1 y 2.	109
Figura IV. 5. Selección del factor de corrección.	109
Figura IV. 6. Selección de factor de corrección con base en el arco de corrección.	109
Figura IV. 7. Selección de prestación base y adicional para correas 1 y 2.	110
Figura IV. 8. Selección del desplazamiento mínimo para las correas.....	110
Figura IV. 9. Selección de fuerza de deflexión para correas 1 y 2.....	110
<i>Figuras ANEXO V:</i>	
Figura V. 1. Propiedades y diámetros de ejes AISI 304.	111
Figura V. 2. Gráfico para cálculo de concentrador de esfuerzos Kt.....	111
Figura V. 3. Gráfico para cálculo de concentrador de esfuerzos cortantes Kts.....	112
Figura V. 4. Gráfico para cálculo de la sensibilidad de la muesca.....	112
Figura V. 5. Gráfico para cálculo de la sensibilidad de la muesca al cortante.	113
Figura V. 6. Datos para el cálculo del factor de acabado.	113
Figura V. 7. Análisis para el cálculo del factor de tamaño.	113
Figura V. 8. Factor de confiabilidad.....	114
<i>Figuras ANEXO VI:</i>	
Figura VI. 1. Selección de carga dinámica y estática del rodamiento.....	114
Figura VI. 2. Factores para cálculos de rodamientos.	115
Figura VI. 3. Características de la chumacera seleccionada.	115
<i>Figuras ANEXO VII:</i>	
Figura VII. 1. Dimensiones de la chavera paralela según DIN 6885/1.....	115
Figura VII. 2. Selección de chavera paralela con base en el diámetro del eje según DIN 6885/1.....	116
Figura VII. 3. Selección de chavera paralela con base en el diámetro del eje según DIN 6885/1.....	116

Índice de Tablas

Tabla 1.1. Importancia del bambú.....	3
Tabla 1.2. Aplicaciones de las fibras de bambú según la industria.....	4
Tabla 1.3. Propiedades de la fibra de bambú.....	5
Tabla 1.4. Análisis de competencia estimada para la máquina desfibadora	8
Tabla 1.5. Ventajas y desventajas de FreeCAD frente a un software de modelado común	10
Tabla 2.1 Especificaciones técnicas de la máquina	14
Tabla 2.2. Características de las alternativas para el módulo 1.	17
Tabla 2.3. Características de las alternativas para direccionar residuos.	18
Tabla 2.4. Características de las alternativas para direccionar láminas de bambú.....	18
Tabla 2.5. Evaluación de criterios para el módulo 1.....	20
Tabla 2.6. Evaluación de criterios para el módulo 1.....	20
Tabla 2.7. Características de los elementos para desfibrado del módulo 2.....	21
Tabla 2.8. Características de los elementos para desfibrado del módulo 2.....	22
Tabla 2.9. Características de la transmisión para el módulo 2	23
Tabla 2.10. Evaluación de criterios para el módulo 2.....	24
Tabla 2.11. Evaluación de criterios para el módulo 2.....	24
Tabla 2.12. Matriz morfológica de la desfibadora de bambú	25
Tabla 2.13. Características de ambas correas	39
Tabla 2.14. Valores de Momento en puntos de interés.	45
Tabla 2.15. Valores encontrados para el cálculo de Se	49
Tabla 2.16. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto B.	51
Tabla 2.17. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	52
Tabla 2.18. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto C.	52
Tabla 2.19. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	53
Tabla 2.20. Valores de momento en puntos de interés de chaveteros.	55
Tabla 2.21. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto D.	55
Tabla 2.22. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	56
Tabla 2.23. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto E.	56
Tabla 2.24. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	57
Tabla 2.25. Valores de Momento en puntos de interés.	60
Tabla 2.26. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto G.....	60
Tabla 2.27. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	60
Tabla 2.28. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto H.	61
Tabla 2.29. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	61
Tabla 2.30. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto F.	62

Tabla 2.31. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	62
Tabla 2.32. Valores de Momento en puntos de interés.	64
Tabla 2.33. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto I.	64
Tabla 2.34. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	65
Tabla 2.35. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto J.	65
Tabla 2.36. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	66
Tabla 2.37. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto K.	66
Tabla 2.38. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	67
Tabla 2.39. Valores de momento en puntos de interés de chaveteros del eje 3.	68
Tabla 2.40. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto M.	69
Tabla 2.41. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	69
Tabla 2.42. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto N.	70
Tabla 2.43. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	70
Tabla 2.44. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	71
Tabla 2.45. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	72
Tabla 2.46. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	73
Tabla 2.47. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	73
Tabla 2.48. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	73
Tabla 2.49. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	75
Tabla 2.50. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.	75
Tabla 2.51. Costo de elementos normalizados para el módulo 1 (estructura)	76
Tabla 2.52. Costo del material requerido para el módulo 1 (estructura)	76
Tabla 2.53. Costo de la mano de obra para el módulo 1.	77
Tabla 2.54. Costo de fabricación del módulo 1 (estructura).	77
Tabla 2.55 Costo de elementos normalizados para el módulo 2 (Sistema para desfibrado).	77
Tabla 2.56 Costo del material utilizado para el módulo 2 (Sistema para desfibrado)...	78
Tabla 2.57. Costo de mano de obra para el módulo 2 (sistema para desfibrado).....	79
Tabla 2.58 Costo de fabricación del módulo 2 (Sistema para desfibrado).	79
Tabla 2.59. Costo neto de la desfibradora de bambú.	80
Tabla 2.60. Análisis del precio de cada módulo.	80
Tabla 2.61. Protocolo de pruebas en vacío.	81
Tabla 2.62. Protocolo de pruebas con carga.	83
Tabla 2.63. Protocolo de pruebas para verificar rendimiento	85
Tabla 2.64. Protocolo de pruebas para verificar la calidad de fibras desfibradas.	86
Tabla 2.65. Protocolo de pruebas verificación de juntas empernadas y uniones soldadas	88

Tablas ANEXO III:

Tabla III.1 Análisis del costo de las alternativas del módulo 1.....	105
Tabla III.2 Análisis de la facilidad de construcción para las alternativas del módulo 1.	105
Tabla III.3 Análisis de la funcionabilidad óptima para las alternativas del módulo 1..	105
Tabla III.4 Análisis de la estabilidad para las alternativas del módulo 1.	105
Tabla III.5 Análisis del costo de las alternativas del módulo 2.....	105
Tabla III.6 Análisis de la facilidad de construcción para las alternativas del módulo 2.	106
Tabla III.7 Análisis del mantenimiento para las alternativas del módulo 2.....	106
Tabla III.8 Análisis de la fiabilidad para las alternativas del módulo 2.	106
Tabla III.9 Análisis de la estabilidad para las alternativas del módulo 2.	106

RESUMEN

Desde hace décadas, el bambú ha existido en la zona amazónica y litoral del Ecuador. Con las fibras de este material se pueden manufacturar varios productos como ropa, artesanías, refuerzos estructurales, materiales farmacéuticos, entre otros; sin embargo, el bambú no ha sido aprovechado en su totalidad, por no contar con máquinas adecuadas para que productores minoritarios obtengan la fibra. Por lo tanto, el presente trabajo plantea el diseño de una desfibradora de bambú con ayuda de software de código abierto para la representación y modelado 3D. La estrategia comprende al diseño conceptual, de materialización y a detalle, lo cual en conjunto con los datos proporcionados por la Red Internacional del Bambú y Ratán (INBAR) y los interesados, permitió el diseño de una máquina que podría solventar las necesidades de los beneficiarios con un rendimiento de 3 culmos por hora.

Inicialmente, se analizó la necesidad del usuario y se generó la geometría, con el uso del software de código abierto "FreeCAD", de forma que, acompañado con los cálculos correspondientes y la disponibilidad de los elementos en el mercado, se pudo transformar la idea en una realidad ingenieril, seleccionando elementos normalizados, obteniendo planos de construcción de la máquina, costos, protocolos de prueba para post construcción y sugerencias de mantenimiento. Finalmente, se verificó que el diseño propuesto cumpla con su propósito con calidad, brindando satisfacción al potencial usuario, y que, con una posterior construcción, podría potenciar al sector del bambú en el Ecuador.

Palabras clave: diseño, desfibrar, bambú, máquina, software, culmo.

ABSTRACT

For decades, bamboo has existed in the Amazonian and Coastal regions of Ecuador. With the fibers of this material, many products can be obtained, such as clothing, handicrafts, structural reinforcements, pharmaceutical materials, etc. However, bamboo has not been fully exploited due to the lack of adequate machines for minor producers to obtain the fiber. Therefore, this project shows the design of a bamboo shredder with open source software for representation and 3D modeling. The strategy that includes conceptual, materialization and detail design, in conjunction with the data provided by the International Network for Bamboo and Rattan (INBAR) and the beneficiaries, allowed the design of a machine that meets the needs of minor producers with a performance of 3 culms per hour.

Initially, the user's needs were analyzed, and the geometry was generated using an open source software called "FreeCAD", so that, accompanied by the corresponding calculations and the availability of the elements in the market, the idea was transformed into an engineering reality, selecting standardized elements, obtaining construction drawings of the machine, costs, post build test protocol and maintenance suggestions. Finally, it was verified that the design fulfills its purpose with quality, providing satisfaction to the potential users and that, with a subsequent construction, it would impact the bamboo sector in Ecuador.

Keywords: design, shred, bamboo, machine, software, culm.

DISEÑO DE UNA DESFIBRADORA DE BAMBÚ USANDO SOFTWARE DE CÓDIGO ABIERTO

INTRODUCCIÓN

La fibra de bambú es un material que presenta propiedades antibacteriales, antifúngicas, higroscópicas, hipoalergénicas y resistencia a la luz ultravioleta. Además, tiene un promedio de vida que va en un rango entre 15 y 20 años, posee un elevado grado de biodegradabilidad y una resistencia a la tracción, en el caso de sus fibras de 1 504 a 2 036 MPa, la cual es mayor a la de ciertas aleaciones de aluminio. Con base en estas características, la fibra de bambú tiene aplicaciones en varias industrias como la farmacéutica, para la producción de toallas, gasas, vendajes, almohadillas absorbentes, ropa quirúrgica, fármacos, entre otros [1]. En la industria textil, se utiliza por sus micro cavidades que pueden absorber partículas líquidas generadas por la transpiración, disminuir los efectos de bacterias y el daño de las radiaciones ultravioleta en la piel humana [2]. También, se utiliza en otras industrias como la musical, deportiva, cosmética, papelería, del mueble y de la construcción, como refuerzo de materiales compuestos.

Ecuador cuenta con aproximadamente 60 000 ha de bambú, distribuidas en la Costa, con un 66,5%, en la Amazonía, 23,5% y en la Sierra, 10%. La demanda interna, para distintos usos, es de 22,5 millones de cañas; se estima que para finales del año 2022 esta demanda llegue a 43 millones, lo que implica que se cultiven 30 000 ha de bambú [3]. Estos valores reflejan la necesidad de mano de obra y maquinaria para las distintas etapas de producción y procesamiento, incluida la obtención de la fibra de bambú. En el ámbito económico, la influencia del bambú en el sector agropecuario se encuentra creciendo, con una balanza comercial de productos positiva [4]. En el 2017 representó el 0,5 % del PIB total, contabilizando 475 millones de dólares, conformando directamente 12% del total de empleo generado en el sector agrícola (aproximadamente 241 630 personas) [5]. Entonces, diseñar y construir una máquina desfibradora de bambú aportaría a la desagregación tecnológica ecuatoriana, permitiendo reducir costos, aumentar la productividad y aprovechar las oportunidades industriales previamente mencionadas. Por lo explicado, se plantea generar el diseño de una máquina que permita desfibrar culmos (sección del tallo sin hojas) de bambú mediante la remoción mecánica de fibras y garantice mantener la integridad de estas, con el uso de software CAD-CAE de código abierto.

Una de las actividades más importantes e interesantes de la ingeniería es el proceso de creación y diseño de un producto o máquina, dado que con un diseño robusto se puede generar un ahorro considerable en el caso de tener errores [6]. Este proceso puede ser desarrollado en cuatro etapas que garantizan la calidad del diseño y obtención de especificaciones técnicas (definición, diseño conceptual, diseño de materialización y diseño a detalle), con lo que se fomenta la ingeniería concurrente y sostenible [7].

Los diseños de materialización y detalle requieren usar software CAD-CAE, de los que existe una gran variedad en el mercado actual; sin embargo, al realizar los diseños con software de código abierto, se pueden reducir costos y obtener resultados remarcables, descentralizando el software tecnológico y fomentando el desarrollo ingenieril sin restricciones [8], [9].

Por lo expresado y por el creciente impacto socioeconómico del bambú en el Ecuador, se puede afirmar que existe un interés en generar bienes con valor agregado a partir de este. Dado que la mayoría de las personas que se dedica a esta actividad corresponden a comunidades y productores artesanales, estos se verían beneficiados al contar con una máquina que permita recuperar la fibra a partir de los culmos. Por lo tanto, el “DISEÑO DE UNA DESFIBRADORA DE BAMBÚ USANDO SOFTWARE DE CÓDIGO ABIERTO” es un proyecto que podría generar una incidencia económica para los productores minoritarios y masivos ecuatorianos como ALLPABAMBU, APROGUADUA, CENTRAL DEL BAMBÚ ANDOAS (CENBA), entre otros [10].

Objetivo general

Diseñar una máquina desfibradora de bambú con software de código abierto y libre.

Objetivos específicos

- Revisar el estado del arte sobre maquinaria empleada en desfibrar o separar fibras de bambú y acerca del uso de software de código abierto y libre.
- Determinar la capacidad de bambú que puede procesar la máquina.
- Utilizar software de código libre para el proceso de modelamiento de geometría, mallado y simulación en el caso de requerirse para el diseño de la desfibradora.
- Generar planos de conjunto y de taller de la desfibradora de bambú.
- Analizar los costos de la máquina diseñada.

1. MARCO TEÓRICO

La presente sección muestra argumentos e información relacionada al bambú, tipos de desfibrado, propiedades de las fibras de bambú e importancia. Además, se presenta los tipos de desfibrados y máquinas desfibradoras. Finalmente, se realiza un benchmarking para comparar la posible competencia de la máquina a diseñar y se muestra las ventajas y desventajas de utilizar el software de código abierto.

1.1. Estado del arte

1.1.1. Importancia y aplicaciones de la fibra de bambú

La exploración y utilización de materiales naturales con altas propiedades mecánicas biodegradables es algo urgente para disminuir los efectos perjudiciales de los materiales sintéticos y poder aspirar a un mañana sostenible.

El bambú es un elemento de mucha importancia por su influencia económica, social y ambiental. Algunas de las razones son adjuntadas en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Importancia del bambú

Económica	Social	Ambiental
<ul style="list-style-type: none">- Rendimiento comercial elevado.- Crecimiento rápido.- Propiedades mecánicas, físicas, térmicas únicas, a tal punto de poder ser utilizadas en estructuras. Existen normas de construcción con bambú.- Puede reemplazar fácilmente a la madera con un costo menor.- Sus costos de tratamiento previo a producción son bajos (incluye máquinas-	<ul style="list-style-type: none">- Generación de empleo que influye en la calidad de vida de los pertenecientes a la comunidad.- Apoyo a productores minoritarios, más de 50 mil campesinos dependen del bambú.- Potenciación de identidad cultural al usar materias primas propias. Existen culturas ecuatorianas como la “Jama Coaque” que utilizaba	<ul style="list-style-type: none">- Mínima huella ambiental- Influye en la lenta erosión del suelo.- Restauración de ecosistemas.- Reemplazo de materia prima plástica por bambú de elementos de cocina como platos, cubiertos, entre otros, para cambiar los más de 500 años de degradación por meses.- Por sus características físicas puede utilizarse para recuperar suelos degradados.

<p>herramientas de corte y movilización).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los costos para su cuidado son mínimos. - Usado como materia prima de productos de industrias como la farmacéutica, papelera, maderera, de la construcción, textil, musical, entre otros. 	<p>bambú en sus construcciones.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ayuda a proliferar la humedad del suelo ya que almacena grandes cantidades de agua. Generalmente lo realiza en invierno y libera sus reservas en verano para mantener la calidad del suelo. - Favorecen a la vida silvestre. - Captan el CO₂ de la atmósfera en gran cantidad aproximadamente 3 veces más que los árboles comunes. - Se degrada sin afectar al medioambiente.
--	-------------------------------------	---

Fuente: [5]

Entre las aplicaciones de la fibra de Bambú se tiene lo mostrado en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Aplicaciones de las fibras de bambú según la industria.

Industria	Razón	Aplicación
Papelera-maderera	La composición química y estructura del bambú son ideales para los procesos papeleros y madereros sin generar talas de árboles, brindando protección ambiental y una menor contaminación.	Papel de bambú, sillones, puertas, mesas, sillas, pisos flotantes, mesones, pasos para escaleras, palillos de dientes, palillos parrilleros, entre otros.
Farmacéutica	Las fibras poseen propiedades de inhibición del crecimiento bacteriano, absorción de olores peculiares e higroscopicidad. Por estas características, las fibras de bambú se utilizan como material médico, higiénico y como compuesto de algunas drogas.	Gasas, toallas sanitarias, bandas, mascarillas, ropa de cirugía, medicina para dolencias gastrointestinales.

Construcción	Sus propiedades mecánicas remarcables como módulo de Young, dureza, límite elástico garantizan la integridad de la estructura.	Refuerzo de matrices de concreto, cercas, viviendas de hasta 2 pisos.
Textil	Estas fibras son de naturaleza celulósica, por lo que absorben mejor que la tela común la transpiración.	Medias, camisetas, trajes de baño, ropa de dormir, ropa interior, colchones, cortinas, entre otros.
Deporte	Las fibras se usan para mejorar las propiedades mecánicas-físicas de materiales compuestos.	Palos de golf, bolas de béisbol, planta de zapatos de fútbol, entre otros.
Alimenticia	El procesamiento de las fibras puede generar alimentos, sin afectar la salud humana.	Condimentos, té de bambú, vino de bambú, vinagre, entre otros.
Plástica	La resistencia específica de las fibras de bambú es más alta que la de los plásticos por lo que puede reemplazarlos reduciendo su huella contaminante de más de 5 000 años.	Fundas, platos, cubiertos, mesas, mango de cepillo de dientes, tablas de cortar, sorbetes, etc.

Fuente: [1], [5]

1.1.2. Propiedades de las fibras de bambú

Las propiedades de la fibra del bambú son presentadas en la tabla 1.3.

1.1.3. Tipos de desfibrado

Para obtener fibras de bambú u otros materiales existen varios métodos entre los cuales se tiene:

- Desfibrado manual: Se realiza con el uso de la fuerza y habilidades físicas propias acompañado de herramientas para la obtención de fibras.

Tabla 1.3. Propiedades de la fibra de bambú

Propiedades		
Generales	Valor	Unidad
Densidad lineal	1,44	g/cm ³
Deformación de falla	1,2-1,9	%

Gravedad específica	0,4-0,8	-
Absorción de humedad	13	%
Mecánicas		
Módulo de Young	25,24/28,46	GPa
Dureza	23,45	HV
Módulo elástico	27-40	GPa
Elongación	2,89	%
Resistencia a la tracción	1 504 - 2 036	MPa
Térmicas		
Entalpía de la fibra (a 65°C)	8,94	J/g
Energía de activación	23,22	J/K
Temperatura de transición	426,11	°C
Degradación Térmica	52,35	%

Fuente: [11]

- Desfibrado con base en raspado: Se apoya la materia prima en un lugar determinado y con el uso de una herramienta cortante como un cuchillo afilado se desprende las fibras de forma artesanal [12]. No es un proceso que se pueda utilizar si se requiere una elevada demanda.
- Desfibrado con máquina: Se realiza con máquinas diseñadas para el desfibrado, consta de elementos como rodillos para el movimiento del tallo y cuchillas para obtener las fibras. Se puede utilizar motor en el caso de requerir un volumen elevado de fibras o sin motor en el caso de producción minoritaria, además la calidad de las fibras varía con base en el tipo de máquina.
- Desfibrado químico: Se realiza con el apoyo de sustancias químicas como sulfito de sodio, peróxido de hidrógeno, hidróxido de sodio, entre otras, para suavizar tejidos próximos a la fibra y poder obtenerla más fácilmente con un proceso posterior de raspado o compresión [12].

1.1.4. Máquinas desfibradoras

Existen varias máquinas que se encargan del desfibrado de algunas especies de troncos, sin embargo, en Latinoamérica no existe una máquina definida para este proceso de producción minoritaria.

En el caso de las máquinas desfibradoras para este tipo de producción se tiene máquinas como la “Desfibradora manual de Abacá Kolbi” que es presentada en la figura 1.1 la cual presenta un mecanismo que corta las fibras mediante dos cuchillas fijas las

cuales regulan su posición con un mecanismo de ajuste de apertura que se mueve en función a un tornillo de presión, haciendo salir a las fibras con la fuerza de extracción del operario [12].



Figura 1.1. Máquina desfibadora de abacá sin motor

Fuente: [13]

Además, se tienen desfibadoras que utilizan motor como base de la fuerza necesaria para manejar a la materia prima y obtener las fibras. En este caso se puede resaltar la máquina desfibadora de abacá (Hagotán) la cual posee un motor de combustión, está destinada para una producción mucho mayor dado que puede desfibrar culmos de hasta 5 m de longitud, de una forma más rápida [12]. Esta máquina tiene entre sus componentes principales rodillos, volantes de inercia, motor, bandas y poleas como se muestra en la figura 1.2.

Como se mencionó previamente, no existen máquinas desfibadoras a la venta, por lo que no es posible realizar un benchmarking correcto, sin embargo, para el diseño propuesto de la desfibadora de bambú se debe tomar en cuenta la voz del usuario y transformarla a la voz ingenieril para obtener un producto de calidad, funcional y accesible para los potenciales usuarios.



Figura 1.2. Máquina desfibadora de abacá con motor

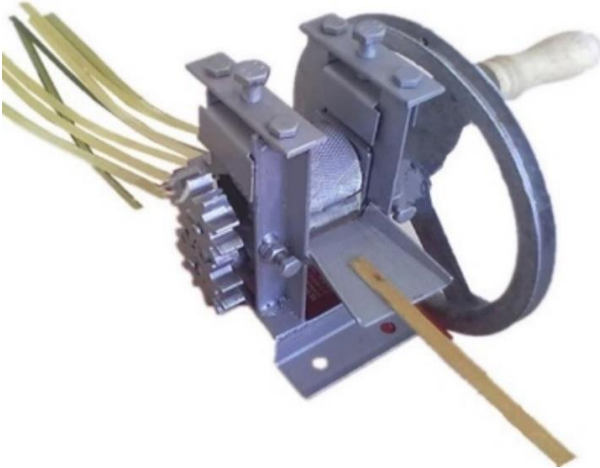
Fuente: [14]

1.2. Benchmarking

No existe competencia en Ecuador ni en Latinoamérica; sin embargo, se realizó una comparación con empresas internacionales que ofrecen máquinas que podrían servir para el proceso de desfibrado. Dichos productos se muestran en la tabla 1.4.

Tabla 1.4. Análisis de competencia estimada para la máquina desfibadora

Zhengzhou Qixin Machine Co. Ltd.	
Producto	Especificaciones técnicas generales
<p>Máquina trituradora de jengibre, brotes de bambú y patatas</p> <p>Precio: 1 000,00 – 2 500,00 USD</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Potencia: 750 W - Peso: 43 kg - Voltaje de frecuencia 220 V-50 Hz - Arranque: Con motor - Rendimiento: 150 - 250 kg/h - Material: Varios - Dimensiones: 0,53 x 0,43 x 0,60 m

Jiaozuo Double Eagle Machinery Co. Ltd-	
<p>Cortadora fina de láminas de bambú. Precio: 158,00 USD (sin incluir costos de importación)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Potencia: Variable - Peso: 25 kg - Arranque: Manual - Rendimiento: Variable - Material: Acero al carbono - Dimensiones: 0,25 x 0,26 x 0,30 m

Fuente: [15], [16].

Se utilizó el método de benchmarking propuesto en [6], donde se investigó la competencia internacional asiática que era la única que presentaba este tipo de máquinas, ya que en ese lugar es mucho más utilizado el bambú. Se compararon las especificaciones técnicas de dichas máquinas presentadas en la tabla 1.4 y se encontró que, en el caso de la máquina ofertada por Zhengzhou Qixin Machine Co. Ltd., es una máquina que cumple con los requerimientos de los usuarios al desfibrar con un sistema mecánico de cuchillas internas impulsadas por un motor que llega hasta los 75 W, consiguiendo un rendimiento de hasta 150-250 kg/h, sin embargo, el costo varía entre 1 000 y 2 500 USD, lo cual es un costo demasiado elevado para las necesidades de los productores minoritarios de bambú.

Por otro lado, se tiene a la máquina ofertada por Jiaozuo Double Eagle Machinery Co. Ltd., que podría ser la mayor competencia para la máquina a diseñar por las características técnicas de accionamiento manual que ofrece y su precio sumamente accesible, que encaja con los trabajos realizados por los beneficiarios. Sin embargo, los materiales utilizados son netamente acero al carbono, lo cual después de un tiempo podría generar problemas de oxidación, y su accionamiento manual, que reduce el rendimiento promedio alcanzable y puede generar fatiga en los operarios después de horas de trabajo.

El mecanismo donde se encuentra una especie de rodillos y una cuchilla que desfibra los culmos presentados en la cortadora fina de láminas de bambú puede ser utilizado como base para alcanzar a satisfacer las necesidades de los compradores.

1.3. Software de código abierto a utilizar (ventajas y desventajas)

El software que se puede utilizar para diseño generalmente es costoso y poco accesible, no obstante, existen otras alternativas gratuitas que se pueden utilizar para obtener un modelado 3D aceptable y planos de construcción para la máquina propuesta. Un software adecuado para estas solicitudes es FreeCAD, el cual presenta las características mostradas en la tabla 1.4.

Tabla 1.5. Ventajas y desventajas de FreeCAD frente a un software de modelado común

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Menores requerimientos de hardware para su uso (4GB RAM recomendado). - Consume pocos recursos computacionales. - Su uso es gratuito. - Es de código abierto por lo que varias personas pueden colaborar para la mejora de su interfaz. - Gran variedad de archivos visualizables y editables como DXF, IFC, IGES, - NASTRAN, STEP, entre otros. - Amplia variedad de restricciones geométricas y herramientas para dibujo 2D necesaria para el modelado 3D. - Permite realizar modelados mecánicos con exactitud ya que incorpora las funciones necesarias como extrusiones, filetes, chaflanes, espejo, barrido, corte, entre otras. 	<ul style="list-style-type: none"> - Herramientas limitadas para visualización 3D. - Poco intuitivo. - No tiene incorporada la simulación de movimiento. - Dificultad para mover piezas en el ensamble. - No genera automáticamente con base en ensambles. - Difícil acoplarse inicialmente al software.

Fuente: [8]

Para el diseño propuesto, el uso de un software libre es muy acertado ya que brinda herramientas de modelado 3D de calidad que puedan influir en la construcción de una máquina con una fiabilidad y funcionalidad alta.

2. METODOLOGÍA

La presente sección muestra argumentos e información relacionada al bambú, tipos de desfibrado, propiedades de las fibras de bambú e importancia. Además, se presenta los tipos de desfibrados y máquinas desfibradoras. Finalmente, se realiza un benchmarking para comparar la posible competencia de la máquina a diseñar y se muestra las ventajas y desventajas de utilizar el software de código abierto.

Como se ratificó en el marco teórico, existe una necesidad y oportunidad para los productores minoritarios que utilizan bambú, por lo que para el diseño de la máquina se plantea la metodología presentada en la en la figura 2.1.

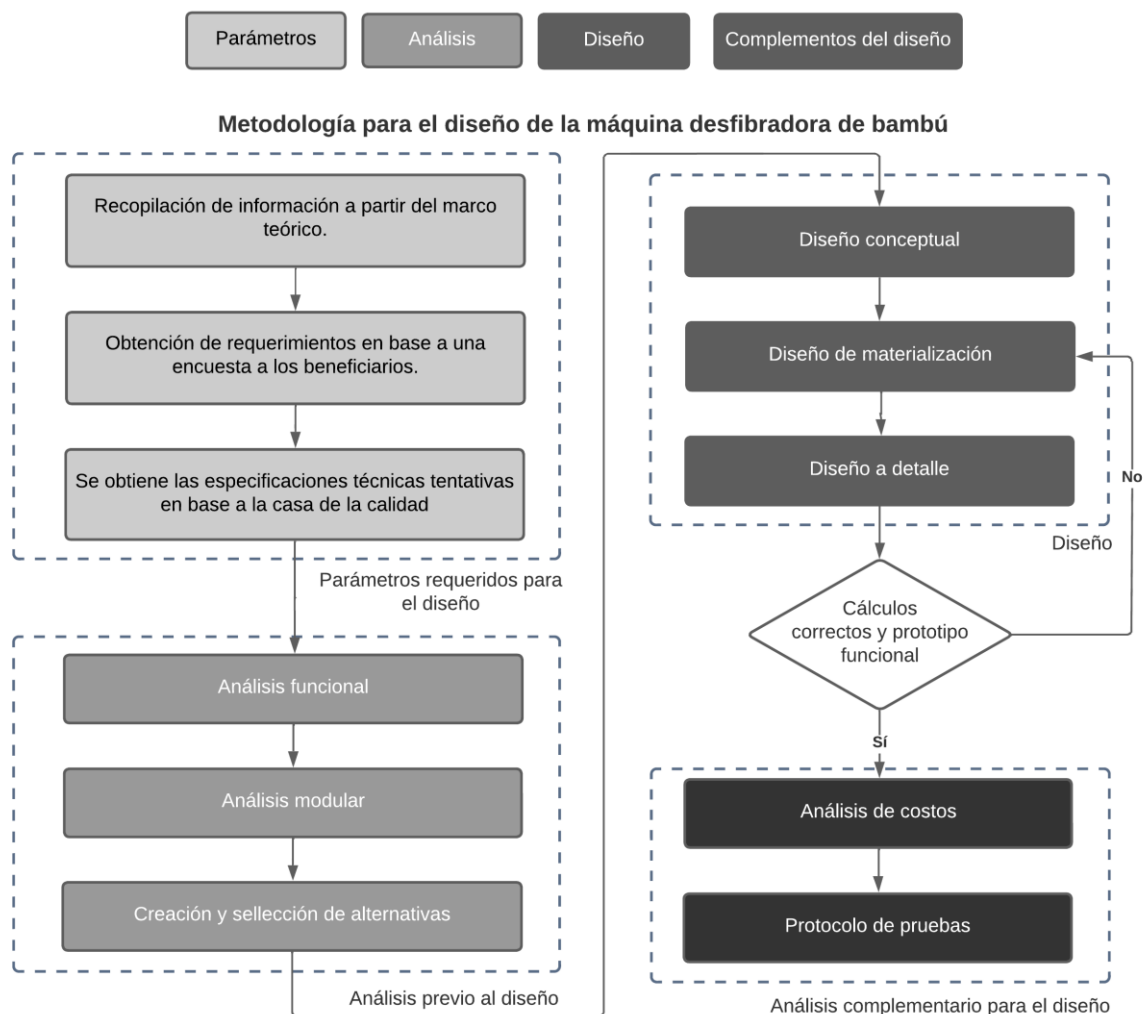


Figura 2.1. Diagrama de flujo de metodología para el diseño de una máquina desfibradora de bambú con software libre

Como se muestra en la figura 2.1, la metodología para el diseño de la desfibradora de bambú se divide en 4 partes claves: parámetros requeridos para diseño, análisis previo a diseño, diseño y análisis complementario para el diseño.

- **Parámetros requeridos para diseño:** Esta fase se enfoca en la recopilación de información que sustente al diseño e identificar las necesidades que se pueden resolver, además, con base en una encuesta a las personas beneficiarias o interesadas y un análisis de diseño para planificar el producto propuesto por [6] llamado “la casa de la calidad”, donde se obtiene los indicios necesarios para las especificaciones técnicas que pueden ser reflejados como parámetros de inicio.
- **Análisis previo al diseño:** Es necesario conocer bien el enunciado y las delimitaciones del problema [6], para poder encontrar una solución correcta ante las necesidades que debe satisfacer la desfibradora por lo cual se debe realizar el análisis funcional de la máquina a crear, el análisis modular que es dependiente de las distintas acciones que realizará la máquina, planteamientos de geometrías, evaluación y selección de alternativas modulares con base en criterios ponderados.
- **Diseño:** Esta fase se enfoca en la aplicación del proceso de diseño que se compone por el diseño conceptual (solución conceptual obtenida con base en el análisis previo), diseño de materialización (desarrollo del plano de conjunto sin medidas definitivas con ayuda de software CAD), diseño a detalle (cálculo de elementos, obtención de geometría final en FreeCAD, simulaciones de trabajo en prototipos, selección de elementos normalizados y planos finales de conjunto y de taller).
- **Análisis complementario para el diseño:** En esta sección final se procede con la determinación de los costos de módulos, costos totales y la elaboración de un protocolo de pruebas para la máquina desfibradora de bambú.

2.1. Casa de la calidad

Mediante la encuesta adjunta como Anexo I, se encontró las necesidades de los beneficiarios y, con ayuda de los datos obtenidos del benchmarking, se pudo obtener la Casa de la calidad que se adjunta como Anexo II.

2.1.1. Voz del usuario:

Mediante la encuesta realizada se encontró que las necesidades de los beneficiarios en la máquina serían:

- Que desfibre hasta 200 culmos semanalmente en horas laborales.
- Accesibilidad económica.
- No sea muy ruidosa.
- Máquina manual o con motor.
- Fácil manipulación y transporte de máquina.
- Que tenga alta durabilidad.
- Que no genere cortes al operador.
- Mantenimiento fácil.
- Que desfibre de forma rápida y sencilla.
- Que se pueda meter láminas de culmo de al menos 5 mm.

2.1.2. Voz del ingeniero:

Las características técnicas necesarias para satisfacer las necesidades previamente mencionadas son:

- Motor eléctrico 1 hp
- Precio neto menor a 2 000 USD, menor al costo promedio de desfibradoras del benchmarking.
- 5mm de espesor de entrada.
- Menos de 65 dB cita.
- Ergonómico peso transportable menor a 50 kg.
- Zona de desfibrado de acero inoxidable por contacto con fluidos que pueden generar corrosión.
- Altura menor a 1,5 m cita.
- Mantenimiento semestral de sección de transmisión de potencia.
- Rendimiento de 3 culmos/hora.

2.1.3. Conclusiones de la casa de la calidad

Tras la realización de la casa de la calidad, se encontró que el diseño debía ser enfocado en satisfacer el rendimiento requerido por los usuarios de mínimo 3 culmos/h y cumplir con el resto de las estimaciones obtenidas con las indicaciones de la voz del ingeniero tales como:

- Motor eléctrico 1 hp trifásico 1750 RPM

- Precio neto menor a 2 000 USD, menor al costo promedio de desfibradoras del benchmarking.
- 5mm de espesor de entrada.
- Ergonómico peso transportable menor a 50 kg.
- Zona de desfibrado de acero inoxidable por contacto con fluidos que pueden generar corrosión.
- Práctica, que no supere 1,5 m de altura.

Las cualidades que no son tan influyentes para los usuarios son: la cantidad de ruido y el mantenimiento requerido. Sin embargo, se las incluyó para obtener un producto de calidad. Además, el diseño debe garantizar la accesibilidad económica para poder competir con las especificaciones ofertadas por la competencia.

Finalmente, un punto complicado de mejorar con base en el diseño conceptual inicial fue el de la ergonomía, con una dificultad de 5/10, pero, con un diseño adecuado, se puede mejorar y hacer que la máquina desfibre de forma rápida y sencilla.

2.2. Determinación de especificaciones técnicas

Después de obtener los indicadores que se propone solucionar para los usuarios con el diseño, gracias a la casa de la calidad, se obtuvo un conjunto de características que guiaron el diseño, denominadas especificaciones técnicas, las cuales se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas de la máquina

Empresa-Cliente: INBAR (Red Internacional del Bambú y Ratán) y productores minoritarios.		Producto: Desfibradora de bambú		Fecha inicial: 2021-11-01 Última revisión: 2022-06-12
Diseñador: Alex Salazar		Página 1		
Especificaciones				
Conceptos	Fecha	Propon e	R/D	Descripción
Función	2021-11-03	U	R	Desfibrar culmos de bambú para obtener fibra.
	2021-12-09	U+D	R	Rendimiento: 3 culmos/hora
Dimensiones	2022-11-10	D	R	Espesor máximo de entrada de bambú: 5 mm
	2022-03-11	U+D	R	Dimensiones generales ergonómicas del equipo: 1 069x808x225 mm
Movimiento	2021-12-09	D	R	Rotación, velocidad del motor:
Accionamiento	2022-01-11	D	D	Motor WEG 1 hp, 1 750 RPM

Energía	2022-01-11	U	R	Alimentación: Energía eléctrica 120 V, 60 Hz, motor trifásico.
Materiales	2022-01-11	U+D	R	Varios y resistentes a la corrosión en la zona de desfibrado.
Factor económico	2021-02-17	U+D	D	Precio neto menor a 3 000 USD, menor al costo promedio de desfibradoras tipo descortezador [12].
Mantenimiento	2022-03-01	U+D	R	Sencillo, con fácil acceso para limpiar y lubricar.
Ergonomía	2022-11-10	D	D	Altura de máquina ergonómica, accionamiento simple del motor, traslado de máquina simple por peso manejable.
Propone: U= Usuario; D= Diseño R/D: R= Requerimiento; D= Deseo				

2.3. Análisis funcional

El análisis funcional busca obtener varias alternativas para la solución de un objetivo deseado, aislando las diferentes funciones en segmentos determinados para encontrar las mejores soluciones. Para realizar este análisis se utilizan diagramas funcionales separando las funciones primarias de las secundarias, en donde, las iniciales son las que hacen que el beneficiario elija el producto y las otras soportan a la función primaria para realizar su objetivo; al agrupar estas funciones se obtienen secciones de diseño llamadas “módulos” que se utilizan para realizar un diseño modular [6].

Los diagramas son representados por esquemas cuadrados los cuales tienen la función dentro del cuadrado, con la posibilidad de hasta 3 líneas de entrada al lado izquierdo de tipo material, energía o señal y, en el lado derecho, las salidas que se alcanzan con la función, como se muestra en la figura 2.2.

2.3.1. Desarrollo de diagramas funcionales

- Función principal:

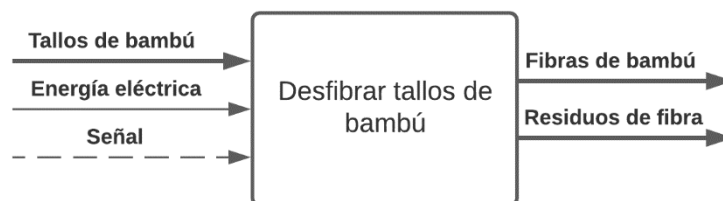
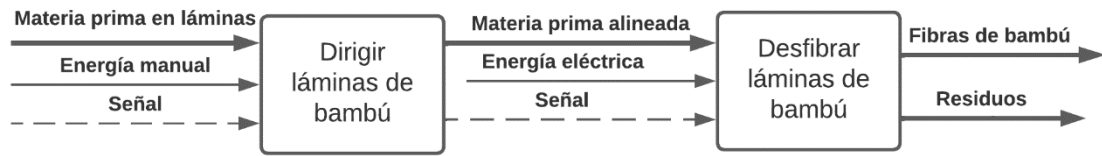


Figura 2.2. Función principal de la máquina

Los niveles que se encargan de desmembrar el funcionamiento de la máquina en distintas formas para su posterior análisis, facilitando así la generación de módulos, como se muestra en la figura 2.3.

Nivel 1



Nivel 2

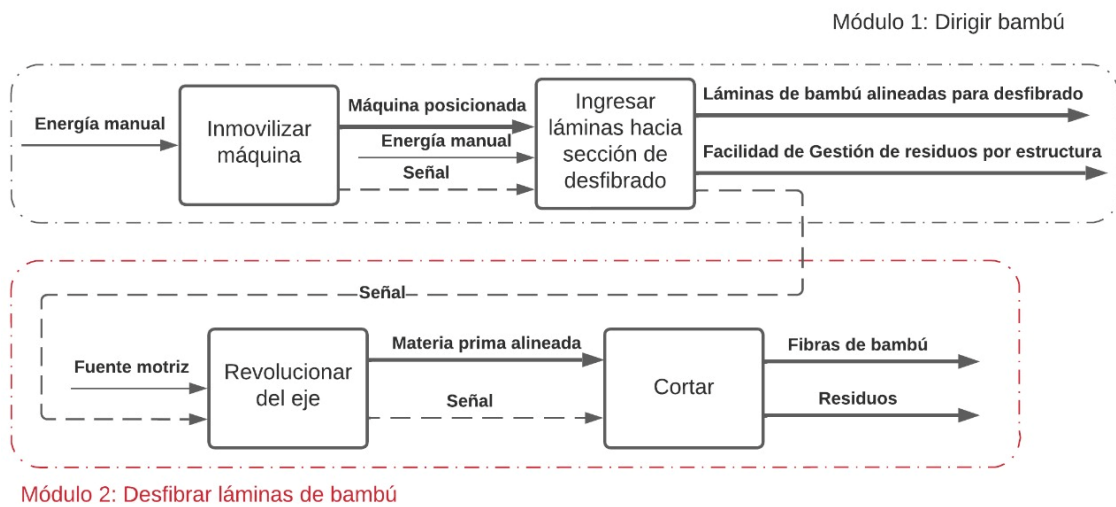


Figura 2.3. Diagrama funcional y división de módulos

Se mencionó el término “láminas de bambú”, dado que para el proceso de desfibrado se requiere que los culmos que ingresan tengan forma de lámina con un espesor de máximo 5mm.

2.3.2. Alternativas de diseño para cada módulo:

Después de la realización del análisis funcional de la máquina que se muestra en la figura 2.3, se pudo observar individualmente cada bloque generado, para encontrar la alternativa más conveniente para garantizar el cumplimiento de las necesidades del usuario.

Módulo 1:

Funciones:

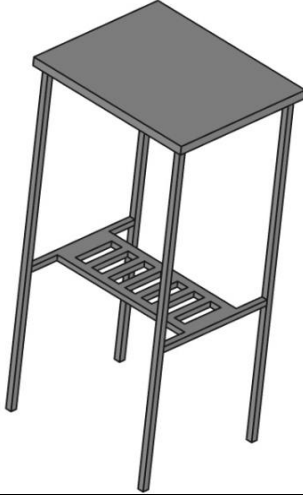

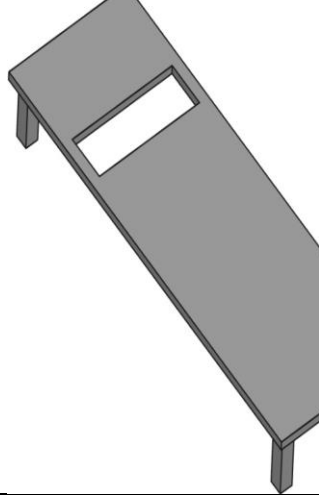
- Brindar estabilidad
- Dirigir láminas de bambú.

- Direccionar residuos

Estructura

Para solventar las necesidades estructurales de la máquina se presentan las alternativas de la tabla 2.2.

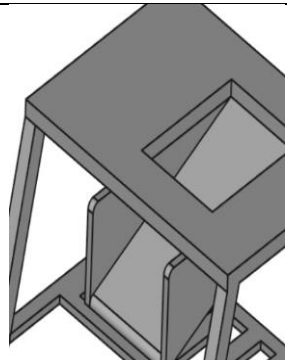
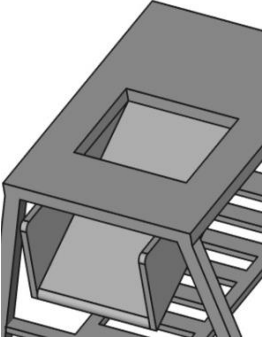
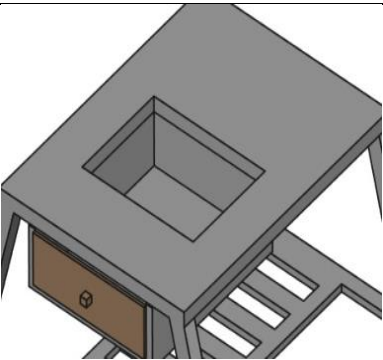
Tabla 2.2. Características de las alternativas para el módulo 1.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Esquema			
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Estabilidad de construcción - Fácil de transportar. - Liviano. - Tiene compartimento para incluir motor. - Altura de diseño ergonómica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor estabilidad. - Fácil construcción. - Tiene ranura para residuos. - Liviano. - Tiene compartimento para incluir motor. - Altura de diseño ergonómica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estabilidad. - Mucha mayor facilidad de construcción. - Ranura para residuos - Más liviano que el resto. - Ocupa menos espacio
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - No presenta ranura para residuos 	<ul style="list-style-type: none"> - Se debe alzar toda la mesa para movilizarla 	<ul style="list-style-type: none"> - Afectaría la ergonomía del operario a ese nivel.

Direccionar Residuos

Para direccionar los residuos y evitar que estos afecten al motor se presentan las alternativas de la tabla 2.3.

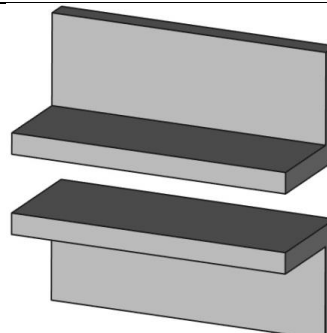
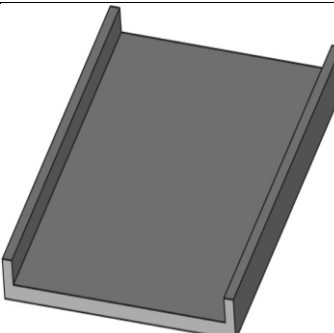
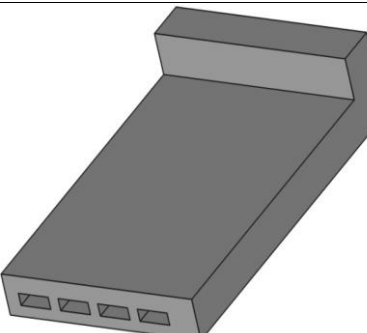
Tabla 2.3. Características de las alternativas para direccionar residuos.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Esquema			
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Residuos transportados fuera del sistema por inercia. - Se puede poner un contenedor para los residuos en la parte lateral. - Facilidad de limpieza. 	<ul style="list-style-type: none"> - Residuos transportados fuera del sistema por inercia. - Configuración estética. - Se puede poner un contenedor para los residuos en la parte media. - Facilidad de limpieza. 	<ul style="list-style-type: none"> - Residuos no tan visibles. - Estético.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Contaminación del espacio si no se pone un recipiente para almacenamiento de residuos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contaminación del espacio si no se pone un recipiente para almacenamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere sacar la bandeja de residuos para eliminarlos.

Direccionar láminas de bambú.

Para solventar la necesidad de direccionar las láminas de bambú se presentan las alternativas de la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Características de las alternativas para direccionar láminas de bambú.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Esquema			

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil acoplamiento a la máquina - Permite el ingreso de varias láminas de bambú a lo largo de su geometría. - Liviano. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil construcción. - Liviano. - Mayor direccionamiento de láminas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Controla totalmente el ingreso de las láminas de bambú.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Se tiene que alinear con la entrada de la cuchilla para su correcto funcionamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad de instalación, requiere añadir mas piezas para asegurar su función. 	<ul style="list-style-type: none"> - Permite ingresar un número limitado de láminas de bambú de forma restringida. - Mayor peso. - Complejidad de conformado.

Al agrupar las opciones obtenidas para cada necesidad se obtienen alternativas generales para este módulo, estas se muestran en la figura 2.4.

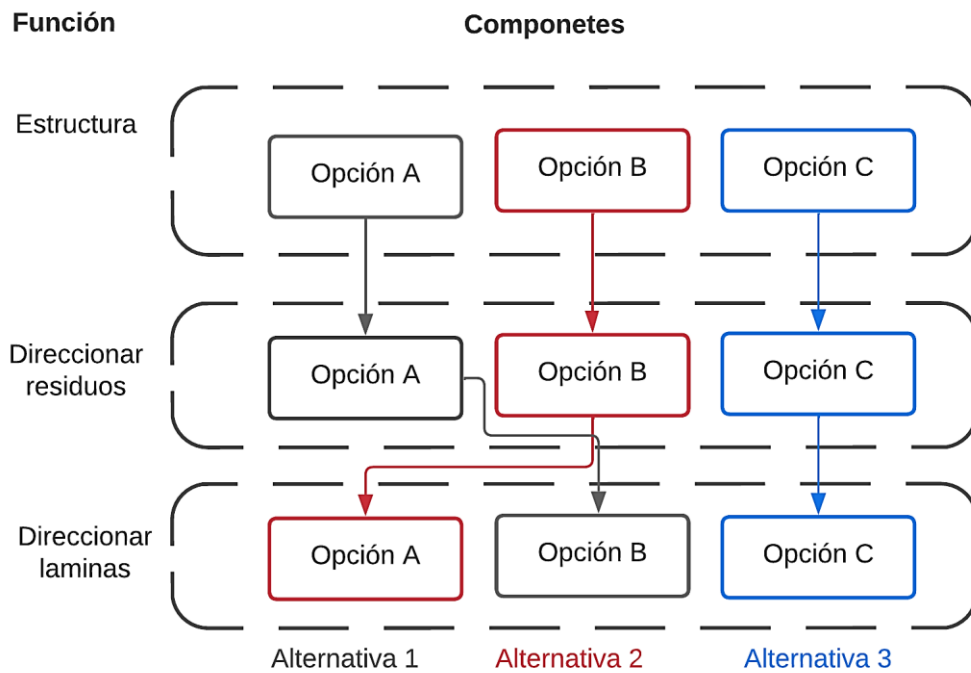


Figura 2.4. Alternativas para el módulo 1

Evaluación de alternativas:

Esta se realizan con base en el criterio de índices ponderados, según [12] si la importancia del criterio mostrado en filas es mayor que el de las columnas, se ingresa un 1,0, de otra forma un 0,0 y, en el caso de que tengan la misma importancia, se agrega un 0,50 como se muestra en la tabla 2.5.

- Costo: que tenga una buena relación costo-beneficio.

- Facilidad de construcción: Que los procesos de manufactura sean accesibles para obtener el mecanismo.
- Funcionabilidad óptima: Que cumpla de la forma más eficiente con la función prevista para el módulo.
- Estabilidad: Que brinde estabilidad a la máquina en conjunto

Tabla 2.5. Evaluación de criterios para el módulo 1.

	Costo	Facilidad de construcción	Fiabilidad	Estabilidad	Σ + 1	Ponderado
Costo	-	0,5	0,0	0,0	1,5	0,15
Facilidad de construcción	0,5	-	0,0	0,5	2,0	0,20
Funcionabilidad óptima	1,0	1,0	-	0,5	3,5	0,35
Estabilidad	1,0	0,5	0,5	-	3,0	0,30
Σ					10,0	1,00
Fiabilidad > Estabilidad > Facilidad de Construcción > Costo						

El análisis para cada alternativa se adjunta como Anexo III y la conclusión para el módulo 1 es mostrada en la tabla 2.6.

Tabla 2.6. Evaluación de criterios para el módulo 1.

	Costo	Facilidad de construcción	Funcionabilidad óptima	Estabilidad	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,15x0,33	0,20x0,42	0,35x0,33	0,30x0,33	0,35	2
Alternativa 2	0,15x0,33	0,20x0,42	0,35x0,50	0,30x0,33	0,41	1
Alternativa 3	0,15x0,33	0,20x0,16	0,35x0,17	0,30x0,33	0,24	3
Alternativa 2 > Alternativa 1 > Alternativa 3						

En la tabla 2.6 se puede observar se debe dar prioridad a la alternativa 2.

Módulo 2:

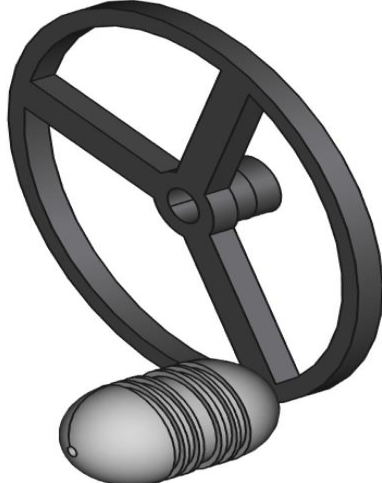

Funciones:

- Revolucionar los ejes
- Desfibrar
- Transmitir potencia

Revolucionar los ejes

Para solventar la necesidad de revolucionar los ejes se presenta las alternativas de la tabla 2.7.

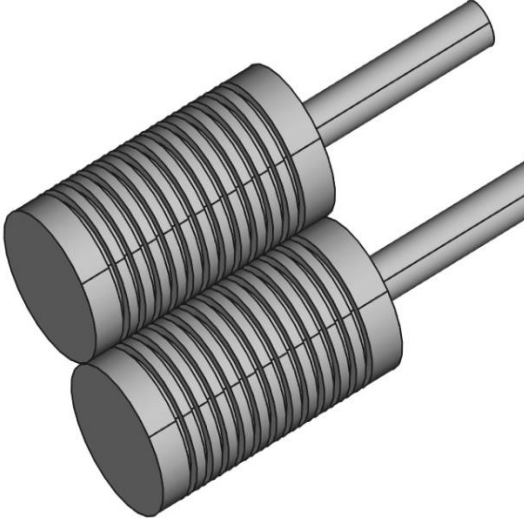
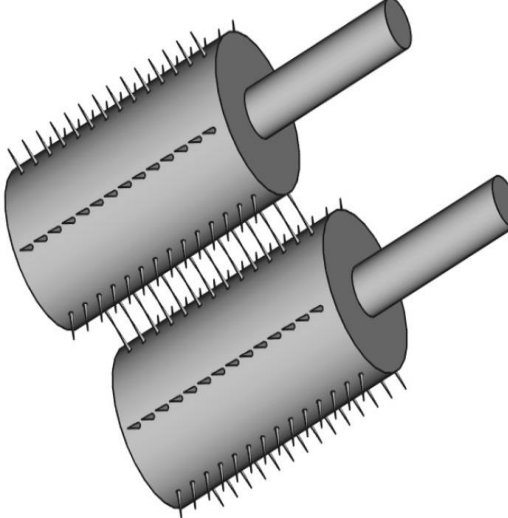
Tabla 2.7. Características de los elementos para desfibrado del módulo 2

	Alternativa A	Alternativa B
Descripción		
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Más económica. - Puede variar las RPM conforme al esfuerzo manual del operario. - Instalación más sencilla. - Vida útil elevada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede transmitir mayores RPM al eje. - Permite acoplar un motor que es lo que solicitaron de los beneficiarios. - No existe fatiga del operario por accionamiento de la máquina. - Vida útil relativamente alta.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Permite al eje girar a bajas RPM. - Después de periodos prolongados de trabajo puede generar fatiga al usuario. 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalación requiere de selección de poleas y correas.

Desfibrado

Para solventar la necesidad de desfibrado de láminas de bambú se presentan las alternativas de la tabla 2.8.


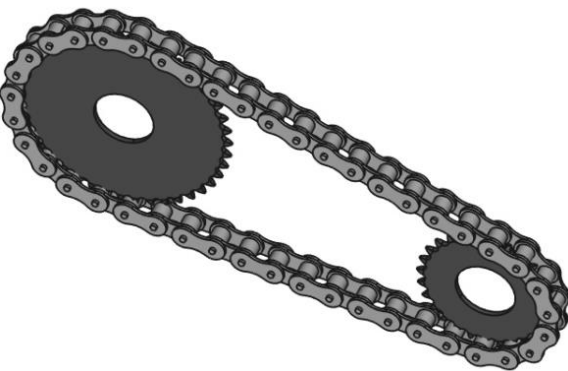
Tabla 2.8. Características de los elementos para desfibrado del módulo 2

	Alternativa A	Alternativa B
Esquema		
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Regula mejor el tamaño de la fibra de salida. - Fácil mantenimiento. - Corte por aplastamiento. - Mayor durabilidad. - Velocidad de desfibrado suficiente para producción minoritaria. - Se puede obtener variabilidad de espesores de fibra en función de los canales del rodillo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Corte inmediato. - Menor cantidad de residuos atrapados [12].
Desventaja	<ul style="list-style-type: none"> - Se pueden atascar mayor parte de residuos. - Complejidad para generar ranuras. 	<ul style="list-style-type: none"> - Complejidad de construcción por generar las minicuchillas. - Mantenimiento complejo. - Desfibrado discontinuo [12].

Transmisión de potencia

Para solventar la necesidad de transmitir la potencia desde el motor hacia los ejes de rotación se presentan las alternativas de la tabla 2.9.

Tabla 2.9. Características de la transmisión para el módulo 2

	Alternativa A	Alternativa B
Esquema		
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Funcionamiento silencioso [12]. - Facilidad acoplamiento - Diseño y selección sencilla. - Bajo costo. - No requiere lubricación [12]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vida útil elevada. - Relación de transmisión continua. - Transmiten grandes cargas [17].
Desventaja	<ul style="list-style-type: none"> - Vida útil baja en comparación con la cadena. - Requiere pretensado. - Transmisión limitada de cargas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Más costoso - Requiere lubricación frecuente. - Eficiencia baja si no existe lubricación. - Mantenimiento más frecuente. - Transmite ruido y vibraciones [17].

Al agrupar las opciones obtenidas para cada necesidad se obtiene alternativas generales para este módulo, estas se muestran en la figura 2.6.

Alternativas para el módulo 2:

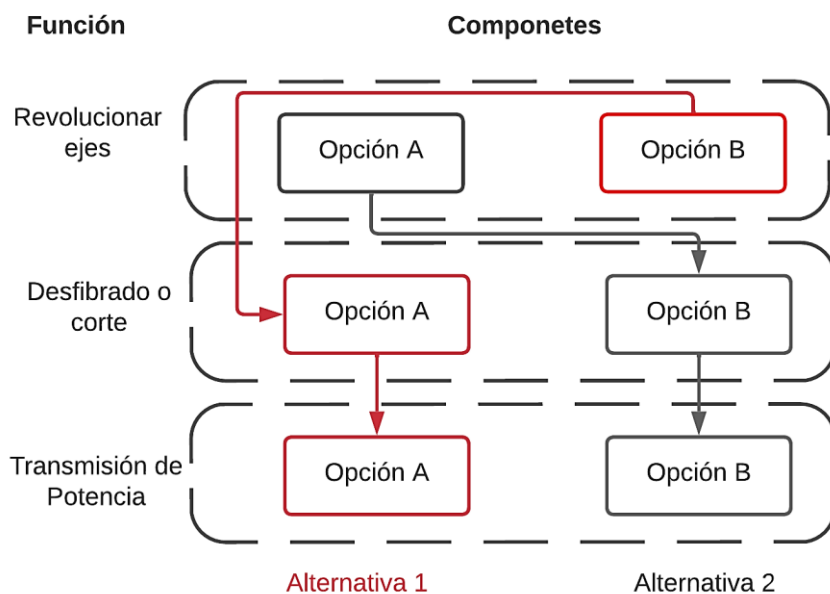


Figura 2.5. Alternativas para el módulo 2

Evaluación de alternativas:

Esto se realiza con base en el criterio de índices ponderados, como se muestra en la tabla 2.10. Los criterios evaluados para esta necesidad fueron:

- Costo: Que tenga una buena relación costo-beneficio.
- Facilidad de construcción: Que los procesos de manufactura sean accesibles para obtener el mecanismo.
- Mantenimiento fácil: Que tenga un mantenimiento simple, con materiales del mercado nacional en el caso de reemplazar piezas.
- Fiabilidad: Que cumpla con el desfibrado lo más uniforme posible y sin generar muchos desperdicios.
- Estabilidad: Que brinde estabilidad a la máquina en conjunto

Tabla 2.10. Evaluación de criterios para el módulo 2.

	Costo	Facilidad de construcción	Mantenimiento	Fiabilidad	Estabilidad	Σ + 1	Ponderado
Costo	-	1,0	1,0	0,0	1,0	4,0	0,27
Facilidad de construcción	0,0	-	0,0	0,0	0,5	1,5	0,10
Mantenimiento	0,0	1,0	-	0,0	0,0	2,0	0,13
Fiabilidad	1,0	1,0	1,0	-	1,0	5,0	0,33
Estabilidad	0,0	0,5	1,0	0,0	-	2,5	0,17
						Σ	15,0
Fiabilidad > Costo > Estabilidad > Mantenimiento > Facilidad de Construcción							1,00

El análisis para cada alternativa se adjunta como Anexo III y la conclusión para el módulo 2 es mostrada en la tabla 2.11.

Tabla 2.11. Evaluación de criterios para el módulo 2.

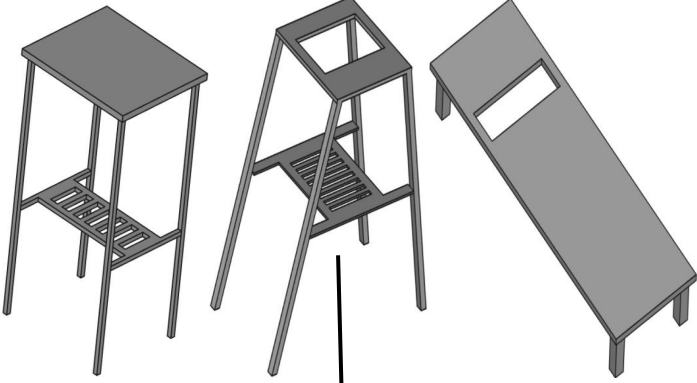
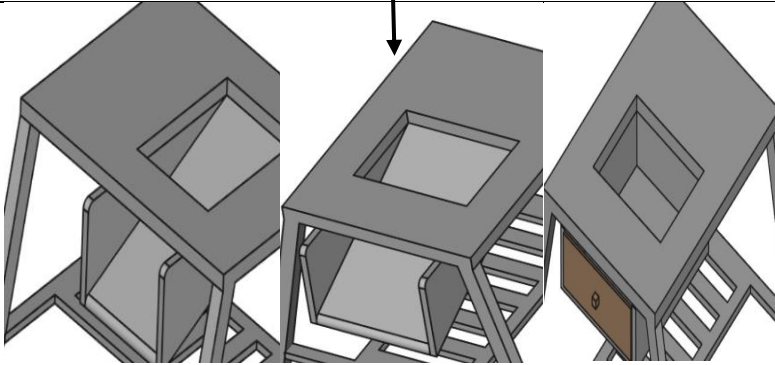
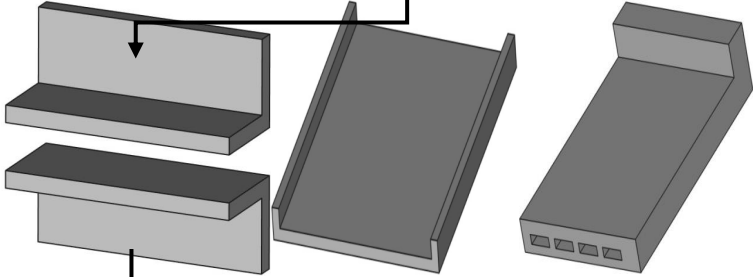
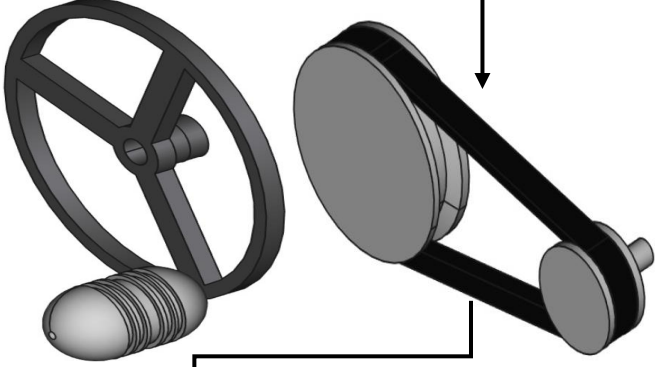
	Costo	Facilidad de construcción	Mantenimiento	Fiabilidad	Estabilidad	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,27×0,67	0,1×0,50	0,13×0,67	0,33×0,67	0,17×0,5	0,624	1
Alternativa 2	0,27×0,33	0,1×0,50	0,13×0,33	0,33×0,33	0,17×0,5	0,376	2
Alternativa 1 > Alternativa 2							

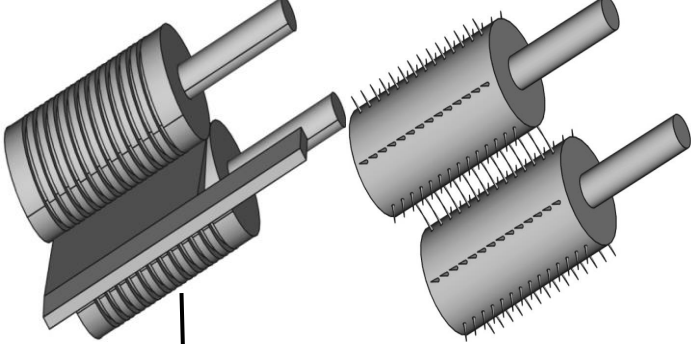
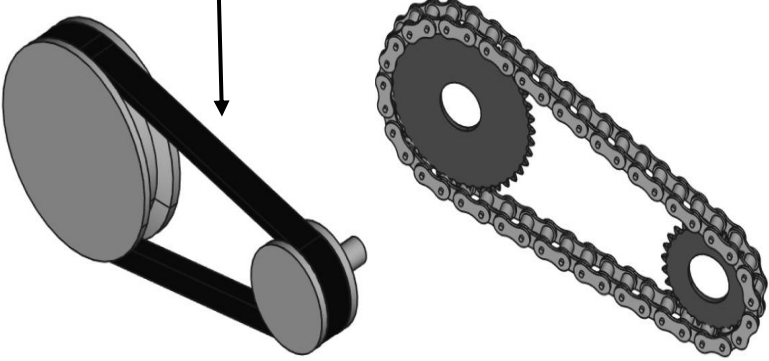
En la tabla 2.11 se puede observar que la mejor opción sería la alternativa 1.

2.3.3. Matriz morfológica:

Es una representación ordenada de la selección de alternativas que se realizó con base en el criterio de índices ponderados, de cada módulo, para obtener el diseño conceptual de la máquina desfibradora de bambú, como se presenta en la tabla 2.12.

Tabla 2.12. Matriz morfológica de la desfibradora de bambú

Función	Alternativas de diseño
Estructura.	
Eliminación de Residuos.	
Direccionar fibras de bambú.	
Revolucionar los ejes.	

Desfibrado o corte.	
Transmisión de Potencia.	

Con este análisis de la tabla 2.12, se pudo obtener el diseño conceptual mostrado en la figura 2.6.

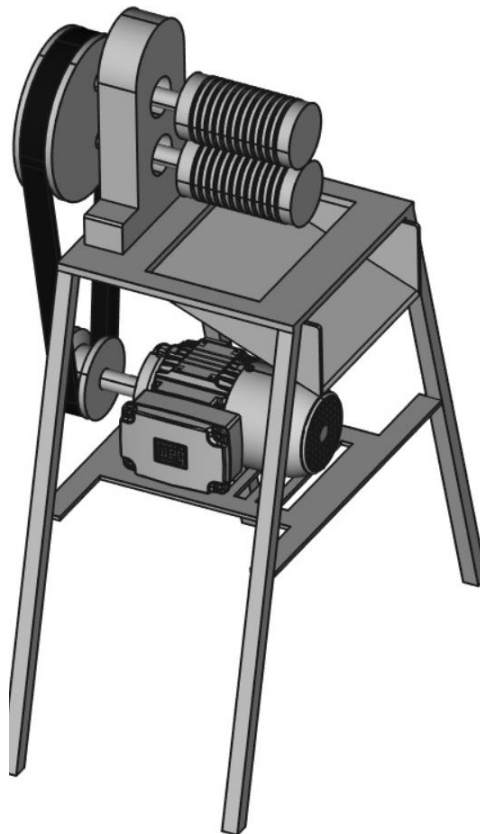


Figura 2.6. Diseño conceptual de desfibradora de bambú

2.4. Diseño a detalle

Cálculos

2.4.1. Análisis de rendimiento requerido

Con base en lo expresado en la casa de la calidad, se requiere un rendimiento de aproximadamente 3 culmos por hora.

Estos culmos deben ser procesados para generar láminas para desfibrado; estas láminas tienen un espesor aproximado de 4-6 mm y 3 m de largo. El número de fibras que generará se puede obtener con el siguiente análisis. Según [18], las dimensiones del culmo de bambú en el caso de la altura son de entre 18-30 m, diámetros entre 8-18 cm, espesores de hasta 2,0 cm en el medio y 1,5 cm hacia los extremos. En la figura 2.7 se muestra una representación simplificada del culmo para el cálculo de su volumen, ya que este tiene algunas secciones variables.

Calculando su volumen aproximado:

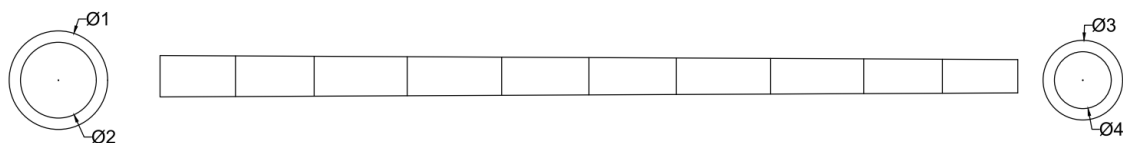


Figura 2.7. Representación simplificada del culmo de bambú

Donde para los cálculos se toman los siguientes valores con base en los rangos previamente mencionados, siendo:

Diámetros:

En la mitad

$$\phi_1 = 0,120 \text{ m}$$

$$\phi_2 = 0,106 \text{ m}$$

En los extremos

$$\phi_3 = 0,092 \text{ m}$$

$$\phi_4 = 0,080 \text{ m}$$

Altura promedio de bambú h_b :

$$h_b = 24 \text{ m}$$

Volumen aproximado del bambú V_b :

$$V_b = A_{b(mid)} \times h_{b/2} + A_{b(ext)} \times h_{b/2} \quad (1)$$

Donde:

$A_{b(mid)}$ Área del bambú en la mitad m^2 .

$A_{b(ext)}$ Área del bambú en los extremos m^2 .

$h_{b/2}$ Altura media promedio m .

$\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$ en (1)

$$V_b = \pi \times \frac{\phi_1^2 - \phi_2^2}{4} \times 12 + \pi \times \frac{\phi_3^2 - \phi_4^2}{4} \times 12$$

$$V_b = 0,049 m^3$$

Este volumen aproximado es muy próximo al de [19] el cual tiene un volumen macizo de fibra de $0,05 m^3$ por culmo de guadua lo cual ratifica su uso en el resto de los cálculos.

Las láminas para desfibrado que generalmente usan los productores son de aproximadamente de $0,02 \times 0,005 \times 6,00 m$ como se muestra en la figura 2.8 con lo que se tendría un total de 83 láminas aproximadamente por cada tallo de bambú. Por lo tanto, para 3 culmos por hora se requeriría un rendimiento de 246 láminas/h.



Figura 2.8. Láminas de bambú par ingreso a máquina.

2.4.2. Selección del motor

Para seleccionar el motor se requiere conocer la fuerza de corte de láminas de bambú y para calcularla, se utilizará el valor del esfuerzo cortante obtenido de [20], el cual es de $\tau_{ult} = 3.08 Mpa$ para la especie *guadua angustifolia*, que es la que mayormente se utilizará en la máquina. Para encontrar la fuerza de corte se procede con la ecuación 2 de esfuerzo cortante:

$$\tau_{ult} = \frac{F_{corte}}{A}$$

$$F_{corte} = A \times \tau_{ult} \quad (2)$$

Donde:

F_{corte} Fuerza requerida para realizar un corte al culmo N.

τ_{ult} es el esfuerzo cortante admisible del material Pa.

A es el área de la sección de corte m^2 .

El área de la sección de corte es la presentada por la cuchilla de la máquina de bambú y es equivalente a $0,0174 \times 0,005$ m como se puede apreciar en la figura 2.9.

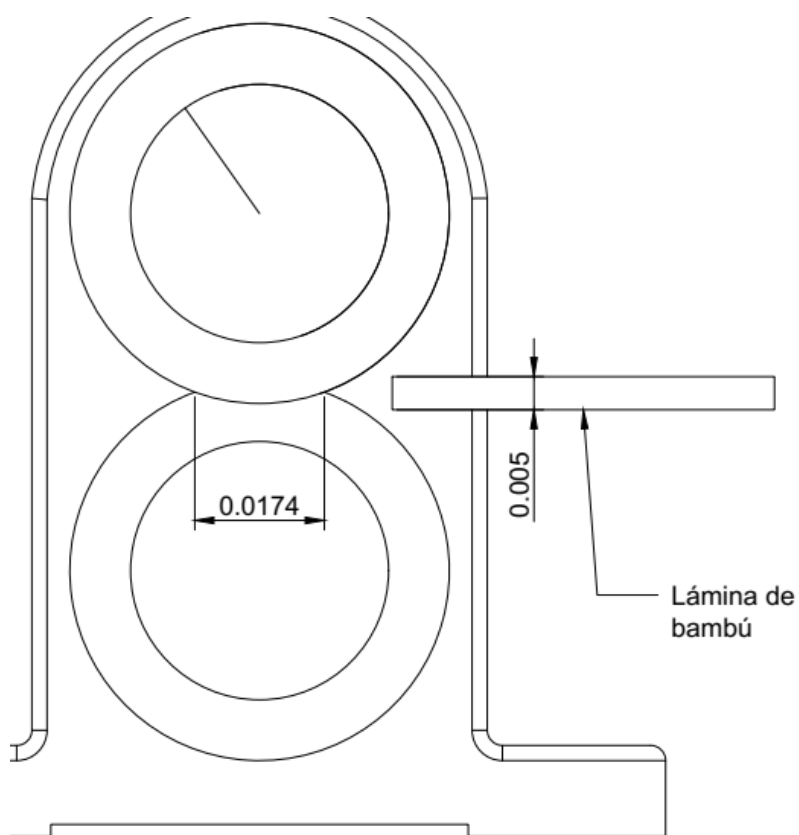


Figura 2.9. Sección resistente de la lámina de bambú.

A y τ_{ult} en (2)

$$F_{corte} = 267,96 \text{ N}$$

Con esta fuerza se puede encontrar el torque con la ecuación (3):

$$T = F \times r \quad (3)$$

Donde:

T Torque requerido Nm.

F Fuerza de corte N.

r Radio efectivo de la cuchilla valor es de 0,025 m.

F y r en (3)

$$T = 40,19 Nm$$

Con base en el rendimiento, se necesitaría desfibrar 246 láminas/h, se asigna que cada giro del eje sería una revolución; y, esta sería equivalente a su perímetro desplazado.

El perímetro del eje desfibrador viene dado por la ecuación (4).

$$perim = 2\pi r \quad (4)$$

Reemplazando r en (4)

$$perim = 0,157 m$$

Por ello, para una lámina de aproximadamente 6 m, se requeriría 38,22 revoluciones, entonces para 246 láminas por hora, se requerirían unas revoluciones de salida w_{sal} de:

$$w_{sal} = 38,22 \text{ rev/lámina} \times 246 \text{ láminas/hora}$$

$$w_{sal} = 9\,401,27 \text{ rev/h}$$

Lo cual equivaldría a

$$w_{sal} = \frac{9\,401,27 \text{ rev/h}}{\frac{3\,600 \text{ s}}{1 \text{ h}}}$$

$$w_{sal} = 2,61 \text{ rev/s}$$

En radianes:

$$w_{sal} = 16,4 \text{ rad/s}$$

En RPM

$$w_{sal} = 157 \text{ RPM}$$

Entonces, la potencia requerida en HP viene dada por la ecuación (5):

$$P_1 = \frac{T \times w}{745} \quad (5)$$

Reemplazando T y w_{sal} en rad/s en (5)

$$P_1 = 0,89 \text{ HP}$$

La potencia de diseño viene dada por la ecuación

$$P_{diseño} = P_1 \times f_s \quad (6)$$

Donde:

$P_{diseño}$ Potencia de diseño de la desfibradora HP.

f_s Factor de seguridad adimensional.

Para garantizar el funcionamiento se elige un factor de 1,1.

Reemplazando P_1 y f_s en (6)

$$P_{diseño} = 0,97 \cong 1 \text{ HP}$$

Con estos datos se elige el motor comercial WEG de 1 HP trifásico W22 IE2 que trabaja con 220 a 440 V, con una velocidad de salida de 1 750 RPM, lo cual satisface las necesidades de la máquina.

2.4.3. Selección de correas

Para esta sección los cálculos serán realizados de una forma técnica utilizando el catálogo para correas Dunlop, por lo tanto, las fórmulas utilizadas serán adoptadas de [21]. Inicialmente se requiere corregir la potencia de diseño con el factor de servicio especificado en el catálogo como se muestra en el Anexo IV-figura IV.1 con la ecuación 7.

$$P_{corr} = P_{diseño} \times f_{serv} \quad (7)$$

Donde:

P_{corr} Potencia corregida HP.

Reemplazando $P_{diseño}$ y f_{serv} en (7)

$$P_{corr} = 1 \times 1 = 1 \text{ HP}$$

Para la selección del tipo de correa se utiliza la velocidad angular de salida del motor seleccionado $w_{sm} = 1750 \text{ RPM}$ y la potencia corregida como se muestra en la Anexo IV-figura IV.2, seleccionando la correa Z con las dimensiones mostradas en la figura 2.10.

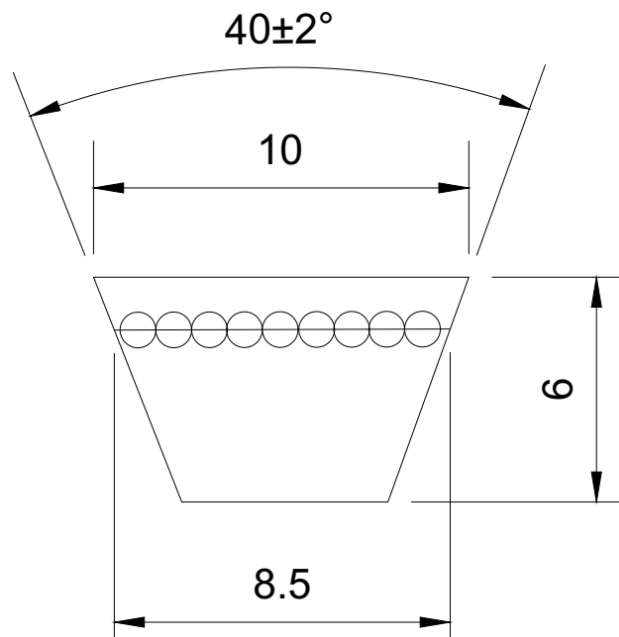


Figura 2.10. Dimensiones de correa tipo Z en mm.

- **Selección de las poleas**

Para evitar incurrir en un gasto mayor se utilizará una configuración de poleas con distintos diámetros para generar una reducción de la velocidad angular de salida. Como se puede apreciar en la figura 2.11.

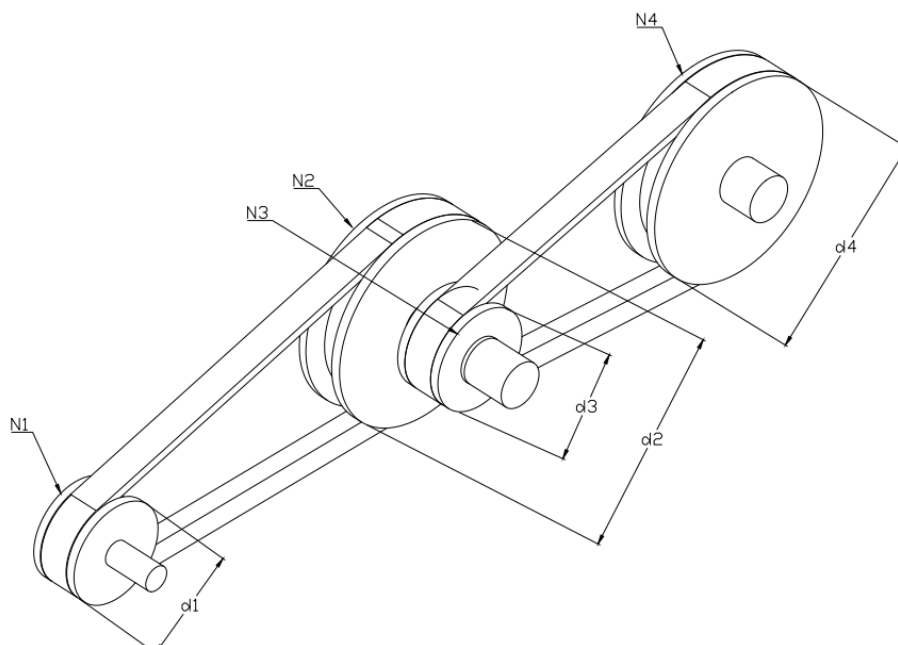


Figura 2.11. Sistema de transmisión de potencia con poleas.

Del motor se tiene una velocidad de salida de:

$$w_{sm} = w_1 = 1\,750 \text{ RPM} = N_1$$

Con base en el rendimiento requerido se necesita una velocidad angular de salida de 157 RPM, con este valor se aproximará a 157,5 RPM para mejorar la configuración de poleas. Por lo tanto:

$$N_4 = 157,5 \text{ RPM}$$

Del catálogo de poleas de [21] y, con base en las normas BS 3790, las poleas recomendables para correas tipo Z para generar la transmisión son mostradas en el Anexo IV-figura IV.3, de donde se obtienen los siguientes valores:

$$d_1 = 75 \text{ mm}$$

$$d_2 = 250 \text{ mm}$$

$$d_3 = 75 \text{ mm}$$

Por lo que, para obtener las RPM necesarias para el cálculo de correas se utilizará la ecuación (8).

$$d_M N_M = d_m N_m \tag{8}$$

Donde:

d_M Diámetro de la polea mayor mm.

d_m Diámetro de la polea menor mm.

N_M Velocidad angular de la polea mayor RPM.

N_m Velocidad angular de la polea menor RPM.

Reemplazando d_2, N_1, d_2 en (8)

$$N_2 = 525 \text{ RPM}$$

N_2 actúa sobre el eje que está la polea 3, por lo tanto:

$$N_2 = N_3$$

Reemplazando d_3, N_3, N_4 en (8)

$$d_4 = 250 \text{ mm}$$

Con lo que se tiene la relación de transmisión presentada en la figura 2.12.

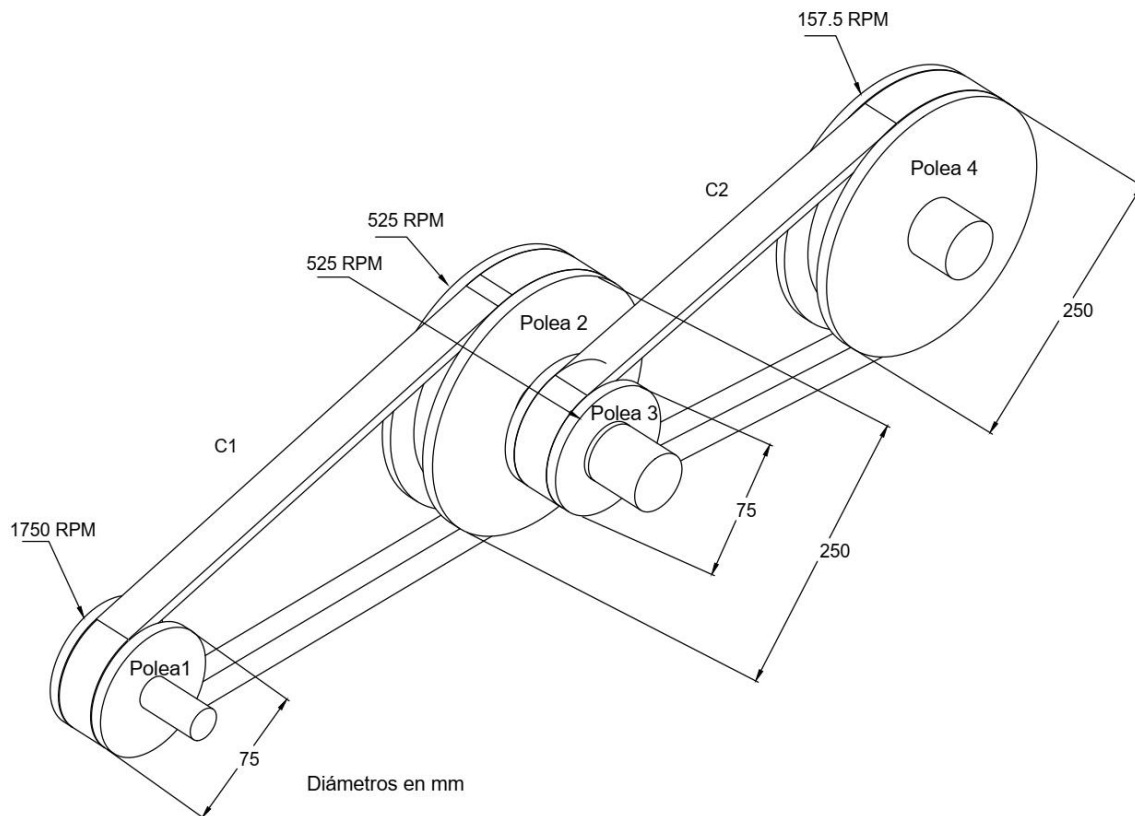


Figura 2.12. Sistema de transmisión con datos.

- **Relaciones de transmisión:**

Siendo C1 la primera correa, con una relación de transmisión K_{C1} dada por la ecuación (9) proveniente de [21]:

$$K = \frac{N_m}{N_M} \quad (9)$$

Reemplazando N_1 y N_2 en 9:

$$K_{C1} = 3,33$$

Para la correa 2, se reemplaza N_3 y N_4 en 9:

$$K_{C2} = 3,33$$

- **Verificación de distancia entre ejes:**

Según [21], el valor referencial l sirve para saber la distancia mínima a la que deben colocarse los ejes y viene dada por la ecuación (10).

$$l \geq \frac{(K + 1)d_m}{2} + d_m \quad (10)$$

Para la primera correa:

Reemplazando K_{C1} , d_m en (10)

$$l \geq 237,5 \text{ mm}$$

Dicho valor se cumplirá también para la segunda correa, ya que la polea menor es del mismo diámetro.

Por lo que la primera distancia será de: $l = 350 \text{ mm}$ para cada caso.

- **Longitud primitiva de la correa:**

Esta se obtiene con la fórmula de [21] representada como ecuación (11).

$$L = 2l + 1,57(d_M + d_m) + \frac{(d_M - d_m)^2}{4l} \quad (11)$$

Para ambas correas:

Reemplazando l , $d_m = d_1$, $d_M = d_2$ en (11)

$$L_{C1} = 1\,232,13 \text{ mm}$$

Por lo que, con base en el Anexo IV-figura IV.4, se elige una correa de sección Z-48 con $L_p = 1\,244 \text{ mm}$.

- **Factor de corrección de longitud:**

Para ambas correas Z-48 se encuentra en el Anexo IV-figura IV.5 $f_{cl_1} = 0,90$.

- **Distancia entre ejes**

La distancia entre ejes l según [21] se calcula para ratificar la distancia propuesta y viene dada por la ecuación (12):

$$l = A + \sqrt{A^2 - B} \quad (12)$$

Donde el factor A es determinado por la ecuación (13):

$$A = \frac{L_p}{4} - 0,3935(d_M + d_m) \quad (13)$$

Y el factor B es determinado por la ecuación (14):

$$B = \frac{(d_M - d_m)^2}{8} \quad (14)$$

Para ambas correas:

Reemplazando L_p , d_M y d_m en (13)

$$A = 183,11$$

Reemplazando d_M y d_m en (14)

$$B = 3\,828,13$$

A y B en (12)

$$l = 355,55 \cong 356 \text{ mm}$$

- **Determinación del arco de contacto:**

Según [21], el arco de contacto \tilde{N} se obtiene con la fórmula (15):

$$\tilde{N} = 180 - 57 \frac{d_M - d_m}{l} \quad (15)$$

Para ambas correas:

Reemplazando d_M y d_m en (15)

$$\tilde{N}_{C1} = 151,98^\circ$$

- **Factor de corrección del arco de contacto:**

Este ayuda en el cálculo de la potencia efectiva de la correa y se encuentra en el Anexo IV-figura IV.6.

Para ambas correas con un $\tilde{N} = 154^\circ$ se encuentra un factor de corrección de:

- **Velocidad de la correa:**

Es obtenida con la ayuda de la fórmula planteada por [21] como ecuación (16).

$$V = \frac{\pi \times d_m \times N_m}{60 \times 1\,000} \quad (16)$$

Para ambas correa:

Reemplazando d_m y N_m en (16)

$$V_{C1} = 6,87 \text{ m/s}$$

- **Prestación base:**

Este valor ayuda a encontrar la potencia efectiva de la correa y se mide en HP con ayuda de la ecuación (17) y los valores del Anexo IV-figura IV.7.

$$P_{bk} = P_b + P_{ad} \quad (17)$$

Donde para ambas correas se tendrá un valor de prestación base $P_b = 1,02 \text{ HP}$ y una prestación adicional por relación de transmisión de $P_{ad} = 0,11 \text{ HP}$ seleccionados en la figura IV.7.

Reemplazando P_b y P_{ad} en (17)

$$P_{bk} = 1,13 \text{ HP}$$

- **Potencia efectiva por correa:**

Se utiliza la ecuación (18) proveniente de [21].

$$P_e = P_{bk} \times f_{cl} \times f_{c_{\bar{N}}} \quad (18)$$

Para ambas correas reemplazando P_{bk} , f_{cl} y $f_{c_{\bar{N}}}$ en (19)

$$P_e = 0,95 \text{ HP}$$

- **Cantidad de correas:**

Se utiliza la ecuación (19).

$$C_c = \frac{P_{corr}}{P_e} \quad (19)$$

Para ambas correas:

Reemplazando P_{corr} y P_e en (20)

$$C_c = 1,05$$

$$C_c = 1 \text{ correa}$$

- **Ajuste de la distancia entre centros:**

Para compensar el asentamiento de las correas en canales y su estiramiento, con base en el Anexo IV-figura IV.8, se encuentra que el desplazamiento mínimo para montaje a es de 15 mm y un desplazamiento mínimo tensor b de 25 mm, como se muestra en la figura 2.13 para ambas correas

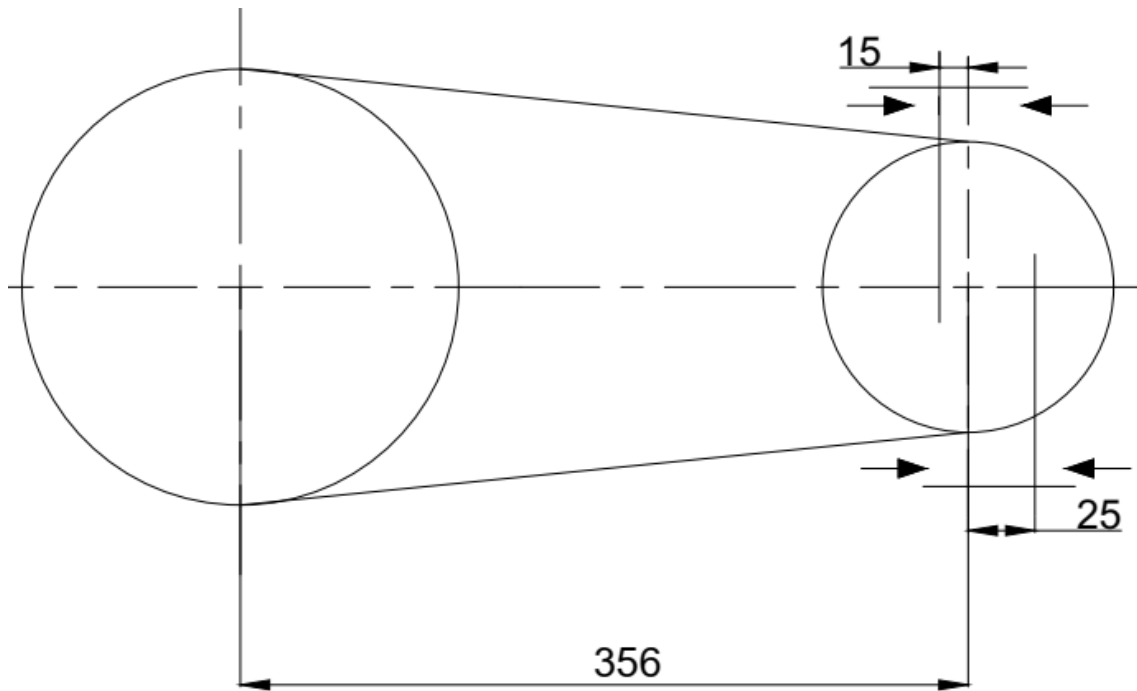


Figura 2.13. Desplazamientos para montaje y tensión de correa en mm.

- Tensado de correas según BS-3790 [21]:

Deflexión de la correa:

Se procede a la medición del tramo L_s con la ecuación (20):

$$L_s = l \left[1 - 0,125 \left(\frac{d_M - d_m}{l} \right)^2 \right] \quad (20)$$

Para ambas correas:

Reemplazando l , d_M y d_m en (21)

$$L_{sC1} = 345,25 \text{ mm}$$

Existen dos condiciones de deflexión donde se asigna un valor de 0,02 mm por milímetro de longitud, en el caso de que L_s sea de 500 mm o menor y en el caso que supere el mencionado valor se asigna 0,01 mm por milímetro de longitud.

Por lo tanto, deflexión para ambos casos sería de 0,2 mm dado que no superan los 500 mm.

Fuerza de deflexión de la correa:

Utilizando el Anexo IV-figura IV.7 se encuentra que la fuerza de tensión para instalación de la correa oscilaría entre 16 y 24 N, como se muestra en la figura 2.14.

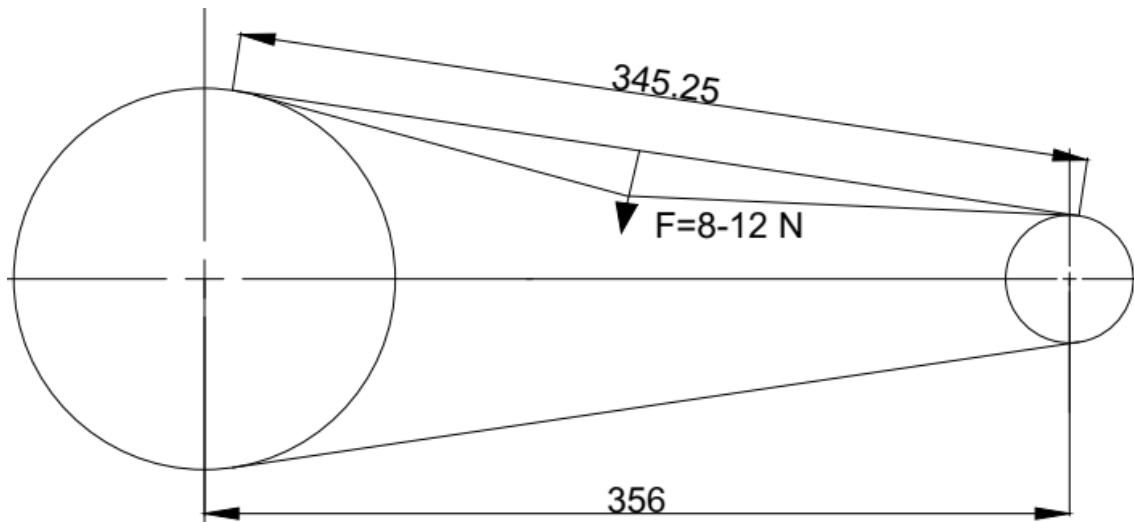


Figura 2.14. Fuerza necesaria para la flexión de las correas en mm.

- **Resumen de la selección**

Se presenta para ambas correas en la tabla 2.13.

Tabla 2.13. Características de ambas correas

Características de las correa	
Tipo	Z-48
Longitud Primitiva de la correa (L_p)	1 244 mm
Distancia entre Ejes (l)	356 mm
Velocidad de la correa (V)	6,28 m/s
Cantidad de correas (Cc)	1 u
Fuerza de tensión (F)	8-12 N

2.4.4. Cálculos de los ejes

El material que va a ser utilizado para garantizar que no existan problemas de corrosión por el culmo del bambú que tiene un porcentaje de agua considerable, es el acero inoxidable AISI 304.

Se proponen 3 ejes de transmisión de potencia (figura 2.15), para realizar el trabajo de desfibrado con el rendimiento requerido de los beneficiarios. Para cumplir esto, el primer eje debe recibir una $N_4 = 157,5 \text{ RPM}$ lo cual se obtiene con el sistema de transmisión mostrado en la figura 2.11 y La propuesta de los elementos acoplados en los distintos ejes como rodamientos, poleas, engranajes se presenta en la figura 2.16 y estos elementos generarán cargas con base en el torque suministrado, esto será analizado para elegir la mejor geometría que brinde seguridad y funcionalidad al momento de trabajar.

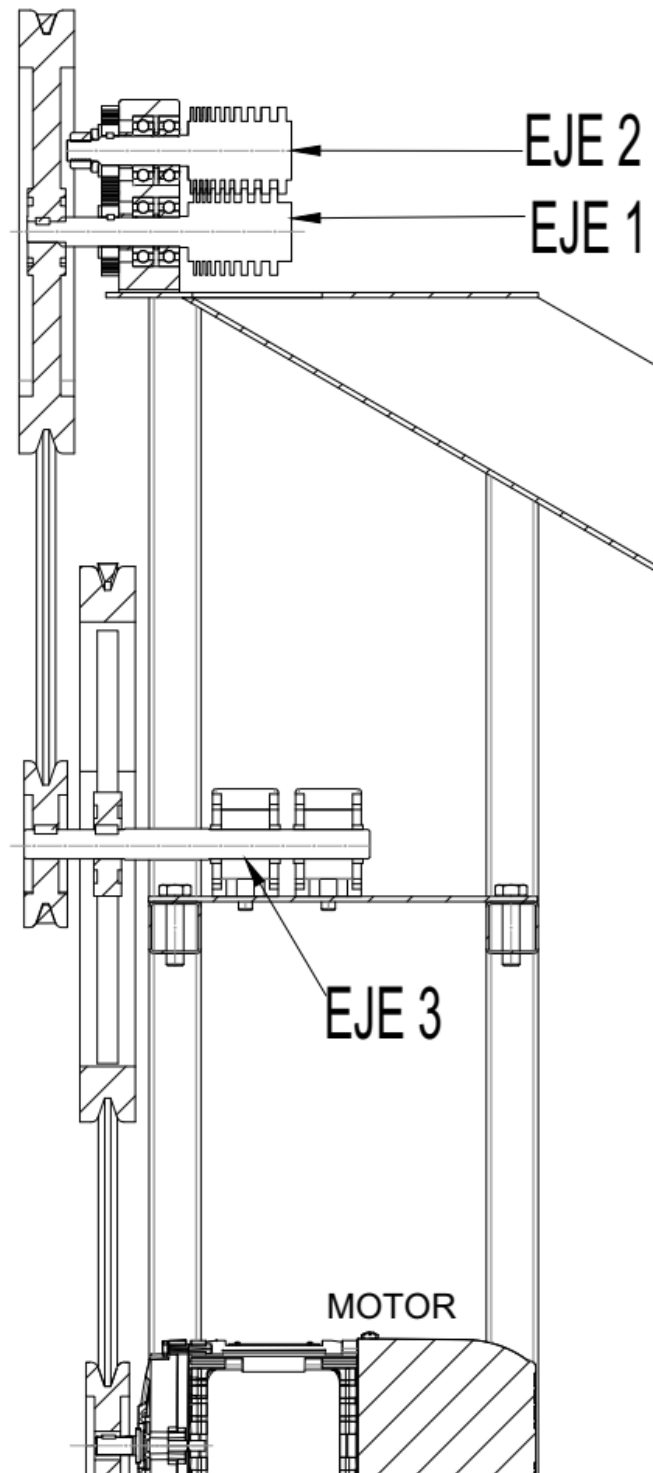


Figura 2.15. Ejes por analizar

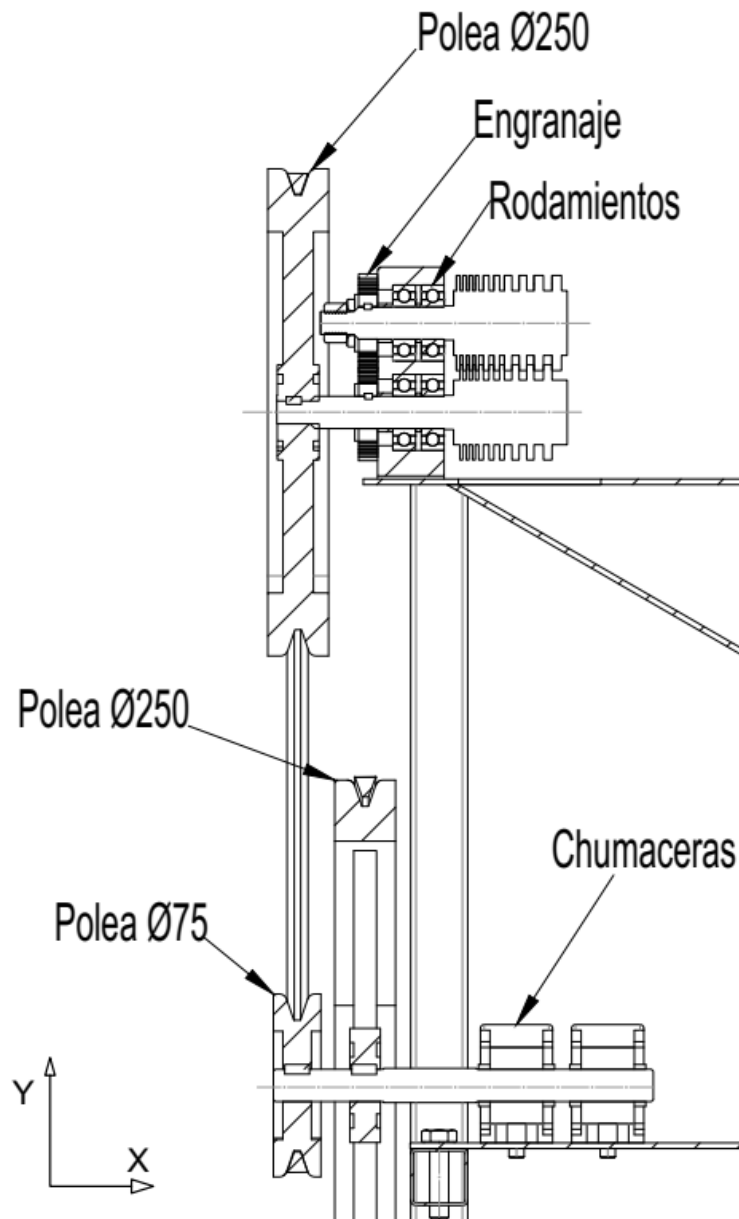


Figura 2.16. Ejes con elementos que generarán cargas (Diámetro de poleas en mm).

Los elementos que se acoplan a los distintos ejes generan cargas y estas se calculan con base en el torque generado por el motor. Para hallar el valor del toque que reciben los distintos ejes, se utiliza la ecuación (21) proveniente de [22].

$$T_n = \frac{P_{dis} \times 716}{N_{motor}} \quad (21)$$

Donde:

T_n Toque que soporta el eje $kg \times m$.

P_{dis} Potencia de diseño HP.

N_{motor} Revoluciones por minuto a las que gira el eje RPM.

Para el Eje 1:

$$N_4 = 157,5 \text{ RPM}$$

Reemplazando los valores en (21)

$$T_1 = 4,55 \text{ kg} \times m = 44,58 \text{ Nm}$$

Para el Eje 2:

$$N_4 = 157,5 \text{ RPM}$$

$$T_2 = 4,55 \text{ kg} \times m = 44,58 \text{ Nm}$$

Para el Eje 3:

$$N_2 = 525 \text{ RPM}$$

$$T_3 = 1,36 \text{ kg} \times m = 13,37 \text{ Nm}$$

Con estos datos se realizará la distribución correspondiente de fuerzas en los distintos ejes, además, se debe tomar en cuenta que para este análisis se desprecia las fuerzas generadas por el peso de elementos acoplados al eje ya que son demasiado bajas en comparación a las fuerzas generadas por el corte o por el toque que sufre cada eje. Los siguientes diagramas de fuerza cortante y momento flector se obtuvieron con ayuda del software de código abierto MDSolids.

Análisis del eje 1:

A partir de las interacciones de los elementos de los ejes 1 y 2 representados en la figura 2.15 y considerando que se ingresa una lámina de bambú en la máquina, se obtiene el análisis de fuerzas mostrado en la figura 2.17.

Donde:

F_p Fuerza generada por la polea N.

W_t Fuerza tangencial generada por el contacto de engranajes N.

W_r Fuerza radial generada por el contacto de engranajes N.

F_1, F_2 y F_3 Fuerzas generadas por los rodamientos N.

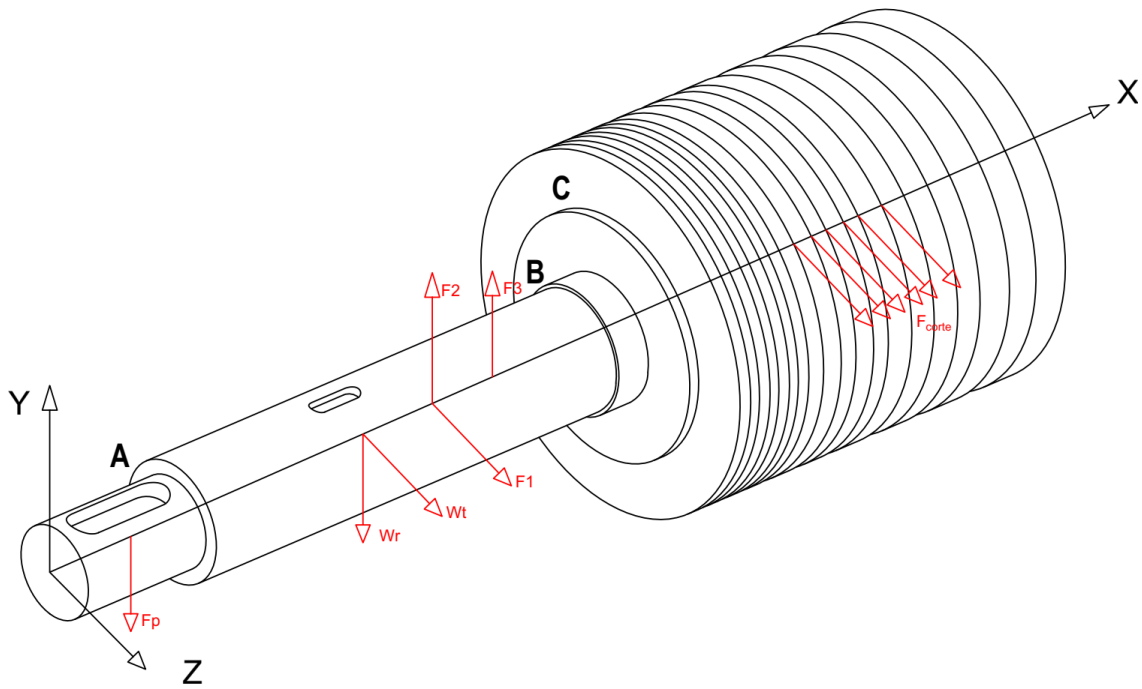


Figura 2.17. Fuerzas que actúan en el eje 1.

Para encontrar los valores de la fuerza que se genera en la polea de 250 mm se utiliza la ecuación 22 de [23].

$$F_p = \frac{1,5 \times T_n}{\frac{D_{pl}}{2}} \quad (22)$$

Donde:

D_{pl} Diámetro de la polea m.

Reemplazando D_{pl1} y T_1 en (22)

$$F_{p1} = 534,98 \text{ N}$$

Para encontrar los valores de las fuerzas tangencial y radial que se generan en el engranaje se utiliza las ecuaciones 23 y 24 provenientes de [23].

$$W_t = \frac{T_n}{\frac{D_{pl}}{2}} \quad (23)$$

$$W_r = W_t \times \tan \phi \quad (24)$$

Donde:

ϕ Ángulo de presión del engranaje °.

Reemplazando D_{pl1} y T_1 en (23)

$$W_t = 356,65 \text{ N}$$

Reemplazando ϕ en (24)

$$W_r = 129,81 \text{ N}$$

Con dichos valores se tiene los siguientes diagramas de las figuras 2.18 y 2.19:

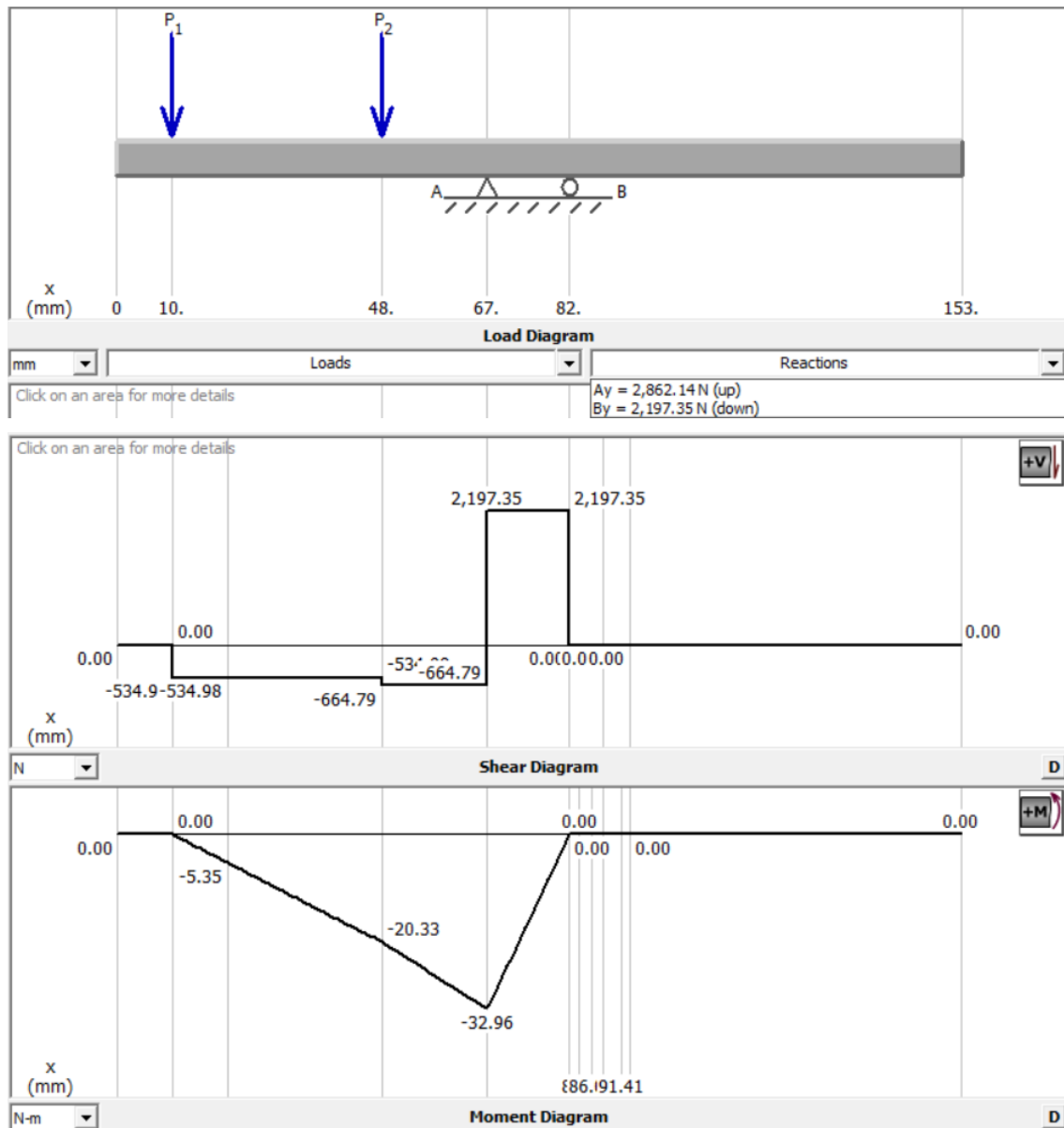


Figura 2.18. Análisis de fuerza cortante y momento del eje 1 en el plano XY.

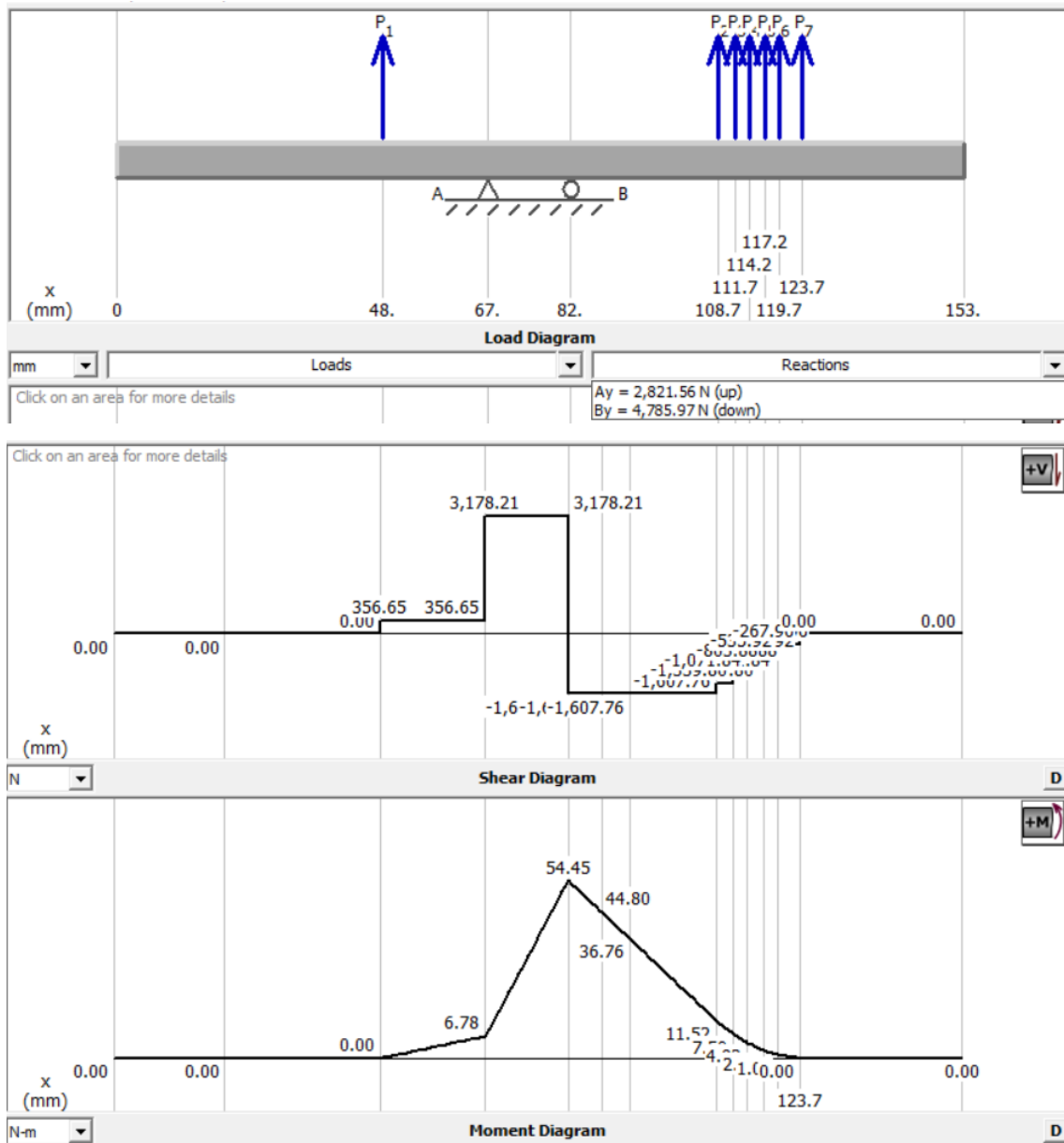


Figura 2.19. Análisis de fuerza cortante y momento del eje 1 en el plano XZ.

De las figuras 2.18 y 2.19 se obtienen los momentos en los concentradores de esfuerzos, representados en la siguiente tabla:

Tabla 2.14. Valores de Momento en puntos de interés.

Punto	Momento Nm
A	$M_A = 5,35$
B	$M_B = 44,80$
C	$M_C = 36,76$

- Análisis de puntos críticos:

Punto A

Este cambio de sección de generado por la variación de diámetros propuestos puede generar concentradores de esfuerzos que posiblemente desencadenen una falla en el eje, por lo tanto, se requiere calcular el diámetro mínimo con el cual debe ser diseñado el eje que viene dado por la ecuación (25). Esta ecuación y el resto de ecuaciones subsecuentes provienen de [22]:

$$d = \left[\frac{16n}{\pi} \left(\frac{2k_f M_a}{S_e} + \frac{(3k_{fs} T_n)^{\frac{1}{2}}}{S_{ut}} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \quad (25)$$

Donde:

- d Diámetro mínimo del eje en m.
- M Momento flector máximo aplicado en el punto de interés Nm.
- n Factor de seguridad propuesto.
- k_t Factor de concentración de esfuerzos en tensión.
- k_{ts} Factor de concentración de esfuerzos en torsión.

- Análisis de fatiga

Para obtener los valores de k_t y k_{ts} se utilizan las gráficas del Anexo V, figura V.2 y figura V.3.

Donde:

- D Diámetro mayor del cambio de sección del eje en m.
- r Radio de la muesca, el propuesto $r = 0,2$ mm.

Para este cambio de sección:

$$D = 17 \text{ mm}$$

$$d = 13 \text{ mm}$$

Entonces según [22]:

$$\frac{D}{d} = 1,31$$

$$\frac{r}{d} = 0,15$$

Con lo que, de los Anexos V, figura V.2 y figura V.3 se obtiene:

$$k_t = 1,5$$

$$k_{ts} = 1,35$$

Además, con el S_{ut} del material propuesto y r se obtiene los valores de sensibilidad de la muesca en tensión q y cortante $q_{cortante}$ de las gráficas del Anexo V, figura V.4 y figura V.5.

Obteniendo:

$$q = 0,78$$

$$q_{cortante} = 0,8$$

Con estos coeficientes y las ecuaciones (26) y (27) provenientes de [22] se obtienen los factores k_f y k_{ftor} .

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad (26)$$

$$k_{ftor} = 1 + q_{cortante}(k_{ts} - 1) \quad (27)$$

Reemplazando k_t , k_{ts} , q y $q_{cortante}$ en las ecuaciones se obtiene:

$$k_f = 1,39$$

$$k_{ftor} = 1,28$$

Además, según [22] para obtener el valor del diámetro mínimo del eje se requiere calcular la resistencia a la fatiga que viene dada por la ecuación (28).

$$S_e = k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_f \times S'_e \quad (28)$$

Donde:

S_e Resistencia a fatiga MPa.

S_{ut} Esfuerzo ultimo atracción MPa.

k_a Factor de acabado superficial.

k_b Factor de tamaño.

k_c Factor de carga.

k_d Factor de temperatura.

k_e Factor de confiabilidad.

k_{fv} Factor de efectos varios.

Para encontrar el valor de Se' se utiliza la ecuación (29), donde el valor del esfuerzo último viene dado por las propiedades del acero AISI 304 con un $S_{ut} = 568$ Mpa según [24].

$$Se' = 0,5 \times S_{ut} \quad (29)$$

Reemplazando S_{ut} en (29)

$$Se' = 0,5 \times 568 = 284 \text{ MPa}$$

Ya que el eje será maquinado, se requiere tomar en cuenta un factor de acabado superficial el cual se obtiene con la ecuación (30).

$$k_a = aS_{ut}^b \quad (30)$$

Donde

a y b son factores de acabado superficial Anexo V-figura V.6.

Reemplazando los valores:

$$k_a = 0,84$$

Para el cálculo de k_b se utiliza la ecuación (31) para diámetros $0,11 \leq d \leq 2,00$ in como se muestra en el Anexo V-figura V.7, para un diámetro de 17 mm:

$$k_b = 1,24 \times d^{-0,107} \quad (31)$$

Reemplazando d

$$k_b = 1,24 \times 0,017^{-0,107} = 0,92$$

Dado que el eje presenta cambios de sección de 13 hasta 35 mm, el k_b variaría desde 0,84 a 0,94 por lo que para el cálculo del eje 1 se utilizará un k_b promedio de 0,89.

Para el factor de carga se considera un valor de $k_c = 1$ por ser una carga a flexión [22] y para el factor de temperatura se establece un valor de $k_d = 1$ por trabajar a temperaturas menores de 450 °C [25].

Para la máquina se establece una confiabilidad de 95% por lo que el factor de confiabilidad es $k_{e\ 95\%} = 0,868$ (Anexo V-figura V.8). Además, el factor de efectos varios

se considera un factor de $k_{fv} = 1$ [22]. Finalmente, en la tabla 2.15 se puede apreciar un resumen de los factores seleccionados

Tabla 2.15. Valores encontrados para el cálculo de S_e

Factor	Valor
k_a	0,84
k_b	0,89
k_c	1,0
k_d	1,0
k_e	0,868
k_f	1,0

Reemplazando los factores y S_e' en la ecuación (28):

$$S_e = 184,46 \text{ MPa}$$

En el punto A se tiene un $M_A = 5,35 \text{ Nm}$ y el torque que soporta el eje 1 es de $T_1 = 44,72$ y con un factor de seguridad propuesto de $n = 1,5$ se puede calcular el diámetro mínimo del eje para este concentrador.

Reemplazando M_A , T_1 , S_e , n , k_{ftor} y k_{ftor} en la ecuación (25).

$$d = 9,25 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo propuesto para maquinarse en la sección A es de 13 mm, por lo tanto, aparentemente no tendría problemas de funcionamiento y presentaría factores de seguridad más elevados, para ratificar esto se realiza el cálculo de esfuerzos y análisis de fatiga para el diámetro propuesto.

- **Cálculo de esfuerzos:**

Según [22] se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_{flexion} = \frac{32M}{\pi d^3} \quad (32)$$

Donde:

$\sigma_{flexion}$ Esfuerzo aplicado al eje MPa.

d Diámetro propuesto de la sección 0,013 m.

Reemplazando M_A y d en (32)

$$\sigma_{flexion} = \frac{32(5,35)}{\pi(0,013)^3}$$

$$\sigma_{flexion} = 24,80 \text{ MPa}$$

El esfuerzo máximo y el mínimo son iguales dado que el eje se considera un trabajo cíclico por su rotación; por lo tanto, el esfuerzo medio sería de $\sigma_m = 0$.

$$\sigma_a = \sigma_{max} = 24,80 \text{ MPa}$$

Luego se procede a calcular el esfuerzo de torsión máximo con la ecuación (33).

$$\tau_{torsion} = \frac{16T_n}{\pi d^3} \quad (33)$$

Donde:

$\tau_{torsion}$ Esfuerzo de torsión aplicado al eje MPa.

Para el análisis se toma el torque máximo para de esta forma asegurar que el dimensionamiento del eje va a soportar las variaciones de torque correspondientes.

Según [22], el esfuerzo de torsión alternante que se ejerce al eje $\tau_a = 0 \text{ Pa}$, por lo tanto, el esfuerzo de torsión medio es igual al esfuerzo torsor máximo $\tau_m = \tau_{max}$.

Reemplazando T_1 y d en (33)

$$\tau_{max} = \tau_m = 103,67 \text{ MPa}$$

- Von-Misses

Según [22], se utilizan las ecuaciones 34 y 35 para encontrar los esfuerzos alternantes y medios de Von-Misses

$$\sigma'_m = \sqrt{\left[k_f \times \sigma_m + \frac{k_{ftor}}{1} \times \sigma_{axial} \right]^2 + 3[k_{ftor} \times \tau_m]^2} \quad (34)$$

$$\sigma'_a = \sqrt{\left[k_f \times \sigma_{max} + \frac{k_{ftor}}{0,85} \times \sigma_{axial} \right]^2 + 3[k_{ftor} \times \tau_a]^2} \quad (35)$$

Reemplazando k_f , k_{ftor} , σ_m , σ_{axial} , y τ_m en (34)

$$\sigma'_m = 229,83 \text{ MPa}$$

Reemplazando k_f , k_{ftor} , σ_a , σ_{axial} y τ_a en (35)

$$\sigma'_a = 34,48 \text{ MPa}$$

- **Factor de seguridad**

Para encontrar el factor de seguridad que produce el nuevo diámetro del eje se utiliza el criterio de Goodman representado en la ecuación 36:

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad (36)$$

Donde:

n Factor de seguridad.

Reemplazando σ'_a , σ'_m , S_e y S_{ut} en (36)

$$n = 1,69$$

Por lo tanto, el cambio de sección del punto A tiene un factor de seguridad suficiente para soportar cualquier ciclo de desfibrado, sin tener que elevar demasiado la masa del elemento. Además, se puede cambiar el material para reducir el valor del factor de seguridad.

Punto B

Realizando nuevamente el procedimiento previamente descrito se obtiene los siguientes valores:

- **Análisis de fatiga**

Tabla 2.16. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto B.

Análisis de Fatiga	
Coeficiente	Valor
k_t	1,5
k_{ts}	1,1
k_f	1,39
k_{ftor}	1,08

De la tabla 2.14 para el punto B se tiene un $M_B = 44,8 Nm$ y manteniendo los demás parámetros congruentes como el factor de seguridad propuesto de 1,5 se puede calcular el diámetro mínimo del eje para este cambio de sección, obteniendo:

$$d = 17,44 mm$$

El diámetro mínimo propuesto para maquinarse en la sección B es de 17 mm y para ratificar su funcionamiento se realizó el cálculo de esfuerzos, Von-Mises y factor de

seguridad garantizando el funcionamiento a fatiga del diámetro propuesto. Para esto se siguió el proceso del punto A obteniendo los valores presentados en la tabla 2.17.

Tabla 2.17. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

Análisis de esfuerzos		
	Valor	Unidad
σ_{max}	92,88	MPa
τ_m	46,36	MPa
Von-Misses		
σ'_m	86,72	MPa
σ'_a	129,11	MPa
Factor de Seguridad		
n	1,17	

Por lo tanto, el cambio de sección del punto B tiene un factor de seguridad no conservativo que soportaría el ciclo de desfibrado.

Punto C

Realizando nuevamente el procedimiento previamente descrito se obtiene los siguientes valores:

- Análisis de fatiga

Tabla 2.18. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto C.

Análisis de Fatiga	
Coeficiente	Valor
k_t	1,7
k_{ts}	1,45
k_f	1,55
k_{ftor}	1,36

De la tabla 2.14 para el punto C se tiene un $M_c = 36,77 Nm$ y manteniendo los demás parámetros previamente mencionados se obtiene el diámetro mínimo del eje para este cambio de sección, obteniendo:

$$d = 16,98 mm$$

El diámetro mínimo propuesto para maquinarse en la sección C es de 18 mm y para ratificar su funcionamiento se realizó el cálculo de esfuerzos, Von-Misses y factor de seguridad garantizando el funcionamiento a fatiga del diámetro propuesto. Para esto se siguió el proceso previamente mostrado obteniendo los valores presentados en la tabla 2.19.

Tabla 2.19. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

<i>Análisis de esfuerzos</i>		
	Valor	Unidad
σ_{max}	64,22	MPa
τ_m	39,05	MPa
<i>Von-Misses</i>		
σ'_m	91,99	MPa
σ'_a	99,29	MPa
<i>Factor de Seguridad</i>		
n	1,43	

Por lo tanto, el cambio de sección del punto C tiene un factor de seguridad suficiente para soportar el ciclo de desfibrado.

Las dimensiones de los chaveteros serán analizadas en la sección de cálculo de chavetas.

- **Análisis de chaveteros**

Se analiza los puntos donde se ejerza mayor momento representados en la figura 2.20 como punto D y E.

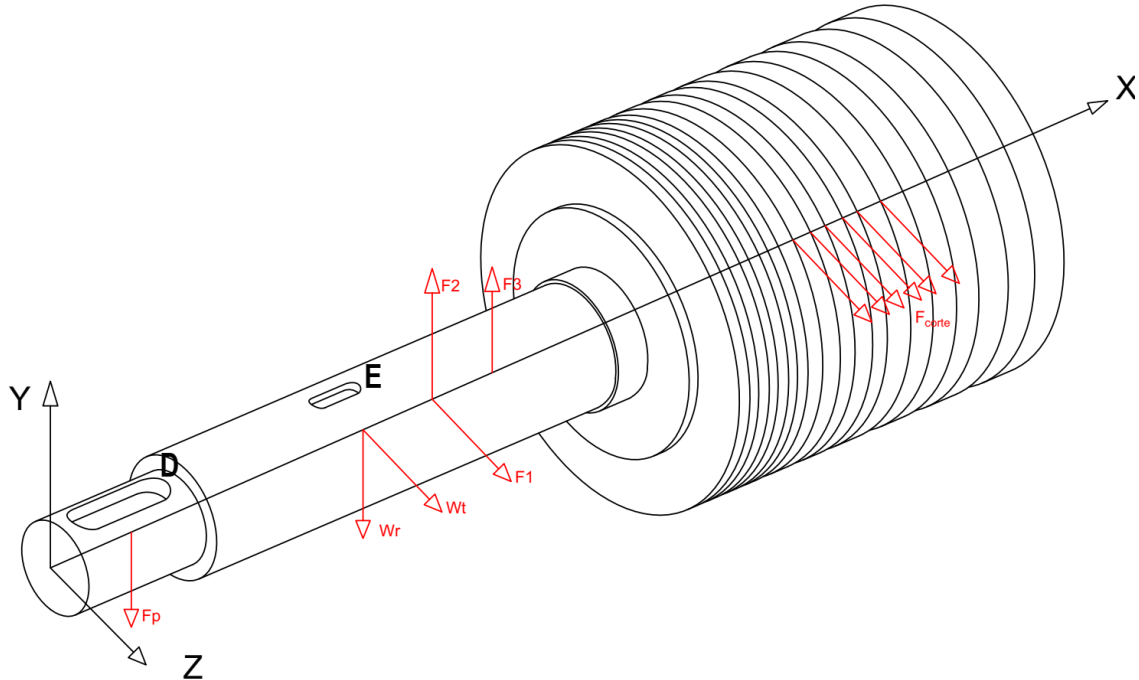


Figura 2.20. Análisis de puntos de chaveteros del eje 1.

Realizando los diagramas de fuerza y de momento de los puntos de interés se obtiene las figuras 2.21 y 2.22.

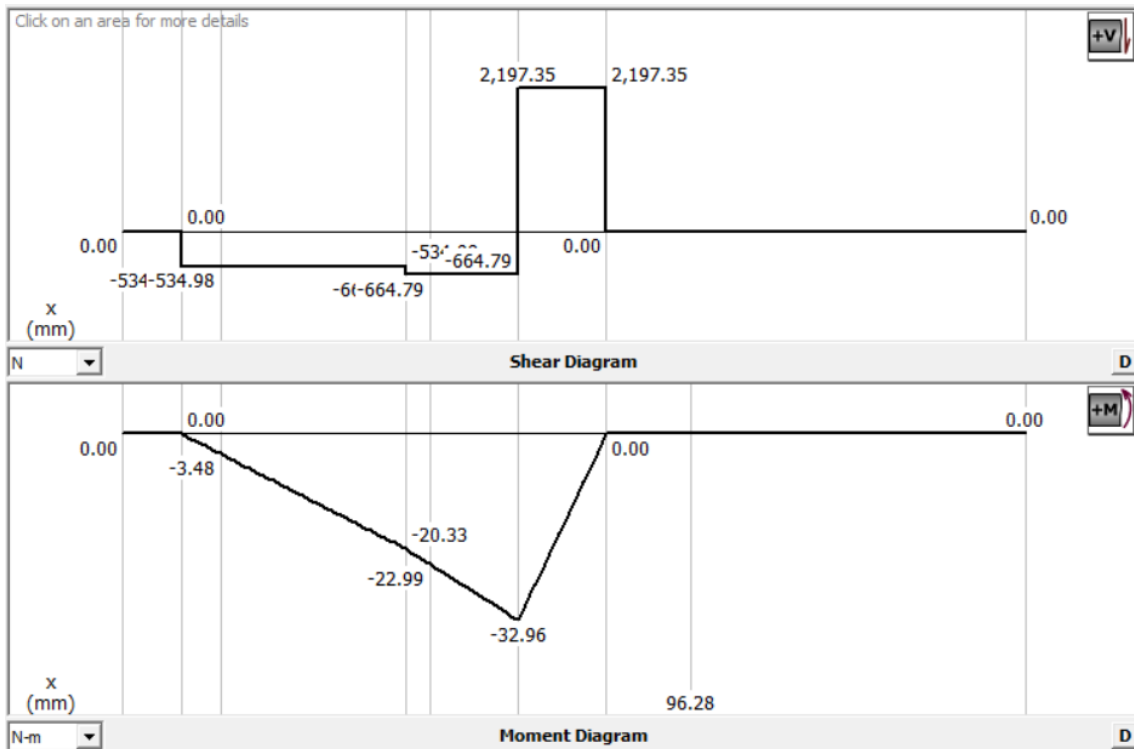


Figura 2.21. Gráfico de fuerza cortante y momento en chaveteros del eje 1 en el plano XY.

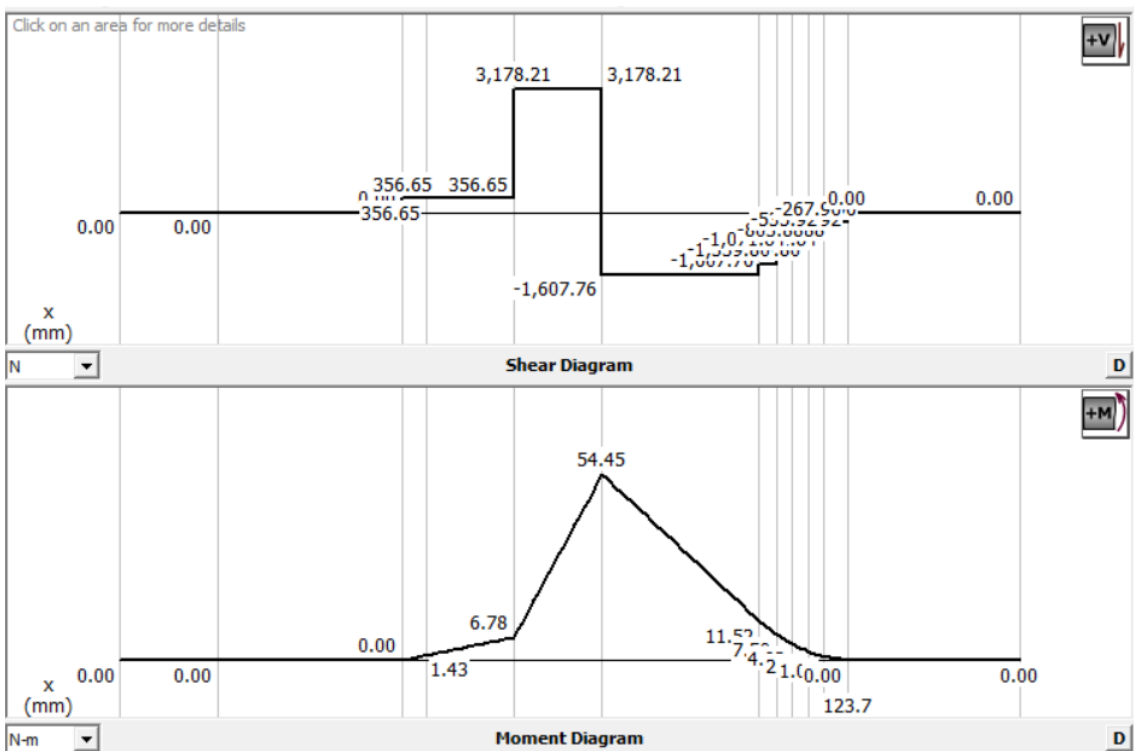


Figura 2.22. Gráfico de fuerza cortante y momento en chaveteros del eje 1 en el plano XZ.

Para encontrar el momento total en el punto E se combina los planos ortogonales XY y XZ como vectores y se obtiene el momento resultante de las figuras 2.21 y 2.22.

$$M_E = \sqrt{(20,33)^2 + (-1,43)^2}$$

$$M_E = 20,38 \text{ Nm}$$

En la tabla 2.20 se muestra los valores de momento total para los puntos de interés en los chaveteros.

Tabla 2.20. Valores de momento en puntos de interés de chaveteros.

Punto	Momento Nm
D	$M_D = 3,48$
E	$M_E = 20,38$

Punto D

Se analiza el punto en el chavetero que soporta mayor momento nuevamente con el procedimiento realizado en la sección de cálculos del eje y se obtiene los siguientes valores:

- Análisis de fatiga

Tabla 2.21. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto D.

Análisis de Fatiga	
Coeficiente	Valor
k_t	1,38
k_{ts}	1,2
k_f	1,30
$k_{f_{tor}}$	1,16

De la tabla 2.20 para el punto D se tiene un $M_D = 3,48 \text{ Nm}$ y manteniendo los demás parámetros previamente mencionados se obtiene el diámetro mínimo del eje para este cambio de sección, obteniendo:

$$d = 8,10 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo propuesto para maquinar el chavetero en la sección D es de 11 mm y para ratificar su funcionamiento se realizó el cálculo de esfuerzos, Von-Misses y factor de seguridad garantizando el funcionamiento a fatiga de esta sección. Para esto se siguió el proceso previamente mostrado obteniendo los valores presentados en la tabla 2.22.

Tabla 2.22. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

<i>Análisis de esfuerzos</i>		
	Valor	Unidad
σ_{max}	26,63	MPa
τ_m	171,12	MPa
<i>Von-Misses</i>		
σ'_m	343,81	MPa
σ'_a	34,53	MPa
<i>Factor de Seguridad</i>		
n	1,26	

Por lo tanto, el chavetero del punto D tiene un factor de seguridad suficiente para soportar el ciclo de desfibrado.

Punto E

Se analiza el punto en el chavetero que soporta mayor momento nuevamente con el procedimiento realizado en la sección de cálculos del eje y se obtiene los siguientes valores:

- Análisis de fatiga

Tabla 2.23. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto E.

Análisis de Fatiga	
Coeficiente	Valor
k_t	1,55
k_{ts}	1,3
k_f	1,43
k_{ftor}	1,24

De la tabla 2.20 para el punto E se tiene un $M_E = 20,38 Nm$ y manteniendo los demás parámetros previamente mencionados se obtiene el diámetro mínimo del eje para este cambio de sección, obteniendo:

$$d = 13,72 mm$$

El diámetro mínimo propuesto para maquinar el chavetero en la sección E es de 14 mm y para ratificar su funcionamiento se realizó el cálculo de esfuerzos, Von-Misses y factor de seguridad garantizando el funcionamiento a fatiga de esta sección. Para esto se siguió el proceso previamente mostrado obteniendo los valores presentados en la tabla 2.24.

Tabla 2.24. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

<i>Análisis de esfuerzos</i>		
	Valor	Unidad
σ_{max}	75,65	MPa
τ_m	83	MPa
<i>Von-Misses</i>		
σ'_m	178,27	MPa
σ'_a	108,11	MPa
<i>Factor de Seguridad</i>		
n	1,11	

Por lo tanto, el chavetero del punto E tiene un factor de seguridad no conservativo suficiente para soportar el ciclo de desfibrado, el cual puede ser mejorado cambiando de material o reforzándolo con un tratamiento térmico.

Análisis del eje 2:

A partir de las interacciones de los elementos de los ejes 1 y 2 se obtiene el análisis de fuerzas mostrado en la figura 2.23.

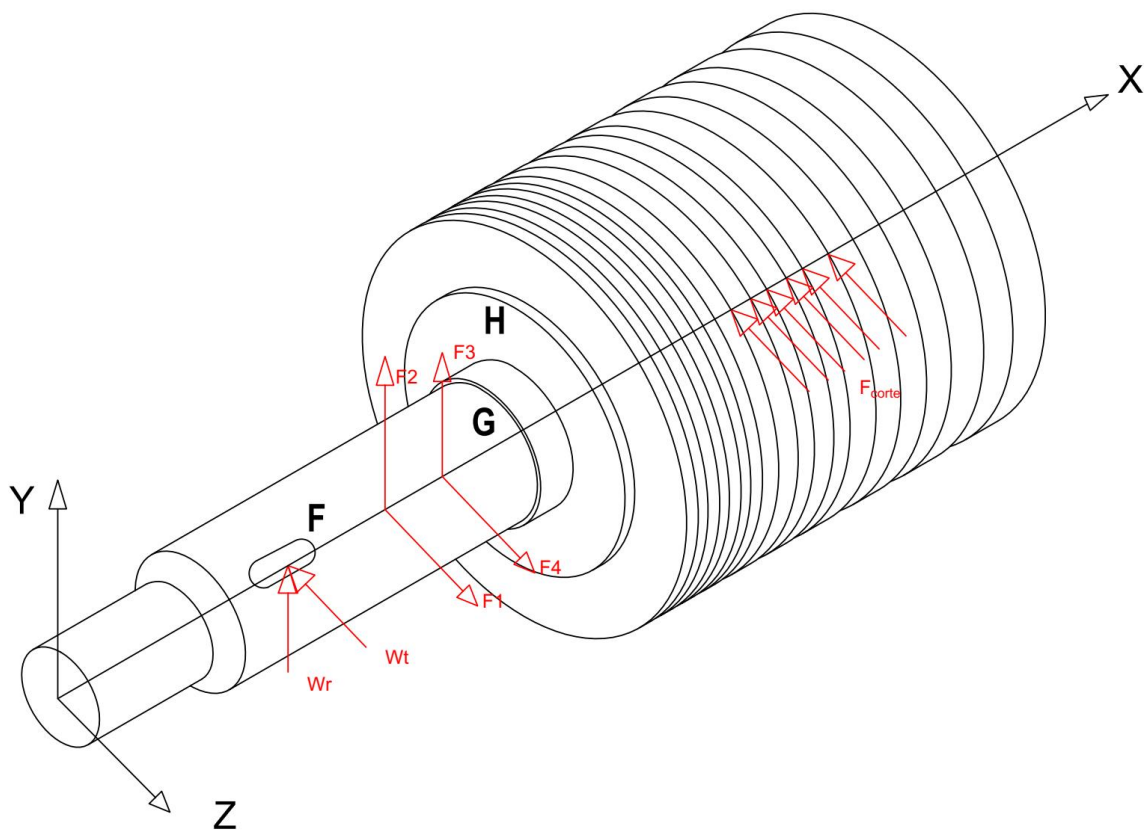


Figura 2.23. Fuerzas que actúan en el eje 1.

Con dichos valores se genera los diagramas de las figuras 2.24 y 2.25:

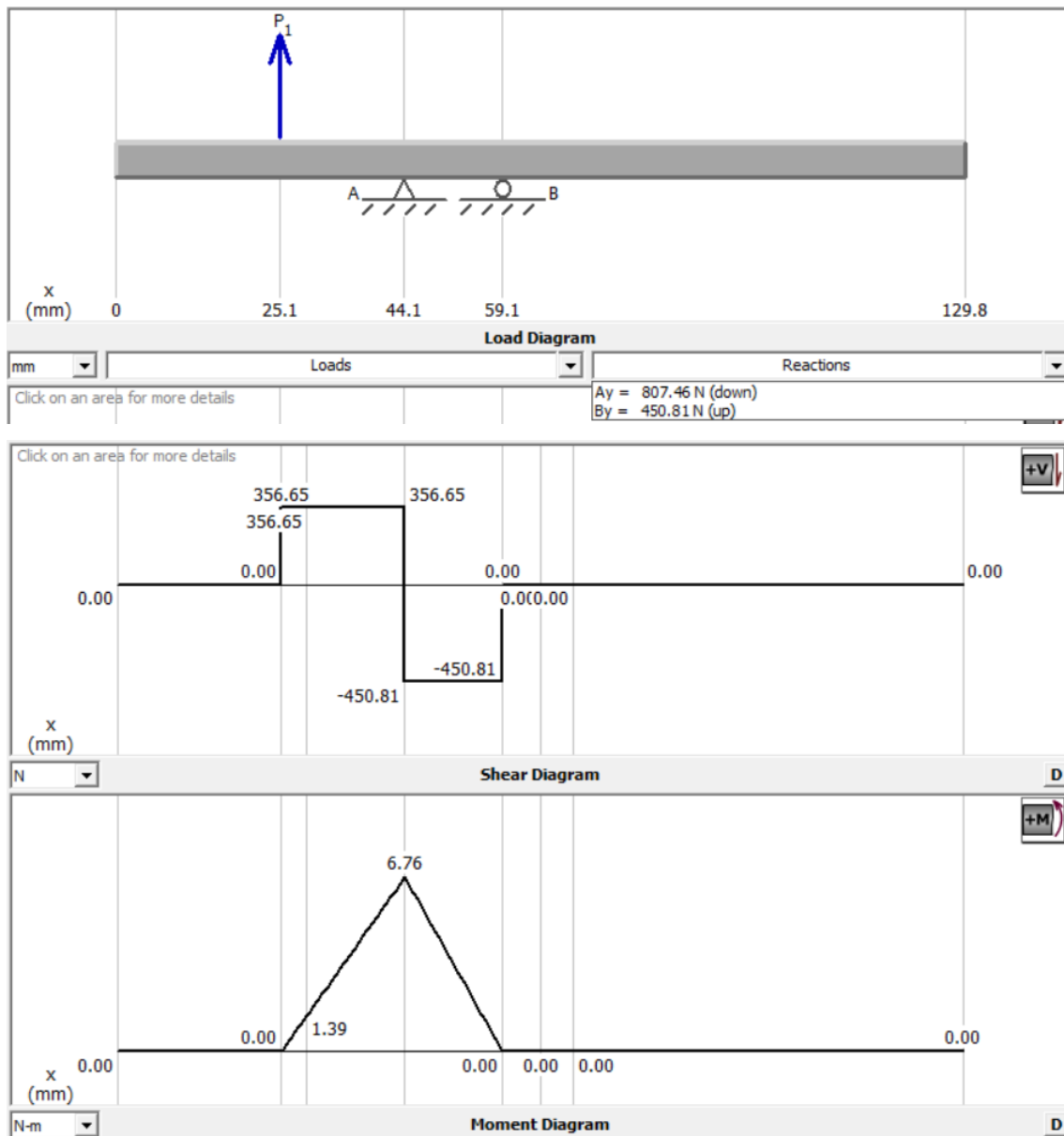


Figura 2.24. Análisis de fuerza cortante y momento del eje 1 en el plano XY.

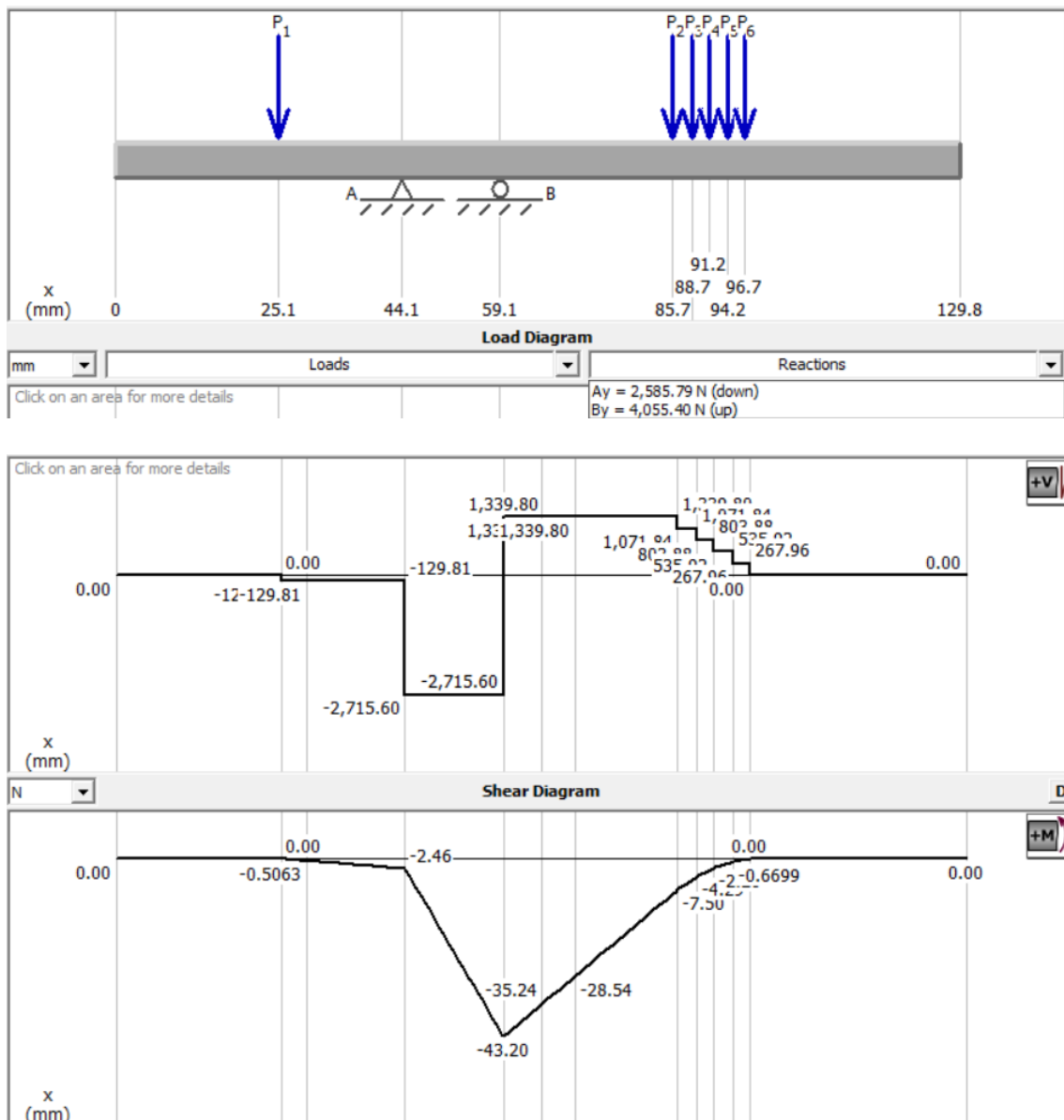


Figura 2.25. Análisis de fuerza cortante y momento del eje 1 en el plano XZ.

Para encontrar el momento total en el punto F se combina los planos ortogonales XY y XZ de las figuras 2.24 y 2.25 como vectores y se obtiene el momento resultante.

$$M_F = \sqrt{(1,39)^2 + (-0,5063)^2}$$

$$M_F = 1,48 \text{ Nm}$$

En la tabla 2.25 se presenta los valores de momento máximos que soporta el eje 2 en los puntos de interés.

Tabla 2.25. Valores de Momento en puntos de interés.

Punto	Momento Nm
F	$M_F = 1,48$
G	$M_G = 35,24$
H	$M_H = 28,54$

- Análisis de puntos críticos:

Punto G

Realizando nuevamente el procedimiento previamente descrito se obtiene los siguientes valores de la tabla 2.26.

- Análisis de fatiga

Tabla 2.26. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto G.

Análisis de Fatiga	
Coeficiente	Valor
k_t	1,5
k_{ts}	1,1
k_f	1,39
k_{ftor}	1,08

De la tabla 2.25 para el punto G se tiene un $M_G = 35,24 \text{ Nm}$ y manteniendo los demás parámetros previamente mencionados se obtiene el diámetro mínimo del eje para este cambio de sección, obteniendo:

$$d = 16,14 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo propuesto para maquinarse en la sección C es de 17 mm y para ratificar su funcionamiento se realizó el cálculo de esfuerzos, Von-Mises y factor de seguridad garantizando el funcionamiento a fatiga del diámetro propuesto. Para esto se siguió el proceso previamente mostrado obteniendo los valores presentados en la tabla 2.27.

Tabla 2.27. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

Análisis de esfuerzos		
	Valor	Unidad
σ_{max}	73,06	MPa
τ_m	46,36	MPa
Von-Mises		
σ'_m	86,72	MPa

σ'_a	101,56	MPa
<i>Factor de Seguridad</i>		
n	1,42	

Por lo tanto, el cambio de sección del punto G tiene un factor de seguridad suficiente para soportar el ciclo de desfibrado.

Punto H

Realizando nuevamente el procedimiento previamente descrito se obtiene los siguientes valores de la tabla 2.28.

- Análisis de fatiga

Tabla 2.28. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto H.

Análisis de Fatiga	
Coeficiente	Valor
k_t	1,7
k_{ts}	1,47
k_f	1,55
k_{ftor}	1,38

De la tabla 2.25 para el punto H se tiene un $M_H = 28,54 Nm$ y manteniendo los demás parámetros previamente mencionados se obtiene el diámetro mínimo del eje para este cambio de sección, obteniendo:

$$d = 15,66 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo propuesto para maquinarse en la sección C es de 18 mm y para ratificar su funcionamiento se realizó el cálculo de esfuerzos, Von-Mises y factor de seguridad garantizando el funcionamiento a fatiga del diámetro propuesto. Para esto se siguió el proceso previamente mostrado obteniendo los valores presentados en la tabla 2.29.

Tabla 2.29. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

<i>Análisis de esfuerzos</i>		
	Valor	Unidad
σ_{max}	49,85	MPa
τ_m	39,05	MPa
<i>Von-Mises</i>		
σ'_m	93,08	MPa
σ'_a	77,06	MPa
<i>Factor de Seguridad</i>		

n	1,72	
-----	------	--

Por lo tanto, el cambio de sección del punto H tiene un factor de seguridad suficiente para soportar el ciclo de desfibrado.

Punto F

Se analiza el punto en el chavetero que soporta mayor momento nuevamente con el procedimiento realizado en la sección de cálculos del eje y se obtiene los siguientes valores plasmados en la tabla 2.30.

- Análisis de fatiga

Tabla 2.30. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto F.

Análisis de Fatiga	
Coefficiente	Valor
k_t	1,55
k_{ts}	1,3
k_f	1,43
k_{ftor}	1,24

De la tabla 2.25 para el punto F se tiene un $M_F = 1,48 Nm$ y manteniendo los demás parámetros previamente mencionados se obtiene el diámetro mínimo del eje para este cambio de sección, obteniendo:

$$d = 7,00 mm$$

El diámetro mínimo propuesto para maquinar el chavetero en la sección F es de 14 mm y para ratificar su funcionamiento se realizó el cálculo de esfuerzos, Von-Misses y factor de seguridad garantizando el funcionamiento a fatiga de esta sección. Para esto se siguió el proceso previamente mostrado obteniendo los valores presentados en la tabla 2.31.

Tabla 2.31. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

Análisis de esfuerzos		
	Valor	Unidad
σ_{max}	5,49	MPa
τ_m	83	MPa
Von-Misses		
σ'_m	178,27	MPa
σ'_a	108,11	MPa
Factor de Seguridad		

n	2,81	
-----	------	--

Por lo tanto, el chavetero del punto F tiene un factor de seguridad suficiente para soportar el ciclo de desfibrado.

Análisis del eje 3:

A partir de las interacciones de los elementos del eje 3 se obtiene el análisis de fuerzas mostrado en la figura 2.26.

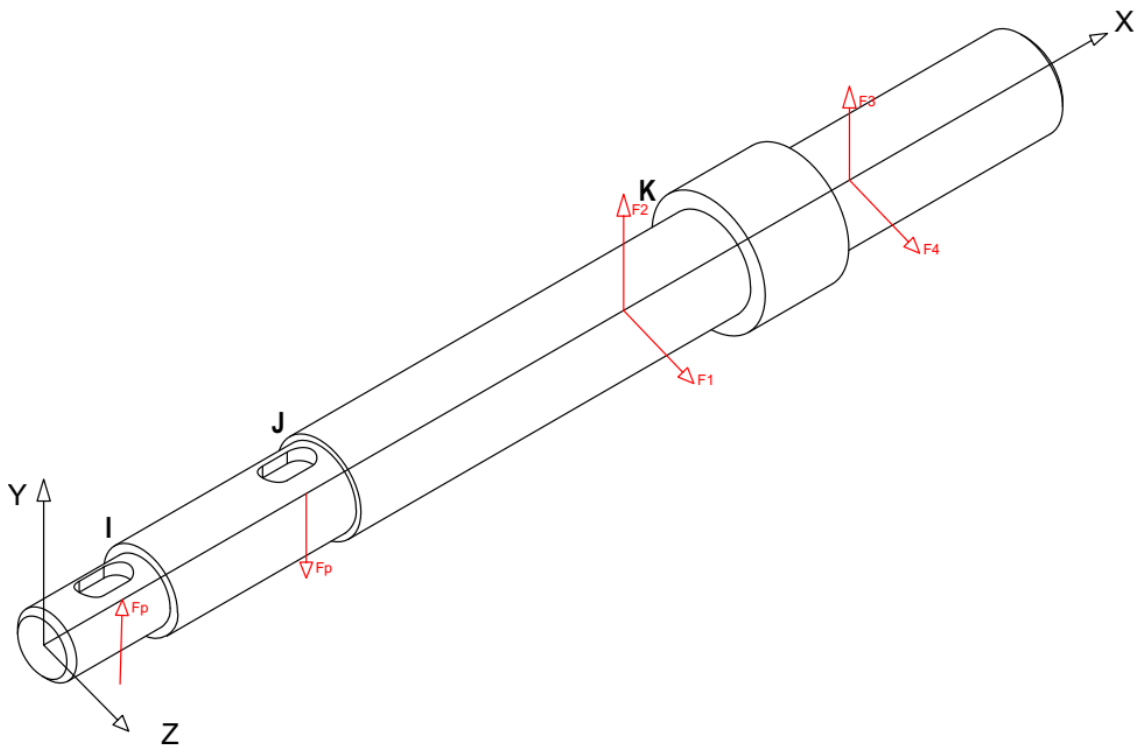
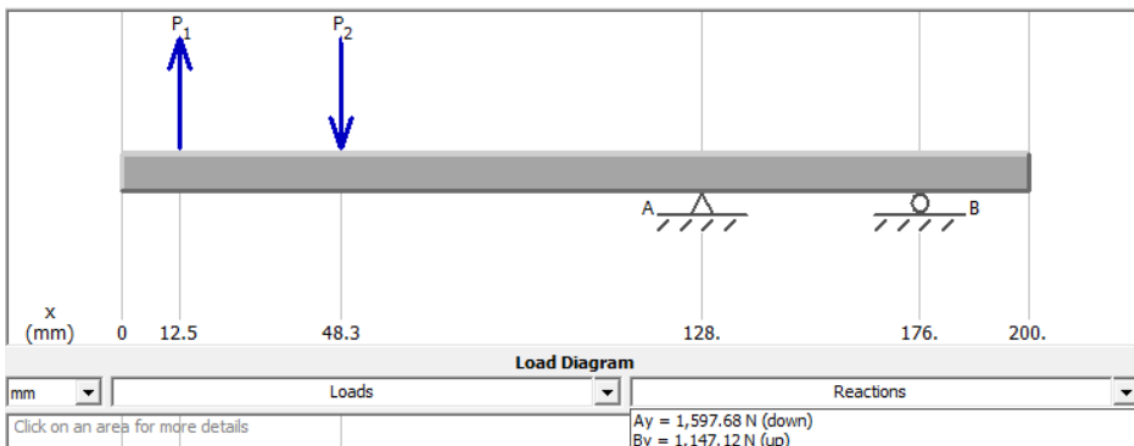


Figura 2.26. Fuerzas que actúan en el eje 1.

Con dichos valores se genera el diagrama de la figuras 2.27:



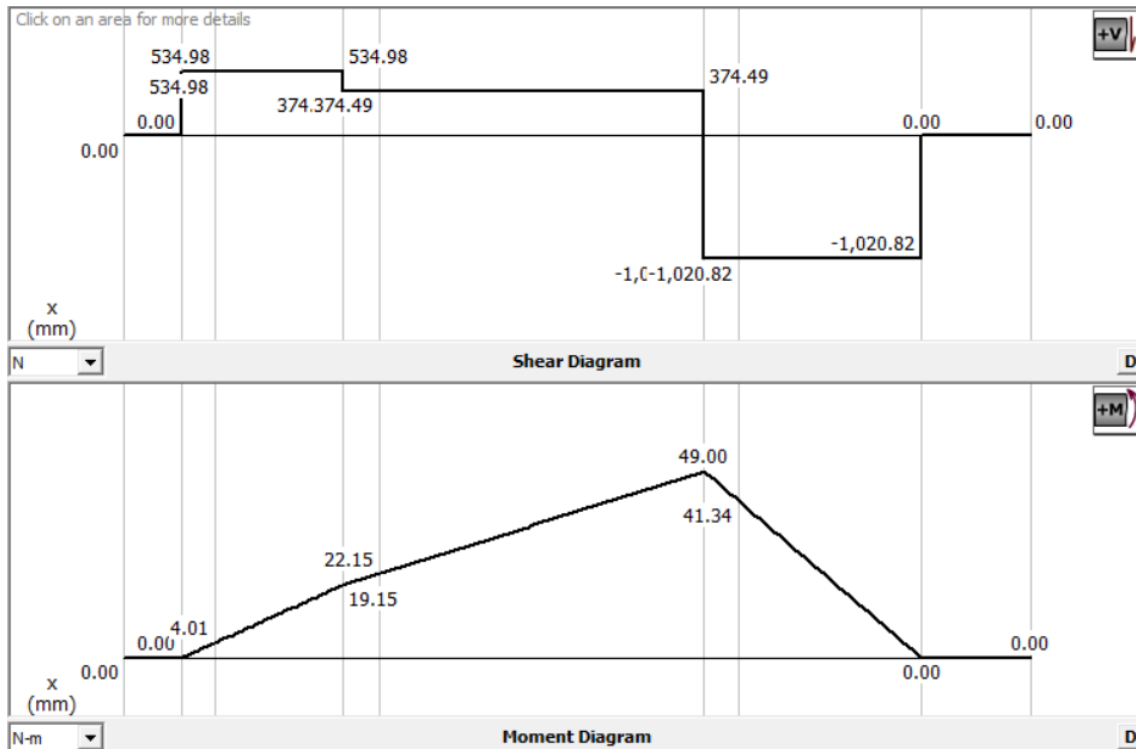


Figura 2.27. Análisis de fuerza cortante y momento del eje 3 en el plano XY.

En la tabla 2.32 se presenta los valores de momento máximos que soporta el eje 3 en los puntos de interés.

Tabla 2.32. Valores de Momento en puntos de interés.

Punto	Momento Nm
I	$M_I = 4,01$
J	$M_J = 22,15$
K	$M_K = 41,34$

- Análisis de puntos críticos:

Punto I

Realizando nuevamente el procedimiento previamente descrito se obtiene los siguientes valores:

- Análisis de fatiga

Tabla 2.33. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto I.

Análisis de Fatiga	
Coeficiente	Valor
k_t	1,5
k_{ts}	1,3

k_f	1,39
$k_{f_{tor}}$	1,24

De la tabla 2.33 para el punto I se tiene un $M_I = 4,010 Nm$ y manteniendo los demás parámetros previamente mencionados se obtiene el diámetro mínimo del eje para este cambio de sección, obteniendo:

$$d = 8,58 mm$$

El diámetro mínimo propuesto para maquinarse en la sección C es de 12 mm y para ratificar su funcionamiento se realizó el cálculo de esfuerzos, Von-Mises y factor de seguridad garantizando el funcionamiento a fatiga del diámetro propuesto. Para esto se siguió el proceso previamente mostrado obteniendo los valores presentados en la tabla 2.34.

Tabla 2.34. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

<i>Análisis de esfuerzos</i>		
	Valor	Unidad
σ_{max}	23,64	MPa
τ_m	131,80	MPa
<i>Von-Mises</i>		
σ'_m	283,08	MPa
σ'_a	32,86	MPa
<i>Factor de Seguridad</i>		
n	1,48	

Por lo tanto, el cambio de sección del punto I tiene un factor de seguridad suficiente para soportar el ciclo de desfibrado.

Punto J

Realizando nuevamente el procedimiento previamente descrito se obtiene los siguientes valores plasmados en la tabla 2.35.

- Análisis de fatiga

Tabla 2.35. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto J.

<i>Análisis de Fatiga</i>	
Coeficiente	Valor
k_t	1,55
k_{ts}	1,25
k_f	1,43
$k_{f_{tor}}$	1,2

De la tabla 2.32 para el punto J se tiene un $M_j = 22,15 \text{ Nm}$ y manteniendo los demás parámetros previamente mencionados se obtiene el diámetro mínimo del eje para este cambio de sección, obteniendo:

$$d = 14,07 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo propuesto para maquinarse en la sección C es de 15 mm y para ratificar su funcionamiento se realizó el cálculo de esfuerzos, Von-Mises y factor de seguridad garantizando el funcionamiento a fatiga del diámetro propuesto. Para esto se siguió el proceso previamente mostrado obteniendo los valores presentados en la tabla 2.36.

Tabla 2.36. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

<i>Análisis de esfuerzos</i>		
	Valor	Unidad
σ_{max}	66,85	MPa
τ_m	67,48	MPa
<i>Von-Mises</i>		
σ'_m	140,26	MPa
σ'_a	95,53	MPa
<i>Factor de Seguridad</i>		
n	1,31	

Por lo tanto, el cambio de sección del punto J tiene un factor de seguridad suficiente para soportar el ciclo de desfibrado. Y para mejorarlo se podría aumentar el diámetro de la sección o cambiar de material.

Punto K

Realizando nuevamente el procedimiento previamente descrito se obtiene los siguientes valores plasmados en la tabla 2.37:

- Análisis de fatiga

Tabla 2.37. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto K.

<i>Análisis de Fatiga</i>	
Coeficiente	Valor
k_t	1,6
k_{ts}	1,43
k_f	1,47
$k_{f\text{tor}}$	1,34

De la tabla 2.32 para el punto K se tiene un $M_K = 41,34 Nm$ y manteniendo los demás parámetros previamente mencionados se obtiene el diámetro mínimo del eje para este cambio de sección, obteniendo:

$$d = 17,34 mm$$

El diámetro mínimo propuesto para maquinarse en la sección C es de 17 mm y para ratificar su funcionamiento se realizó el cálculo de esfuerzos, Von-Misses y factor de seguridad garantizando el funcionamiento a fatiga del diámetro propuesto. Para esto se siguió el proceso previamente mostrado obteniendo los valores presentados en la tabla 2.38.

Tabla 2.38. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

<i>Análisis de esfuerzos</i>		
	Valor	Unidad
σ_{max}	85,71	MPa
τ_m	46,36	MPa
<i>Von-Misses</i>		
σ'_m	107,92	MPa
σ'_a	125,82	MPa
<i>Factor de Seguridad</i>		
n	1,15	

Por lo tanto, el cambio de sección del punto K tiene un factor no conservativo suficiente para soportar el ciclo de desfibrado, el cual puede ser mejorado cambiando de material o reforzándolo con un tratamiento térmico.

- **Análisis de chaveteros**

Se analiza los puntos donde se ejerza mayor momento representados en la figura 2.28 como punto M y N.

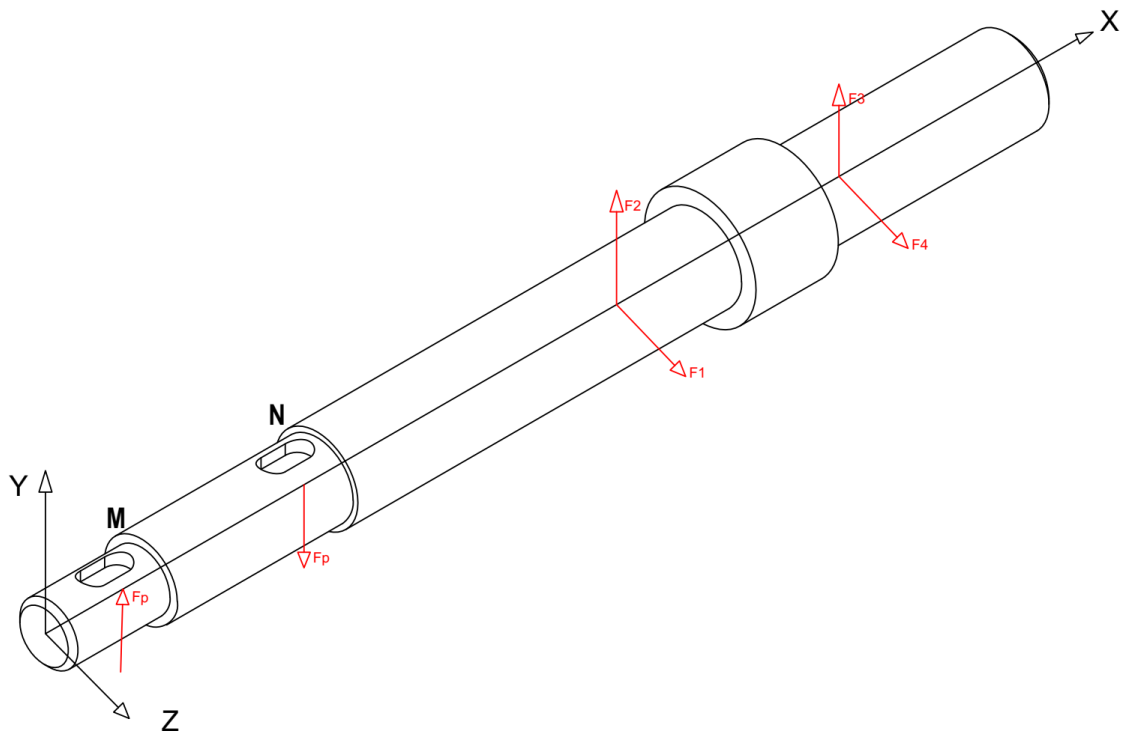


Figura 2.28. Análisis de puntos de chaveteros del eje 3.

Realizando de momento de los puntos de interés se obtiene la figura 2.29.

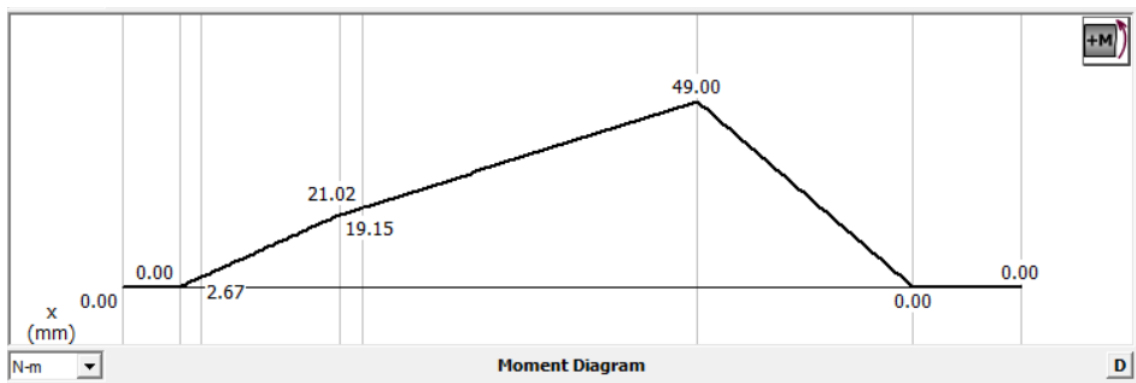


Figura 2.29. Gráfico de momento en chaveteros del eje 3 en el plano XY.

Tabla 2.39. Valores de momento en puntos de interés de chaveteros del eje 3.

Punto	Momento Nm
M	$M_M = 2,67$
N	$M_N = 21,02$

Punto M

Se analiza el punto en el chavetero que soporta mayor momento nuevamente con el procedimiento realizado en la sección de cálculos del eje y se obtiene los siguientes valores:

- Análisis de fatiga

Tabla 2.40. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto M.

Análisis de Fatiga	
Coeficiente	Valor
k_t	1,4
k_{ts}	1,18
k_f	1,31
$k_{f\text{tor}}$	1,14

De la tabla 2.39 para el punto M se tiene un $M_M = 2,67 Nm$ y manteniendo los demás parámetros previamente mencionados se obtiene el diámetro mínimo del eje para este cambio de sección, obteniendo:

$$d = 6,96 mm$$

El diámetro mínimo propuesto para maquinar el chavetero en la sección M es de 10 mm y para ratificar su funcionamiento se realizó el cálculo de esfuerzos, Von-Misses y factor de seguridad garantizando el funcionamiento a fatiga de esta sección. Para esto se siguió el proceso previamente mostrado obteniendo los valores presentados en la tabla 2.41.

Tabla 2.41. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

Análisis de esfuerzos		
	Valor	Unidad
σ_{max}	26,46	MPa
τ_m	66,09	MPa
Von-Misses		
σ'_m	130,96	MPa
σ'_a	34,63	MPa
Factor de Seguridad		
n	2,39	

Por lo tanto, el chavetero del punto M tiene un factor de seguridad suficiente para soportar el ciclo de desfibrado.

Punto N

Se analiza el punto en el chavetero que soporta mayor momento nuevamente con el procedimiento realizado en la sección de cálculos del eje y se obtiene los siguientes valores:

- Análisis de fatiga

Tabla 2.42. Valores calculados para el análisis de fatiga del punto N.

Análisis de Fatiga	
Coeficiente	Valor
k_t	1,55
k_{ts}	1,20
k_f	1,43
$k_{f\text{tor}}$	1,16

De la tabla 2.39 para el punto N se tiene un $M_N = 21,02 Nm$ y manteniendo los demás parámetros previamente mencionados se obtiene el diámetro mínimo del eje para este cambio de sección, obteniendo:

$$d = 13,64 mm$$

El diámetro mínimo propuesto para maquinar el chavetero en la sección N es de 14 mm y para ratificar su funcionamiento se realizó el cálculo de esfuerzos, Von-Misses y factor de seguridad garantizando el funcionamiento a fatiga de esta sección. Para esto se siguió el proceso previamente mostrado obteniendo los valores presentados en la tabla 2.43.

Tabla 2.43. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

Análisis de esfuerzos		
	Valor	Unidad
σ_{max}	78,03	MPa
τ_m	24,82	MPa
Von-Misses		
σ'_m	49,86	MPa
σ'_a	111,50	MPa
Factor de Seguridad		
n	1,44	

Por lo tanto, el chavetero del punto N tiene un factor de seguridad suficiente para soportar el ciclo de desfibrado.

2.4.5. Selección del rodamiento

Para realizar este cálculo se debe analizar las fuerzas que van a soportar los rodamientos por estar en contacto con el eje, además, no hay cargas axiales [23] por la forma de trabajo de los ejes en revolución. De las figuras 2.18, 2.19, 2.24, 2.25 y 2.27 se obtienen los valores de fuerzas radiales F_r (Representados como A_y y B_y en las figuras) para cada rodamiento en los ejes de la máquina desfibradora. Finalmente, para obtener la fuerza radial total ejercida en cada rodamiento se calcula el módulo de las magnitudes de F_r en los distintos ejes "Y" y "Z" como se muestra en la tabla 2.44.

Tabla 2.44. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

Rodamiento	Eje 1		Eje 2		Eje 3	
	Inicial N	Final N	Inicial N	Final N	Inicial N	Final N
F_r en "Y"	2862,14	2197,35	807,46	450,81	1597,68	1147,12
F_r en "Z"	2821,56	4785,97	2585,79	4055,4		
F_r total	4019,09	5266,29	2708,93	4080,38	1597,68	1147,12

Para no incurrir en variaciones de diseño y geometría, se plantea elegir un mismo tipo de rodamiento para cada eje, sin embargo, este rodamiento debería soportar la mayor carga radial en cada eje por lo que para el cálculo de selección de eje se toma en cuenta los mayores valores resaltados en la tabla 2.44.

Para encontrar la carga total aplicada al rodamiento se utiliza la ecuación 37.

$$P = xF_r + yF_a \quad (37)$$

Donde:

P Carga total N

F_r Carga radial aplicada al eje N

F_a Carga axial aplicada al eje N

x, y Factores de carga para rodamientos rígidos de bolas.

Por lo antes mencionado:

$$F_a = 0 \text{ N}$$

El valor de X se obtiene del ANEXO VI- figura VI.2, el cual es de 0,56.

Para el eje 1:

Reemplazando F_r , F_a y X en (37)

$$P_1 = 2949,12 \text{ N}$$

En el diseño de ejes se encontró que el diámetro para las sección donde van los rodamientos es de 17 mm. A partir del catálogo SKF [26] se investigó los posibles rodamientos que podrían cumplir con este diámetro, encontrando el rodamiento SKF 6203 con las siguientes características:

Tabla 2.45. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

Rodamiento 6203 características generales	
Diámetro (D)	17 mm
Capacidad de carga dinámica (C)	9,95 kN
Capacidad de carga estática (C_o)	4,75 kN
Diámetro (m)	0,67 kg

Fuente: [26]

Según [26], se debe cumplir la ecuación (38) ya que si el rodamiento tiene una capacidad de carga mayo podrá trabajar con la carga ejercida sin problemas.

$$P < C \quad (38)$$

Reemplazando para el eje 1 P y C en (38)

$$2,95 \text{ kN} < 9,95 \text{ kN}$$

Se cumple la relación, por lo tanto, el rodamiento seleccionado resistirá la carga dinámica que genera primer eje sin problemas.

- Vida útil

Finalmente, se realiza el cálculo de la vida útil del rodamiento seleccionado, según [26] la vida útil del rodamiento con confiabilidad del 90 % y para rodamientos de bolas rígidas " L_{10} " en horas se determina con la ecuación (39).

$$L_{10} = \frac{10^6}{60 \times N} \times \left(\frac{C}{P}\right)^3 \quad (39)$$

Reemplazando N , C y P en (39)

$$L_{10E1} = 4064,04 \text{ h}$$

Con este resultado se garantiza una vida útil de más de 4 años, trabajando 4 horas diarias, en los 253 días hábiles del año.

Se realiza nuevamente el proceso para el resto de ejes y tomando en cuenta que para el eje 3 se plantea el uso de una chumacera para facilitar su instalación, los datos de esta se presentan en la tabla 2.46.

Tabla 2.46. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

Chumacera Koyo UCP203	
Diámetro (D)	17 mm
Capacidad de carga dinámica (C)	12,8 kN
Capacidad de carga estática (C_o)	6,65 kN
Diámetro (m)	0,60 kg

Fuente: [27]

Con los datos de la tabla 2.46 y siguiendo los pasos mostrados previamente se obtiene los valores mostrados en la tabla 2.47:

Tabla 2.47. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

	Eje 2	Eje 3	Observación
Carga total	$P_2 = 2285,01 N$	$P_3 = 894,70 N$	
Relación Ec. (38)	$2,30 kN < 9,95 kN$	$0,9 kN < 12,8 kN$	Cumplen
Vida útil	$L_{10E2} = 8737,19 h$ (Más de 8 años y medio)	$L_{10E3} = 309859 h$ (306 años)	En las condiciones de trabajo mencionadas previamente.

Estos rodamientos se eligen ya que tienen un excelente trabajo para solicitaciones del eje, absorben desalineaciones y requiere mantenimiento simple en condiciones normales de trabajo, además su montaje es simple son de bajo costo y fácilmente reemplazable [26].

Resumen de elementos normalizados seleccionados (especificaciones de estos se adjuntan en el ANEXO VI figuras VI.1 y VI.3:

Tabla 2.48. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

Selección de elementos normalizados		
Sección	Denominación	Cantidad
Eje 1	SKF 6203	2
Eje 2	SKF 6203	2
Eje 3	NTN UCP203	2

2.4.6. Cálculo de la chaveta

Eje 1:

Se realizó la selección de una chaveta paralela (Anexo VII-figura VI.1), con base en la norma DIN 6885, como se aprecia en la figura 2.28 se requiere dos chavetas y para encontrar la longitud de la chaveta se utilizó la ecuación (40) [28].

$$L_{chav} = \frac{4\tau_m \times f_{dis}}{d \times b \times S_{ych}} \quad (40)$$

Donde:

L_{chav} Longitud de la chaveta mm.

S_{ych} Esfuerzo de fluencia del material

d Diámetro del eje donde va la chaveta m.

b Espesor de la chaveta seleccionada $b = 5 \text{ mm}$.

f_{dis} Factor de diseño para garantizar la seguridad de funcionamiento.

Según [29], para AISI C45 se tiene un $S_y = 310 \text{ MPa}$.

El torque que soporta el eje 1 es de $\tau_m = 44,58 \text{ Nm}$

Para encontrar el valor de b se selecciona con base en el diámetro donde va la chaveta como se muestra en el Anexo VII-figura VI.1 [28].

Teniendo que para la primera chaveta $b_1 = 5 \text{ mm}$. Además, un valor de $f_{dis} = 1,45$.

Reemplazando b_1 , S_{ych} , d , y f_{dis} en (40)

$$L_{chav1} = 0,013 \text{ m}$$

$$L_{chav1} = 13 \text{ mm}$$

Se elige un valor normalizado (L_{chavn}) que cumplirá con las solicitaciones de trabajo de:

$$L_{chavn} = 14 \text{ mm}$$

Se realiza el mismo proceso para la segunda chaveta y considerando que del Anexo VII-figura VI.2 $b_2 = 6 \text{ mm}$. Se obtiene:

$$L_{chav2} = 0,008 \text{ m}$$

$$L_{chav2} = 8 \text{ mm}$$

Se elige un valor normalizado que cumplirá con las solicitaciones de trabajo de:

$$L_{chavn} = 8 \text{ mm}$$

Eje 2:

Se repite el proceso manteniendo el material de las chavetas para el eje 2 figura 2.23 y se obtiene los valores mostrados en la tabla 2.49.

Tabla 2.49. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

Eje 2		
Chaveta 3		
Parámetro	Valor	Unidad
b_3	5	mm
τ_2	44,58	Nm
f_{dis}	1,45	
L_{chav3}	13,90	mm
L_{chavn3}	14	mm

Eje 3:

Se repite el proceso manteniendo el material de las chavetas para el eje 3 (figura 2.26) y se obtiene los valores mostrados en la tabla 2.50.

Tabla 2.50. Valores calculados para obtener el factor de seguridad.

Eje 3				
Chaveta 4		Chaveta 5		
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Unidad
b_4	5	b_3	5	mm
τ_3	13,37	τ_3	13,37	Nm
f_{dis}	1,50	f_{dis}	1,50	
L_{chav4}	3,45	L_{chav5}	4,31	mm
L_{chavn4}	6	L_{chavn5}	6	mm

2.4.7. Planos finales

Con la ayuda de los cálculos previamente realizados, se elaboraron el plano conjunto y los planos de taller, que se adjuntan como Anexo VIII.

2.4.8. Costos

Para encontrar el valor de la máquina se realiza una distribución de costos con base en los módulos planteados para el diseño de la máquina. Para hallar los precios de los elementos normalizados y materiales varios, se procedió con una investigación de campo de distintas empresas proveedoras de elementos mecánicos como Castillo Hermanos, Aceros Industriales HGB, RodaRepuestos, Maquicentro, entre otros. Obteniendo así proformas que se presentan en el Anexo IX y que facilitarían un análisis de costos más cercano a la realidad.

Costos del Módulo 1:

- Costo de elementos normalizados: Para el módulo 1 se presenta en la tabla 2.51.

Tabla 2.51. Costo de elementos normalizados para el módulo 1 (estructura)

Módulo 1					
ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN	PROVEEDOR	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO NETO
				UNITARIO (\$/U)	
Perno y Tuerca	M10X20 DIN933	Castillo Hermanos	8	0,21	1,68
Perno de anclaje	M10X45 DIN933	Tecniaceros	16	0,4	6,40
TOTAL					8,08

- Costo de material: Para el módulo 1, se presenta en la tabla 2.52.

Tabla 2.52. Costo del material requerido para el módulo 1 (estructura)

Módulo 1					
PROVEEDOR	IMPORT ACEROS		ACEROS INDUSTRIALES HGB		TOTAL NETO
Elemento	Plancha ASTM-A36 de 3 mm		Tubo Estructural 30x1,5 mm x 1000		
COSTO UNITARIO	1,38 (\$/kg)		8,91 (\$/m)		
PIEZA	Cant.	USD	Cant.	USD	
Estructura Metálica	0	0,00	5,77	51,38	51,38
Placa Base Máquina	1,57	2,18	0	0,00	2,18
Placa Base Soporte	1,43	1,98	0	0,00	1,98
Placa Motor	1,32	1,83	0	0,00	1,83
Placa de Estructura	0,76	1,06	0	0,00	1,06
TOTAL	5,09	7,04	5,77	51,38	58,43

- Costo de mano de obra

Para la determinación de los costos Hora-Hombre-Máquina (HHM) se realizó una investigación de campo del costo de los distintos procesos de manufactura que se requieren para crear la máquina. Para reducir los costos se plantea realizar todos procesos en un solo lugar, ya que si se los hace en talleres separados el precio aumenta. Con dicho antecedente, se planteó realizarlos en la Metalmecánica “San Bartolo” de la EPN, donde, se consiguió los valores estimados para los procesos de torno, taladro, oxicorte, corte, fresado y doblado los cuales se presentan en las tablas 2.53 y 2.57.

Tabla 2.53. Costo de la mano de obra para el módulo 1.

Módulo 1										
Maquinaria	Cantidad	Taladro		Corte		Soldadura		Operario General		TOTAL
COSTOS HHM		9		9		12		2		
PIEZA		Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	USD
Estructura Metálica	1	0,27	2,40	0,53	4,80	1	16,00	2,00	4,00	27,2
Placa Base Máquina	1	0,07	0,60	0,42	3,75	0	0,00	0,25	0,50	4,9
Placa Base Soporte	1	0,27	2,40	0,50	4,50	0	0,00	0,42	0,83	7,7
Placa Motor	1	0,27	2,40	0,50	4,50	0	0,00	0,42	0,83	7,7
TOTAL		0,87	7,80	1,95	17,55	1,33	16,00	3,08	6,17	47,52

Costo de fabricación del módulo 1: Se presenta en la tabla 2.54.

Tabla 2.54. Costo de fabricación del módulo 1 (estructura).

MÓDULO 1	
RUBRO	Valor (\$)
MATERIALES	58,43
MANO DE OBRA	47,52
ELEMENTOS NORMALIZADOS	8,08
SUBTOTAL 1	114,03
IMPREVISTOS (10%)	11,40
TOTAL	125,43

Costos del Módulo 2:

- Costo de elementos normalizados: Para el módulo 2 se presenta en la tabla 2.55.

Tabla 2.55 Costo de elementos normalizados para el módulo 2 (Sistema para desfibrado).

Módulo 2					
ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN	PROVEEDOR	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$/U)	PRECIO NETO \$
Chumacera	NTN UCP203	Tecniaceros	2	12,00	24,00
Correa	Z-48		2	5,00	10,00
Poleas	12ALUMTA1X31	Aceros Industriales	2	3,52	7,04
	12ALUMTA1X12		2	11,10	22,20
Chaveta	DIN 6885 A	HGB	0,5	4,00	2,00

Rodamiento	FAG 6203 LLUC3	Tecniaceros	4	4,00	16,00
Perno y tuerca	M10X20 DIN933	Castillo Hermanos	6	0,21	1,26
	M5X20 DIN933		6	0,16	0,96
	M8X100 DIN933		4	0,33	1,32
Motor	1 HP 1750 RPM	INSE	1	172,13	172,13
TOTAL					256,91

- Costo de Material: Para el módulo 2 se presenta en la tabla 2.56.

Tabla 2.56 Costo del material utilizado para el módulo 2 (Sistema para desfibrado).

Módulo 2							
PROVEEDOR	HGB (ACEROS INDUSTRIALES)		IMPORT ACEROS				
MATERIA PRIMA	Acero Inoxidable AISI 304		Plancha ASTM-A36 de 3 mm		Bloque de acero ASTM-A36		
COSTO UNITARIO	8,26 (\$/kg)		1,38 (\$/kg)		2,19 (\$/kg)		TOTAL
PIEZA	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	NETO
Eje 1	2,48	20,48	0	0,00	0	0,00	20,48
Eje 2	2,10	17,38	0	0,00	0	0,00	17,38
Eje 3	0,66	5,49	0	0,00	0	0,00	5,49
Carcasa	0	0,00	0	0,00	4,15	9,00	9,08
Acoples	0	0,00	0,20	0,28	0	0,00	0,28
Engranaje	0	0,00	0	0,00	0,39	0,85	0,85
Rampa de salida	0	0,00	2,45	3,00	0,00	0,00	3,39
TOTAL	5,25	43,36	2,65	3,66	4,53	9,93	56,95

- Costo de mano de obra: Para el módulo 2 se presenta en la tabla 2.57.

Tabla 2.57. Costo de mano de obra para el módulo 2 (sistema para desfibrado)

Módulo 2																
Maquinaria	Cantidad	Torno		Fresadora		Soldadura		Corte		Taladro		Doblado		Operario General		TOTAL
COSTOS HHM		12		12		12		9		9		2		2		
PIEZA		Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	USD
Eje 1	1	2	24	1	12	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,00	2,00	38,00
Eje 2	1	1,17	14	0,83	10	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,50	1,00	25,00
Eje 3	1	0,67	8	0,25	3	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,42	0,83	11,83
Carcasa	1	0	0	1,5	18	0	0,00	0	0,00	1,07	9,6	0	0,00	1,67	3,33	30,93
Engranaje	2	0	0,00	1,33	16	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,83	1,67	17,67
Polea (Chavetero)	4	0	0,00	0,33	4	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,4	0,80	4,80
Acoples	2	0	0,00	2	24	0,33	4	0,50	4,5	0,83	7,5	0	0,00	1	2,00	42,00
Separadores	4	0,27	3,00	0	0,00	0	0,00	0,33	3,00	0	0,00	0	0,00	0,67	1,33	7,53
Rampa de salida	1	0	0,00	0	0,00	0,20	2,4	0,25	2,3	0	0,00	0,10	0,20	0,5	1,00	5,85
TOTAL		4,10	49	7,25	87	0,53	6,4	1,08	9,8	1,90	17,1	0,10	0,20	6,98	13,97	183,62

Costo de fabricación del módulo 2: Se presenta en la tabla 2.58.

Tabla 2.58 Costo de fabricación del módulo 2 (Sistema para desfibrado).

MÓDULO 1	
RUBRO	Valor (\$)
MATERIALES	56,95
MANO DE OBRA	183,62
ELEMENTOS NORMALIZADOS	256,91
SUBTOTAL 1	497,48
IMPREVISTOS (10%)	49,75
TOTAL	547,22

- **Costo neto de la máquina**

Al unir los valores de los costos de los módulos y añadir los costos de montaje, diseño y utilidades se obtiene el valor de la construcción de la máquina diseñada, el cual es ilustrado en la tabla 2.59.

Tabla 2.59. Costo neto de la desfibradora de bambú

Valor neto	
Descripción	Valor (\$)
Costo del módulo 1	125,43
Costo del módulo 2	547,22
SUBTOTAL	672,65
Costo de montaje	67,27
Costo de diseño	53,81
Utilidad	53,81
COSTO NETO DE LA MÁQUINA	847,54

El valor neto de la construcción de la desfibradora de bambú es presentado en la tabla 2.59, si se añade el IVA de 12% que es adoptado en Ecuador se encuentra que el valor total necesario para su construcción es de 949,25 USD.

En la tabla 2.60 se presenta un análisis para cada módulo en su porcentaje de costo, reflejado en la figura 2.30 obteniendo que el módulo 2 es el más costoso de construir con un 81,35% de influencia en los costos de la máquina. Por lo tanto, para reducir el costo de este se podría analizar más detenidamente este módulo haciendo posible la obtención de un mejor precio.

Tabla 2.60. Análisis del precio de cada módulo.

Análisis de costo de módulos		
Descripción	Valor (\$)	Porcentaje
Costo del Módulo 1	125,43	18,65%
Costo del Módulo 2	547,22	81,35%
SUBTOTAL (USD)	672,65	100%

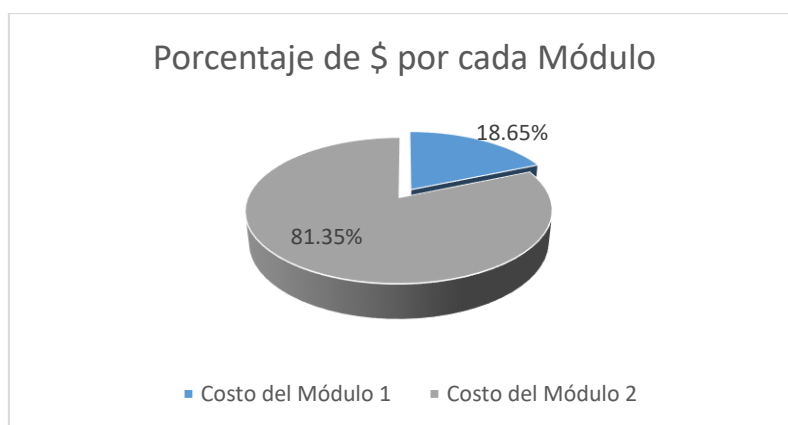


Figura 2.30. Pastel representativo del porcentaje del precio de cada módulo

2.4.9. Protocolo de Pruebas

MÁQUINA DESFIBRADORA DE BAMBÚ

ENSAYO 1

OBJETIVO

- Verificación de funcionamiento de la máquina sin carga.

EJECUTOR DEL PROCESO

- Operario

CONJUNTO DE ACTIVIDADES

Para la realización del ensayo 1 se tendrán las siguientes actividades:

- Inspección visual de los subconjuntos de elementos (banda-poleas, poleas-eje, estructura, ejes-carcasa, entre otros).
- Iniciar el motor.
- Dejar que la máquina empiece su proceso de trabajo durante el tiempo especificado en la Tabla 2.61.
- Inspeccionar cada subconjunto como se muestra en la tabla 2.61.

Tabla 2.61. Protocolo de pruebas en vacío

PROTOCOLO DE PRUEBAS			
DESFIBRADORA DE BAMBÚ			
Comprador:	Fecha:		
Operario:			
FUNCIONAMIENTO SIN CARGA			
Tiempo min	Elementos	Aprueba	
		SÍ	NO
10	Poleas y banda		
	Ejes		
	Rodamientos		
	Engranajes		
	Chumaceras		
20	Poleas y banda		
	Ejes		
	Rodamientos		
	Chumaceras		
	Engranajes		
30	Poleas y banda		
	Ejes		
	Chumaceras		
	Rodamientos		
	Engranajes		

NOTA:

En el caso que después de realizar las actividades mostradas en la figura 2.31, algún sistema no cumpla con las especificaciones técnicas presentadas previamente (tensión de poleas, ajustes, soldaduras) o se desacople generando separación de elementos, no aprobaría haciendo que las pruebas finalicen y analizar las posibles razones de falla para su pronta corrección.

Para la identificación de estas falencias se puede utilizar la inspección visual y ciertos elementos de medida y análisis de procesos como yugos magnéticos, tintas penetrantes para soldadura, dinamómetros, flexómetros, entre otros.

ESQUEMA:

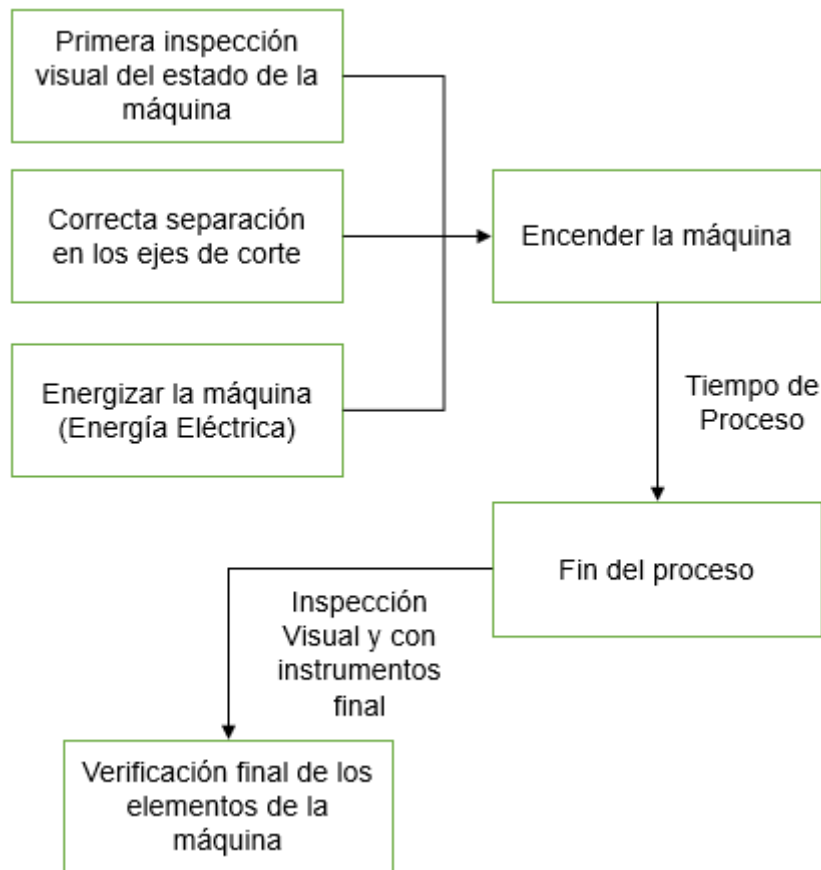


Figura 2.31. Esquema de trabajo para el ensayo 1

ENSAYO 2

OBJETIVO

- Verificación de funcionamiento de la máquina con carga.

EJECUTOR DEL PROCESO

- Operario

CONJUNTO DE ACTIVIDADES

En el caso de este ensayo se realizarán las siguientes actividades:

- Inspección visual de los subconjuntos de elementos (banda-poleas, poleas-eje, estructura, ejes-carcasa, entre otros).
- Iniciar el motor.
- Dejar que la máquina empiece su proceso de trabajo durante 10 minutos, desfibrando el número de fibras especificado en la tabla 2.62.
- Inspeccionar cada subconjunto como se muestra en la tabla 2.62.

Tabla 2.62. Protocolo de pruebas con carga

PROTOCOLO DE PRUEBAS			
DESFIBRADORA DE BAMBÚ			
Comprador:	Fecha:		
Operario:			
FUNCIONAMIENTO CON CARGA			
Numero de láminas de bambú (Unidad)	Elementos	Aprueba	
		SÍ	NO
30	Poleas y banda		
	Ejes		
	Rodamientos		
	Engranajes		
	Chumaceras		
60	Poleas y banda		
	Ejes		
	Rodamientos		
	Chumaceras		
	Engranajes		
90	Poleas y banda		
	Ejes		
	Chumaceras		
	Rodamientos		
	Engranajes		

NOTA:

En el caso de que, después de realizar las actividades mostradas en la figura 2.32, algún sistema no cumpla con las especificaciones técnicas presentadas previamente (tensión de poleas, ajustes, soldaduras) o se desacople generando separación de elementos, no aprobaría haciendo que las pruebas finalicen y analizar las posibles razones de falla para su pronta corrección.

Para la identificación de estas falencias se puede utilizar la inspección visual, ciertos elementos de medida y análisis de procesos como yugos magnéticos, tintas penetrantes para soldadura, dinamómetros, flexómetros, entre otros.

ESQUEMA:

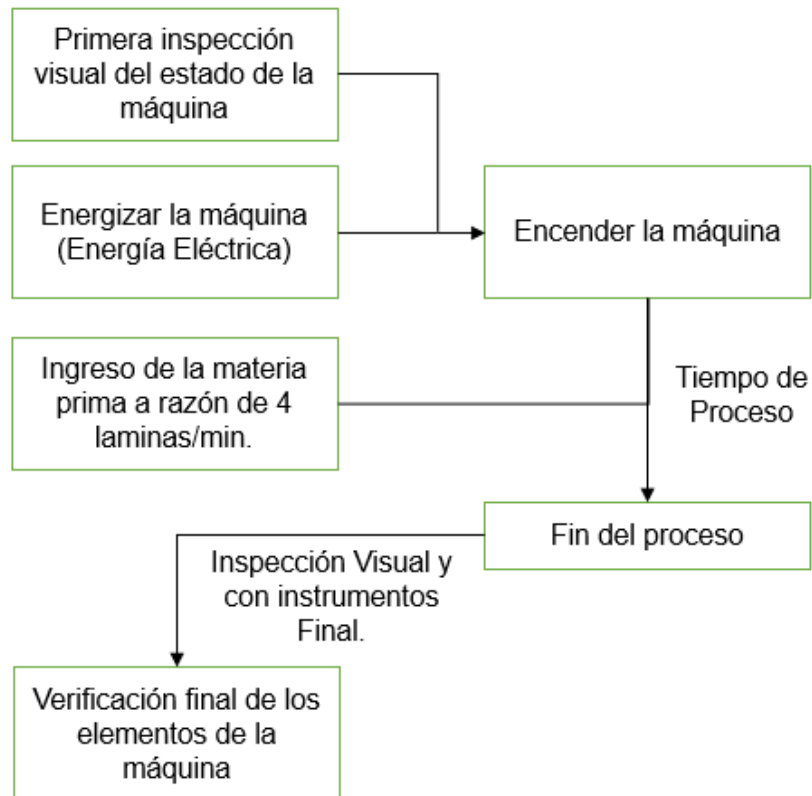


Figura 2.32. Esquema de trabajo para el ensayo 2.

ENSAYO 3

OBJETIVO

- Verificación del rendimiento de trabajo de 246 láminas/h.

EJECUTOR DEL PROCESO

- Operario

CONJUNTO DE ACTIVIDADES

Para proceder con este ensayo se realizarán las siguientes actividades:

- Verificar que el estado en el cual se encuentra el bambú es recomendable para que las fibras sean recién cortadas.
- Iniciar el motor.
- Ingresar las láminas a una tasa de 4 láminas por minuto durante 10 minutos.

- Inspeccionar la integridad de cada subsistema.
- Analizar el rendimiento obtenido con la tabla 2.63 y compararlo con el teórico.

Tabla 2.63. Protocolo de pruebas para verificar rendimiento

Protocolo de Pruebas			
DESFIBRADORA DE BAMBU			
Comprador:		Fecha:	
Operario:			
VERIFICACIÓN DE RENDIMIENTO		Aprueba	
Rendimiento Teórico (u/h)	Láminas por hora (u/h)	Sí	NO
246			

NOTA:

Si después de realizar las actividades mostradas en la figura 2.33, se obtiene un rendimiento menor al esperado, una de las razones predominantes es que los cálculos se realizaron considerando condiciones de trabajo ideales, donde no se considera imprevistos, como obstrucciones de residuos, variaciones de calor, etc.

ESQUEMA:

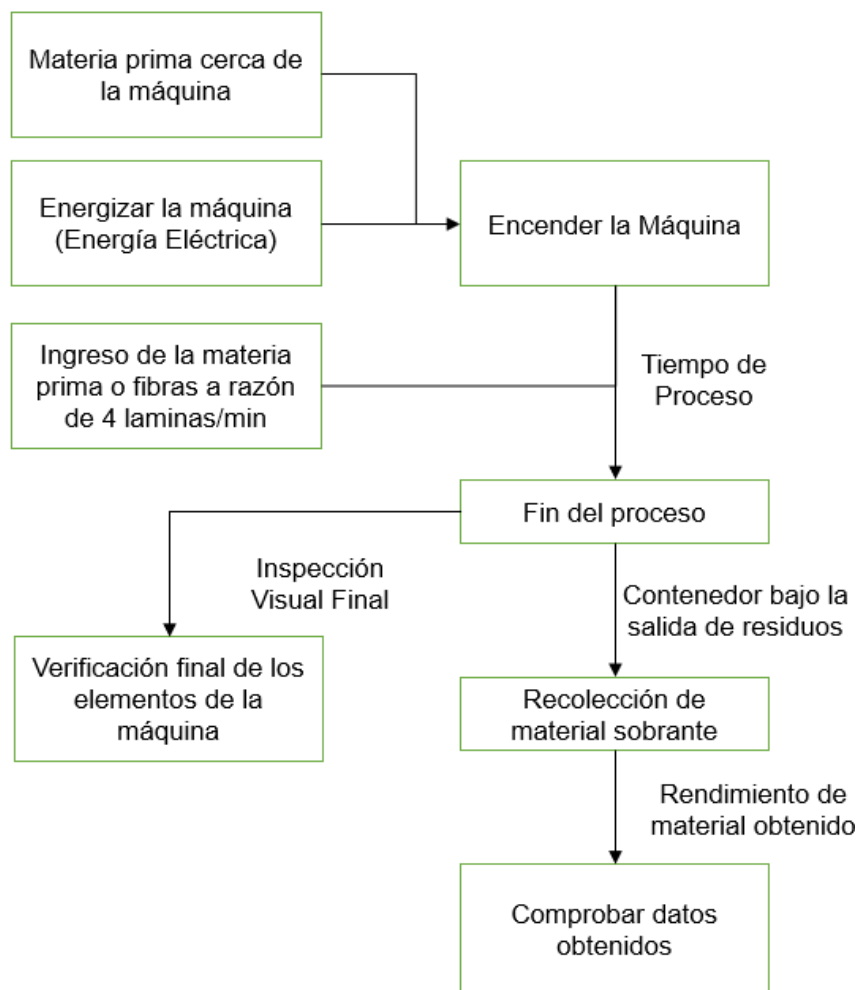


Figura 2.33. Esquema de trabajo para el ensayo 3

ENSAYO 4

OBJETIVO

- Verificación de la calidad de desfibrado.

EJECUTOR DEL PROCESO

- Operario

CONJUNTO DE ACTIVIDADES

Para la realización de este ensayo se llevarán a cabo las siguientes actividades:

- Verificar el estado en el cual se encuentra el bambú es recomendable que las fibras sean recién cortadas.
- Iniciar el motor.
- Ingresar las láminas a una tasa de 4 láminas por minuto durante 10 minutos.
- Situar un contenedor alineado con la salida de la bandeja de residuos para posteriormente analizar la cantidad de desperdicios del proceso de desfibrado con ayuda de la tabla 2.64.
- Inspeccionar la integridad de cada subsistema.

Tabla 2.64. Protocolo de pruebas para verificar la calidad de fibras desfibradas.

PROTOCOLO DE PRUEBAS	
DESFIBRADORA DE BAMBU	
Comprador:	Fecha:
Operario:	
CALIDAD DE DESFIBRADO	
Fibras obtenidas (kg)	Residuos kg
PORCENTAJE	

NOTA:

Si después de realizar las actividades mostradas en la figura 2.34, el porcentaje de residuos obtenidos son menores del 14%, su rendimiento podría ser aceptable ya que es algo común para máquinas de producción agrícola-maderera generar varios residuos y se podría afirmar que el proceso de desfibrado de bambú solventará para las necesidades de los beneficiarios.

ESQUEMA:

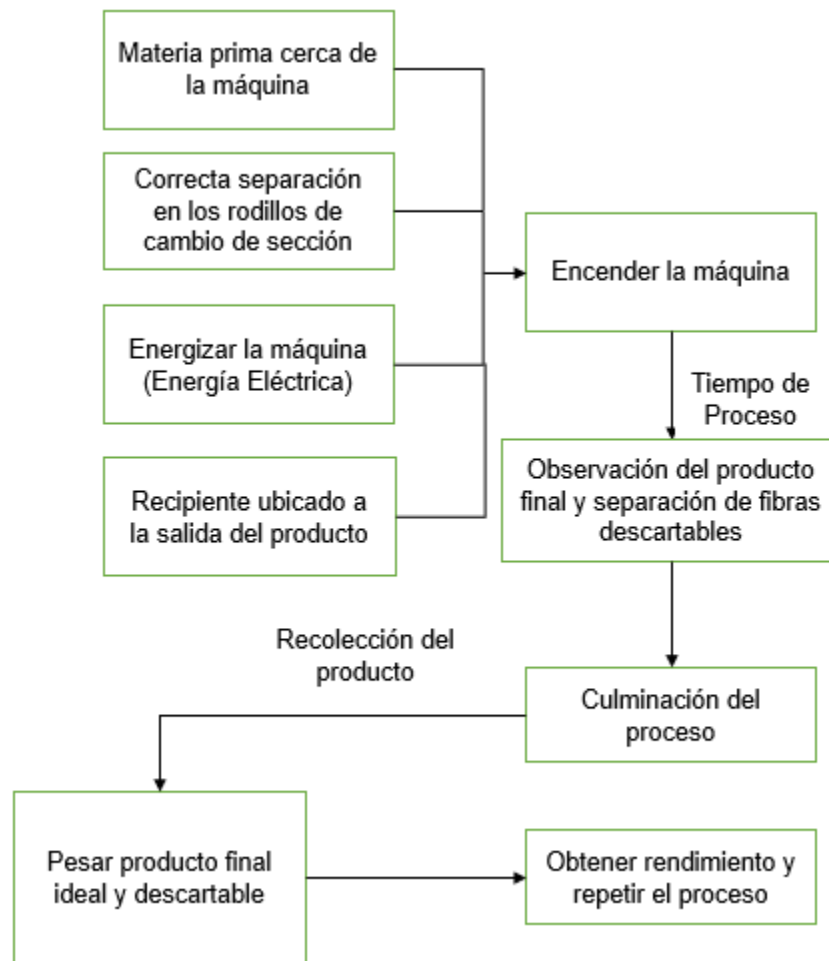


Figura 2.34. Esquema de trabajo para el ensayo 4

ENSAYO 5

OBJETIVO

- Verificación de la inmovilización e integridad de las juntas soldadas y empernadas.

EJECUTOR DEL PROCESO

- Operario

CONJUNTO DE ACTIVIDADES

Para proceder con el ensayo se realizarán las siguientes actividades:

- Verificar que el estado en el cual se encuentra el bambú es recomendable para que las fibras sean recién cortadas.
- Inspección visual de los subconjuntos de elementos (banda-poleas, poleas-eje, estructura, ejes-carcasa, entre otros).
- Iniciar el motor.

- Ingresar las láminas a una tasa de 4 láminas por minuto durante 20 minutos.
- Inspeccionar la integridad de la estructura.
- Inspeccionar visualmente las juntas soldadas, pernos y elementos estructurales de la máquina como se muestra en la tabla 2.65.
- Repetir el proceso al menos 3 veces.

Tabla 2.65. Protocolo de pruebas verificación de juntas empernadas y uniones soldadas

PROTOCOLO DE PRUEBAS			
DESFIBRADORA DE BAMBU			
Comprador:	Fecha:		
Operario:			
FUNCIONAMIENTO CON CARGA			
Numero de láminas de bambú (Unidad)	Elementos	Aprueba	
		SÍ	NO
60	Juntas soldadas		
	Estructura		
	Juntas empernadas		
120	Juntas soldadas		
	Estructura		
	Juntas empernadas		
180	Juntas soldadas		
	Estructura		
	Juntas empernadas		

NOTA:

Si después de realizar las actividades mostradas en la figura 2.35, al inspeccionar visualmente el estado de las soldaduras, juntas y estructura de toda la máquina no se encuentran porosidades, grietas, separación de los pernos, o esbeltez de la estructura, se puede considerar que los procesos de soldadura y juntas son correctos. Sin embargo, si se encuentra irregularidades se precedería con la inmediata corrección de defectos para garantizar el buen funcionamiento de la máquina.

ESQUEMA:

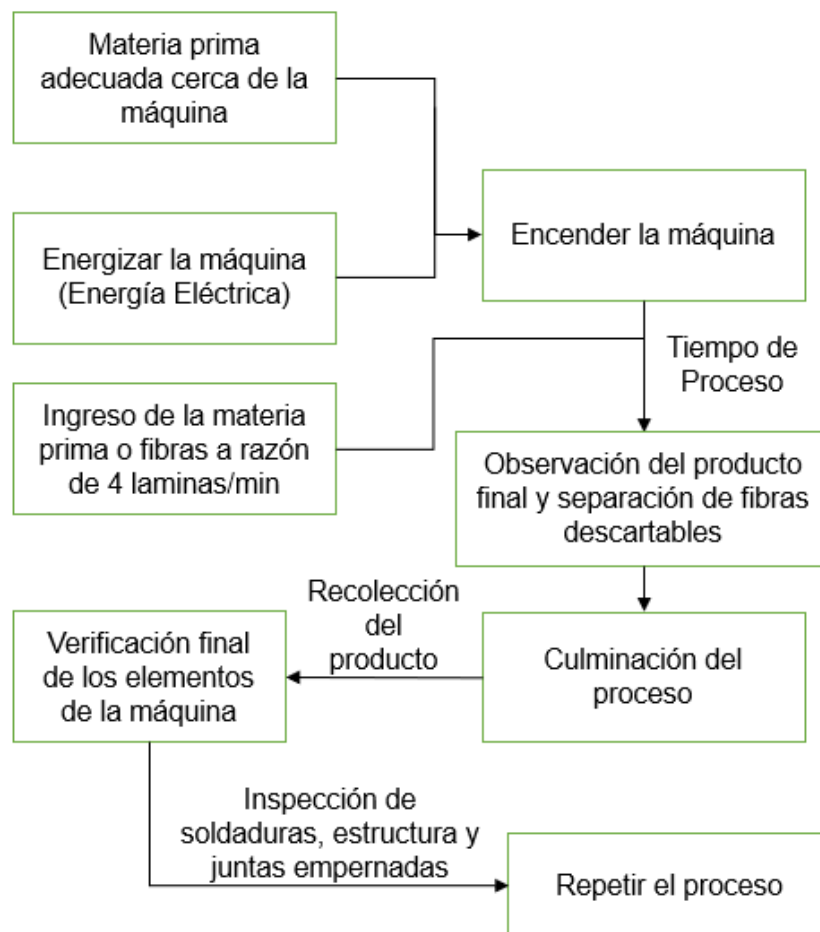


Figura 2.35. Esquema de trabajo para el ensayo 5

2.4.10. Sugerencias de mantenimiento

El mantenimiento de la máquina es de gran importancia para mantener el funcionamiento correcto de la máquina y lograr extender el tiempo de vida útil de la misma. La máquina está diseñada para trabajar un promedio de 3 horas diarias para ello se creó la siguiente propuesta de mantenimiento:

Mantenimiento diario

- Revisión del sistema de transmisión.
- Revisión de la estructura que se encuentre anclada y firme al piso.
- Verificar visualmente que ningún elemento tenga defectos.
- Revisar que las poleas estén en buen estado.
- Verificar que las bandas estén acopladas y tensadas correctamente.
- Eliminar residuos atrapados en el eje desfibrador en el caso de que existan.
- Verificar el funcionamiento general de la máquina mientras se la hace trabajar.

Mantenimiento mensual

- Limpieza general de la máquina de cualquier fluido para evitar oxidación.
- Comprobar que las bandas no tengan excesivo desgaste y que se encuentren alineadas correctamente.
- Lubricar los rodamientos para evitar desgaste. Ajustar todos los pernos para que la estructura y los elementos no generen vibraciones excesivas.
- Engrasar chumaceras
- Ajustar las poleas y pernos.
- Verificar que el funcionamiento correcto del motor.

Mantenimiento anual

- Reemplazar las bandas.
- Revisión de las poleas en caso de existir desperfectos reemplazar.
- Revisión los pernos, y en el caso de existir fracturas reemplazarlos.
- Revisión de las soldaduras de la estructura, si es posible utilizar ensayos normalizados como tintas penetrantes o ultrasonido. Y en el caso de existir grietas o imperfectos eliminar la sección afectada y volver a soldar, sin embargo, si el daño es crítico comprar los elementos necesarios y volver a soldar la estructura.

Mantenimiento especial (3 años o mayor)

- Cambio de rodamientos-chumaceras que hayan cumplido su vida útil o que retrasen el rendimiento de la máquina.
- Realizar rellenos de soldadura donde se requiera.
- Alinear los ejes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se plasman los resultados obtenidos después de la realización del diseño de la desfibradora de bambú, teniendo en cuenta las necesidades de los beneficiarios.

3.1. Resultados

La mejor alternativa de diseño fue seleccionada con base en el análisis funcional fue presentado en la matriz morfológica de la tabla 2.12, con dicho antecedente y añadiendo los cálculos del diseño a detalle, se obtuvieron las características geométricas, mecánicas y de trabajo de la máquina. Además, se seleccionaron elementos normalizados que se utilizarían para el ensamble de la máquina, obteniendo así la geometría presentada en la figura 3.1 para la desfibradora de bambú, modelada con el software de código abierto FreeCAD.

Posteriormente, se analizaron los costos con datos de precios del mercado nacional obteniendo un precio neto de fabricación de 847,54 USD (tabla 2.59), precio el cual añadiendo el IVA del 12% es de 949,25 USD. Dicho valor representa una inversión accesible para los beneficiarios tomando en cuenta el precio de otras desfibradoras que requieren importación y la relación costo-beneficio que presenta la máquina.

Se obtuvo con base en la potencia de entrada de 1 HP, todos los datos concernientes para la selección del motor para la máquina (WEG de 1 HP trifásico W22 IE2 ; 220-440 V); dicho motor con la ayuda del sistema de transmisión diseñado permite alcanzar el rendimiento propuesto de 3 culmos/h.

Para salvaguardar la ergonomía del usuario, se obtuvo una altura de 1,07 m, la cual entra en el rango solicitado por los beneficiarios y facilita el desfibrado sin generar fatiga por inclinación del operario. Además, los elementos utilizados son fáciles de desmontar, lubricar y reemplazar, por lo que, no genera dificultades de mantenimiento y brindará una elevada vida útil para la máquina.

Así mismo, se obtuvieron los planos correspondientes (Anexo VIII) para la construcción de la máquina, los cuales tienen sus respectivas tolerancias y detalles para facilitar el trabajo de montaje al operario.

Finalmente, por pedido de un beneficiario directo (INBAR) y en conjunto con los cálculos del diseño a detalle, se garantizó la funcionalidad de la propuesta de diseño al generar un prototipo del módulo de desfibrado en la Metalmecánica de “San Bartolo”, para ratificar la funcionalidad y tener la seguridad de que los ejes realizarán su trabajo sin complicaciones, como se muestra en la figura 3.2.

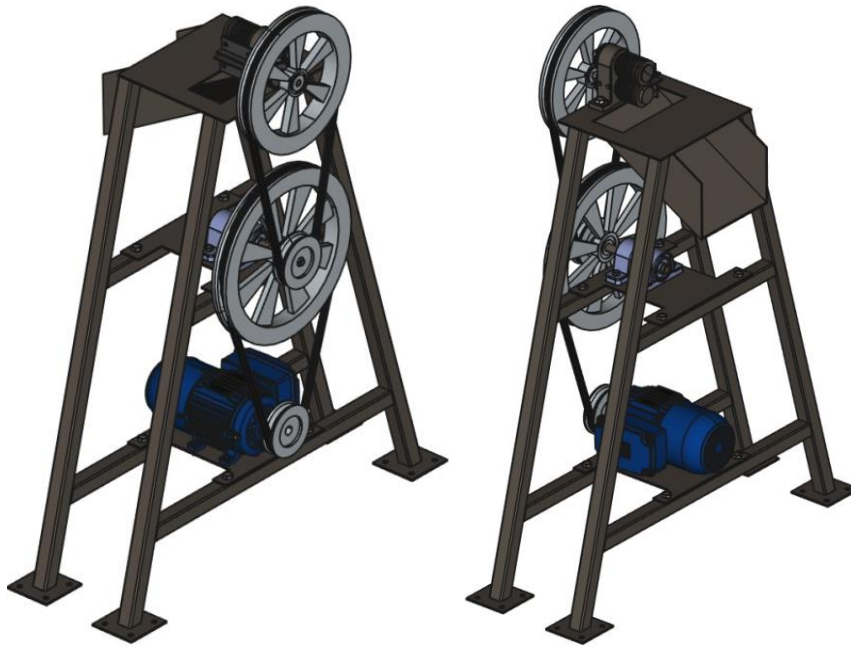


Figura 3.1. Propuesta de máquina desfibradora de bambú.



Figura 3.2. Desfibrado con prototipo.

3.2. Discusión

El software de código abierto FreeCAD, utilizado para realizar la representación de la figura 3.1, presenta herramientas de modelado 3D algo limitadas en comparación a software de modelado 3D común como SolidWorks o Inventor. Sin embargo, para obtener la geometría de la desfibradora de bambú fue suficiente y permitió alcanzar el objetivo general planteado. Además, cabe recalcar que el tiempo de diseño con dicho software se eleva por la falta de experticia y por los comandos poco intuitivos. No obstante, aunque carezca de las facilidades de diseño de programas como los programas antes mencionados, el costo cero al utilizarlo justificara su manejo.

Para alcanzar el rendimiento de 3 culmos/h propuesto, se requieren 180 RPM, sin embargo, los motores comerciales encontrados poseen elevadas revoluciones (1 750-3 000 RPM), por lo que, inicialmente se planteaba utilizar un motorreductor para tener las RPM requeridas directo al eje 1, no obstante, el costo se elevaba de forma considerable ya que los motorreductores oscilan en precios de entre 300 y 400 USD. Por lo tanto, para brindarle una opción más económica al usuario, se optó por diseñar un sistema de transmisión con bandas y poleas añadiendo un tercer eje para reducir las RPM que llegan al eje 1, entonces, se redujo a 525 RPM un valor con el cual la máquina puede funcionar correctamente y alcanzar el rendimiento propuesto.

La capacidad de la máquina es limitada a las necesidades del usuario, en comparación a las máquinas de China (tabla 1.4) que son de mayor costo pero pueden desfibrar más culmos por hora. De igual forma, si se compara el rendimiento de la desfibradora de hojas y pseudotallos de [12] (45 hojas/hora), sería mayor al rendimiento de la desfibradora de bambú diseñada (3 culmos/h). Esta diferencia se presenta ya que el sistema de cuchillas de desfibrado es distinto por ende más costoso, Sin embargo, las dimensiones de la fibra de bambú es más controlada como se aprecia en la figura 3.2.

Al construir la máquina, esta permitirá remover fibras y brindar a los productores minoritarios materia prima para la construcción de elementos artesanales como los previamente mencionados en el marco teórico de la tabla 1.2. El precio de la máquina en comparación con la desfibradora de hojas y pseudotallos de 2943,13 USD [12], es más accesible; no obstante, el rango de uso de la desfibradora de bambú es para un determinado espesor de lámina lo cual limita un poco su uso. Finalmente, para mejorar esta situación se podría modificar el sistema de desfibrado para que sea adaptable a los distintos espesores que puede tener un culmo de bambú.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La máquina desfibradora de bambú fue representada con ayuda de software de código abierto y libre FreeCAD, además, para el análisis de fuerzas y momentos se utilizó el software libre MDSolids, en consecuencia, se logró satisfacer las necesidades de diseño de la desfibradora de bambú.
- Se revisó el estado del arte sobre la máquina a diseñar encontrando datos esenciales como la fuerza de corte necesaria para romper el bambú, ventajas del software de código abierto, entre otros. Esto facilitó la generación de la idea para el proceso de desfibrado ya que en el país no existe prototipos específicos que desfibren bambú con las dimensiones requeridas por los usuarios.
- La capacidad de culmos de bambú que pueden ingresar por hora fue determinada gracias al análisis de las necesidades de los potenciales usuarios (INBAR y productores de bambú), encuestas y reuniones obteniendo un rendimiento de 3 culmos/h para garantizar que las necesidades del usuario sean solventadas
- Para garantizar el funcionamiento de la máquina desfibradora de bambú se construyó un prototipo por solicitud de los beneficiarios, el cual funcionó de manera correcta y acompañado de los cálculos realizados en el diseño a detalle ratificaron su correcto funcionamiento.
- Los planos de conjunto y los planos de taller con base fueron generados en la normativa de dibujo técnico manejada en la facultad, tomando en cuenta los cálculos realizados en el diseño de detalle, añadiendo tolerancias recomendadas, de tal forma que, cuando se realice la construcción no exista inconvenientes y la máquina funcione correctamente.
- Se produjeron los planos en FreeCAD, sin embargo, se halló complicaciones para añadir tolerancias y mejorar la representación de los detalles y cortes, en consecuencia, se realizó un postproceso de los planos en AutoCAD para una mejor presentación académica.
- Se realizó el análisis de costos para la máquina diseñada encontrando que el valor total incluyendo los rubros de diseño, imprevistos y utilidad sería de 949,25 USD, un valor aceptable considerando el costo-beneficio que brinda la máquina. No obstante, si se desearía reducir el costo de esta se podría construir en masa lo cual reduciría al menos un 15% del valor total, de la misma manera, se podría buscar otros proveedores para los elementos normalizados y materiales

utilizados en el módulo 2 que tiene una influencia del 81,35% en el costo total de la máquina.

- Los cálculos a fatiga de los ejes generaron factores de seguridad conservadores y no conservadores, todos mayores a 1 y en cada caso se presentan recomendaciones para prolongar su vida útil.
- El protocolo de pruebas realizado brindará una idea de cómo proceder a probar la máquina a las personas que construyan la máquina antes de su uso, con la ayuda de ensayos con carga, sin carga, de rendimiento, de porcentaje de desperdicios y de análisis de la estructura de la máquina.

4.2. Recomendaciones

- En el caso de utilizar el software libre mostrado en la presente tesis, hay que considerar que se requiere un período de aprendizaje de la herramienta lo que influenciaría en el tiempo de diseño, por lo que, para un diseño urgente no se recomendaría.
- Para trabajos futuros un punto vital a analizar serían las afectaciones que sufre la fibra de bambú por su procesamiento mecánico y la cantidad de residuos que genera por este.
- Modificar el sistema de desfibrado para que el espesor de entrada sea regulable aumentando el rendimiento de la máquina, brindando un mayor rango de materia prima para la comunidad manufacturera de bambú.
- Si los ejes que desfibran se llenan de residuos de bambú, apagar la máquina, retirarlos para evitar afectaciones a la calidad de la fibra obtenida o a la integridad de la máquina y proceder con el trabajo de desfibrado.
- Tomar en cuenta los mantenimientos semanales, mensuales, anuales y posteriores como lubricación pertinente, limpieza, cambio adecuado de elementos normalizados para un alargamiento de la vida útil de la máquina.
- En el caso de requerir un mayor rendimiento se puede modificar los acoples para ingreso de materia prima de una forma tal que pueda abarcar más láminas de bambú.

Referencias Bibliográficas

- [1] S. R. Imadi, I. Mahmood, y A. G. Kazi, *Biomass and bioenergy: Processing and properties*, vol. 9783319076. 2014.
- [2] G. Caguana, “Descripción del Bambú (*Bambusa vulgaris*), Importancia y Valor Agroecológico”, Universidad Agraria del Ecuador, 2020.
- [3] MAG, “Ecuador ejecuta estrategia para aumentar producción y demanda de bambú”, *Ministerio de Agricultura y Ganadería*, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-ejecuta-estrategia-para-aumentar-produccion-y-demanda-de-bambu/>. [Accedido: 06-may- 2021]
- [4] P. Izquierdo y F. Moreno, “Evaluación Regional de Recursos de Bambú mediante la Aplicación Móvil”, Manabí, 2019.
- [5] MAG, *Ecuador: Estrategia Nacional del Bambú 2018-2022*. 2019.
- [6] C. Riba, *Diseño concurrente*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2002.
- [7] E. Blanco y C. Riba, “Metodología para el diseño de máquinas adaptadas a comunidades en desarrollo”, Barcelona, 2015. [En línea]. Disponible en: [https://is.upc.edu/ca/intranet/prs-pts-q1-curs-2014-15/documents/pr-blanco/@@download/file/PR Blanco Romero, Elena.pdf](https://is.upc.edu/ca/intranet/prs-pts-q1-curs-2014-15/documents/pr-blanco/@@download/file/PR%20Blanco%20Romero,%20Elena.pdf).
- [8] M. Espinoza, “Análisis comparativo de herramientas computacionales CAD basado en versión libre con programas comerciales”, Universidad de Carabobo, 2015.
- [9] D. R. Morelli, “Opciones para la enseñanza de la representación gráfica a partir de software libre y gratuito”, *Rev. Bras. Expressão Gráfica*, vol. 3, núm. 1, p. 16, 2015, [En línea]. Disponible en: <http://www.fceia.unr.edu.ar/solcad>.
- [10] INBAR, *Directorio de contactos del sector del Bambú en Ecuador*. 2017.
- [11] M. Jawaid y S. M. Rangappa, *Bamboo Fiber Composites*. Singapore: Springer Singapore, 2021.
- [12] L. Espín y V. Cárdenas, “Diseño y construcción de una desfibradora de hojas y pseudotallos para obtener material lignocelulósico a utilizar como refuerzo de polímeros”, *Fac. Ing. mecánica-Escuela Politécnica Nac.*, p. 238, 2015.
- [13] TROPICS AGRO INDUSTRIES, “Fibers Processing Machines”, 2000 [En línea]. Disponible en: <http://www.kolbi.org/?it=viewproduct&cat=4&descrip=14>.
- [14] D. Cazar y S. Morán, “Abacá: Esclavitud moderna en los campos de Ecuador.”, *Plan V*, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://www.planv.com.ec/investigacion/investigacion/abaca-esclavitud-moderna-campos-ecuador>. [Accedido: 10-dic- 2021]

- [15] L. Zhengzhou Qixin Machine Co., “Máquina trituradora de jengibre, brotes de bambú y patatas.”, *Alibaba*, 2020 [En línea]. Disponible en: https://www.alibaba.com/product-detail/Ginger-shredder-machine-bamboo-shoots-shredding_1600136334617.html. [Accedido: 13-ene-2022]
- [16] L. Jiaozuo Double Eagle Machinery Co., “Cortadora fina de láminas de bambú.”, *Alliexpress*, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://www.aliexpress.com/i/4000874545070.html#overview>. [Accedido: 13-ene-2022]
- [17] V. Harutyunyan, “Ventajas y Desventajas de Transmisiones por Cadena”, *Hvhindustrial*, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://hvhindustrial.com/es/blog/ventajas-desventajas-transmisiones-por-cadena>. [Accedido: 13-ene-2022]
- [18] S. Velez, “Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia.”, Universitat Politècnica de Catalunya, 2006.
- [19] J. H. García y J. C. Camargo, “Condiciones de calidad de *Guadua angustifolia* para satisfacer las necesidades del mercado en el Eje Cafetero de Colombia”, *Recur. Nat. y Ambient.*, núm. 61, pp. 67–76, 2010, [En línea]. Disponible en: http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8444/Condiciones_de_calidad_de_guadua.pdf.
- [20] J. Camargo y J. Suarez, “Compression Resistance and Shear Strength of *Guadua Angustiolia* culms after drilling of the node diaphragm”, *Colomb. For.*, vol. 17, núm. 1, pp. 117–124, 2014.
- [21] Dunlop, “Correas de Transmisión Industrial”, Argentina, 2017. [En línea]. Disponible en: https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut121/Correas_Dunlop.pdf. [Accedido: 20-mar-2022]
- [22] R. Budynas y J. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, 9a ed. New York: McGraw-Hill, 2012.
- [23] R. L. Mott, *Diseño de elementos de máquinas*, vol. 4. Pearson, 2009.
- [24] W. Callister y D. Rethwisch, *Materials Science and Engineering*, 9a ed., vol. 9, núm. 2. New York: Wiley, 2018.
- [25] J. Mesa y R. Toala, “Construcción de un Modelo Experimental para Simular el Comportamiento por Fluencia Lenta del Acero Inoxidable AISI 304 sometido a Corrosión bajo Esfuerzos”, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2015.
- [26] Grupo SKF, “Rodamientos”, 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf.

- [27] Koyo, "Tablas de dimensiones de chumaceras", Koyo, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://koyola.com.pa/pdf/chumaceras/2.pdf>.
- [28] Unican, "Elementos de Máquina". [En línea]. Disponible en: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/228/course/section/139/tema_4.1.pdf. [Accedido: 20-feb-2022]
- [29] Songshun Steel, "C45 Steel Characteristics", 2012 [En línea]. Disponible en: <https://steelpurchase.com/1045-s45c-c45-steel/>. [Accedido: 20-feb-2022]
- [30] Challenge, *Catálogo Técnico*, 5a ed. Challenge, 2013.
- [31] Dipac, "Eje AISI 304 inoxidable", 2014 [En línea]. Disponible en: <https://www.dipacmanta.com/acero-inoxidable-aisi>. [Accedido: 27-feb-2022]

I. Anexos

ANEXO I Encuesta

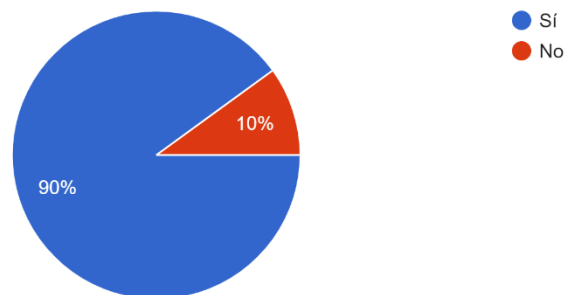
En esta sección se presenta los resultados de las preguntas realizadas a los beneficiarios de la máquina desfibadora de Bambú. Enlace: <https://forms.gle/4faD9BGYvCFr536Y6>

Objetivo: Recolectar información para determinar la factibilidad del diseño de una máquina desfibadora de bambú y posibles requerimientos técnicos de la máquina basados en el conocimiento y preferencias de potenciales usuarios de esta.

La información que usted proporcione será utilizada únicamente con fines académicos, por lo que solicitamos responda con total libertad.

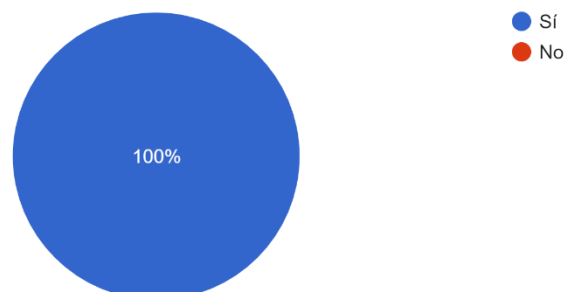
1. ¿Conoce los usos de la fibra de bambú?

¿Conoce los usos de la fibra de bambú?
20 respuestas



2. ¿Le gustaría obtener fibra de bambú para su venta o elaboración de productos?

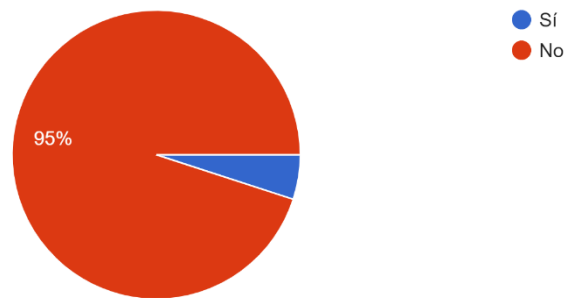
¿Le gustaría obtener fibra de bambú para su venta o elaboración de productos?
20 respuestas



3. ¿Posee alguna máquina que le ayude a desfibrar?

¿Posee alguna máquina que le ayude a desfibrar?

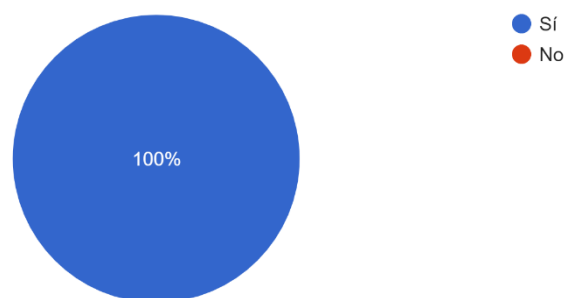
20 respuestas



4. ¿Le gustaría tener una máquina que desfibre el bambú por usted de forma rápida y sencilla?

¿Le gustaría tener una máquina que desfibre el bambú por usted de forma rápida y sencilla?

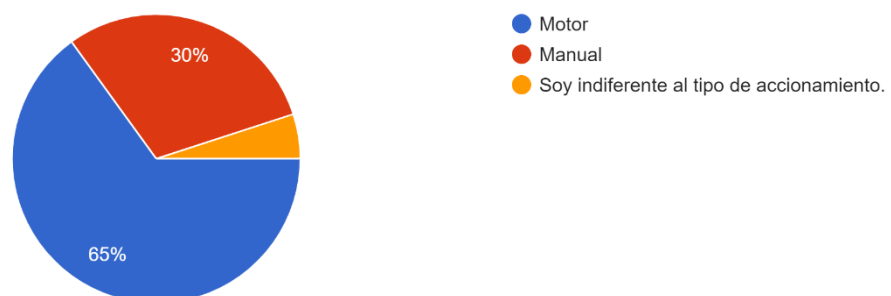
20 respuestas



5. ¿Le gustaría que el accionamiento de dicha máquina sea de un motor o de forma manual?

¿Le gustaría que el accionamiento de dicha máquina sea en base a un motor o de forma manual?

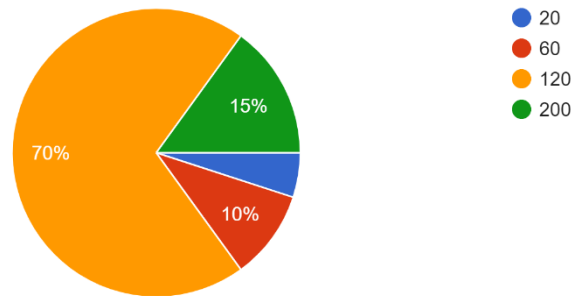
20 respuestas



6. ¿Cuántos tallos bambú requeriría desfibrar a la semana?

¿Cuántos tallos bambú requeriría desfibrar a la semana?

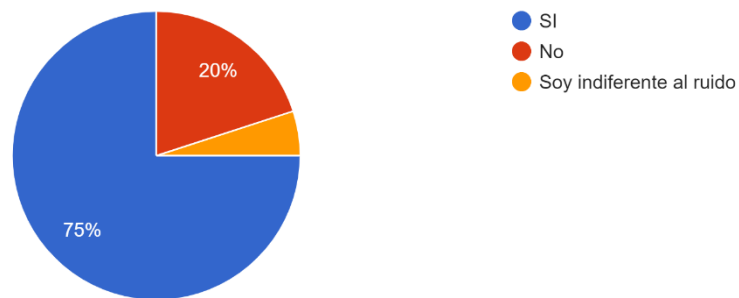
20 respuestas



7. ¿Le importaría que la máquina sea ruidosa?

¿Le importaría que la maquina sea ruidosa?

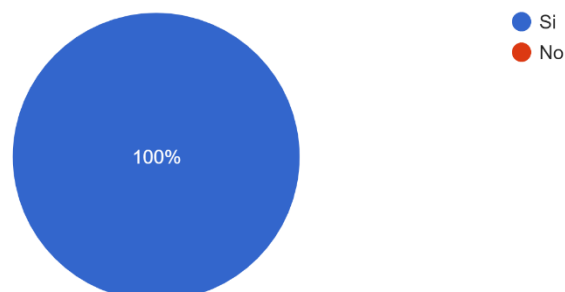
20 respuestas



8. ¿Le gustaría que el mantenimiento de dicha máquina sea sencillo?

¿Le gustaría que el mantenimiento de dicha máquina sea sencillo?

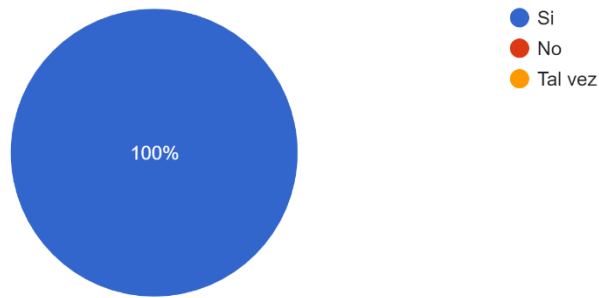
20 respuestas



9. ¿Le gustaría que la máquina sea fácil de manipular?

¿Le gustaría que la maquina sea fácil de manipular?

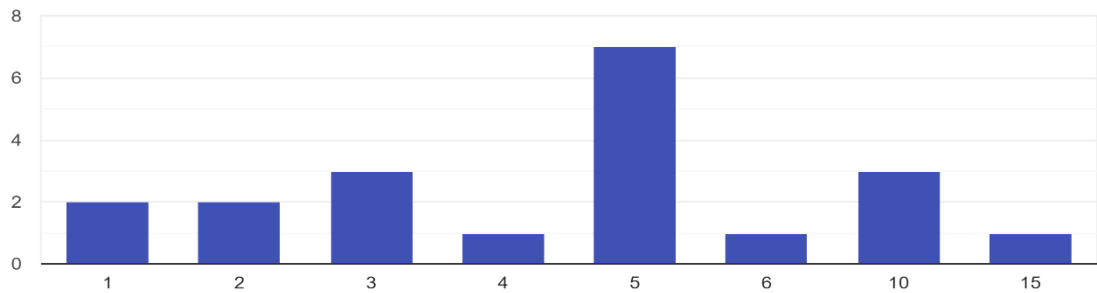
20 respuestas



10. ¿Qué espesor de bambú le gustaría ingresar en la máquina? (Responder en milímetros, solo el número)

¿Qué espesor de bambú le gustaría ingresar en la máquina? (Responder en milímetros, solo el número)

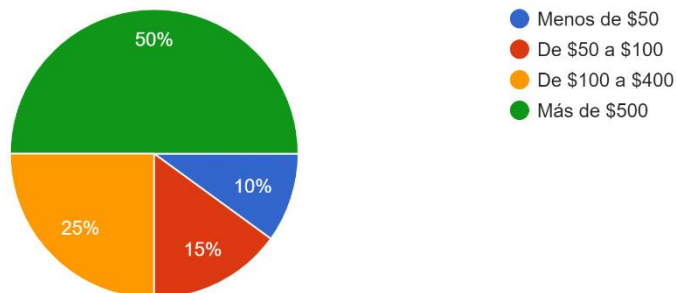
20 respuestas



11. ¿Cuánto estaría dispuest@ a pagar por una máquina que desfibra el bambú por usted?

¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una máquina de bambú?

20 respuestas



12. ¿Qué otras características le gustaría en dicha máquina? (Tamaño, materiales, peso)

Respuestas:

- Fácil traslado.
- Barata.
- Bajo peso.
- Pequeña de buena calidad.
- Que no sea de tamaño muy grande, material resistente no demasiado pesada.
- Ligera.
- Que sea robusta y que su relación beneficio precio sea el más adecuado.
- Barata, compacta.
- Material de fácil limpieza, con seguridades para evitar accidentes.
- Alta durabilidad.
- Repuestos.
- Que no sea muy grande.
- Acero inoxidable.
- Mediana o compacta que no requiera mucho espacio, liviana y manejable que no requiera de maquinaria para moverla, resistente a las sustancias vegetales que se liberan de la fibra, fácil mantenimiento y limpieza, segura que evite cortes del operador
- Repuestos fáciles de conseguir, que se pueda transportar.
- Que pueda soportar ambiente húmedo.
- Tamaño
- Que sea de un material resistente a la oxidación y de fácil limpieza. Que sea relativamente fácil de transportar.
- Que no ocupe mucho espacio, de bajo consumo energético, etc.
- Que se pueda meter láminas de bambú de al menos 5mm.

ANEXO II Casa de la Calidad

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ANEXO 2: Casa de la Calidad
Diseño de una Desfibradora de Bambú con Software Libre
Diseñado por: Salazar Alex

Leyenda		
⊙	Relación Fuerte	9
○	Relación Moderada	3
▲	Relación pobre	1
⊕	Correlación Fuerte Positiva	
+	Correlación Positiva	
—	Correlación Negativa	
▼	Correlación Fuerte Negativa	
▼	Objetivo es Minimizar	
▲	Objetivo es Maximizar	
X	Objetivo target	
●	Fuerte	1,5
•	Posible	1,2
X	Ningún	1

Row #	Índice de mejora	Factor de venta	Opinión de encuestados	Importancia	Ponderación	% de ponderación	Calidad buscada (Voz del Usuario)	Columna #								Análisis de Competitividad (0=Worst, 5=Best)	
								1	2	3	4	5	6	7	8	Nuestra Compañía	Objetivo
								<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> </div>									
								<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> </div>									
								<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> </div>									
								<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> </div>									
							Dirección de Mejora Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (X)	X	X	▼	▲	X	▼	▼	X		
							Características de calidad (Voz del Ingeniero)	Tipo de accionamiento (Manual / con motor)	Espesor de tallo de entrada	Cantidad de Ruido	Ergonomía	Material de construcción utilizado	Dimensiones de la máquina	Mantenimiento	Cantidad de culmos desfibrados por hora	Nuestra Compañía	Objetivo
1	4	●	18,0	4,0	19,2	7,8	Que desfibre más de 200 culmos semanalmente.		○					○	⊙	1	4
2	5	●	20,0	5,0	37,5	15,2	Accesibilidad Económica	⊙			⊙	⊙	⊙		⊙	1	5
3	3		15,0	3,0	9,0	3,6	No sea muy ruidosa	○		○					⊙	1	3
4	4	●	18,0	4,0	19,2	7,8	Máquina manual o con motor	○	○	○	○		▲	▲	○	1	4
5	5	●	20,0	5,0	37,5	15,2	Fácil manipulación y transporte de máquina				○	○	○			1	5
6	4	●	15,0	3,0	14,4	5,8	Que tenga alta durabilidad					○		⊙	▲	1	4
7	4		16,0	4,0	16,0	6,5	Que no genere cortes al operador				○					1	4
8	5	●	20,0	5,0	37,5	15,2	Mantenimiento fácil					▲	○	⊙		1	5
9	5	●	20,0	5,0	37,5	15,2	Que desfibre de forma rápida y sencilla	○	○						⊙	1	5
10	4	●	16,0	4,0	19,2	7,8	Que se pueda meter culmos de al menos 3mm		○				▲		⊙	1	4
								<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> Σ 247,0 100,0 </div>									
								<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> Σ 0 5 3 5 2 4 5 4 </div>									
								<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> Σ 3 3 3 4 3 5 4 3 </div>									
								<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> Σ 874,8 625,5 253,8 991,8 842,1 825,9 543,9 1173,6 6131,4 </div>									
								<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> Σ 14,3 10,2 4,1 16,2 13,7 13,5 8,9 19,1 100,0 </div>									
								<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> Σ Motor eléctrico 1 hp 5 mm Menor a 65 dB Acero Inoxidable en zonas de desfibrado Que no supere 1,5 m de altura Revisión trimestral 3 culmos/h </div>									
								<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> Σ Valor de referencia </div>									

ANEXO III Análisis Modular

Módulo 1

Tabla III.1 Análisis del costo de las alternativas del módulo 1.

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Alternativa 1	-	0,5	0,5	2	0,33
Alternativa 2	0,5	-	0,5	2	0,33
Alternativa 3	0,5	0,5	-	2	0,33
			Σ	6	1
Alternativa 3 = Alternativa 2 = Alternativa 1					

Tabla III.2 Análisis de la facilidad de construcción para las alternativas del módulo 1.

Facilidad de construcción	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Alternativa 1	-	0,5	1	2,5	0,42
Alternativa 2	0,5	-	1	2,5	0,42
Alternativa 3	0	0	-	1	0,16
			Σ	6	1
Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3					

Tabla III.3 Análisis de la funcionabilidad óptima para las alternativas del módulo 1.

Funcionabilidad óptima	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Alternativa 1	-	0	1	2	0,33
Alternativa 2	1	-	1	3	0,50
Alternativa 3	0	0	-	1	0,17
			Σ	6	1
Alternativa 2 > Alternativa 1 > Alternativa 3					

Tabla III.4 Análisis de la estabilidad para las alternativas del módulo 1.

Estabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Alternativa 1	-	0,5	0,5	2	0,33
Alternativa 2	0,5	-	0,5	2	0,33
Alternativa 3	0,5	0,5	-	2	0,33
			Σ	6	1
Alternativa 1 = Alternativa 2 = Alternativa 3					

Módulo 2

Tabla III.5 Análisis del costo de las alternativas del módulo 2.

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma + 1$	Ponderado
Alternativa 1	-	1	2	0,67
Alternativa 2	0	-	1	0,33
		Σ	3	1
Alternativa 1 > Alternativa 2				

Tabla III.6 Análisis de la facilidad de construcción para las alternativas del módulo 2.

Facilidad de Construcción	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma + 1$	Ponderado
Alternativa 1	-	0,5	1,5	0,50
Alternativa 2	0,5	-	1,5	0,50
Σ			3	1
Alternativa 1 = Alternativa 2				

Tabla III.7 Análisis del mantenimiento para las alternativas del módulo 2.

Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma + 1$	Ponderado
Alternativa 1	-	1	2	0,67
Alternativa 2	0	-	1	0,33
Σ			3	1
Alternativa 1 > Alternativa 2				

Tabla III.8 Análisis de la fiabilidad para las alternativas del módulo 2.

Fiabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma + 1$	Ponderado
Alternativa 1	-	1	2	0,67
Alternativa 2	0	-	1	0,33
Σ			3	1
Alternativa 1 > Alternativa 2				

Tabla III.9 Análisis de la estabilidad para las alternativas del módulo 2.

Estabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma + 1$	Ponderado
Alternativa 1	-	0,5	1,5	0,50
Alternativa 2	0,5	-	1,5	0,50
Σ			3	1
Alternativa 1 = Alternativa 2				

ANEXO IV Valores de catálogo para el cálculo de las correas.

Tabla N° 3 - Coeficiente de corrección de la potencia						
Tipo de máquina conductora Tipo de máquina conducida	Motores de corriente alterna, torque normal, a jaula de ardilla, sincrónicos; fase partida. Motores de corriente continua, bobinado en shunt. Máquinas de combustión interna, cilindros múltiples.			Motores de corriente alternada, alto torque, alto deslizamiento, bobinado en serie y anillado colector. Motores de corriente continua, bobinado en serie y bobinado compound. Máquina a combustión interna, monocilíndrica. Ejes en línea. Arranque directo y con embrague		
	Servicio intermedio hasta 7 horas diarias	Servicio normal 8 a 15 horas diarias	Servicio continuo más de 16 horas diarias	Servicio intermedio hasta 7 horas diarias	Servicio normal 8 a 15 horas diarias	Servicio continuo más de 16 horas diarias
Agitador para líquidos y semilíquidos, ventiladores y aspiradores, compresores y bombas centrífugas. Sopladores hasta 10 HP. Transportadores livianos.	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Cintas transportadoras para arena, granos, etc. Mezcladores de panadería. Sopladores de más de 10 HP, generadores. Línea a ejes (ejes principales), máquinas de lavaderos, máquinas herramienta, punzadoras, prensa, guillotinas, bombas rotativas positivas. Máquinas de imprenta, zarandas vibradoras y giratorias.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Máquina de ladrillos y cerámicas, elevadores a cangilones. Generadores y excitatrices. Compresores a pistón, transportadores, molinos a martillos, molinos batidores para papel, bombas a pistón, sopladores positivos. Pulverizadores, desmenuzadoras, sierras y máquinas para elaboración de madera, máquinas textiles.	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras (giratorias, mandíbulas, bolas). Molinos (bolas, laminadores, barras). Calamandra para goma, bambury-extrusoras.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

Figura IV. 1. Valores de factor de servicio para corrección de potencia.

Fuente: [21]

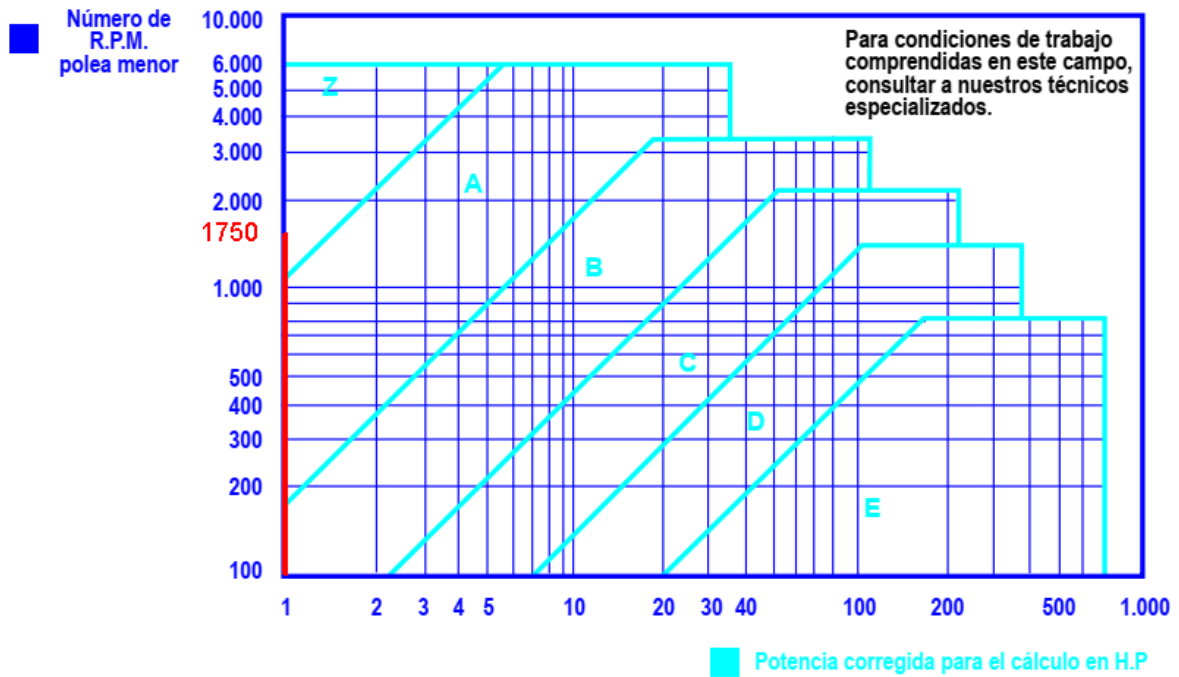


Figura IV. 2. Selección del tipo de correa con base en la potencia corregida y RPM.

Fuente: [21]

Tabla N° 1							Tabla N° 1						
∅ mm	Z	A	B	C	D	E	∅ mm	Z	A	B	C	D	E
50	••						315		••	••	••		
53	••						355		•	•	•	••	
56	••						375			•	•	•	
60	••						400		••	••	••	••	
63	••						425			••	••	••	
67	••						450		•	•	•	••	
71	••	•					475					•	
75	••	•					500	••	••	••	••	••	••
80	••	•					530						•
90	••	••					560	•	•	•	•	•	••
95	••	••					600		•				•
100	••	••					630	••	••	••	••	••	••
106	••	•					670						•
112	••	••	•				710	•	•	•	•	•	••
118	••	•	•				750		•			•	
125	••	••	•				800		••	••	••	••	••
132	••	••	•				900		•	•	•	•	•
140	••	••	••				1000		••	••	••	••	••
150	••	•	•				1060					•	
160	••	••	••				1120				•	•	•
170	••	•	•				1250			••	••	••	••
180	••	••	••	•			1400		•		•	•	•
200	••	••	••	••			1500				•	•	
212	••	•	•	•			1600		••	••	••	••	
224	••	•	•	••			1800				•	•	
236	••	•	•	•			1900						•
250	••	••	••	••			2000				••	••	
265	••	•	•	•			2240					•	
280	••	•	•	••			2500						••
300	••	•	•	•			3000						

Según normas BS 3790 • Diámetro especificado. •• Diámetro especialmente recomendado.

IMPORTANTE: Al aumentar el diámetro de polea aumenta la vida útil de la correa.

Figura IV. 3. Selección del diámetro de poleas.

Fuente: [21]

Tabla N° 6		Longitud primitiva nominal				
Correa (in)	Sección Z (mm)	Sección A (mm)	Sección B (mm)	Sección C (mm)	Sección D (mm)	Sección E (mm)
41	1066	1075	1086	-	-	-
42	1092	1106	1100	-	-	-
43	1117	1134	1140	-	-	-
44	1143	1153	1156	1191	-	-
45	1168	1186	1184	1217	-	-
46	1193	1199	1204	1242	-	-
47	1219	1232	1237	1267	-	-
48	1244	1262	1268	1293	-	-
49	1270	1280	1288	1318	-	-
50	1295	1306	1318	1344	-	-
51	1320	1330	1328	1357	-	-
52	1346	1354	1367	1394	-	-
53	1371	1381	1392	1429	-	-
54	1397	1405	1410	1442	-	-
55	1422	1429	1443	1460	-	-
56	1447	1459	1460	1497	-	-
57	1473	1492	1491	1527	-	-
58	1498	1507	1512	1550	-	-
59	1524	1532	1541	1576	-	-
60	1549	1556	1556	1598	-	-

Figura IV. 4. Selección de longitud primitiva para correas 1 y 2.

Fuente: [21]

SPZ		SPA		SPB		SPC	
longitud correa (mm)	factor de corrección	longitud correa (mm)	factor de corrección	longitud correa (mm)	factor de corrección	longitud correa (mm)	factor de corrección
510 - 710	0.80	750 - 900	0.80	1250 - 1340	0.80	2000 - 2240	0.80
737 - 950	0.85	925 - 1120	0.85	1400 - 1600	0.85	2360 - 2800	0.85
962 - 1250	0.90	1132 - 1600	0.90	1650 - 2240	0.90	3000 - 3350	0.90
1270 - 1500	0.95	1632 - 2240	0.95	2280 - 3000	0.95	3550 - 4500	0.95
1520 - 2120	1.00	2300 - 2800	1.00	3150 - 3750	1.00	4750 - 5600	1.00
2150 - 2840	1.05	2900 - 3550	1.05	3800 - 5000	1.05	6000 - 8000	1.05
2990 - 3810	1.10	3750 - 4500	1.10	5070 - 7990	1.10	8500 - 10000	1.10

Figura IV. 5. Selección del factor de corrección.

Fuente: [30]

Tabla N° 5		Factor de corrección	
Arco de contacto sobre polea menor	Poleas acanaladas	Poleas acanalada/plana	
180°	1.00	0.75	
175°	0.99	0.76	
170°	0.98	0.77	
167°	0.97	0.78	
164°	0.96	0.79	
160°	0.95	0.80	
157°	0.94	0.81	
154°	0.93	0.81	
150°	0.92	0.82	
147°	0.91	0.83	
144°	0.90	0.83	
140°	0.89	0.84	
137°	0.88	0.85	
134°	0.87	0.85	

Figura IV. 6. Selección de factor de corrección con base en el arco de corrección.

Fuente: [21]

Tabla N° 2 - Sección Z		Prestación Base (en HP)											Prestación adicional por relación de transmisión (en HP)										
N° R.P.M. De la polea menor	Diámetro primitivo de la polea menor (mm)																						
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	1.02 al 1.04	1.05 al 1.08	1.09 al 1.12	1.13 al 1.18	1.19 al 1.24	1.25 al 1.34	1.35 al 1.51	1.52 al 1.99	2.00 y sobre
1160	0.15	0.24	0.32	0.40	0.49	0.57	0.65	0.74	0.82	0.89	0.97	1.05	1.13	1.28	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07	0.07
1750	0.19	0.31	0.43	0.55	0.67	0.79	0.91	1.02	1.14	1.25	1.36	1.47	1.58	1.80	0.01	0.03	0.05	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.11
3450	0.22	0.44	0.66	0.88	1.08	1.28	1.48	1.67	1.86	2.04	2.22	2.39	2.55	2.85	0.03	0.07	0.10	0.13	0.16	0.18	0.20	0.22	0.22

Figura IV. 7. Selección de prestación base y adicional para correas 1 y 2.

Fuente: [21]

Desplazamiento (a) mínimo para el montaje de la correa (mm)									
l (mm) distancia entre centros	Z	A	B	C	D	E	Desplazamiento (b) mínimo del tensor (mm)		
500 % 1000	15	19	25	-	-	-	25		
1001 % 1500	15	19	25	38	-	-	38		
1501 % 2500	19	19	32	38	-	-	51		
2501 % 3000	-	25	32	38	-	-	63		
3001 % 4000	-	25	38	38	51	-	75		
4001 % 5000	-	-	-	51	51	63	90		
5001 % 6000	-	-	-	51	51	63	101		
6001 % 7000	-	-	-	51	63	63	113		
7001 % 8500	-	-	-	51	63	76	127		
8501 % 10500	-	-	-	51	63	76	152		
> 10501	-	-	-	-	76	90	1.5 % 1		

Figura IV. 8. Selección del desplazamiento mínimo para las correas.

Fuente: [21]

Fuerza de deflexión requerida para medir la tensión de instalación en transmisiones con correas trapecoidales en V							
Corte de sección	Rango de diámetro de poleas pequeñas (mm)	Condición 1 - Deflexión de 0,02 por milímetro del largo del tramo si el largo del tramo es de 500 mm o menor			Condición 2 - Deflexión de 0,01 por milímetro del largo del tramo si el largo del tramo supera los 500 mm		
		Fuerza F de deflexión requerida en el centro del tramo para velocidad de correas de:			Fuerza F de deflexión requerida en el centro del tramo para velocidad de correas de:		
		De 0 m/s a 10 m/s (Nw)	De 10 m/s a 20 m/s (Nw)	De 20 m/s a 30 m/s (Nw)	De 0 m/s a 10 m/s (Nw)	De 10 m/s a 20 m/s (Nw)	De 20 m/s a 30 m/s (Nw)
Z	56 a 100 arriba de 100	8 a 12 12 a 17	7 a 9,5 10 a 14	6 a 7,5 9 a 12	4 a 6 6 a 8,5	3,5 a 5 5,5 a 7	3 a 4 4,5 a 6
A	80 a 140 arriba de 140	16 a 24 24 a 35	13 a 19 19 a 28	10 a 16 16 a 24	8 a 12 12 a 18	6,5 a 9,5 9,5 a 14	5,5 a 8 8 a 12
B	125 a 200 arriba de 200	32 a 48 48 a 70	26 a 38 38 a 58	20 a 32 32 a 48	16 a 24 24 a 35	13 a 19 19 a 29	10 a 16 16 a 24
C	200 a 400 arriba de 400	62 a 92 92 a 140	52 a 76 72 a 116	40 a 62 62 a 92	31 a 46 46 a 70	26 a 38 38 a 58	20 a 31 31 a 46
D	355 a 600 arriba de 600	124 a 180 180 a 268	164 a 152 152 a 230	84 a 124 124 a 180	62 a 90 90 a 134	52 a 76 76 a 115	42 a 62 62 a 90

Figura IV. 9. Selección de fuerza de deflexión para correas 1 y 2.

Fuente: [21]

ANEXO V Requerimientos para cálculo del eje.

COMPOSICIÓN QUÍMICA						
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0 - 0,08	0 - 1	0 - 2	0 - 0,045	0 - 0,03	8 - 10.5	18 - 20

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm ²)	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm ²)	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
520	220	20	249 - 278

DIMENSIONES	
DIÁMETRO	
3/16"	
1/4"	
5/16"	
3/8"	
1/2"	
5/8"	
3/4"	
1"	
1-1/4"	
1-1/2"	
2"	
2-1/2"	
3"	
3-1/2"	
4"	
5"	
6"	

Figura V. 1. Propiedades y diámetros de ejes AISI 304.

Fuente: [31]

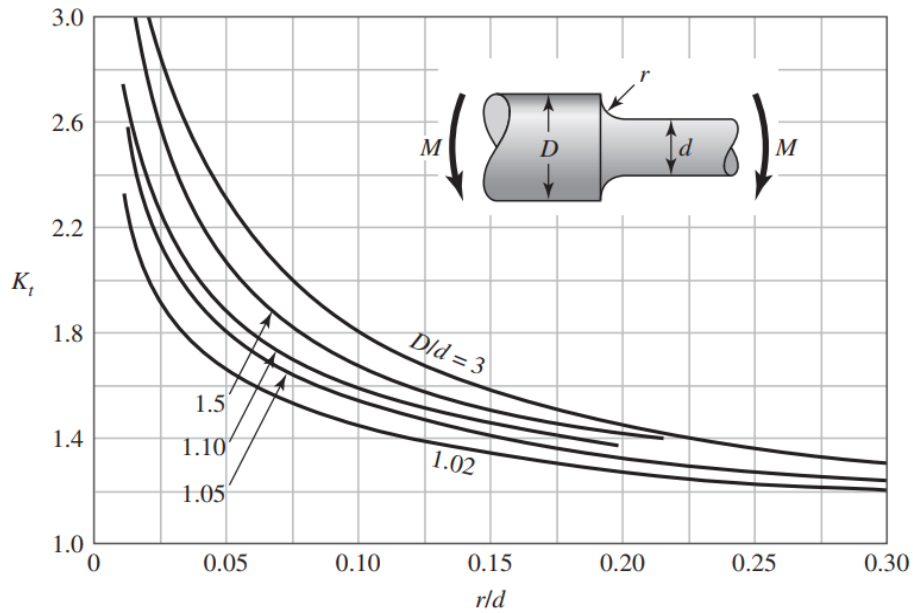


Figura V. 2. Gráfico para cálculo de concentrador de esfuerzos K_t .

Fuente: [22]

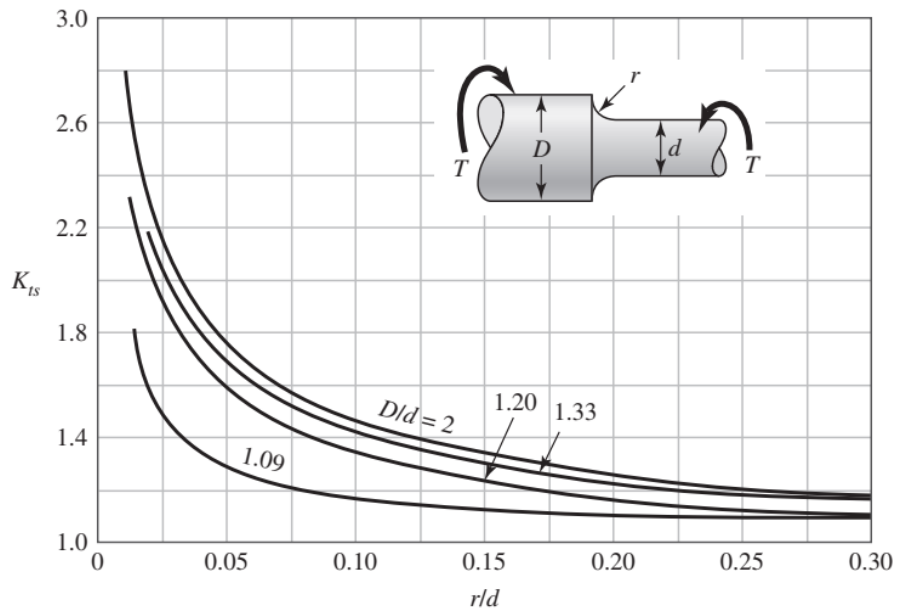


Figura V. 3. Gráfico para cálculo de concentrador de esfuerzos cortantes K_{ts} .

Fuente: [22]

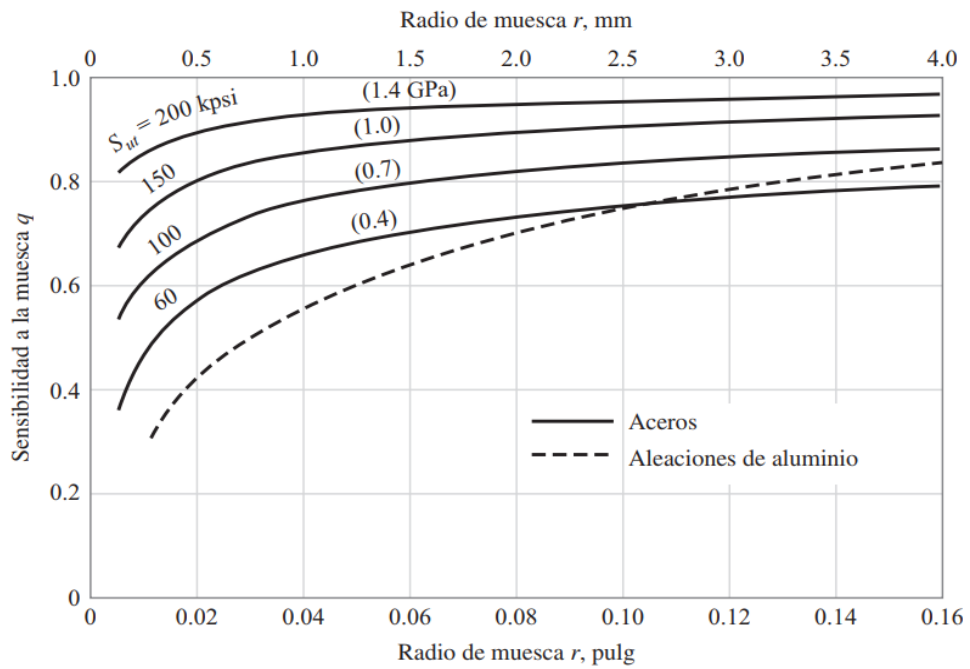


Figura V. 4. Gráfico para cálculo de la sensibilidad de la muesca.

Fuente: [22]

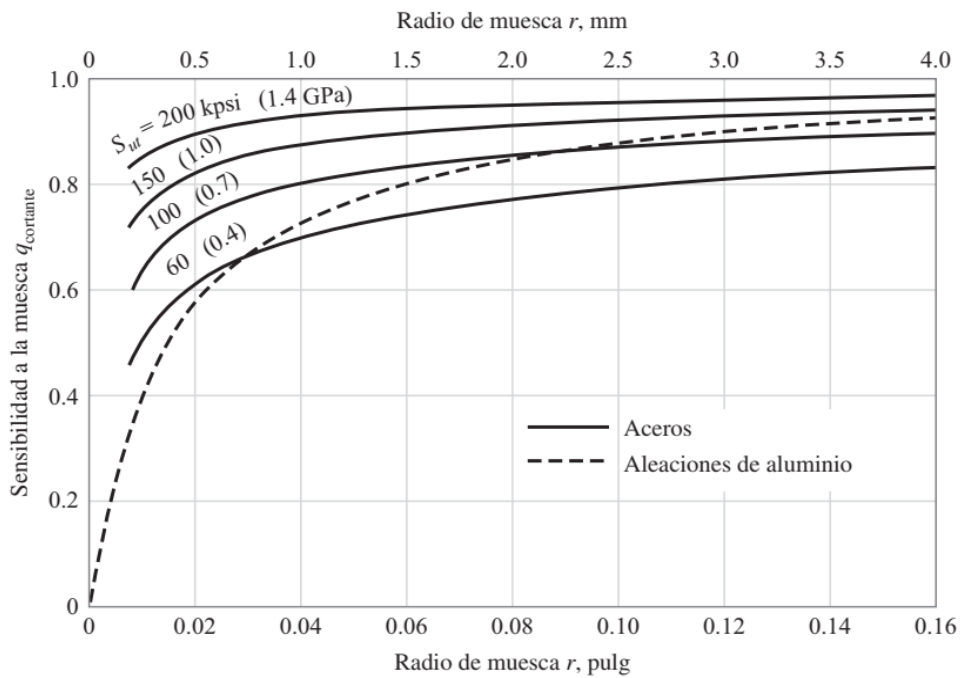


Figura V. 5. Gráfico para cálculo de la sensibilidad de la muesca al cortante.

Fuente: [22]

Acabado superficial	Factor a		
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	Exponente b
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Figura V. 6. Datos para el cálculo del factor de acabado.

Fuente: [22]

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad (6-20)$$

Para carga axial no hay efecto de tamaño, por lo cual

$$k_b = 1 \quad (6-21)$$

Figura V. 7. Análisis para el cálculo del factor de tamaño.

Fuente: [22]

Confiabilidad, %	Variación de transformación α_a	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura V. 8. Factor de confiabilidad.

Fuente: [22]

ANEXO VI Requerimientos para cálculo de rodamientos.

Dimensiones principales			Capacidad de carga		Carga límite	Velocidades nominales		Masa	Designaciones		
d	D	B	básica dinámica C	estática C ₀	de fatiga P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite ¹⁾		Rodamiento abierto o tapado en ambos lados	tapado en un lado ¹⁾	
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-		
15 cont.	32	9	5,85	2,85	0,12	50 000	26 000	0,032	▶ 6002-ZZ	6002-Z	
	32	13	5,59	2,85	0,12	-	14 000	0,039	▶ 63002-2RS1	-	
	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	28 000	0,045	▶ 6202	-	
	35	11	8,06	3,75	0,16	-	13 000	0,046	▶ 6202-2RSH	6202-RSH	
	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	22 000	0,046	▶ 6202-2RSL	6202-RSL	
	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	22 000	0,048	▶ 6202-ZZ	6202-Z	
	35	14	7,8	3,75	0,16	-	13 000	0,054	▶ 62202-2RS1	-	
	42	13	11,9	5,4	0,228	38 000	24 000	0,082	▶ 6302	-	
	42	13	11,9	5,4	0,228	-	12 000	0,085	▶ 6302-2RSH	6302-RSH	
	42	13	11,9	5,4	0,228	38 000	19 000	0,085	▶ 6302-2RSL	6302-RSL	
	42	13	11,9	5,4	0,228	38 000	19 000	0,086	▶ 6302-ZZ	6302-Z	
	42	17	11,4	5,4	0,228	-	12 000	0,11	▶ 62302-2RS1	-	
	52	7	4,49	3,75	0,16	-	7 500	0,034	▶ 61808-2RS1	-	
	17	26	5	2,03	1,27	0,054	-	16 000	0,0082	▶ 61803-2RS1	-
		26	5	2,03	1,27	0,054	56 000	28 000	0,0082	▶ 61803-2RZ	-
26		5	2,03	1,27	0,054	56 000	28 000	0,0082	▶ 61803-ZZ	-	
26		5	2,03	1,27	0,054	56 000	34 000	0,0075	▶ 61803	-	
30		7	4,62	2,55	0,108	-	14 000	0,017	▶ 61903-2RS1	-	
30		7	4,62	2,55	0,108	50 000	26 000	0,017	▶ 61903-ZZ	-	
30		7	4,62	2,55	0,108	50 000	26 000	0,018	▶ 61903-2RZ	-	
30		7	4,62	2,55	0,108	50 000	32 000	0,016	▶ 61903	-	
35		8	6,37	3,25	0,137	45 000	22 000	0,032	▶ 16003-ZZ	-	
35		8	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,031	▶ 16003	-	
35		10	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,038	▶ 6003	-	
35		10	6,37	3,25	0,137	-	13 000	0,039	▶ 6003-2RSH	6003-RSH	
35		10	6,37	3,25	0,137	45 000	22 000	0,039	▶ 6003-2RSL	6003-RSL	
35		10	6,37	3,25	0,137	45 000	22 000	0,041	▶ 6003-ZZ	6003-Z	
35		14	6,05	3,25	0,137	-	13 000	0,052	▶ 63003-2RS1	-	
40	12	9,95	4,75	0,2	38 000	24 000	0,065	▶ 6203	-		
40	12	9,95	4,75	0,2	-	12 000	0,067	▶ 6203-2RSH	6203-RSH		
40	12	9,95	4,75	0,2	38 000	19 000	0,067	▶ 6203-2RSL	6203-RSL		
40	12	9,95	4,75	0,2	38 000	19 000	0,068	▶ 6203-ZZ	6203-Z		
40	12	11,4	5,4	0,228	38 000	24 000	0,064	▶ 6203 ETN9	-		
40	16	9,56	4,75	0,2	-	12 000	0,089	▶ 62203-2RS1	-		

Figura VI. 1. Selección de carga dinámica y estática del rodamiento.

Fuente: [26]

Factores de cálculo para los rodamientos rígidos de bolas

Rodamientos de una hilera y de dos hileras
Juego normal

$f_0 F_a/C_0$	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,3
0,345	0,22	0,56	1,99
0,689	0,26	0,56	1,71
1,03	0,28	0,56	1,55
1,38	0,3	0,56	1,45
2,07	0,34	0,56	1,31
3,45	0,38	0,56	1,15
5,17	0,42	0,56	1,04
6,89	0,44	0,56	1

Figura VI. 2. Factores para cálculos de rodamientos.

Fuente: [26]

Diámetro Eje mm pulg	Dimensiones pulg. mm											Perno pulg. mm	No. Unidad	Estándar No. Alojamiento	No. Inserto	Masa kg	Capacidad Carga Básica kN		Factor f_0	
	H	L	A	J	N	N_1	H_1	H_2	L_1	B	S						C_r	C_{or}		
12													UCP201		UC201	0.63				
15	1/2	1 3/16	5	1 1/2	3 3/4	1/2	23/32	15/32	2 3/8	1 1/2	1.220	0.500	3/8	UCP201-8	P203	UC201-8	0.63	12.8	6.65	13.2
		30.2	127	38	95	13	18	12	60	38	31	12.7	M10	UCP202		UC202	0.61			
														UCB202-10		UC202-10	0.61			
17														UCP203		UC203	0.60			
20	3/4	1 3/16	5	1 1/2	3 3/4	1/2	23/32	1/2	2 11/32	1 1/2	1.220	0.500	3/8	UCP204-12	P204	UC204-12	0.66	12.8	6.65	13.2
		33.3	127	38	95	13	18	13	64	38	31	12.7	M10	UCP204		UC204	0.66			

Figura VI. 3. Características de la chumacera seleccionada.

Fuente: [27]

ANEXO VII Requerimientos para cálculo de Chavetas.

DIMENSIONES CHAVETEROS Y CHAVETAS DIN 6885/1 - 6886 y 6887

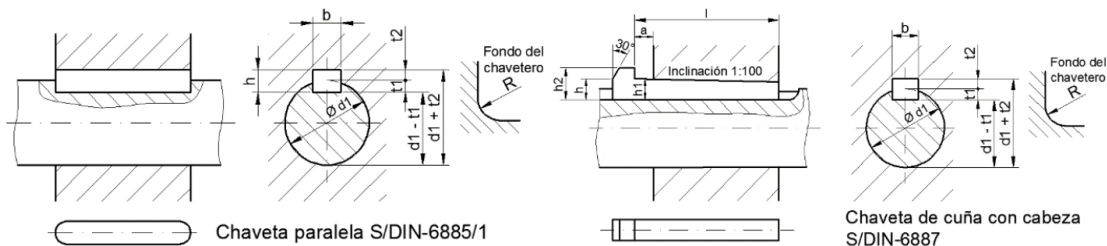


Figura VII. 1. Dimensiones de la chaveta paralela según DIN 6885/1.

Fuente: [28]

Ø eje d mm desde- hasta	Medida chaveta b x h mm	Medidas del chavetero en el cubo				Medidas chavetero del eje para chavetas paralelas y de cuña		Medidas de los ejes en el cubo de la rueda	
		Chaveta paralela S/DIN 6885/1		Chaveta de cuña S/DIN 6886, 6887		t ₁ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m	Ø m/m desde- hasta	Tol.H-7 m/m
		d + t ₂ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m	d + t ₂ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m				
6-8	2x2	d+0,9	+0,1	-	-	1,1	+0,1	6-10	+0,015 0
8-10	3x3	d+1,3		-	-	1,7			
10-12	4x4	d+1,6		d+1,4		2,4			
12-17	5x5	d+2,1		d+1,9		2,9		10-18	+0,018 0
17-22	6x6	d+2,6		d+2,1	-0,1	3,5		18-30	+0,021 0
22-30	8x7	d+3,0	d+2,4		4,1				

Figura VII. 2. Selección de chavera paralela con base en el diámetro del eje según DIN 6885/1.

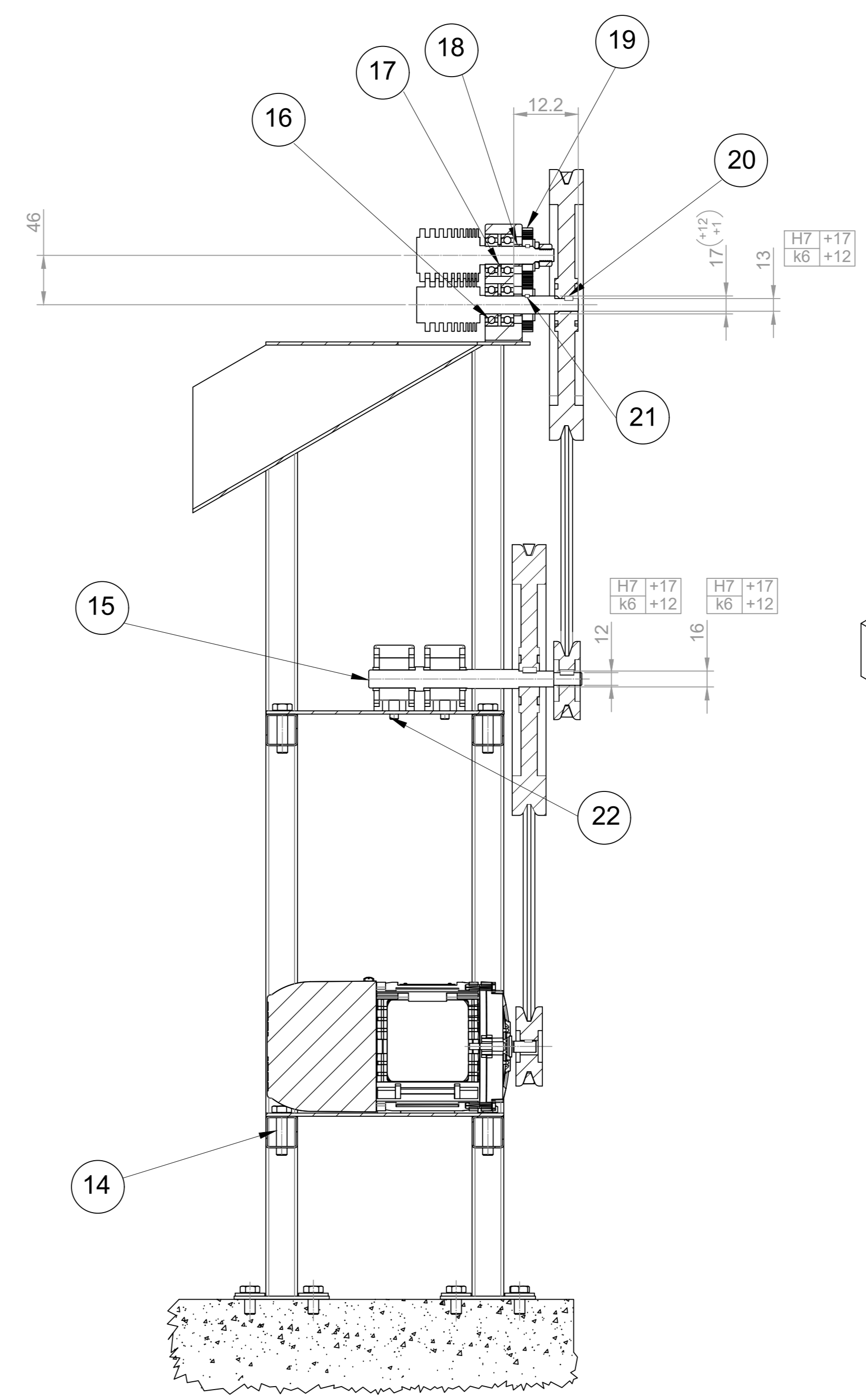
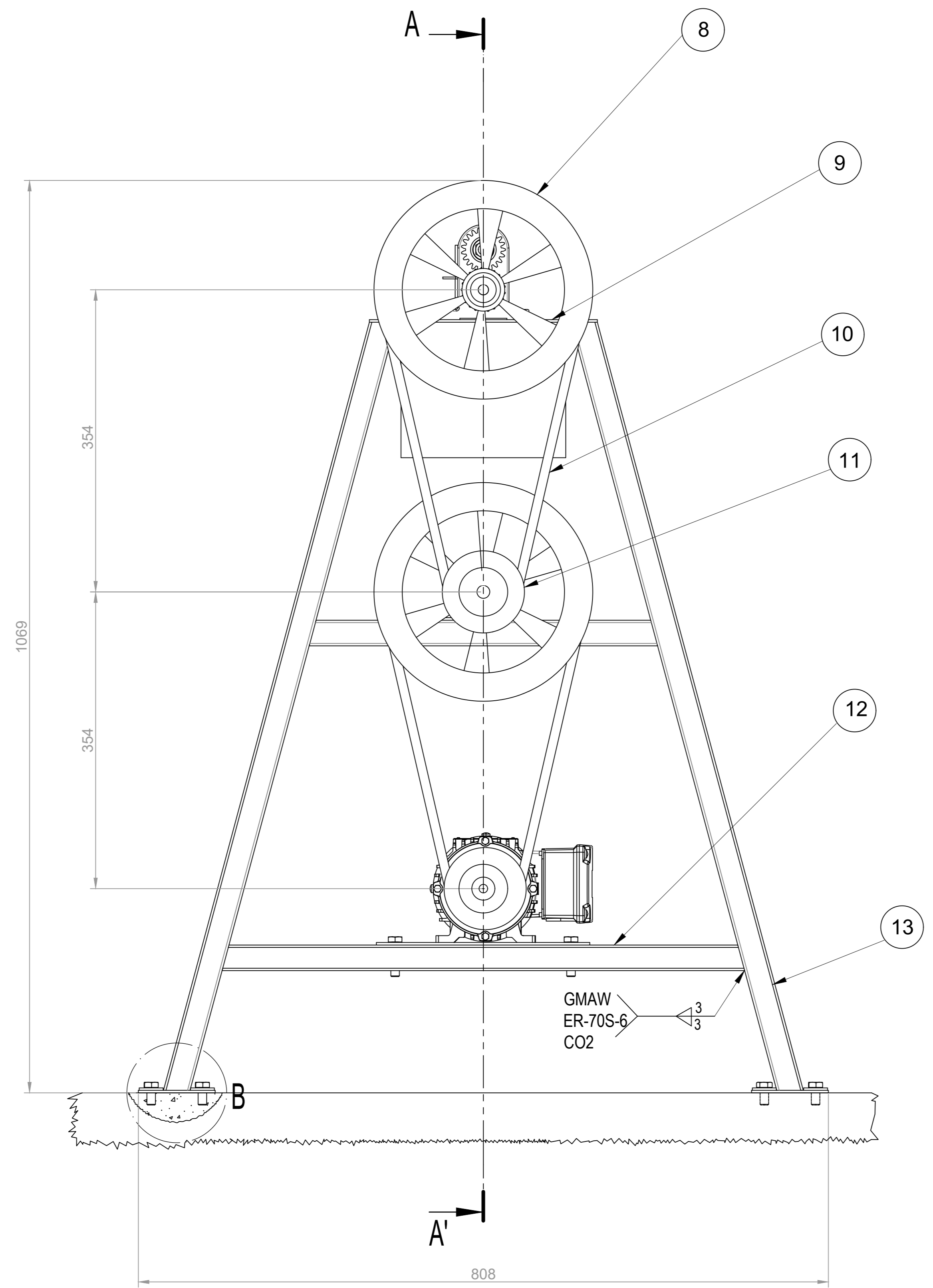
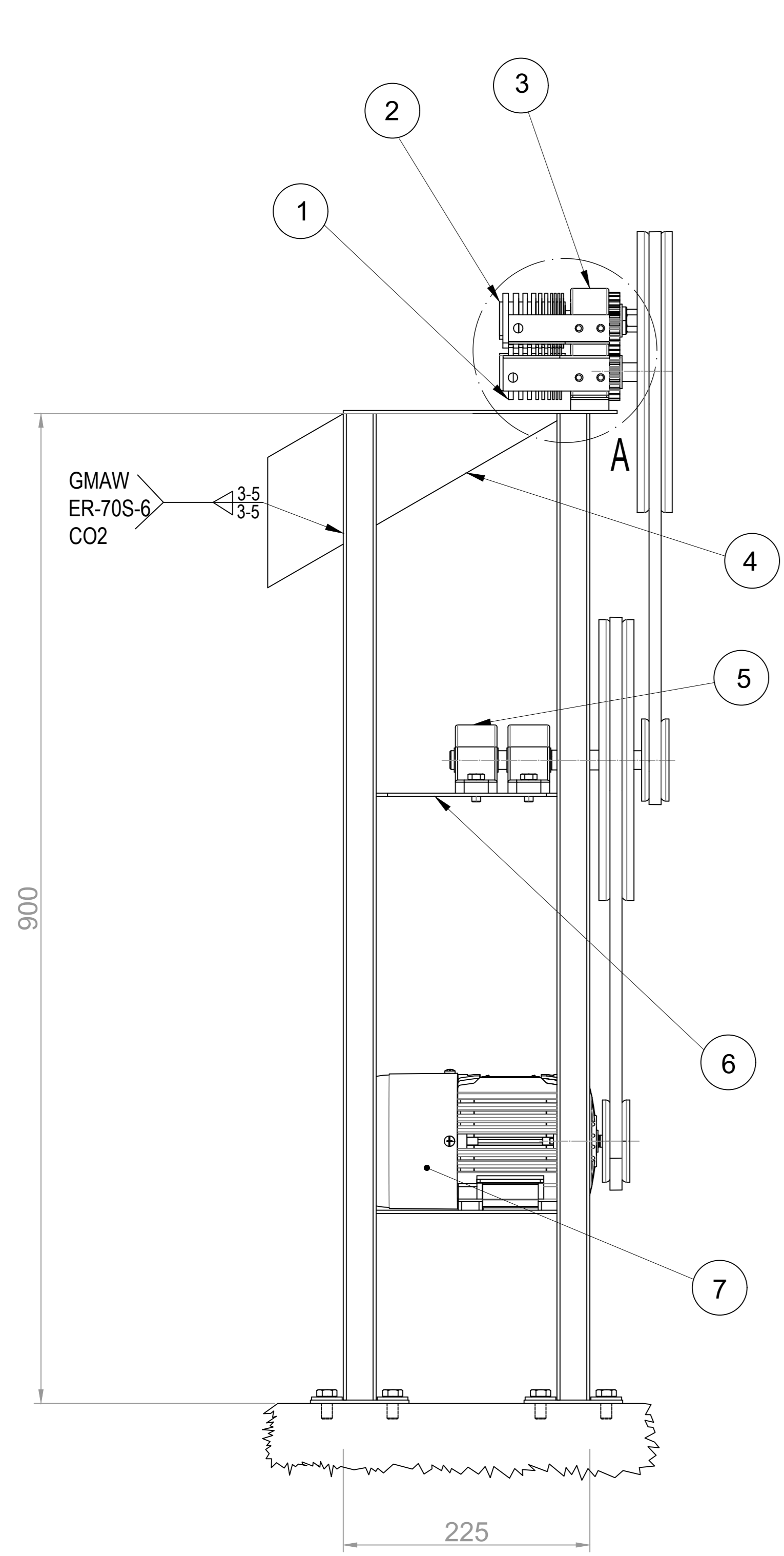
Fuente: [28]

Ø eje d mm desde- hasta	Medida chaveta b x h mm	Medidas del chavetero en el cubo				Medidas chavetero del eje para chavetas paralelas y de cuña		Medidas de los ejes en el cubo de la rueda	
		Chaveta paralela S/DIN 6885/1		Chaveta de cuña S/DIN 6886, 6887		t ₁ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m	Ø m/m desde- hasta	Tol.H-7 m/m
		d + t ₂ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m	d + t ₂ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m				
6-8	2x2	d+0,9	+0,1	-	-	1,1	+0,1	6-10	+0,015 0
8-10	3x3	d+1,3		-	-	1,7			
10-12	4x4	d+1,6		d+1,4		2,4			
12-17	5x5	d+2,1		d+1,9		2,9		10-18	+0,018 0
17-22	6x6	d+2,6		d+2,1	-0,1	3,5		18-30	+0,021 0
22-30	8x7	d+3,0		d+2,4		4,1			
30-38	10x8	d+3,4		d+2,8		4,7			
38-44	12x8	d+3,2		d+2,8		4,9	30-50	+0,025 0	

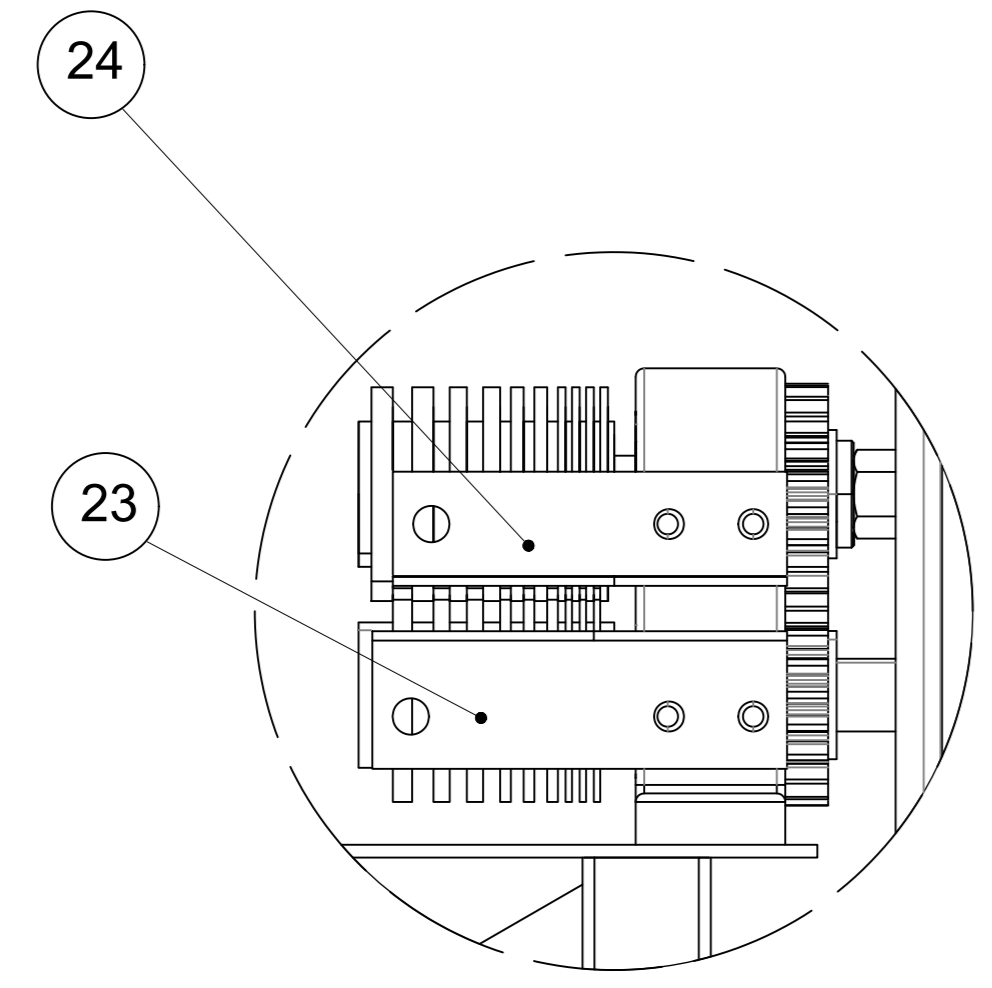
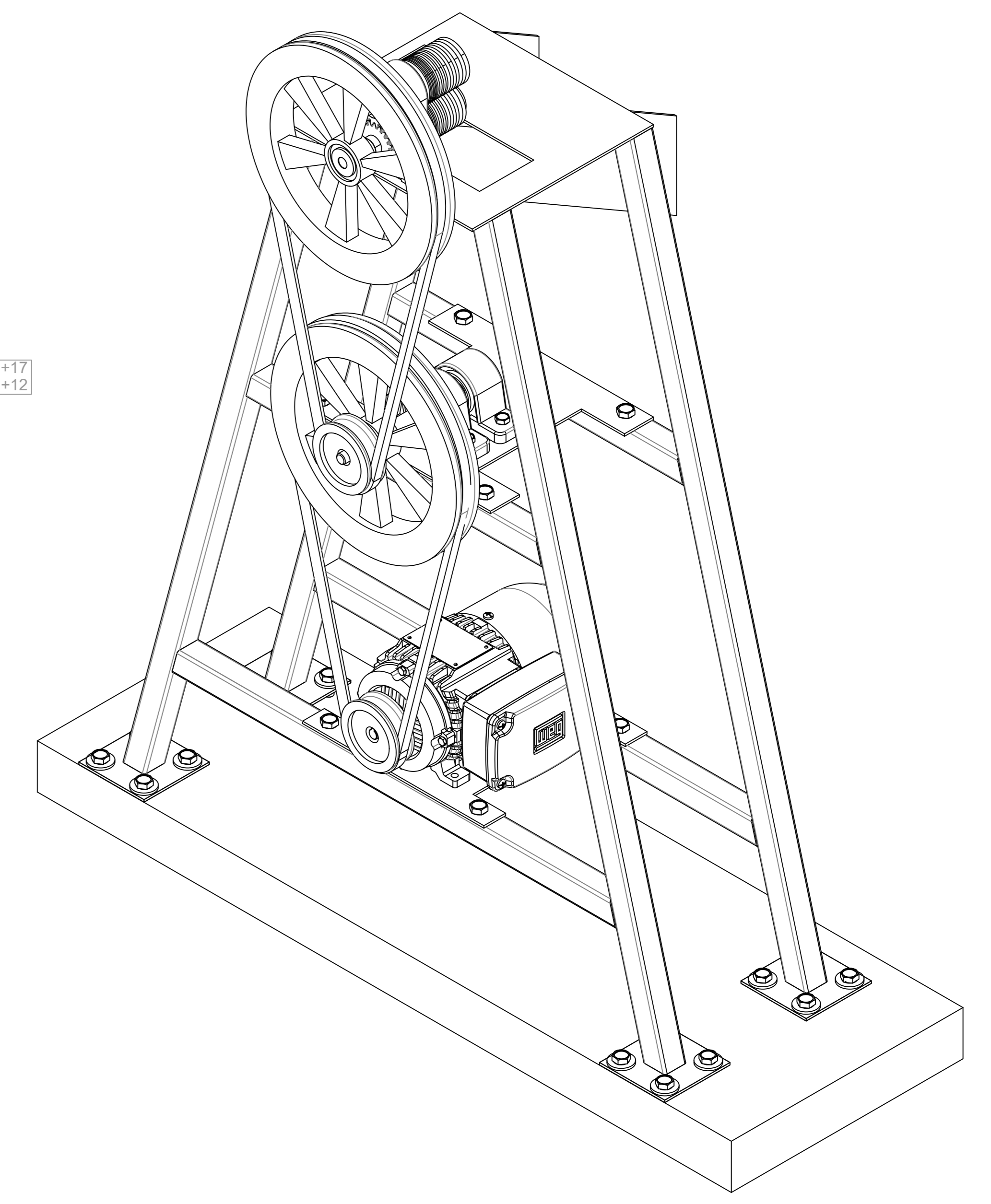
Figura VII. 3. Selección de chavera paralela con base en el diámetro del eje según DIN 6885/1.

Fuente: [28]

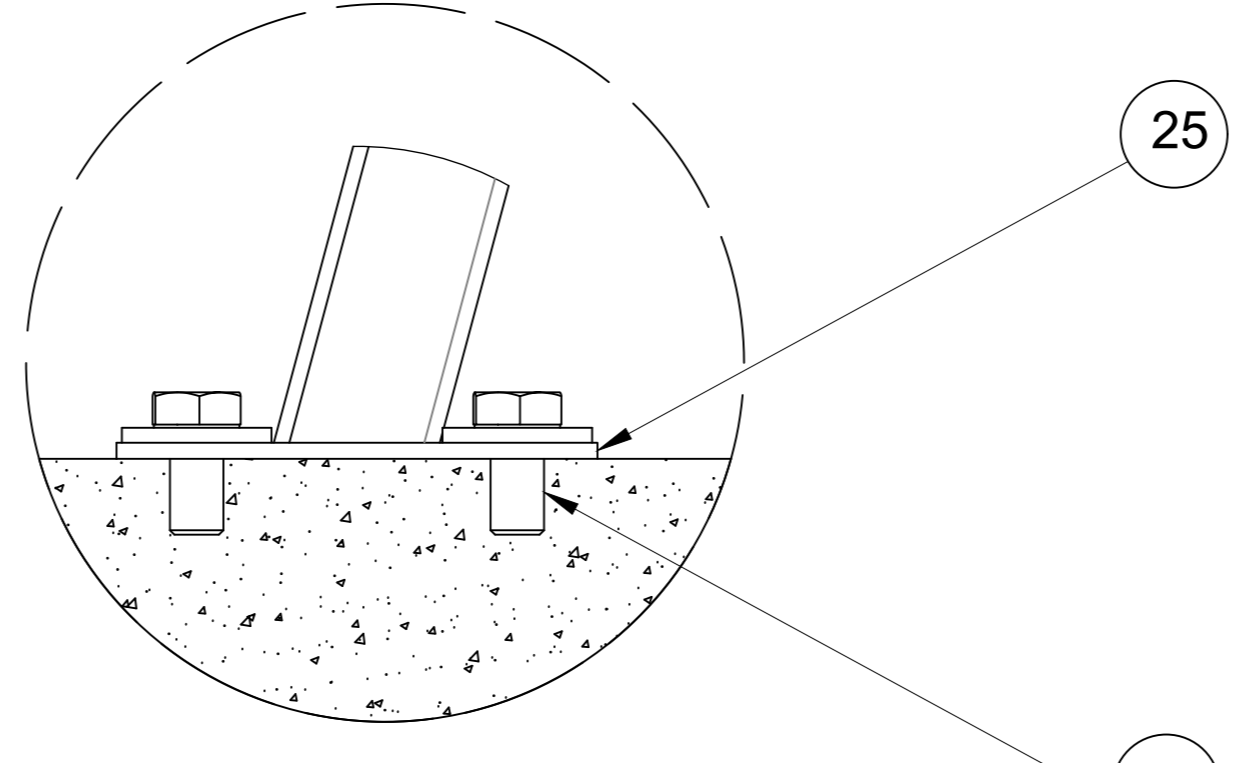
ANEXO VIII Planos de desfibradora



CORTE A-A'



DETALLE A
ESCALA 2:5



DETALLE B
ESCALA 1:2

NOTAS:
Máquina para obtención de fibras de bambú por corte mecánico.
Las perforaciones de anclaje son M10
Toda la estructura soldada GMAW ER-70S-6

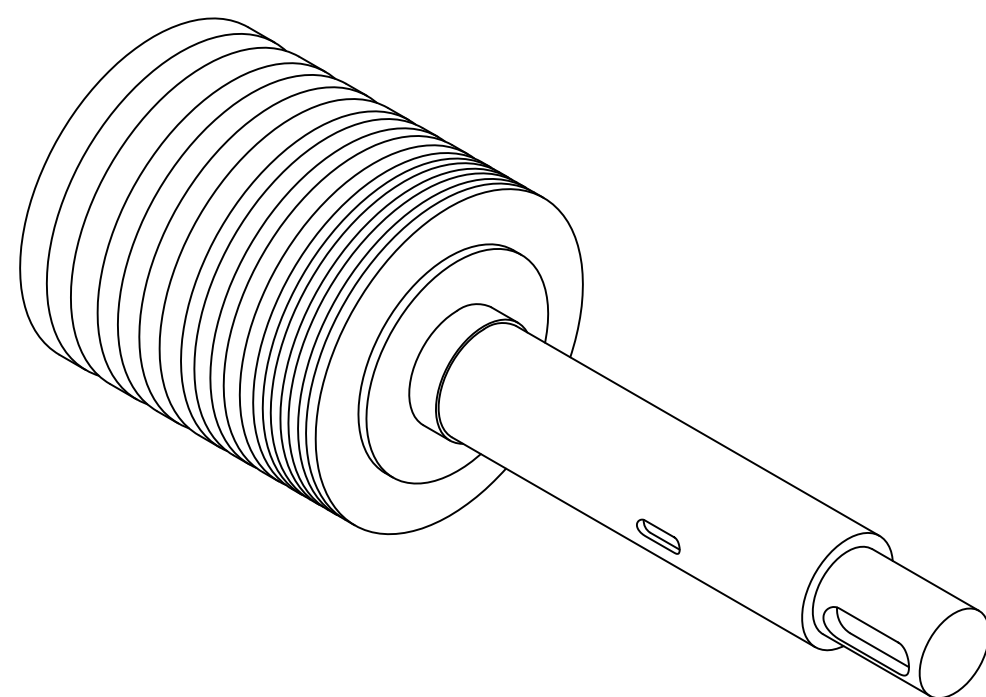
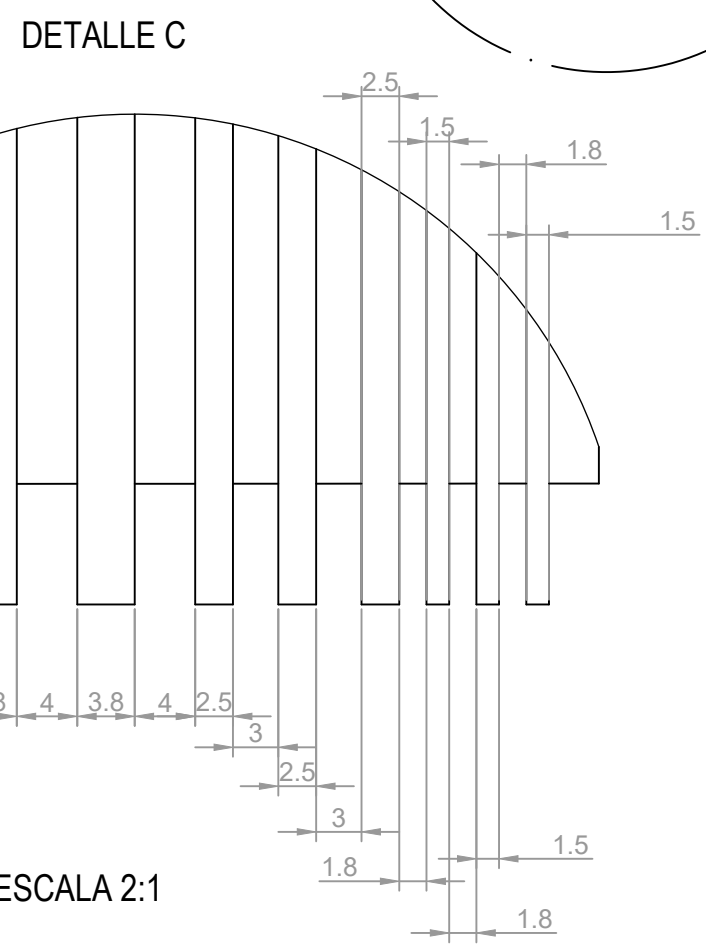
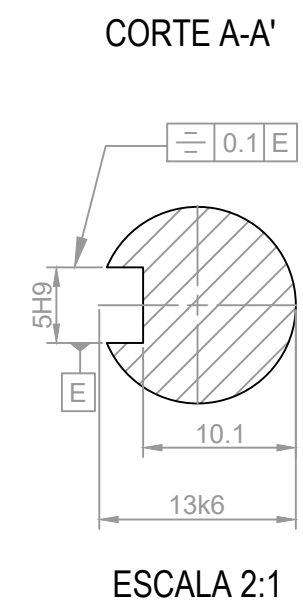
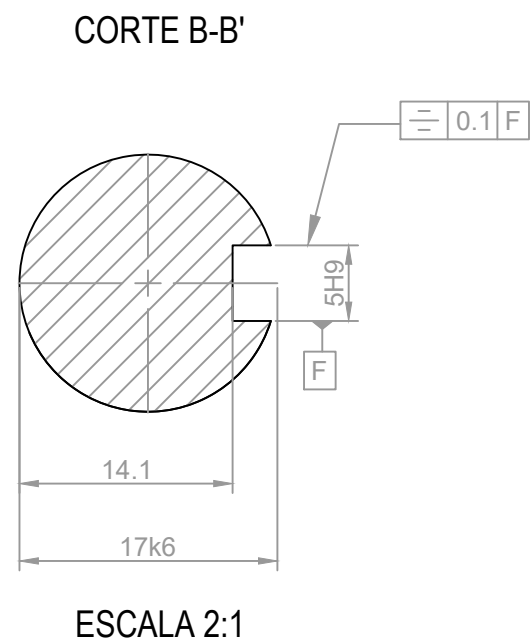
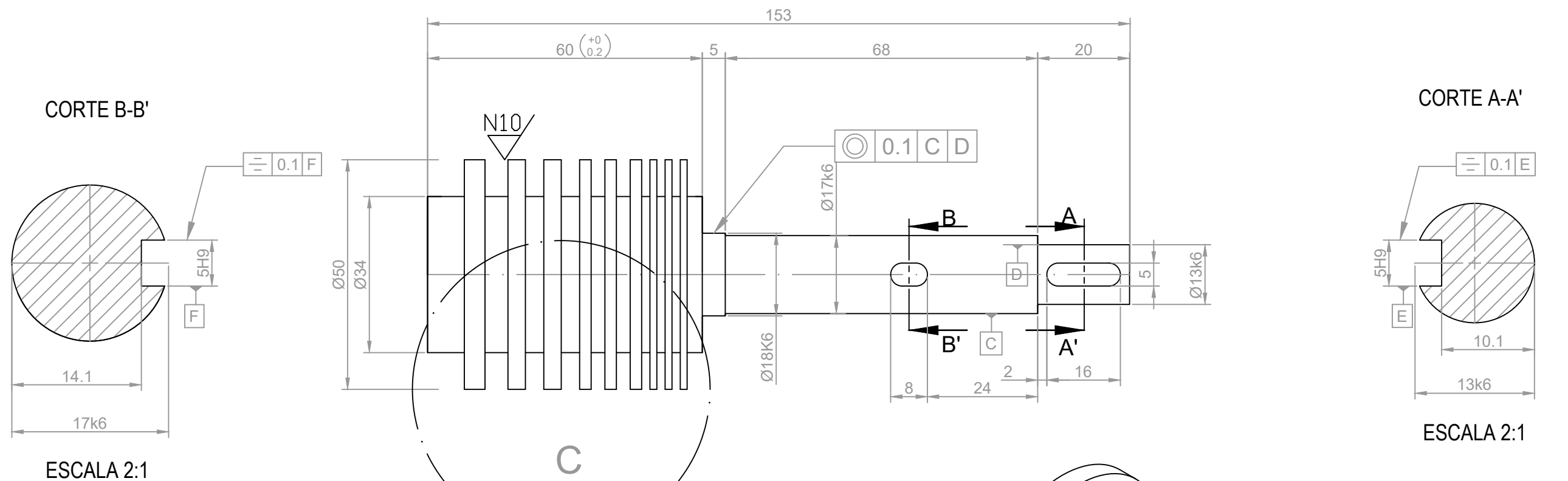
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

CAPACIDAD: 3 culmos/h
POTENCIA: 1 HP
CORRIENTE: ALTERNA 110/220V
PESO APROXIMADO: 35 kg
DIMENSIONES TOTALES: 1069x808x225 mm

16H7	16.018
16k6	16.001
13H7	12.018
13k6	12.001
12H7	12.018
12k6	12.001

POS	ZONA	DENOMINACIÓN	CANT	MATERIAL	NO. NORMA/ PLANO	OBSERVACIONES
27	D3					
26	D3	Pernos Hexagonales	16	Acero al carbono	DIN 933	M10x1.5x20
25	D3	Placas de anclaje	4	Acero ASTM A-36	.116	M10x45
24	J3	Acople 1	1	Acero AISI 304	.115	
23	J3	Acople 2	1	Acero AISI 304	.114	
22	E10	Pernos Hexagonales	4	Acero al carbono	DIN 933	M10x1.5x20
21	D11	Chaveta de engranes	2	Acero ASTM A-36	DIN 6885 A	5x5
20	D11	Chaveta de poleas	4	Acero ASTM A-36	DIN 6885 A	5x5
19	C11	Engranaje	2	Acero ASTM A-36	.113	
18	C11	Separador 2	2	Acero ASTM A-36	.112	
17	D11	Separador 1	2	Acero ASTM A-36	.111	
16	D11	Rodamientos	4	Varios	DIN 620	SKF-6203-2RSL
15	E11	Eje 3	1	Acero AISI 304	.110	
14	G10	Pernos Hexagonales	4	Acero al carbono	DIN 933	M10x1.5x40
13	G8	Estructura para Mesa	1	Acero ASTM A-36		
12	G7	Base del Motor	1	Acero ASTM A-36	.109	
11	E6	Polea 2	2	Aluminio	.108	Normalizada de 3"
10	D6	Correa trapezoidal	2	Caucho	BS 3790	Z-48
9	D6	Base de Desfibrador	1	Acero ASTM A-36	.107	
8	D6	Polea 1	2	Aluminio	.106	Normalizada de 10"
7	F3	Motor	1	Varios		WEG 1 HP /1750 RPM
6	E3	Base del Eje 3	1	Acero ASTM A-36	.105	Espesor 3 mm
5	E3	Chumacera	2	Varios	DIN 203	NTN UCP203
4	D2	Rampa de Salida de Residuos	1	Acero ASTM A-36	.104	Proceso de doblado
3	D3	Carcasa	1	Acero ASTM A-36	.103	
2	C3	Eje 2	1	Acero AISI 304	.102	
1	D3	Eje 1	1	Acero AISI 304	.101	

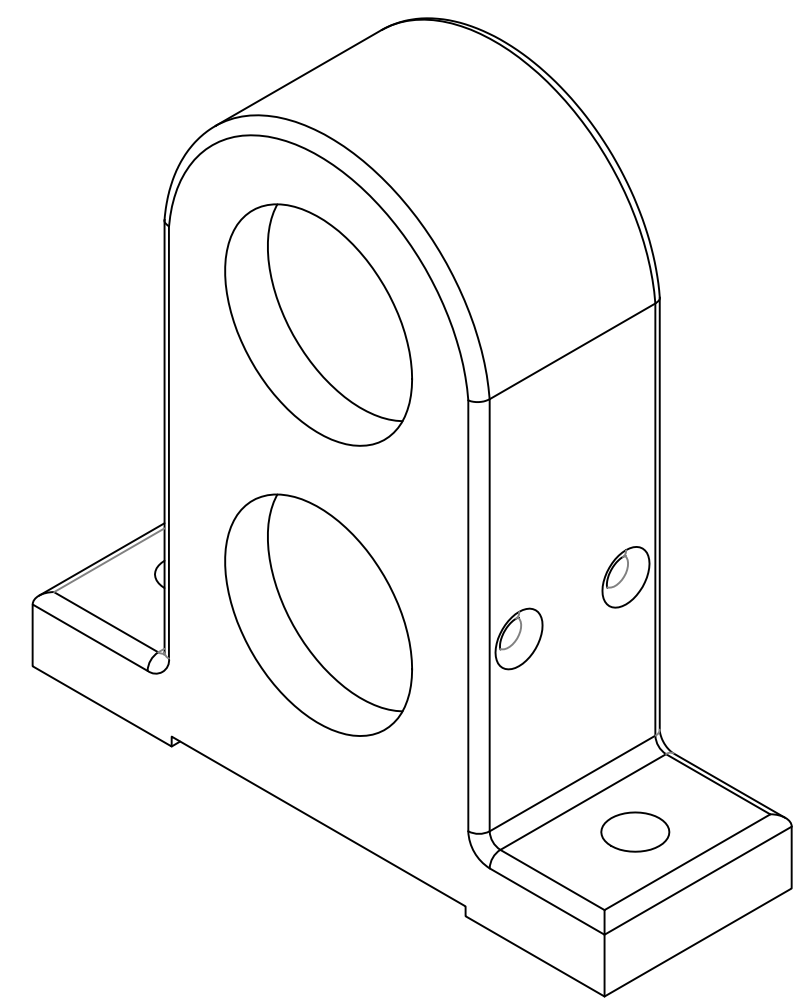
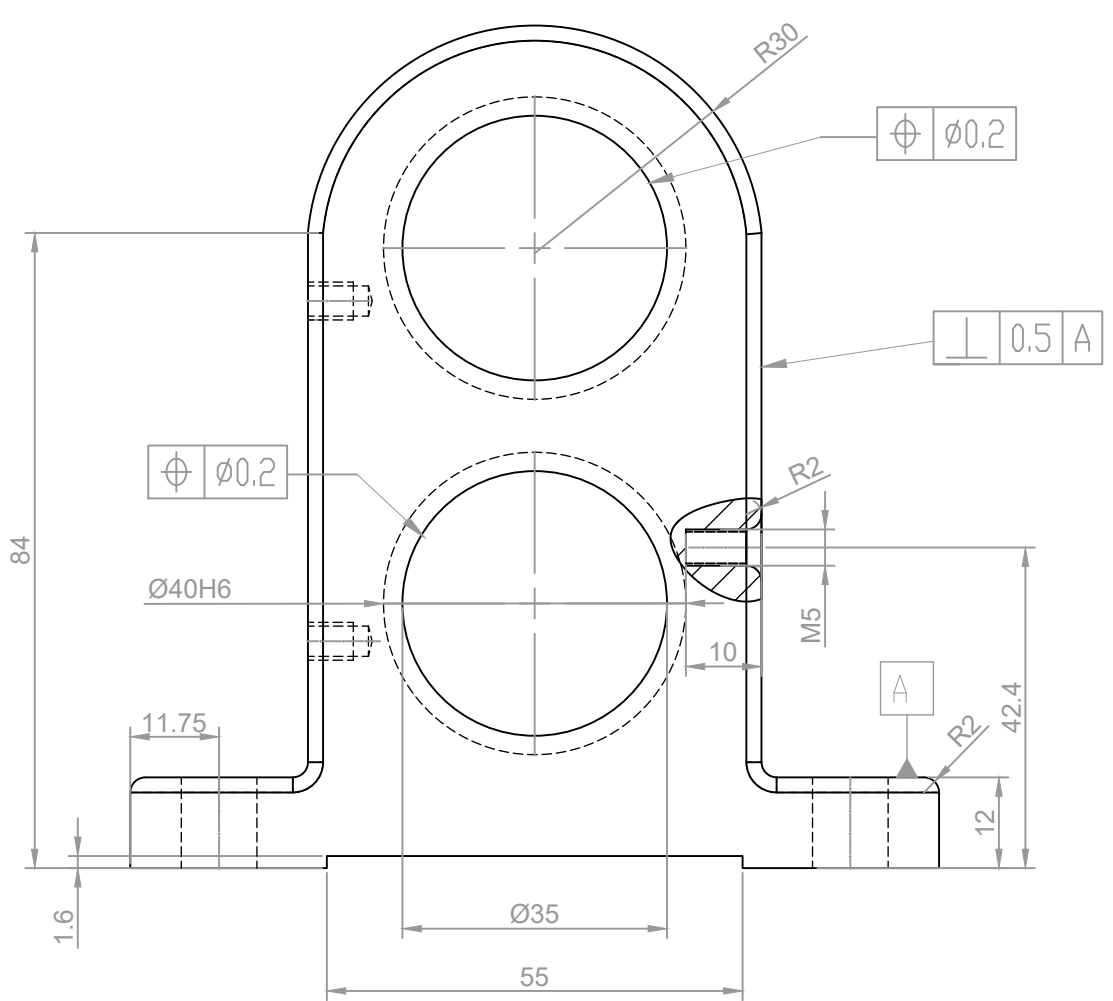
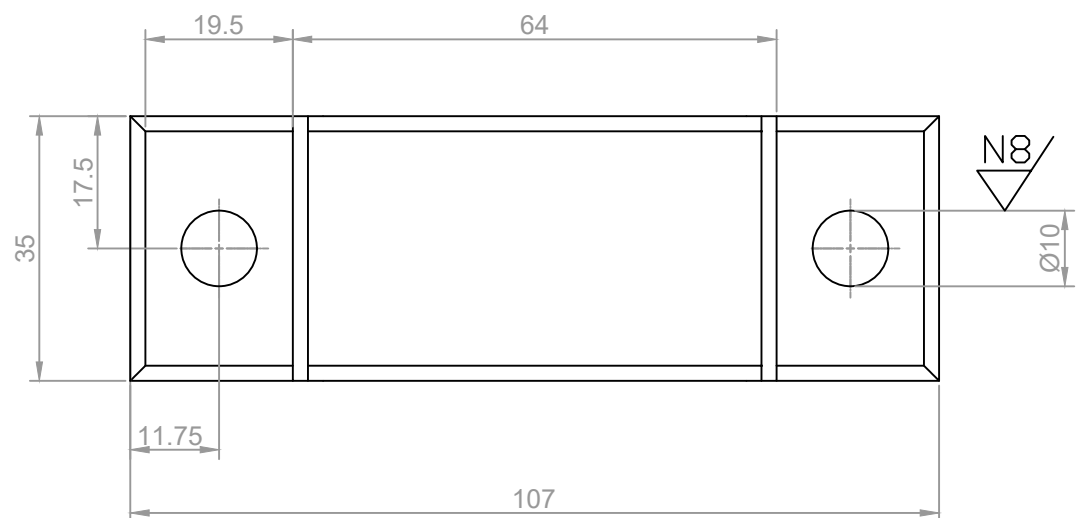
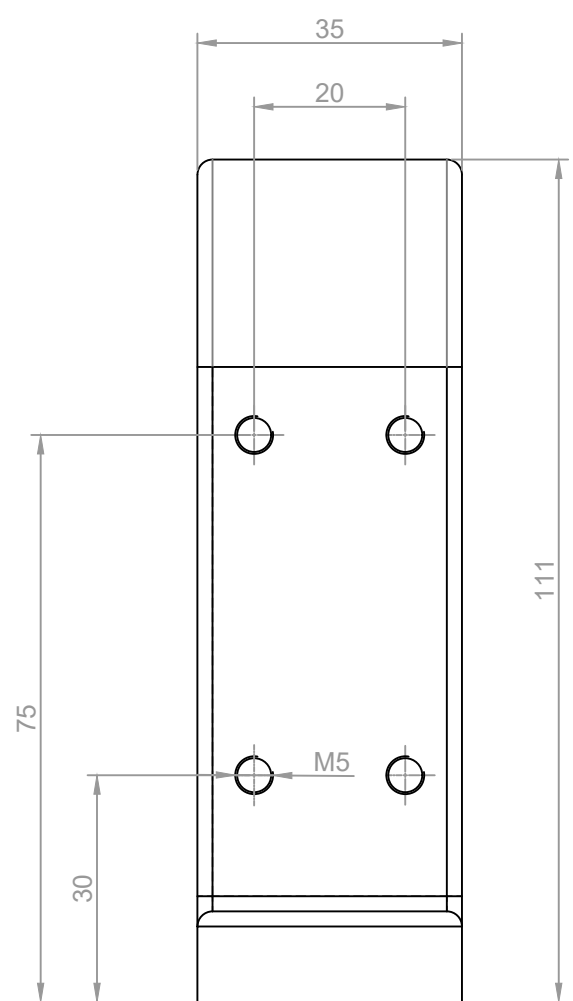
EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	DIB. SALAZAR ALEX	ESCALA 1:5
		DIS. SALAZAR ALEX	
		REV. PROF. MARCO GUAMAN A.	
MÁQUINA DESFIBRADORA DE BAMBÚ		FIM.MDB.001	FECHA: 11/06/2022



NOTA:
Eliminar aristas vivas.
R chavetero 2.5 mm

5H9	5.030
	5.0
17k6	17.012
	17.001

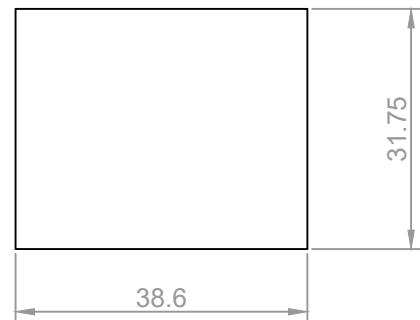
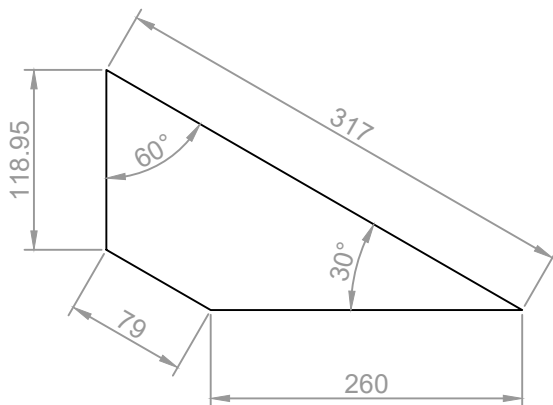
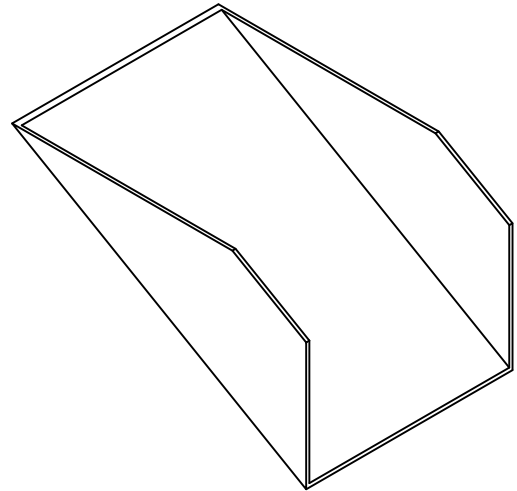
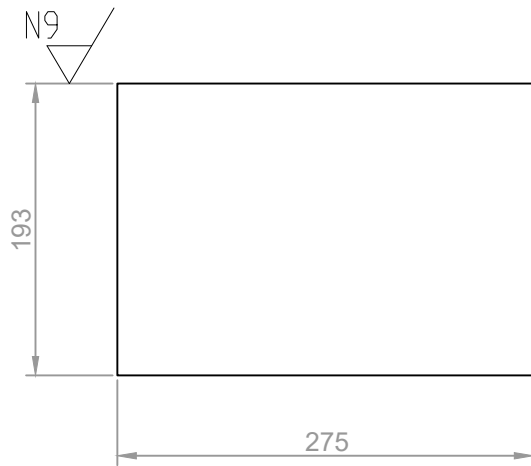
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.: Salazar Alex	
MATERIAL:	Acero AISI 304	TOL. GRAL.: ±0,5	ESCALA: 1:1	DIS.: Salazar Alex
				REV.: Prof. Marco Guamán A.
EJE 1			FIM.MDB.101	FECHA: 11-06-22



NOTA:
 Todas las perforaciones de los lados son M5
 Las perforaciones de anclaje son M10
 Eliminar aristas vivas

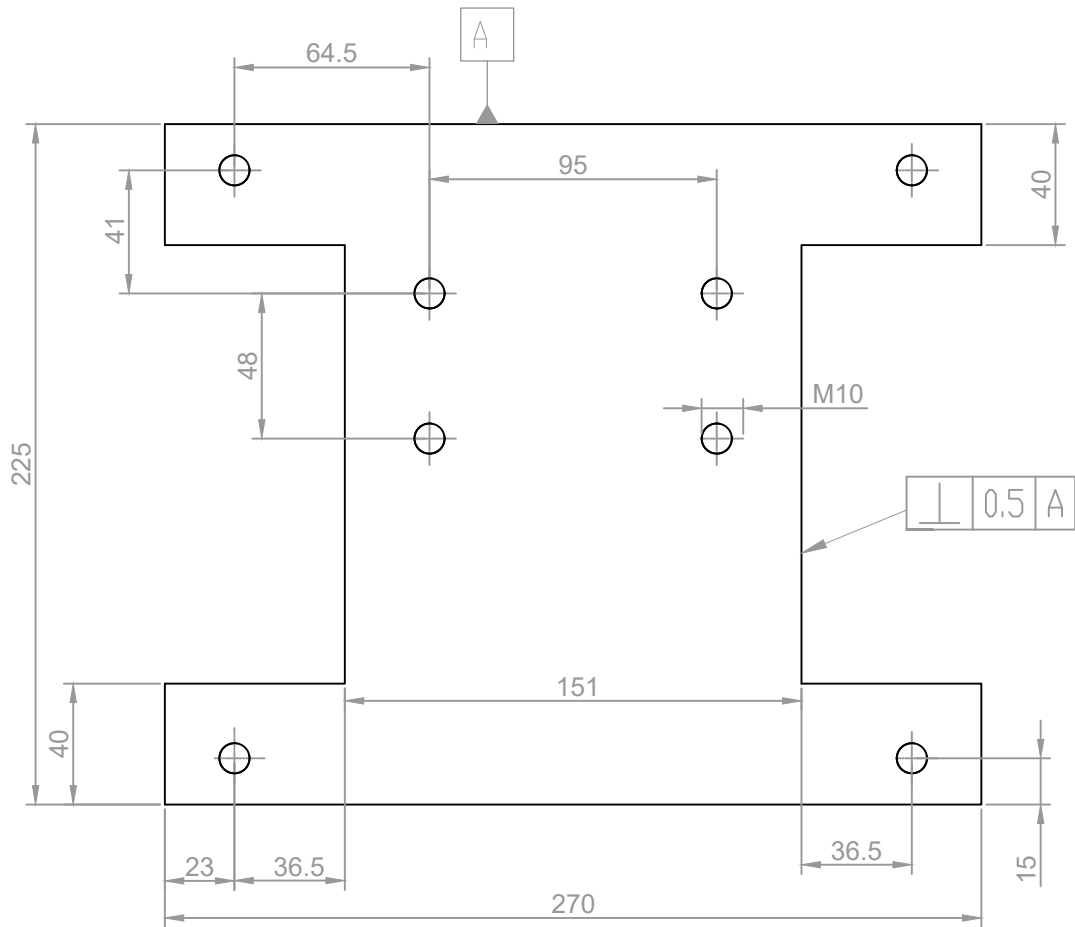
Ø40H6 40.016 / 40

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Salazar Alex
MATERIAL:	Acero ASTM A-36	TOL. GRAL.: ±0,5	ESCALA:	1:1
			DIS.:	Salazar Alex
			REV.:	Prof. Marco Guamán A.
CARCAZA			FIM.MDB.103	
			FECHA:	11-06-22



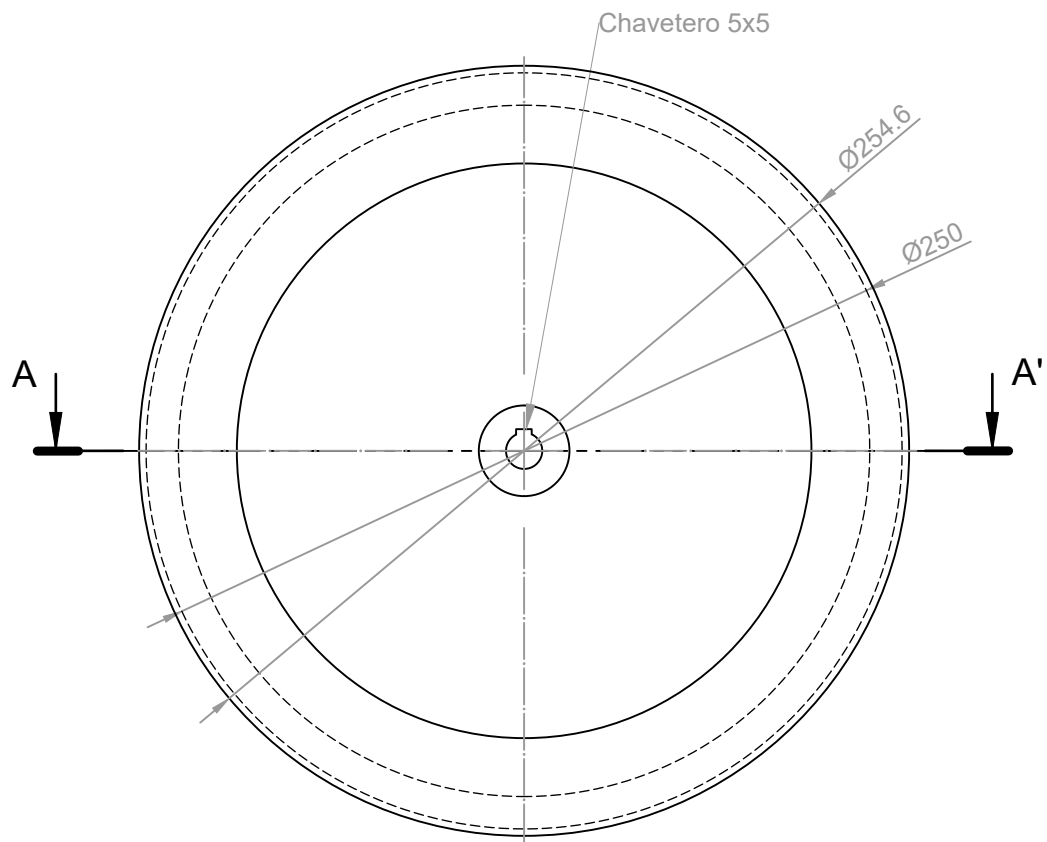
NOTA:
Doblado de chapa metálica de espesor: 3 mm.
Eliminar aristas vivas.

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Salazar Alex
MATERIAL: Acero ASTM A-36	TOL. GRAL.: ±0,5	ESCALA: 1:5	DIS.:	Salazar Alex
			REV.:	Prof. Marco Guamán A.
			SALIDA DE RESIDUOS	
				FECHA: 11-06-22

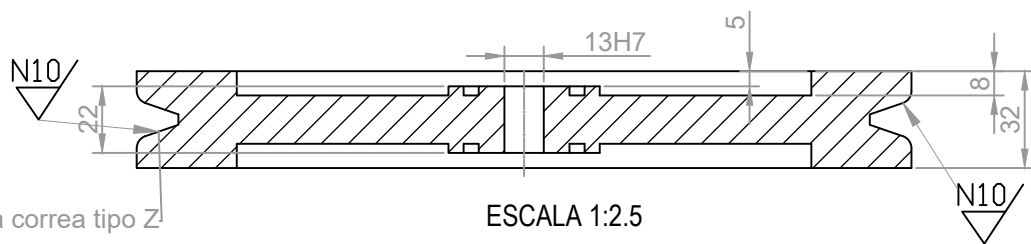


NOTA:
 Todas las perforaciones M10.
 Eliminar aristas vivas.
 Chapa metálica 3mm de espesor

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Salazar Alex
MATERIAL: Acero ASTM A-36	TOL. GRAL.: ±0,5	ESCALA: 1:2.5	DIS.:	Salazar Alex
			REV.:	Prof. Marco Guamán A.
			BASE DEL EJE 3	



CORTE A-A'



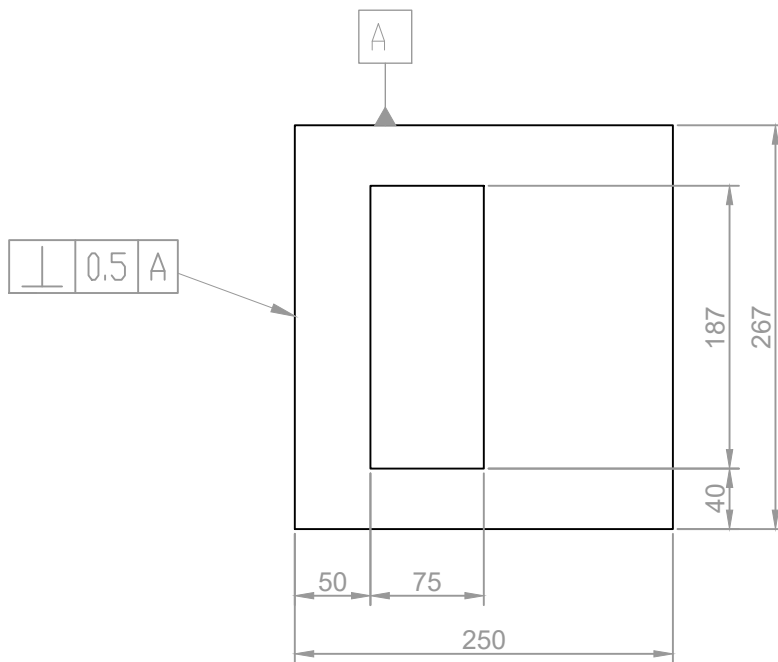
Sección para correa tipo Z'

ESCALA 1:2.5

NOTA:
 Eliminar aristas vivas.
 Maquinar chavetero central 5x5
 Polea normalizada Aluminio 10"

13H7 13.018
 13.0

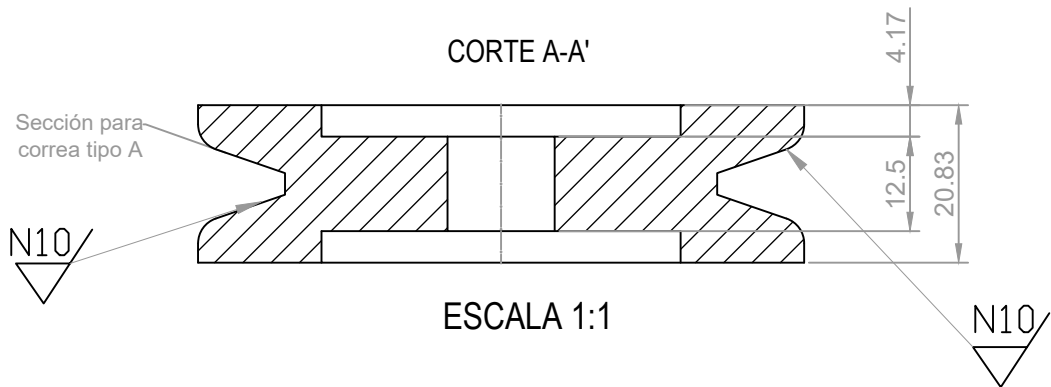
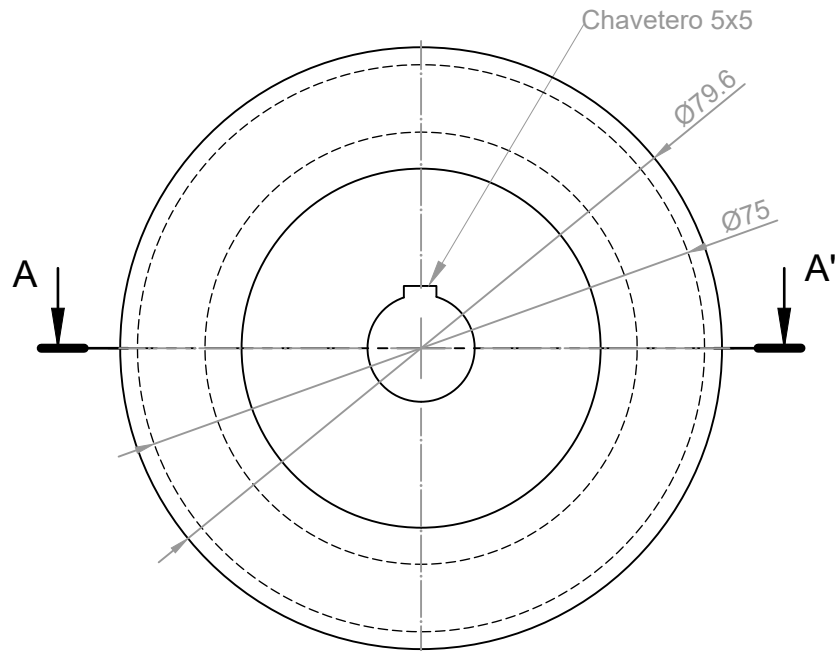
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Salazar Alex
MATERIAL: Aluminio	TOL. GRAL.: ±0,5	ESCALA: 1:2.5	DIS.:	Salazar Alex
			REV.:	Prof. Marco Guamán A.
			FECHA: 11-06-22	
POLEA 1		FIM.MDB.106		



NOTA:
 Espesor 3 mm
 Colocación con soldadura.
 Eliminar aristas vivas.

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Salazar Alex	
MATERIAL:	Acero ASTM A-36	TOL. GRAL.: ±0,5	ESCALA:	DIS.: Salazar Alex	
			1:5	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
BASE DE DESFIBRADORA		FIM.MDB.107		FECHA: 11-06-22	

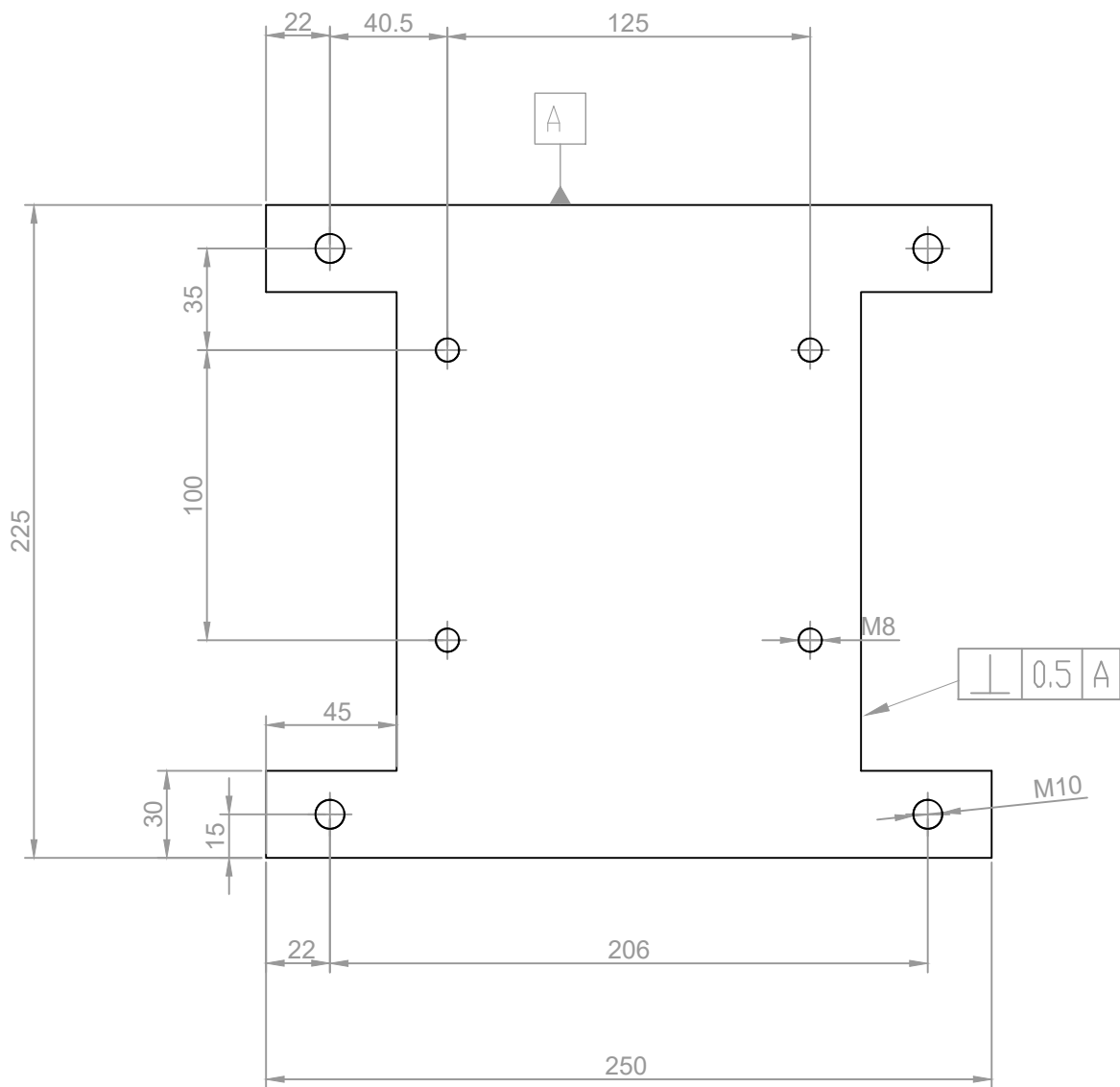
N9 / (N10)



NOTA:
 Eliminar aristas vivas.
 Maquinar chavetero central 5x5
 Polea normalizada Aluminio 3"

17H7 17.018
 17.0

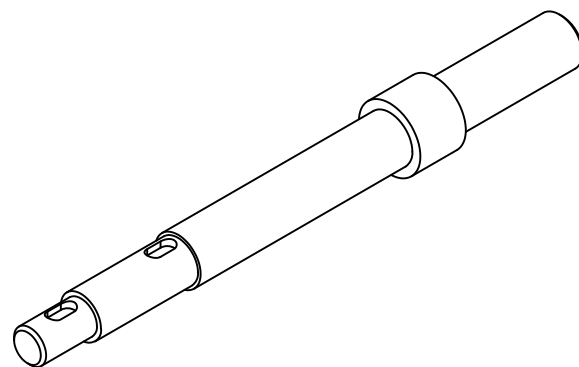
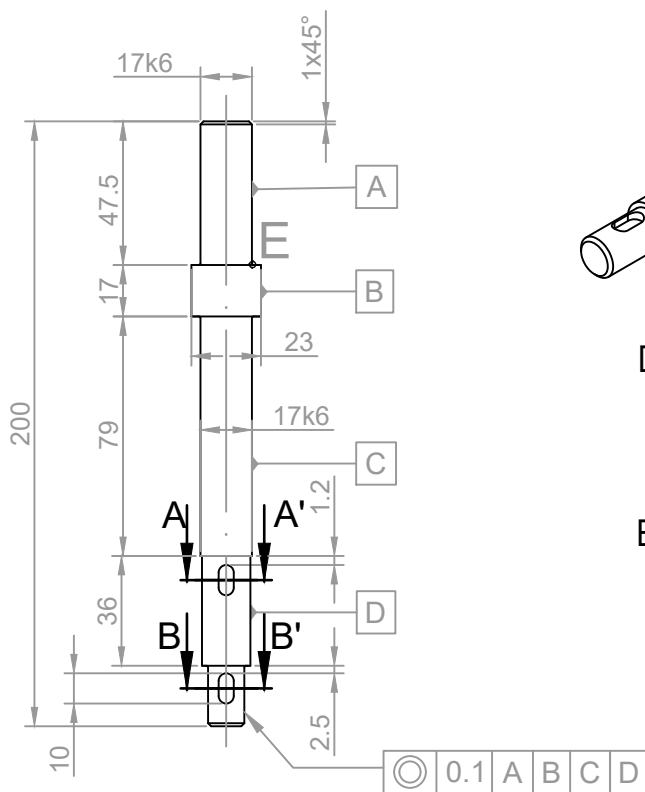
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno			
MATERIAL:	Aluminio	TOL. GRAL.: ±0,5	ESCALA: 1:1	DIB.: Salazar Alex
				DIS.: Salazar Alex
				REV.: Prof. Marco Guamán A.
POLEA 2		FIM.MDB.108		FECHA: 11-06-22



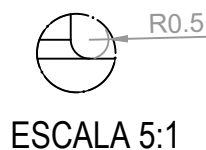
NOTA:
 Perforaciones de las esquinas M10.
 Perforaciones del centro M8.
 Eliminar aristas vivas.
 Chapa metálica 3mm de espesor.

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Salazar Alex
MATERIAL: Acero ASTM A-36	TOL. GRAL.: ±0,5	ESCALA: 1:2.5	DIS.:	Salazar Alex
			REV.:	Prof. Marco Guamán A.
			BASE DEL MOTOR	

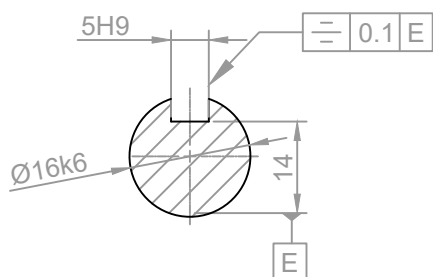
N9/



DETALLE E

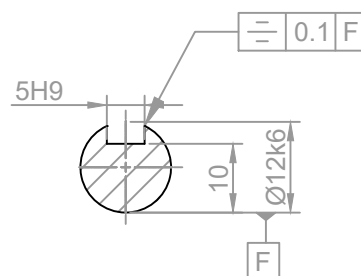


CORTE A-A'



ESCALA 1:1

CORTE B-B'

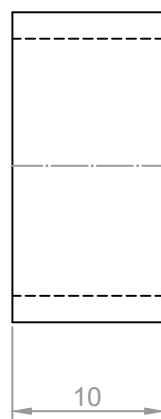
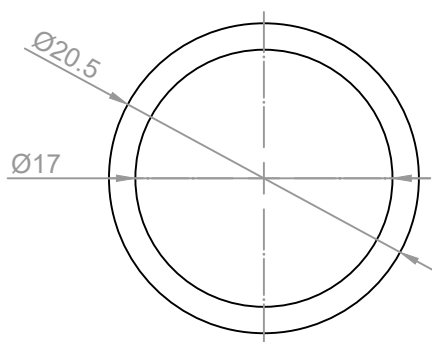
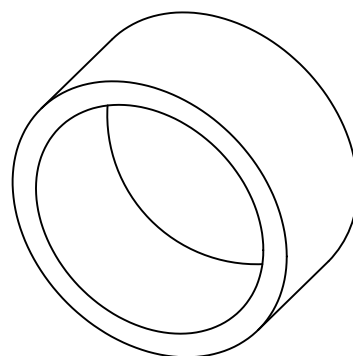


ESCALA 1:1

NOTA:
Eliminar aristas vivas.
Radio de chaveteros 2.5 mm

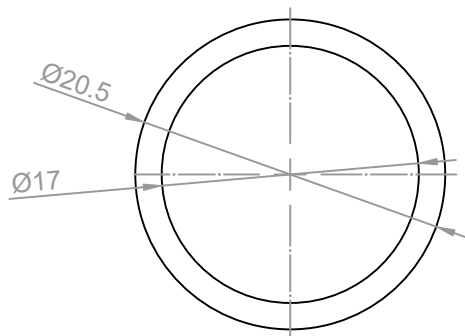
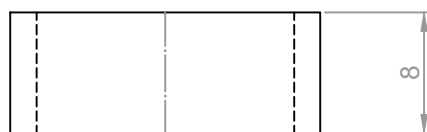
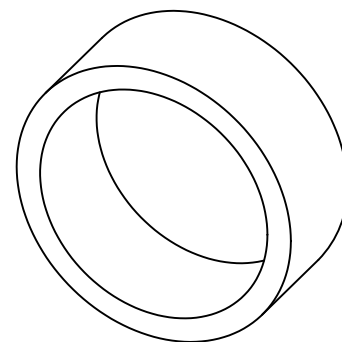
5H9	5.030 5.0
12k6	12.012 12.001
16k6	16.012 16.001
17k6	17.012 17.001

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.: Salazar Alex	DIS.: Salazar Alex
MATERIAL:	Acero AISI 304	TOL. GRAL.: ±0,5	ESCALA: 1:2.5	REV.: Prof. Marco Guamán A.
EJE 3		FIM.MDB.110		FECHA: 11-06-22



NOTA:
Eliminar aristas vivas.

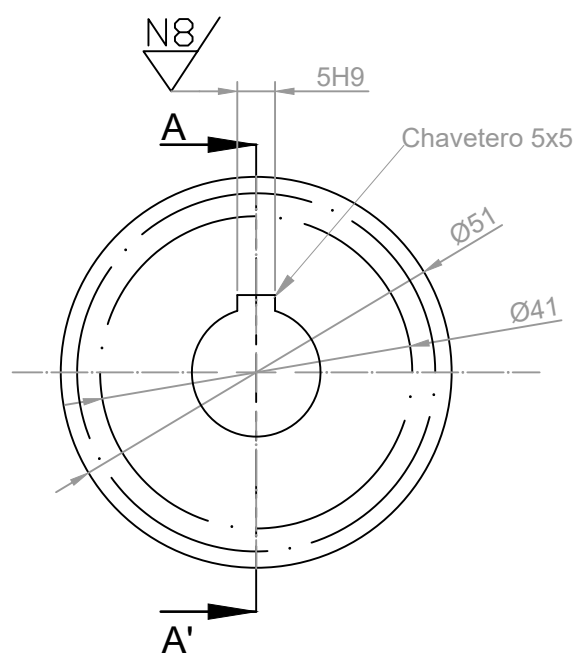
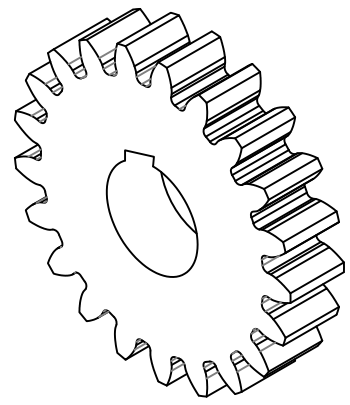
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Salazar Alex	
MATERIAL:	Acero ASTM A-36	TOL. GRAL.: ±0,5	ESCALA:	DIS.: Salazar Alex	
			2:1	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
SEPARADOR 1		FIM.MDB.111		FECHA: 11-06-22	



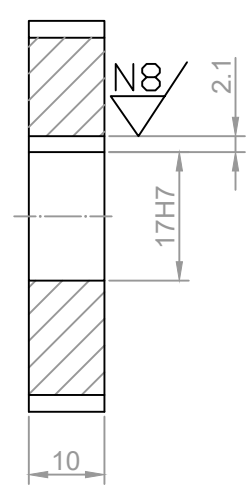
NOTA:
Eliminar aristas vivas.

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Salazar Alex
MATERIAL: Acero ASTM-A36	TOL. GRAL.: ±0,5	ESCALA: 2:1	DIS.:	Salazar Alex
			REV.:	Prof. Marco Guamán A.
			SEPARADOR 2	

N9 / (N8)



CORTE A-A'

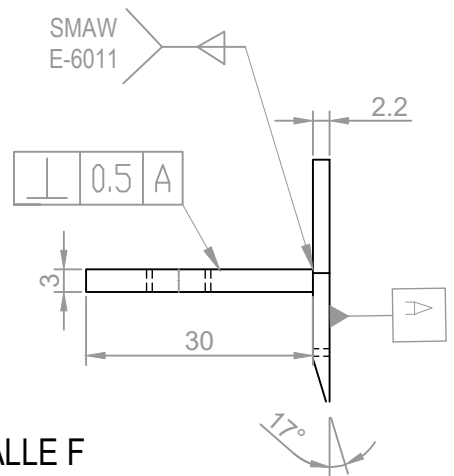
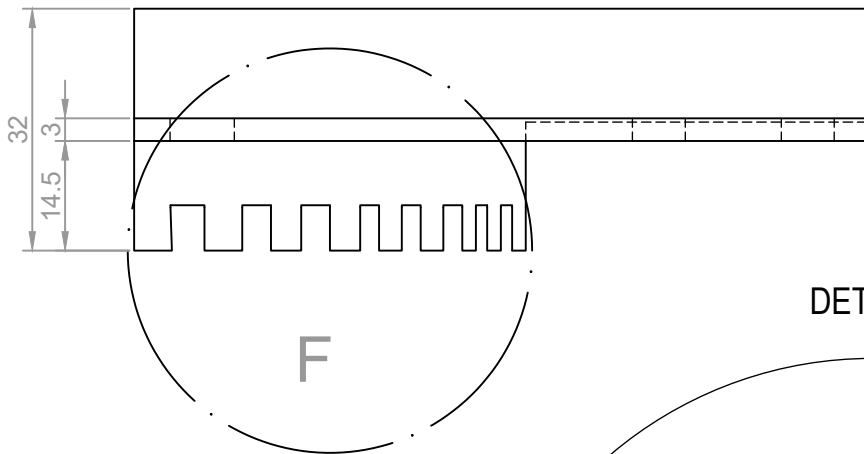
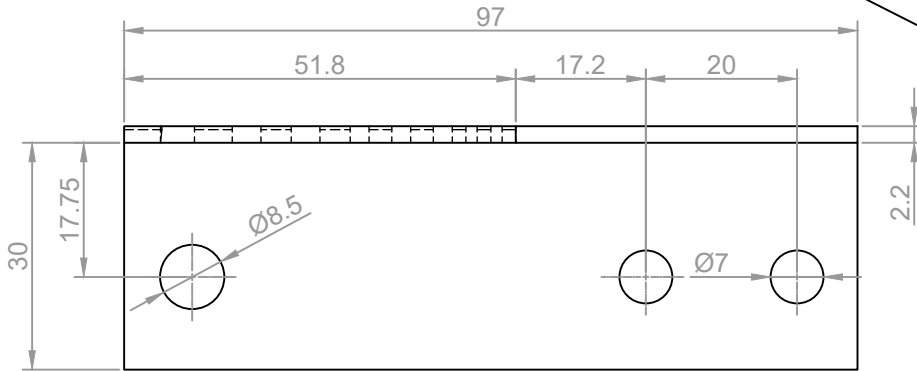
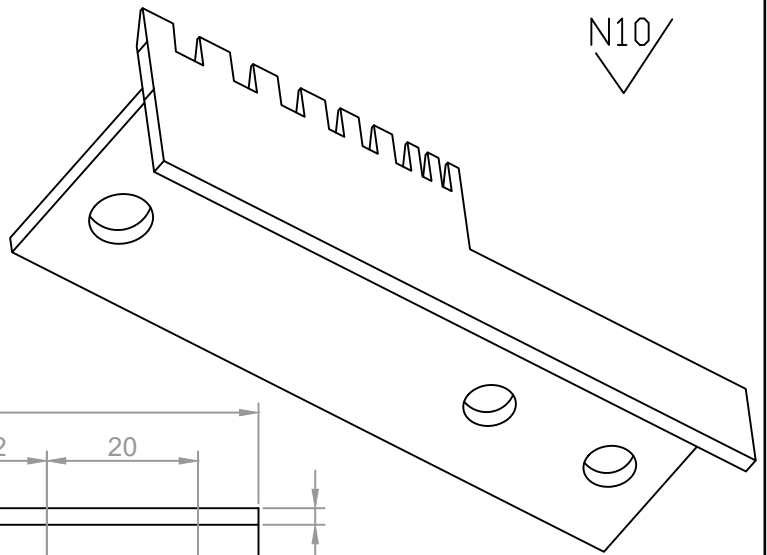


NOTA:
 N:21 Dientes.
 Modulo: 2.25
 Ang. Presión: 20°
 Paso: 7.5

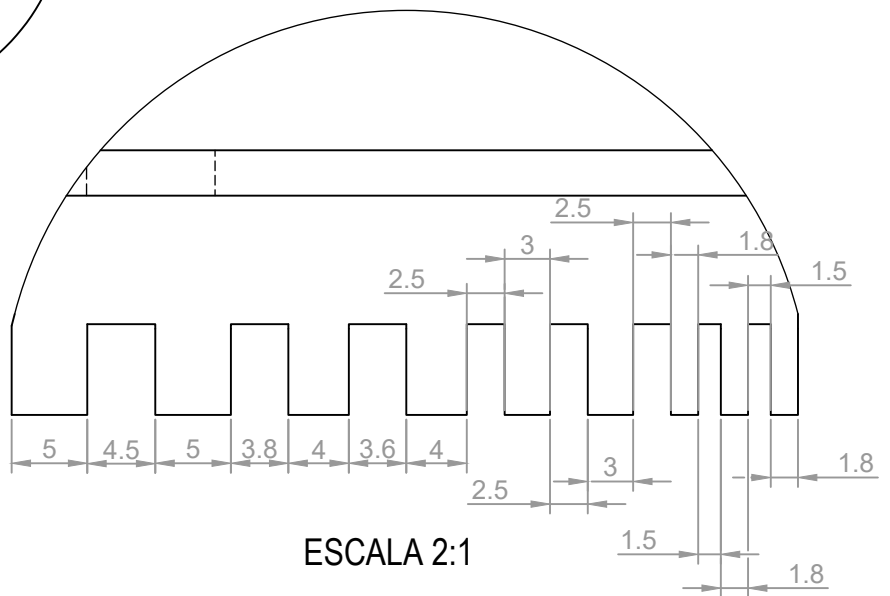
5H9 5.030
5.0

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Salazar Alex
MATERIAL: Acero ASTM A-36	TOL. GRAL.: ±0,5	ESCALA: 1:1	DIS.:	Salazar Alex
			REV.:	Prof. Marco Guamán A.
			ENGRANAJE	

N10



DETALLE F

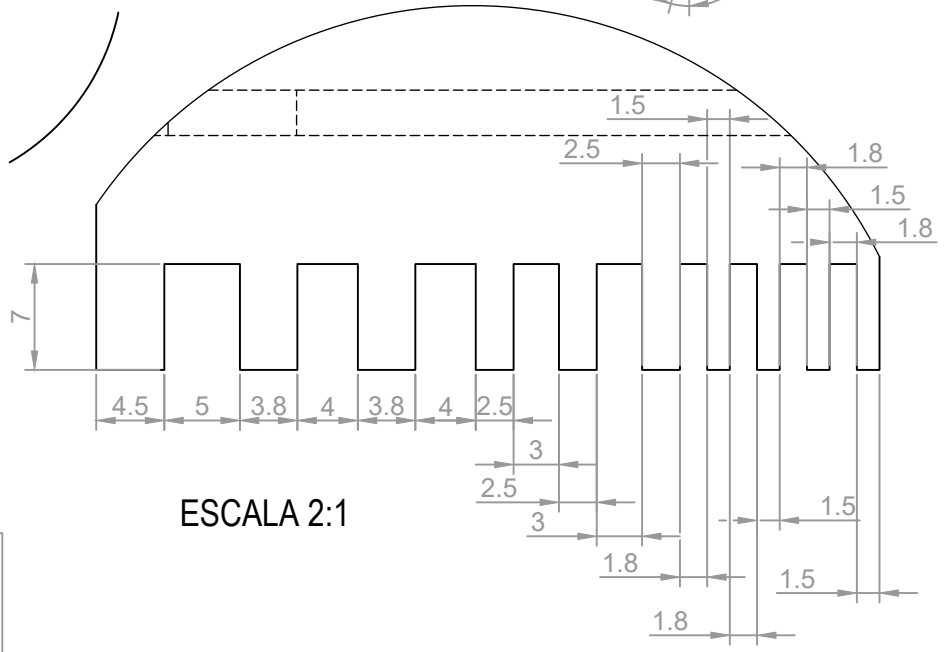
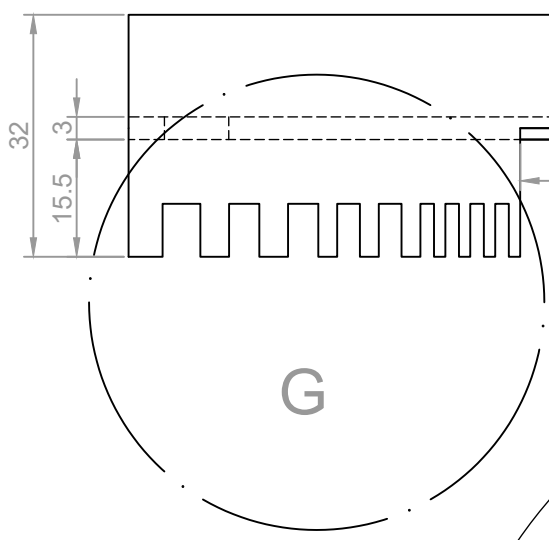
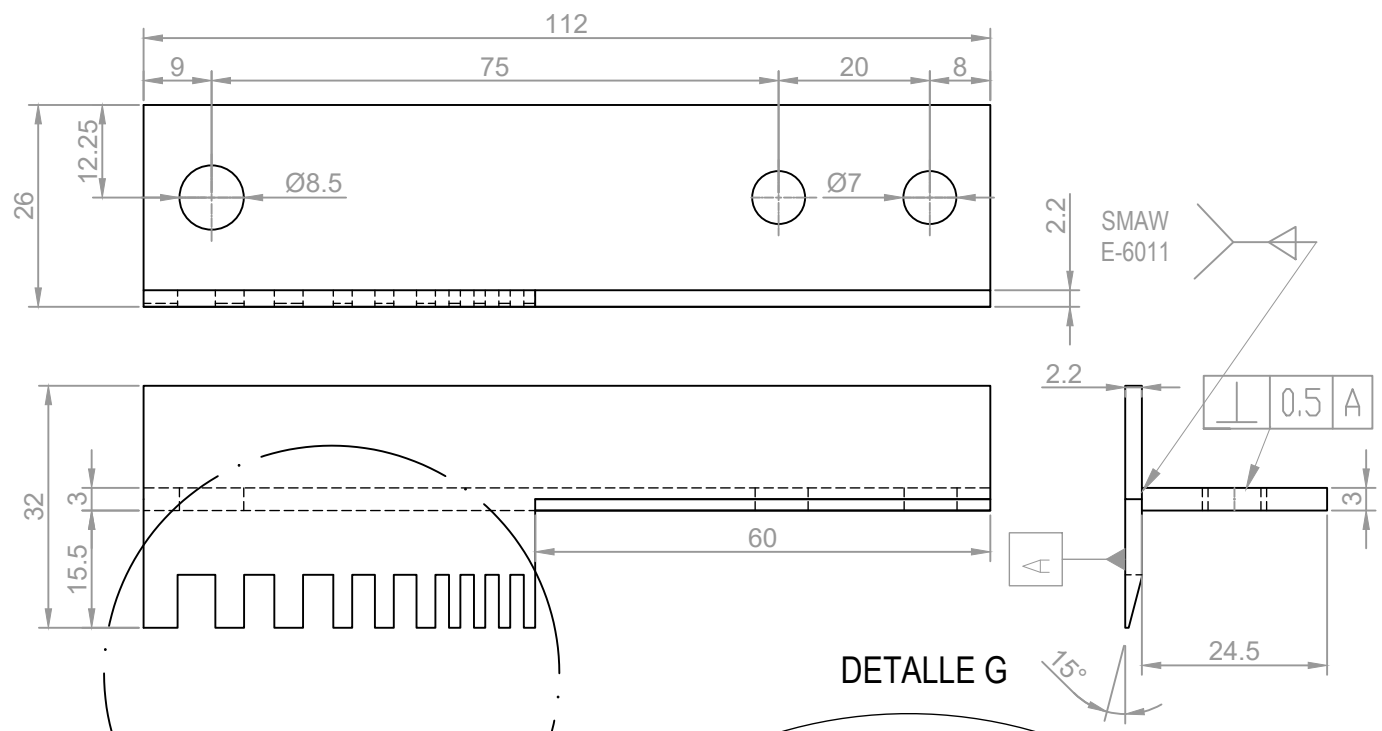
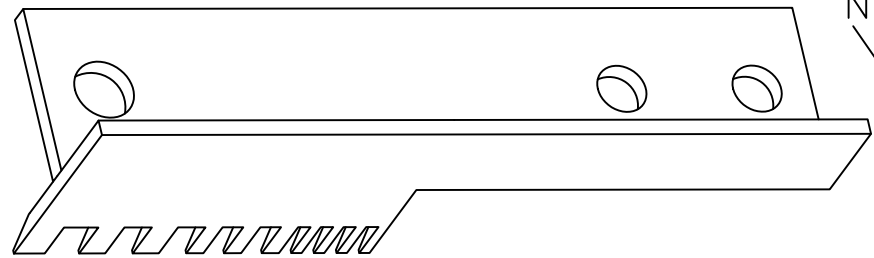


ESCALA 2:1

NOTA:
 Ángulo de salida de acople variable.
 Eliminar Aristas vivas.

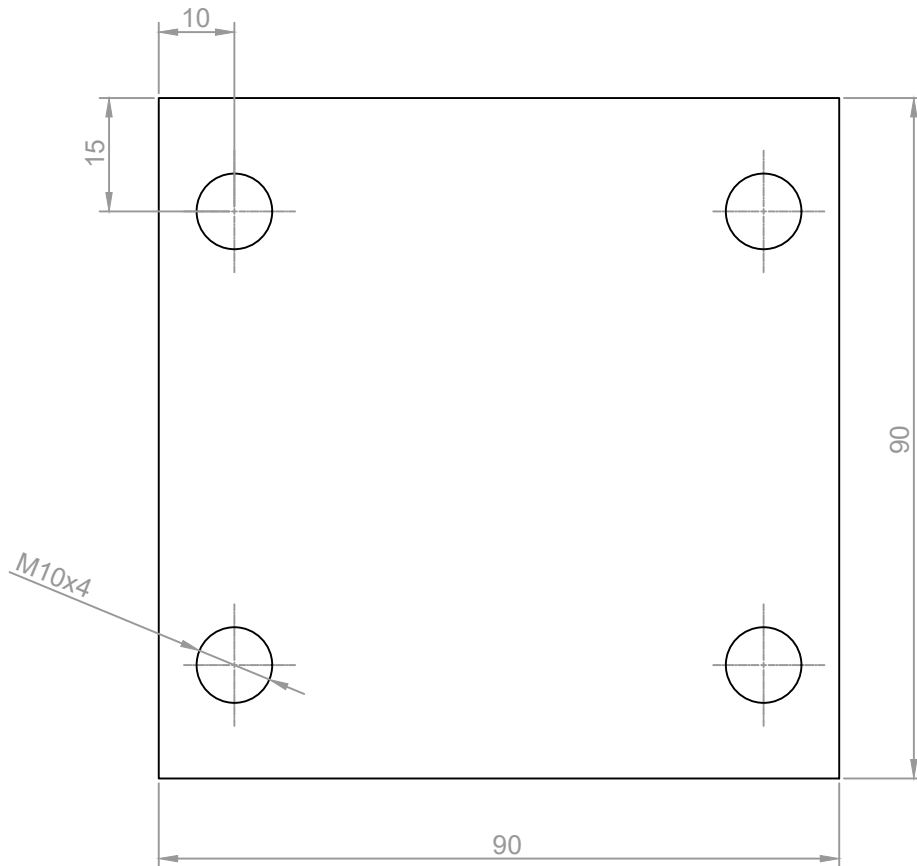
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Salazar Alex
MATERIAL: Acero ASTM A-36	TOL. GRAL.: ±0,5	ESCALA: 1:1	DIS.:	Salazar Alex
			REV.:	Prof. Marco Guamán A.
			ACOPLE 1	

N10



NOTA:
 Ángulo de cuchilla variable.
 Eliminar aristas vivas.

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Salazar Alex
MATERIAL: Acero ASTM A-36	TOL. GRAL.: ±0,5	ESCALA: 1:1	DIS.:	Salazar Alex
			REV.:	Prof. Marco Guamán A.
			ACOPLE 2	



NOTA:
 Todas las perforaciones M10.
 Eliminar aristas vivas
 Chapa metálica 3mm de espesor.

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Salazar Alex
MATERIAL: Acero ASTM A-36	TOL. GRAL.: ±0,5	ESCALA: 1:1	DIS.:	Salazar Alex
			REV.:	Prof. Marco Guamán A.
			PLACA DE ANCLAJE	
				FECHA: 11-06-22

ANEXO IX Cotizaciones para Análisis de Costos.



**IMPORT ACEROS INDUSTRIA
METALMECANICA**

Cotización

CT00072891

RUC: **1792628431001**

Dirección: **N77 Antonio Castillo OE1 346 y Av OE1 C Juan de Selis**

Contribuyente Especial Nro. 283E

Celular: **0997 800 636 099 126 7562**
www.importaceros.com
info@importaceros.com.ec

PBX: 2 486 287

Cliente: **CAIZALUISA ORTIZ NICOLAY ARIEL**

Fecha: 04-03-2022

R.U.C.: 1725674418001

Dirección: PASAJE S 206 Y TRANSVERSAL 3

Telefonos: 0983410604 /

Descripción	Cantidad	P.V.P	% Dcto	Valor Neto	Valor Total
TOOL NEGRO 3.0MM (1/8)	1.00	97.03	0.00	97.03	97.03

Peso Total Kgs : 70.11

Peso Total QQ : 1.54

Favor girar cheque cruzado a nombre de **IMPORT ACEROS INDUSTRIA METALMECANICA**

Son: ****Ciento Ocho Con 67/100****

Sub/Total: 97.03

Descuentos: 0.00

Valor Neto.: 97.03

I.V.A.: 11.64

(=) Total Cotizado: ***108.67**

APROBADO:



**ACEROS
INDUSTRIALES**
HUGO GUERRERO B.

COTIZACIÓN

Fecha: 03/03/2022

Válido: 03/03/2022

Nº: 000007842

HUGO GERARDO GUERRERO BARRENO

RUC: 1801252170001

Dirección: AV LOS PINOS E7-30 E INÉS MEDINA

e-mail: aceroshgb@hotmail.com

Teléfono: 022405415

DATOS DEL CLIENTE

Empresa: CONSUMIDOR FINAL

Dirección: S/D

Teléfono:

Email:

Código	Descripción	Descripción	Cantidad	P.V.P.	Total
INOXR2	AC INOX 304 RED 2" X 3000	1 PZ	48,10	8,26	321,83
8TC30X1,5	TUB PUL INOX CUA 304 30X1,5MM X 1000	1 PZ	1,00	11,00	8,91

CONDICIONES DE VENTA Y OTROS COMENTARIOS

Subtotal:	408,32
Descuento:	77,58
Subtotal - Descuento:	330,74
12,00% IVA:	39,69
Transporte:	0,00
ICE:	0,00
Otros Impuestos:	0,00
TOTAL:	370,43

CASTILLO HERMANOS S.A
 TELE/FAX:2684560/1
 CONTRIBUYENTE ESPECIAL: NO
 Av. Simón Bolívar y Av. Maldonado RUC:1790155102001

PROFORMA #003-002-0064208

Fecha: Quito, viernes, 4/marzo/2022
 Almacén: SUC. SUR
 Vendedor: TABANGO WILSON
 Cliente: CONSUMIDOR FINAL (QUITO)

Cantidad Artículo V. Unitario V. Total

14.00	PERNO HEX MM RG DIN933-931 GR.8.8 NEGRO 10X1.50X20 360600	0.120	1.68
14.00	TUERCA MM GR.8.8 NEGRA PASO NORMAL 10X1.50 544100	0.090	1.26
6.00	PERNO HEX AC.INOX. MM DIN933-931 304(A2) 5X0.80X20 1099500	0.120	0.72
6.00	TUERCA AC.INOX. MM DIN934 304(A2) 5X0.80 604720	0.040	0.24
4.00	PERNO HEX AC.INOX. MM DIN933-931 304(A2) 8X1.25X16 1968200	0.240	0.96
4.00	TUERCA AC.INOX. MM DIN934 304(A2) 8X1.25 604900	0.090	0.36

Subtotal		(=)	5.22
Dscto.	10.7143%	(-)	0.56
Imponible		(=)	4.66
I.V.A.	12.00%	(+)	0.56

TOTAL US\$ 5.22

*El dscto. se aplicó de acuerdo al monto

=====

Esta proforma tiene validez de 15 días

RODAREPUESTOS CIA. LTDA.

1792938600001

SUCURSAL MALDONADO S41-37 Y GUAYANAY ÑAN

TELF: 3011-135/0999218880

PROFORMA
347

FECHA: 04/03/2022

TELÉFONO: /096356426

SEÑORES: ALEX SALAZAR

DIRECCION: QUITO

RUC:

PAGO: CONTADO

CANTIDAD	DESCRIPCION	V.UNITARIO	V.TOTAL
1	CMB UCP203 CHUMACERA	12.00	12.00
2	DONGIL A-53 BANDAS	5.50	11.00
1	DONGIL A-48 BANDAS	5.00	5.00
4	NTN 6203 LLUC3 RODAMIENTOS	4.00	16.00
			-
			-
			-
			-
			-

SON: _____

SUMAN	44.00
DESC. 10%	4.40
SUBTOTA	39.60
IVA 12%	4.75
TOTAL	44.35

984759879
RECIBÍ CONFORME

/09992188880
HUGO CISNEROS
FIRMA AUTORIZADA



**ACEROS
INDUSTRIALES**
HUGO GUERRERO B.

COTIZACIÓN

Fecha: 08/03/2022

Válido: 08/03/2022

N°: 000007883

HUGO GERARDO GUERRERO BARRENO

RUC: 1801252170001

Dirección: AV LOS PINOS E7-30 E INÉS MEDINA

e-mail: aceroshgb@hotmail.com

Teléfono: 022405415

DATOS DEL CLIENTE

Empresa: CONSUMIDOR FINAL

Dirección: S/D

Teléfono:

Email:

Código	Descripción	Descripción	Cantidad	P.V.P.	Total
1045C060	AC 760/1045 CUAD 060MM *1PZ 500MM		0,15	4,19	0,52
INOXR2	AC INOX 304 RED 2" *1PZ 300MM		4,89	8,26	33,52
1018R1	AC TRANSM 1018 RED 1" *1PZ 220MM		0,90	3,88	2,90
12ALUMTA1X31.	POLEA ALUMINIO 1X31/2"		2,00	3,52	5,84
12ALUMTA1X12	POLEA ALUMINIO 1X12"		1,00	16,94	14,06
12ALUMTA1X10	POLEA ALUMINIO 1X10"		1,00	11,10	9,21
39H050	PLANCHA 1010 H 50 *1PZ 150x150x50MM		10,24	2,19	22,43

CONDICIONES DE VENTA Y OTROS COMENTARIOS

Subtotal:	102,02
Descuento:	13,54
Subtotal - Descuento:	88,48
12,00% IVA:	10,62
Transporte:	0,00
ICE:	0,00
Otros Impuestos:	0,00
TOTAL:	99,10



Insumos Eléctricos del Ecuador

"Gabriela Cristina Guillén Regalado"
Telf: 603 6767 / Cel: 0995158733 - 0995953977
insecuador@gmail.com / ventasinseec@gmail.com

RUC: 1718728148001

PROFORMA N° 004020
NOMBRE: NOVACERO S.A.
RUC: 0590038601001
SOLICITADO: Ing. Alex Salazar
TELEFONO: 3981900
DIRECCION: CALLE J S60-87 Y CALLE TERCERA
EMAIL:

19 de mayo de 2022

ITEM	No. PARTE	DESCRIPCION	CANT	UND	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
1	14016484	MOTOR 1F (MONOFASICO) W22 IP55 1HP/1800RPM/90S/220-440V, MARCA WEG	1	UND	299,41	299,41
2	11962873	MOTOR 3F (TRIFASICO) W22 IE2 IP55 1HP/1800RPM/80/220-440V, MARCA WEG	1	UND	172,13	172,13
CONDICIONES DE PAGO: CREDITO 30 DIAS					SUBTOTAL	\$ 471,54
TIEMPO DE ENTREGA: INMEDIATA PREVIA ACEPTACION DE LA ORDEN DE COMPRA Y RECONFIRMACION DE STOCK					IVA 12%	\$ 56,58
VALIDEZ DE LA OFERTA: 10 DIAS					TOTAL (USD)	\$ 528,12

