

Diseño y Construcción de un Dispositivo Volteador de Residuos Orgánicos Para el Compostaje
en Hilera

Jonathan González Camargo

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

Ricardo Alfonso Jaimes Rolon

M. Sc. Magister In Science

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

Dedicado a Dios Padre, a quien reconozco como el principal causante de este triunfo. También va dedicado a mis chicas: A mi angelito y sobrina María De Los Ángeles González Camargo quien me escucha y brinda fuerza desde el cielo. A mi abuelita Rosita María Díaz De Camargo gracias por tu sabiduría aun que me haces falta y te extraño sé que me estas cuidando desde el cielo y sé que visualizaste este triunfo tanto como yo. A mis tres amores con todo mi amor: A mi mamita hermosa Nelly Camargo Díaz y a mi segunda madre y hermanita bella Magali González Camargo por que han sido incondicionales e incansables luchadoras, gracias por todo su esfuerzo, apoyo y paciencia porque sin ustedes no lo hubiera logrado, A mi novia preciosa Yuliana Fernanda Lara Cárdenas gracias por ser tan excepcional con migo, por escucharme, apoyarme y ser paciente. A mi padre Giovanni González Pérez por la ayuda brindada en la construcción del prototipo. Dedico este triunfo a mi familia en general por todos los momentos que no pude compartir debido a perseguir uno de mis sueños y objetivo de ser ingeniero mecánico.

Esto va para los que estuvieron y ya no están, para los que están y nunca estuvieron, también para los que estarán, esto va para aquellos que creyeron y dejaron de hacerlo, para los que no creían y empezaron a creer, para los que nunca creerán y por último esto también va para aquel que siempre creyó en sí mismo aunque no fuera palpable ni visible para los demás, porque si existe la magia en este mundo es la capacidad de ir tras aquello que nadie ve más que tú. Cuando pones los motores visionarios hacia un sueño, un objetivo y visualizas el camino hacia tal excelsitud inasible, curioso y hambriento de conocimiento, rebelde a la mediocridad, llevas en ti un engrane misterioso de un ideal capas de sincronizarte para grandes esfuerzos y acciones. Solo vives por esa partícula de ensueño que te sobrepone a lo real, cuando te abstraes en lo infinito, cuando el corazón te extrémese, cuando tus sienes se hielan de emoción de pasión de presión, cuando tu alma vibra y tu espíritu se quiebra reconstruyéndose con resiliencia a cada paso dado, es de pocos esa inquietud de seguir ávidamente una quimera poblada de ideales. A Todos Gracias Totales...

JONATHAN G.C

Agradecimientos

En primera instancia agradezco a Dios y a la Universidad Industrial de Santander, a los profesores por brindar sus enseñanzas, consejos y acompañamiento en todo el proceso.

Un especial y sincero agradecimiento al ingeniero Ricardo Alfonso Jaimes Rolón, director del proyecto, por su respaldo, orientación, confianza, inmediatez y colaboración oportuna.

A mis padrinos Orfidea Esteban y Enrique Díaz por acogermi en su hogar y por tratarme con cariño como un hijo más.

A mi abuelita Rosita María Díaz De Camargo, a mi sobrina María De Los Ángeles González Camargo, a mi madre Nelly Camargo Díaz, a mi hermana Magali González Camargo, y a mi novia Yuliana Fernanda Lara Cárdenas. Gracias por ser mis pilares, Ustedes son mi masa por aceleración, mi espíritu y mi camino, Gracias por estar con migo en el proceso y por todo el amor brindado.

A mi padre Giovanni González Pérez gracias por la ayuda brindada en la construcción del prototipo.

Por último, agradezco a don Gonzalo C. Caballero y a todo el Personal del Agroparque el Hangar de Guatigura quienes me abrieron las puertas para ir a tomar datos y fotos para el desarrollo del proyecto.

JONATHAN G.C

Tabla de Contenido

		Pág.
Introducción		17
1.	Objetivos.....	20
1.1.	Objetivo General.....	20
1.2.	Objetivos Específicos.....	20
2.	Metodología, Residuos Orgánicos y Compostaje.....	21
2.1.	Metodología	21
2.2.	Residuos orgánicos y compostaje	22
2.3.	Monitoreo Durante El Compostaje	23
2.4.	Tamaño de partícula.....	25
2.5.	Descripción Del Terreno.....	25
3.	Concepción Del Diseño De La Volteadora De Compost.....	26
3.1.	Despliegue De La Función Calidad (Q.F.D)	26
3.2.	Matriz De Calidad.....	28
3.3.	Ponderación De Prioridades Para Selección De La Solución.....	28
3.4.	Planeamiento De Alternativas.....	29
3.5.	Ventajas y Desventajas de las alternativas.....	30
3.6.	Evaluación de Alternativas	30
3.7.	Descripción de la zona de compostaje	31
3.8.	Especificación De Alternativa Ganadora.....	32
3.9.	Matriz morfológica del proyecto	35
3.10.	Requerimientos De Diseño	36

3.11.	Subsistemas Del Dispositivo.....	37
3.12.	Elementos para el diseño	38
3.13.	Enganche de la barra de tiro y de la barra de apoyo	40
4.	Diseño En Detalle Del Sistema De Volteo	41
4.1.	Datos Del Compost.....	41
4.2.	Datos De La Zona De Compostaje Y Pila De Compost	41
4.3.	Datos Del Tractor.....	42
4.4.	Datos Del Rotor	42
4.5.	Datos Del Reductor De Velocidad.....	42
4.6.	Capacidades Volumétricas De Volteo	50
4.7.	Análisis Dinámico Del Rotor.....	52
4.7.1.	Método De Babiciu.....	52
4.8.	Diseño del perno en las paletas.....	54
4.9.	Diseño del perno con las Paletas a 45°grados.....	60
4.10.	Análisis de Cálculos de Diseño para la Paleta.....	65
4.10.1.	Resultado de Estudio de Simulación de Cargas en la Paleta	71
4.11.	Análisis de los Cálculos para el Diseño del Eje.....	74
4.12.	Calculo Para Eje En Una Posición Crítica De La Configuración De Paletas.....	77
4.13.	Análisis del Cálculo de Diseño para la Cuña en el Eje.....	83
4.14.	Calculo de Selección de Rodamiento para Soportar el Rotor.....	85
5.	Diseño En Detalle Del Sistema De Potencia	89
5.1.	Análisis del cálculo energético del tractor con el dispositivo volteador.....	89
5.2.	Selección de Cardan.....	99

5.3.	Reductor de Velocidad.....	100
5.4.	Selección del Tipo de Acoplamiento	102
6.	Diseño En Detalle Del Sistema Estructural	106
6.1.	Análisis del Cálculo de Diseño del Dispositivo.....	106
6.2.	Análisis de Diseño de la Barra de Tiro	107
6.3.	Diseño del Pasador del Dispositivo	110
6.4.	Análisis del Diseño de la Barra De Apoyo	112
6.5.	Análisis de Diseño para el Bastidor del Dispositivo.....	113
6.6.	Análisis del Diseño del Brazo pivotante que sostiene la llanta	120
6.7.	Análisis del Diseño y Selección del Rodamiento para Llantas.....	121
6.8.	Sistema De Anclaje Para Trabajo Y Transporte	124
7.	Construcción, Montaje, Pruebas y Pintura.....	125
7.1.	Construcción	125
7.2.	Montaje	126
7.3.	Pruebas	127
7.4.	Pintura.....	128
8.	Análisis De Costos	129
9.	Mantenimiento General Del Dispositivo	130
10.	Conclusiones.....	131
	Referencias Bibliográficas	132
	Apéndices.....	134

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Metodología para el diseño</i>	21
Tabla 2 <i>Fases del compostaje</i>	23
Tabla 3 <i>Parámetros del compostaje</i>	24
Tabla 4 <i>Control del tamaño de partícula</i>	25
Tabla 5 <i>Despliegue De La Función Calidad</i>	26
Tabla 6 <i>Ponderación de prioridades</i>	29
Tabla 7 <i>Ventajas y Desventajas de las alternativas de volteo de compost</i>	30
Tabla 8 <i>Requerimientos principales</i>	37
Tabla 9 <i>Variables relevantes en el diseño del sistema de volteo</i>	44
Tabla 10 <i>Variables relevantes en el cálculo del perno en las paletas</i>	55
Tabla 11 <i>Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero-shigley</i>	58
Tabla 12 <i>Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino</i>	58
Tabla 13 <i>Dimensiones de pernos de cabeza cuadrada y hexagonal-tamaño nominal M12-shigley</i>	58
Tabla 14 <i>F.C.E por fatiga en la rosca K_f_rosca Roscas cortadas-shigley</i>	59
Tabla 15 <i>Variables principales en el cálculo del perno en las paletas a 45°grados</i>	61
Tabla 16 <i>Parámetros de rigidez de varios materiales-shigley</i>	63
Tabla 17 <i>Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino</i>	63
Tabla 18 <i>Dimensiones de arandelas métricas simples libro Shigley</i>	63
Tabla 19 <i>Variables principales en el cálculo del diseño de la paleta</i>	66
Tabla 20 <i>Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frio (CD)</i>	68

Tabla 21 <i>Factor de superficie en la paleta Ka_{paleta}, Factor de la condición superficial de Marín</i>	70
Tabla 22 <i>Factor de temperatura Kd_{paleta}</i>	70
Tabla 23 <i>Factor de confiabilidad al 90% Ke_{paleta}</i>	70
Tabla 24 <i>VARIABLES DE ENTRADA Y SALIDA RELEVANTES PARA EL CÁLCULO DE DISEÑO DEL EJE</i>	75
Tabla 25 <i>VARIABLES IMPORTANTES DEL CÁLCULO DE DISEÑO DEL EJE</i>	78
Tabla 26 <i>VARIABLES RELEVANTES EN EL CÁLCULO DEL DISEÑO DE LA CUÑA</i>	84
Tabla 27 <i>Cuñas estándar medida métrica para ejes y tamaño de tornillos libro NORTON</i>	85
Tabla 28 <i>VARIABLES DE ENTRADA Y SALIDA IMPORTANTES EN EL CÁLCULO DE SELECCIÓN DE RODAMIENTO</i> . 86	
Tabla 29 <i>VARIABLES FUNDAMENTALES EN EL CÁLCULO DE POTENCIA DEL TRACTOR CON EL DISPOSITIVO DE VOLTEO</i>	90
Tabla 30 <i>VARIABLES RELEVANTES PARA LA SELECCIÓN DE ACOPLAMIENTO</i>	103
Tabla 31 <i>VARIABLES DE ENTRADA Y VARIABLES DE SALIDA RELEVANTES</i>	106
Tabla 32 <i>VARIABLES IMPORTANTES PARA EL ANÁLISIS DE CÁLCULO DE LA BARRA DE TIRO</i>	108
Tabla 33 <i>VARIABLES DE ENTRADA Y SALIDA RELEVANTES EN EL DISEÑO Y CÁLCULO DEL PERNO DEL DISPOSITIVO</i>	111
Tabla 34 <i>DIMENSIONES DE PERNOS DE CABEZA CUADRADA Y HEXAGONAL</i>	111
Tabla 35 <i>Factor de concentración del esfuerzo de fatiga de elementos roscados</i>	112
Tabla 36 <i>VARIABLES DE ENTRADA Y SALIDA RELEVANTES EN EL PROCESO DE CÁLCULO DEL DISEÑO DEL BASTIDOR</i>	115
Tabla 37 <i>VARIABLES IMPORTANTES PARA EN LA SELECCIÓN DE RODAMIENTO PARA EL DISPOSITIVO</i>	122
Tabla 38 <i>Análisis de costos del prototipo del dispositivo de volteo de compost</i>	129

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Modelo de Pahl y Beitz</i>	22
Figura 2 <i>Temperatura, Oxígeno y pH en el proceso de compostaje</i>	23
Figura 3 <i>Terreno del hangar observado desde el cielo</i>	26
Figura 4 <i>Matriz QFD</i>	28
Figura 5 <i>Alternativas para el compostaje</i>	29
Figura 6 <i>Matriz de ponderación</i>	30
Figura 7 <i>Zona de compostaje</i>	31
Figura 8 <i>Distancia entre pilas</i>	32
Figura 9 <i>Diseño elevador volteador</i>	33
Figura 10 <i>Diseño modificado utilizando elementos mecánicos del agroparque</i>	34
Figura 11 <i>Concepción del Diseño en detalle</i>	35
Figura 12 <i>Matriz morfológica del proyecto</i>	36
Figura 13 <i>Subsistemas de la volteadora de residuos orgánicos</i>	38
Figura 14 <i>Elementos mecánicos del agroparque útiles para el diseño de la volteadora de compost</i>	39
Figura 15 <i>Puntos de enganche del dispositivo</i>	40
Figura 16 <i>Diagrama de flujo del sistema de volteo de compost</i>	42
Figura 17 <i>Análisis de movimiento tractor-dispositivo</i>	46
Figura 18 <i>Velocidad de avance del dispositivo respecto al factor cinemático</i>	47
Figura 19 <i>Movimiento cicloidal del rotor de volteo</i>	48
Figura 20 <i>d=profundidad de labor de corte de la paleta en el rotor</i>	49
Figura 21 <i>Longitudes de arco cicloidal</i>	49

Figura 22 <i>Angulo de giro de las paletas</i>	50
Figura 23 <i>Capacidades Volumétricas</i>	51
Figura 24 <i>Cota OA de la paleta</i>	52
Figura 25 <i>Nomograma de babiciu y Angulo de corte aparente mínimo</i>	52
Figura 26 <i>Análisis de fuerzas en la paleta</i>	53
Figura 27 <i>Análisis de fuerzas con lambda critico</i>	54
Figura 28 <i>Diagrama de flujo para el proceso de cálculo de diseño del perno en las paletas</i>	54
Figura 29 <i>Análisis de fuerzas en los pernos de las paletas</i>	57
Figura 30 <i>Selección Factor de concentración de esfuerzos«F.C.E» y Sensibilidad a la muesca-shigley</i>	59
Figura 31 <i>Diagrama de flujo para el proceso de cálculo de diseño del perno con las paletas a 45°grados</i>	60
Figura 32 <i>Análisis de fuerzas en los pernos de las paletas con Angulo de giro «α_{giro}» de 45°grados</i>	62
Figura 33 <i>Dimensiones de Pernos de cabeza cuadrada y hexagonal</i>	63
Figura 34 <i>Carga resultante de tensión en el perno</i>	64
Figura 35 <i>Factor de concentración de esfuerzos F.C.E-shigley</i>	64
Figura 36 <i>Metodo De Dowling Para Material Ductil-shigley</i>	64
Figura 37 <i>Grafica Esfuerzo-Vida</i>	64
Figura 38 <i>Diagrama de flujo para el proceso de cálculo de diseño de la paleta</i>	65
Figura 39 <i>Dimensiones y fuerzas actuantes en la paleta</i>	67
Figura 41 <i>Sensibilidad a la muesca (q) sometidos a tensión-shigley</i>	68

Figura 42 <i>Grafica de concentración de esfuerzos de Peterson para placa con perforación sometida a momento flector del libro Fatiga fisura progresiva Alfredo parada corrales</i>	68
Figura 43 <i>Placa cargada en tensión mediante un pasador a través de un agujero-shigley.....</i>	69
Figura 44 <i>Factores que Modifican el Límite de Resistencia a la Fatiga-shigley</i>	70
Figura 45 <i>Factor de tamaño K_b_paleta-shigley</i>	70
Figura 46 <i>Cargas aplicadas en la paleta.....</i>	71
Figura 47 <i>Desplazamiento y Factor de seguridad en la paleta.....</i>	71
Figura 48 <i>Factor de seguridad en la paleta</i>	73
Figura 49 <i>Diagrama de flujo para la lógica del cálculo de diseño del eje para el sistema de volteo.....</i>	74
Figura 50 <i>Análisis de fuerzas en el eje</i>	75
Figura 51 <i>Diagrama de flujo para el desarrollo de cálculo en el diseño del eje</i>	77
Figura 52 <i>Análisis de fuerzas en el eje</i>	79
Figura 53 <i>Análisis de cargas transmitidas al eje.....</i>	80
Figura 54 <i>Diagrama de cuerpo libre D.C.L de la sección H en el eje</i>	80
Figura 55 <i>Análisis de Factor de seguridad de pernos en las chumaceras que soportan el eje y pernos que soportan las paletas conectadas al eje.....</i>	81
Figura 56 <i>Resultados de simulaciones en el eje</i>	82
Figura 57 <i>Factor de seguridad del eje.....</i>	83
Figura 58 <i>Diagrama de flujo para el cálculo del diseño de la cuña del eje.....</i>	83
Figura 59 <i>Diagrama de flujo del Cálculo de Selección de rodamiento.....</i>	85
Figura 60 <i>Datos del rodamiento</i>	87
Figura 61 <i>Datos del rodamiento</i>	88

Figura 62 <i>Análisis de cálculos de potencia para el tractor con el dispositivo de volteo</i>	89
Figura 63 <i>Datos técnicos, dimensiones y peso en el catálogo del tractor</i>	91
Figura 64 <i>Diagrama de cuerpo libre D.C.L del tractor y algunas dimensiones</i>	92
Figura 65 <i>Análisis dinámico del tractor y algunas dimensiones</i>	93
Figura 66 <i>Análisis de fuerzas tractor-dispositivo</i>	93
Figura 67 <i>Coefficiente de la resistencia al rodado</i>	94
Figura 68 <i>Características de neumáticos para tractor</i>	95
Figura 69 <i>Características de los neumáticos según el catálogo del tractor</i>	95
Figura 70 <i>Análisis de fuerzas en el neumático y el ángulo de rodadura</i>	96
Figura 72 <i>Análisis de Fuerzas y Energía del Tractor</i>	97
Figura 73 <i>Análisis de potencia</i>	98
Figura 74 <i>Selección de cardan</i>	99
Figura 75 <i>Reductor de velocidad con cardan que se encuentra en el hangar del agroparque</i> .	101
Figura 76 <i>Acoplamiento de disco flexible</i>	104
Figura 77 <i>Acople de cadena</i>	105
Figura 78 <i>Análisis de fuerzas en el dispositivo</i>	106
Figura 79 <i>Análisis de fuerzas en la barra de tiro</i>	107
Figura 80 <i>Análisis de cargas en barra de tiro</i>	108
Figura 81 <i>Simulación de fuerzas en la barra de tiro</i>	109
Figura 82 <i>Diagrama de flujo de la lógica de cálculo del perno crítico en la barra de tiro</i>	110
Figura 83 <i>Análisis de fuerzas en la barra de apoyo</i>	112
Figura 84 <i>Simulación de fuerzas en la barra de tiro</i>	112
Figura 85 <i>Percepción del Diseño del Bastidor</i>	113

Figura 86 <i>Diagrama de flujo para el cálculo de diseño del bastidor</i>	114
Figura 87 <i>Análisis de fuerzas en el bastidor</i>	116
Figura 88 <i>Análisis de las simulaciones de fuerzas en el bastidor en el trabajo</i>	116
Figura 89 <i>Análisis de las simulaciones de fuerzas en el bastidor en el transporte</i>	118
Figura 90 <i>Análisis del Factor de Seguridad</i>	119
Figura 91 <i>Análisis de fuerzas en el brazo pivotante que sostiene la llanta</i>	120
Figura 92 <i>Análisis de simulación de fuerzas en el brazo pivotante que sostiene la llanta</i>	120
Figura 93 <i>Diagrama de flujo para el análisis de selección de rodamiento</i>	121
Figura 94 <i>Selección de rodamiento para las llantas del dispositivo</i>	122
Figura 95 <i>Sistema de Anclaje</i>	124
Figura 96 <i>Construcción del prototipo de la volteadora de compost</i>	125
Figura 97 <i>Montaje de subsistemas del dispositivo</i>	126
Figura 98 <i>Pruebas en los subsistemas del dispositivo</i>	127
Figura 99 <i>Pintura en el prototipo del dispositivo de volteo</i>	128
Figura 100 <i>Mantenimiento general</i>	130

Lista de Apéndices

Apéndice A. Planos de Construcción.....	135
Apéndice B. Manual del Usuario y de Mantenimiento del Dispositivo	161
Apéndice C. Detalle de Cálculo de Selección de Rodamiento	168
Apéndice D. Fotos de inspecciones finales al ajuste y del autor del proyecto	192

Resumen

Título: Diseño y construcción de un dispositivo volteador de residuos orgánicos para el compostaje en hilera*

Autor: Jonathan González Camargo**

Palabras Clave: Residuos orgánicos, compost, reingeniería, rotor-paletas, bajo costo, funcional

Descripción: De acuerdo a las necesidades del Agroparque de la Universidad Industrial de Santander - U.I.S, como la minimización, manejo, aprovechamiento y confinamiento de los residuos orgánicos, se desarrolla este trabajo de grado que tiene como finalidad realizar el diseño y construcción del prototipo del Dispositivo Volteador De Residuos Orgánicos Para El Compostaje En Hilera de bajo costo y funcional, con la capacidad de satisfacer las necesidades del Agroparque, se diseña aplicando reingeniería a partir de elementos de máquinas y estructuras inservibles que se encuentran en el hangar del agroparque. A nivel socioambiental asiste a personas en el proceso de volteo controlando temperatura, olor, humedad y tiempo del proceso mientras el Dispositivo avanza volteando con una sola pasada a través de la pila y paralelo al tractor, también permite un mayor control de los animales que se acercan a la zona de compostaje. La configuración rotor-paletas en espiral, permite que los residuos volteados mantengan la forma trapezoidal del área transversal de la pila, reduciendo tiempos y costos de elaboración del compost generando orden y limpieza de los residuos orgánicos. Se convierten residuos patógenos en no patógenos, tratando de forma segura, económica y racional para el aprovechamiento en los cultivos; se entrega a los suelos nutrientes para mejorar la aireación, fertilidad, estructura y textura.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Ingeniería Mecánica. Director: Ing. Ricardo Jaimes.

Abstract

Title: Design and Construction of an Organic Waste Turning Device for Windrow Composting*

Author(s): Jonathan González Camargo**

Key Words: Organic waste, compost, reengineering, rotor, paddle, low cost, functional.

Description: According to the needs of the Agroparque of the Universidad Industrial de Santander - U.I.S, such as minimization, management, utilization and confinement of organic waste, this degree work is developed with the purpose of designing and building the prototype of a low cost and functional Organic Waste Turning Device for Windrow Composting, with the ability to meet the needs of the Agroparque, it is designed by applying reengineering from elements of machines and unusable structures that are in the hangar of the agropark. At a socio-environmental level it assists people in the turning process by controlling temperature, odor, humidity and time of the process while the device advances turning with a single pass through the pile and parallel to the tractor, it also allows a better control of the animals approaching the composting area. The spiral rotor-pallet configuration allows the turned waste to maintain the trapezoidal shape of the cross-sectional area of the pile, reducing composting time and costs by generating order and cleanliness of the organic waste. Pathogenic residues are converted into non-pathogenic residues, treating them in a safe, economical and rational way for use in crops; nutrients are delivered to the soil to improve aeration, fertility, structure and texture.

* Degree Work

**Physical-Mechanical Sciences Faculty. School of Mechanical Engineering. Mechanical Engineering. Director: Eng. Ricardo Jaimes.

Introducción

En la agricultura se ve como al utilizar diferentes máquinas, dispositivos, herramientas y elementos mecánicos para asistir a las personas se encuentra una manipulación más amigable y eficiente con los materiales naturales aprovechándolos mejor y desperdiciándolos menos, esto mejora la vida del agricultor y su productividad con el agro. Por consiguiente, “se han desarrollado varios dispositivos que pueden ser aplicados en la agricultura para el proceso de compostaje de los residuos orgánicos, alguno de estos son la pala mecánica, elevadora de compost, volteadora de residuos y tambor rotatorio entre otros” (Augspurger y H. Bartlett, US Patente nº US5300438A, 1992). Actualmente en Colombia, “la Superintendencia de Servicios Públicos y Domiciliarios (Superservicios) estima que entre 60% y 70% de los residuos sólidos del país se pueden aprovechar mediante el compostaje” (Monterrosa, 2018). “En Bucaramanga y su zona metropolitana el porcentaje de aprovechamiento de residuos sólidos es muy reducido, solo se aprovecha un 2% de los residuos generados” (Pérez, 2019). “La Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos COMPES estima que en Bucaramanga y la zona metropolitana se debe llegar a un nivel de aprovechamiento del 30% para el año 2030” (Santos Calderon et al. , 2020).

De acuerdo con lo anterior, el agroparque de la universidad industrial de Santander ubicado en la zona metropolitana, no lleva acabo ningún proceso con los residuos orgánicos producidos por hojarasca, cultivos y animales de la granja. Debido a esto hay necesidades respecto a la minimización, manejo, aprovechamiento y confinamiento de los residuos. Atendiendo estas observaciones, se plantea desarrollar el diseño y construcción de prototipo, para un dispositivo volteador de residuos orgánicos que sea de bajo costo y capaz de dar respuesta adecuada a las necesidades del Agroparque de maquinaria agrícola de la universidad industrial de Santander. Ese

proceso se establece en este proyecto de grado capítulo a capítulo, iniciando con una referencia teórica de los conceptos que se deben emplear y finalizando con la elaboración de planos de construcción en la parte de anexos.

Es así que en el capítulo 1, se menciona el objetivo general como los objetivos específicos, esto marca un camino o unas pautas para el desarrollo del proyecto.

En el capítulo 2, se menciona la metodología para el proceso del proyecto, se hace una descripción de las fases, propiedades, conceptos y parámetros del compost en el proceso de compostaje, Finalmente se hace referencia a la descripción del terreno.

El capítulo 3 es el diseño conceptual, se presentan el despliegue de la función calidad QFD, la ponderación de prioridades, se hace un planteamiento de alternativas teniendo en cuenta las ventajas y desventajas para al final hacer la evaluación de la alternativa que más se ajusta a los requerimientos, necesidades y tópicos ingenieriles, se muestran los requerimientos de la zona de compostaje, la especificación de la alternativa ganadora, matriz morfológica, los requerimientos de diseño, los sistemas en que se divide el dispositivo y sobre los cuales se desarrollan los siguientes capítulos.

Desde el capítulo 4 hasta el capítulo 6 se especifica todo el proceso de diseño de los elementos mecánicos se hace el diseño del Sistema de volteo, Sistema de transmisión de potencia y Sistema estructural. Se hace frecuentemente el uso de recursos informáticos tales como los programas de SolidWorks brindan el apoyo al dibujo tridimensional de las piezas, solucionadores como Engineering Equation Solver permiten un planteamiento y análisis de los cálculos realizados, el catálogo del tractor permite la selección de datos para el análisis energético Tractor-Dispositivo, software de ingeniería y catálogos online como en la página de SKF permiten la selección de elementos mecánicos, por último, software de modelamiento de elementos finitos y simuladores

como SolidWorks Simulation se utilizan para encontrar reacciones a fuerzas, esfuerzos y en general, para comprobar la resistencia de los elementos.

El capítulo 7 hace una recopilación del proceso de construcción y montaje, pasando por las etapas que ello implica: la revisión de planos, el proceso de mecanizado exigido en algunas piezas, la etapa de soldadura de los elementos, el ajuste de detalles y el armado de todo el prototipo del dispositivo de volteo para pasar a la etapa de pruebas, centrado básicamente a verificación del funcionamiento rotacional y verificación de la capacidad de volteo con carga real, ajuste de desalineamientos y verificación de falla en algunos elementos.

El capítulo 8 muestra el análisis de costos del proceso de fabricación del dispositivo volteador, donde se debe tener en cuenta aspectos elementales como los materiales, mano de obra entre otros aspectos de diseño.

Finalmente, el capítulo 9 muestra un programa general de mantenimiento del conjunto considerando las recomendaciones de uso del dispositivo para un mejor desempeño.

Se termina el trabajo de grado con el capítulo 10 de conclusiones y sección de apéndice donde lo principal son los planos de detalle y construcción del prototipo del dispositivo de volteo de residuos orgánicos para el compostaje.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Aportar con la misión del programa de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander, teniendo como propósito el uso del conocimiento adquirido para aplicarlo al diseño y construcción de un dispositivo volteador de residuos orgánicos para dar respuesta adecuada a las necesidades de compostaje del Agroparque de maquinaria agrícola de la universidad industrial de Santander en Guatiguara.

1.2. Objetivos Específicos

- Diseñar y construir un implemento para el volteo de residuos orgánicos con las siguientes características:
 - 1) Para ser acoplados a tractores entre 70 y 120 (hp)
 - 2) Utilizar el enganche de 3 puntos como medio de unión entre tractor e implemento
 - 3) El rotor del implemento debe girar entre 200 a 380 (rpms) y tener una longitud mínima de 1,8 (m)
 - 4) Disponer de un recipiente para el suministro de agua durante la operación de volteo de mínimo 1 m³
 - 5) La estructura que soporta los elementos tales como recipiente, rotor, debe tener una longitud de mínimo 1 (m) de profundidad.
- Elaborar un protocolo de pruebas que muestre un buen procedimiento a seguir para verificar las características planteadas de diseño, construcción y funcionamiento del Implemento.
- Realizar un análisis económico para el costo total de producción del dispositivo volteador de residuos orgánicos.

- Ejecutar un documento que muestre el uso y mantenimiento preliminar del Implemento.

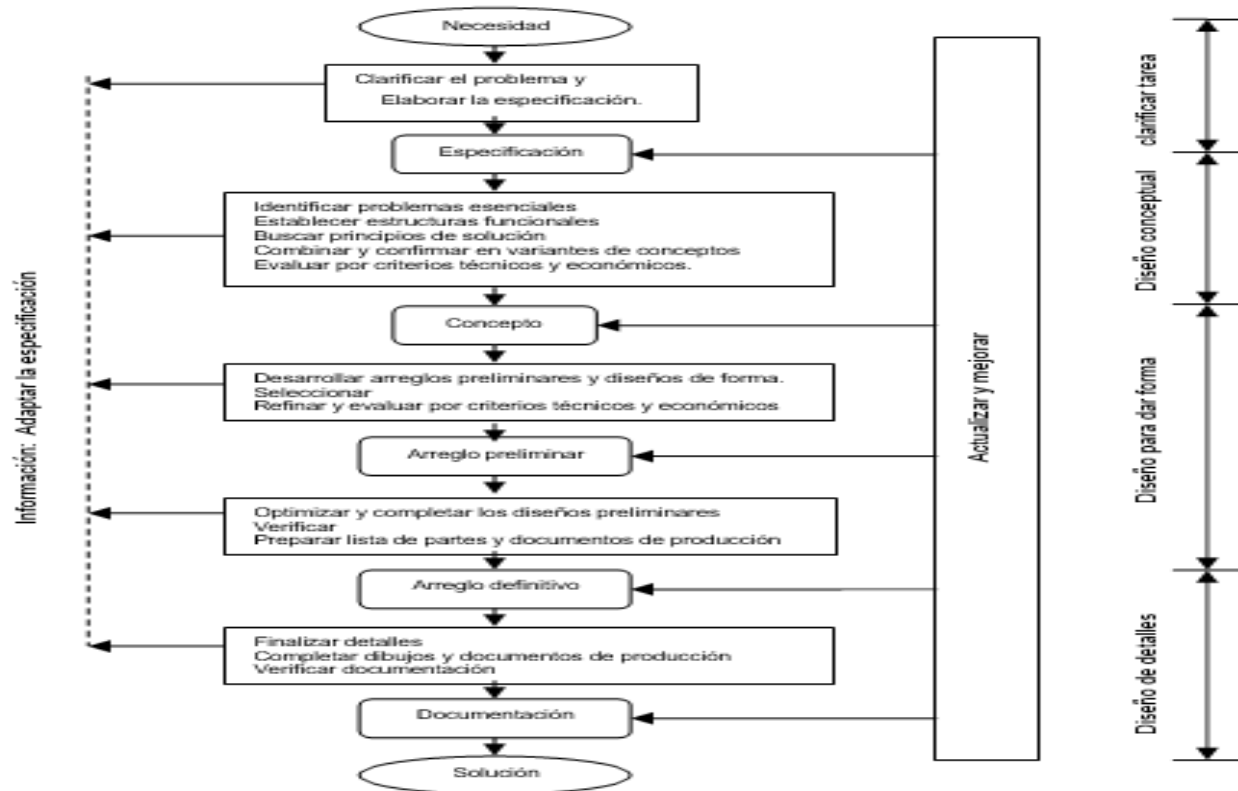
2. Metodología, Residuos Orgánicos y Compostaje

2.1. Metodología

Tabla 1

Metodología para el diseño

Tabla Metodológica	
Diseño	Se definen las necesidades que existen debido a los cultivos, animales y naturaleza presente en el sitio, se evidencia que no existe ninguna manipulación con los residuos sólidos producidos causando desorden, suciedad, malos olores y atrayendo a roedores, por tal motivo se contemplan como desechos para la basura a todos los residuos que se generan, finalizando todos en el relleno sanitario el carrasco.
Población	Estos residuos sólidos son de tipo orgánico e inorgánico, los residuos que más se presentan en la zona son los que se generan por cultivos, hojarasca, excrementos de animales entre otros. Como son en su mayoría residuos orgánicos se tratan mediante un proceso de compostaje para convertir residuos patógenos en no patógenos con objetivo de reincorporarlos nuevamente a una cadena productiva.
Entorno	La granja el Hangar se encuentra en la zona metropolitana de Bucaramanga. Tiene en un hangar máquinas, estructuras y elementos mecánicos inservibles, el dispositivo se diseña en su mayoría utilizando varios de estos materiales, capas de ensamblarse de forma práctica a un tractor tanto en el enganche como en la toma fuerza para el avance, halado por el tractor. Se considera la disponibilidad de un dispositivo que sea de bajo costo, capaz de satisfacer las necesidades tales como la minimización, el manejo, el aprovechamiento y confinamiento de los residuos orgánicos.
Intervenciones	Para llevar a cabo lo anterior, es preciso ejecutar un desarrollo ingenieril para el diseño de dicho dispositivo teniendo presente un modelo prescriptivo que permita dar orden al proceso, de este modelo se aplica el método de Pahl y abeitz. El método propone un desarrollo de proyecto por módulos funcionales separados, lo cual tiene como ventaja la simplificación del análisis, pero la desventaja de que puede llegarse a una propuesta de conjunto muy compleja (Syed et al. , 2000). Es uno de los métodos más utilizados en el diseño mecánico. Esta estructura se muestra en la Figura 1.

Figura 1*Modelo de Pahl y Beitz*

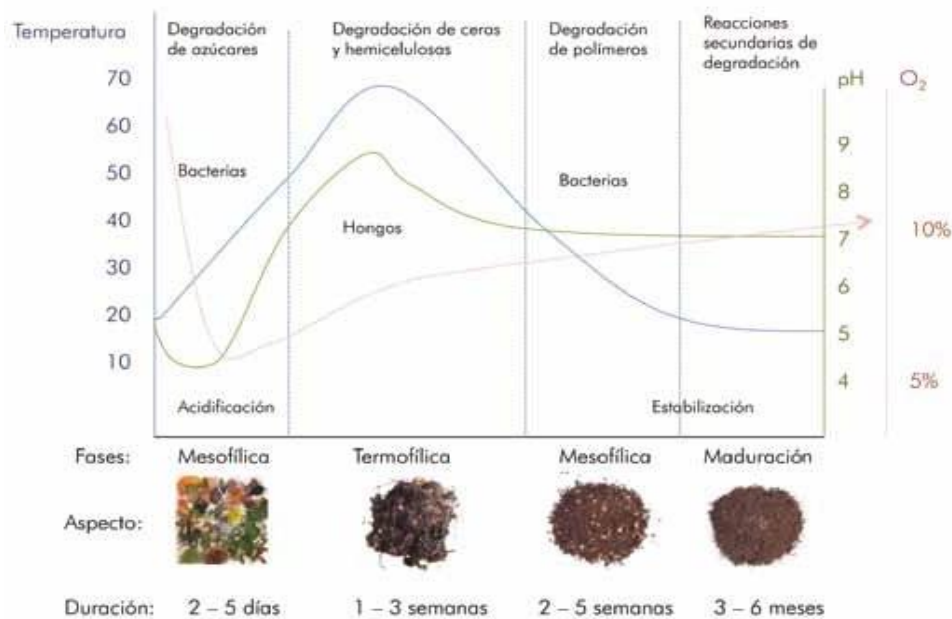
Nota. Desarrollo sistemático del proceso de diseño. Información tomada de (Syed et al. , 2000).

2.2. Residuos orgánicos y compostaje

Las prácticas en la granja con los residuos orgánicos son la quema, el enterramiento o el abandono hasta su pudrición. El compostaje transforma de forma segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola. La FAO «organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura» define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes. Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura en el tiempo. Según la temperatura generada en el proceso, las diferentes fases del compostaje se muestran en la tabla 2 y en la figura 2:

Tabla 2*Fases del compostaje*

Fases del Compostaje			
Fase Mesófila	Fase Termófila o de Higienización	Fase de Enfriamiento o Mesófila II	Fase de Maduración
Comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días u horas, se tienen los 45°C de temperatura.	Se generan temperaturas mayores de 60°C, esta fase presenta temperaturas más elevadas del proceso de compostaje.	La temperatura desciende a 40-45°C. En esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa. Aparecen hongos visibles a simple vista.	Este período demora meses a temperatura ambiente, en la figura 3 se visualizan todas las fases del proceso de compostaje.

Figura 2*Temperatura, Oxígeno y pH en el proceso de compostaje*

Nota. Fases de compostaje. Información Tomada de (Roman et al., 2013).

2.3. Monitoreo Durante El Compostaje

Depende de las condiciones ambientales, método utilizado, materia prima, capacidad de producción, cantidad de personal capacitado entre otros, por lo que algunos parámetros varían y afectan el proceso biológico llevado a cabo por microorganismos en el compostaje, su crecimiento

y reproducción. Estos factores incluyen el oxígeno o aireación, la humedad de sustrato, temperatura, pH, tamaño de partícula y la relación Carbono-Nitrógeno C:N, Como se muestra en la tabla 3. El tamaño de pila sobre todo la altura afecta el contenido de humedad, oxígeno y temperatura. Pilas bajas y anchas tienen buena humedad inicial y relación C:N pero el calor generado por los microorganismos se pierde fácilmente al no mantener la temperatura ganada o aumentada. El tamaño de pila se define por la cantidad de material a compostar y el área disponible para el proceso de compostaje. La longitud de la pila dependerá del área y del manejo de la pila en el proceso de compostaje. Para estimar las dimensiones de la pila de compostaje se debe tener en cuenta que en el proceso la pila disminuye de tamaño hasta un 50% en volumen debido a la compactación y pérdida de carbono en forma de CO₂.

Tabla 3*Parámetros del compostaje*

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal para composten fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
C:N	25:1 – 35:1	15/20	10:1 – 15:1
Humedad	50% - 60%	45%-55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	~10%	~10%	~10%
Tamaño de partícula	<25 cm	~15 cm	<1,6 cm
pH	6,5 – 8,0	6,0-8,5	6,5 – 8,5
Temperatura	45 – 60°C	45°C-Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250-400 kg/m ³	<700 kg/m ³	<700 kg/m ³
Materia orgánica (Base seca)	50%-70%	>20%	>20%
Nitrógeno Total (Base seca)	2,5-3%	1-2%	~1%

Nota. Información adaptada de (Roman et al., 2013)

La cantidad de microorganismos patógenos en el compost es importante pues si es alta se requerirá más tiempo para eliminarlos. Ya que puede haber microorganismos patógenos que afectan a la calidad del abono.

2.4. Tamaño de partícula

Está relacionada con la densidad del material, la aireación de la pila, la retención de humedad. También se relaciona con la actividad microbiana como se ve en la tabla 4, entre más pequeña sea la partícula, mayor superficie específica y más fácil acceso al sustrato.

Tabla 4

Control del tamaño de partícula

Tamaño de las partículas (cm)		Problema	Soluciones
>30 cm	Exceso de aireación	Los materiales de gran tamaño crean canales de aireación que hacen bajar la temperatura y desaceleran el proceso.	Picar el material hasta conseguir un tamaño medio de 10-20 cm
5 – 30 cm Rango ideal			
<5 cm	Compactación	Las partículas demasiado finas crean poros pequeños que se llenan de agua, facilitando la compactación del material y un flujo restringido del aire, produciéndose anaerobiosis.	Volear y/o añadir material de tamaño mayor y volteos para homogenizar

Nota. Información adaptada de (Roman et al., 2013)

2.5. Descripción Del Terreno

El terreno se localiza en Piedecuesta-Santander cerca de la Sede Guatiguara de la Universidad Industrial De Santander. Utilizando Google Maps se muestra en la figura 4 la Granja El Hangar la cual se encuentra en las coordenadas 6°59'36.6"N 73°04'09.0"W.

Figura 3

Terreno del hangar observado desde el cielo



Nota. La granja se encuentra en Piedecuesta vía guatiguara. Información tomada de (Google, 2022).

3. Concepción Del Diseño De La Volteadora De Compost

Se utiliza la matriz QFD para unificar los criterios como los tópicos ingenieriles, las necesidades y requerimientos del agroparque. Se realiza la ponderación de prioridades luego de llenar la matriz de calidad para definir los requerimientos de diseño que serán decisivos en el momento de escoger una alternativa.

3.1. Despliegue De La Función Calidad (Q.F.D)

Tabla 5

Despliegue De La Función Calidad

Requerimientos Del Cliente	Tópicos Ingenieriles
1. Proceso de volteo rápido y eficiente	1. Rendimiento
2. Costos (repuestos y mantenimiento económicos)	2. Mantenibilidad
3. Seguridad (seguridad en la operación y proceso del volteo de residuos orgánicos)	3. Manufacturabilidad

4. Dimensionabilidad (rangos definidos para dimensiones del dispositivo según el tamaño de área transversal de las pilas en hilera)	4. Seguridad
5. Capacidad (volumen por unidad de tiempo de residuos orgánicos para voltear)	5. Dimensionabilidad (cotas establecidas respecto del proceso de residuos orgánicos)
6. Economía (bajo consumo de energía del dispositivo)	6. Disponibilidad (disponibilidad de piezas de repuesto para el dispositivo)
7. Fácil Mantenimiento	7. Calidad
8. Estética (buen aspecto en el diseño del dispositivo)	8. Montaje (ensamble de las partes práctico y fácil)
9. Fácil montaje y desmontaje (montaje y desmontaje dispositivo-tractor)	9. Estética
10. Disponibilidad de repuestos	10. Ergonomía (respecto al ensamble dispositivo-tractor)
11. Fácil Operación (para que el Trabajador no tenga contacto directo sobre los residuos orgánicos en el proceso de volteo del dispositivo)	11. Fiabilidad
12. Humedad (el dispositivo debe humedecer los residuos orgánicos en el proceso de volteo).	12. Rentabilidad
13. Transportable (dispositivo fácil de transportar a otros lugares).	13. Funcionabilidad
14. Baja contaminación auditiva y ambiental (al utilizar el dispositivo para el volteo de residuos orgánicos)	14. Impacto ambiental y social
15. Otros (Accesorios, pintura, stickers, etc.)	

Se utiliza la matriz QFD para unificar los criterios, los requerimientos del cliente están desde el número 1 más importante, hasta el número 15 menos importante. Como se ve en la figura 4, el diseño se lleva a cabo desde la dimensionabilidad; estructural, del rotor, geométrica y el punto de anclaje respecto del tractor.

3.2. Matriz De Calidad

Figura 4

Matriz QFD

Formato de QFD		CÓMO →	QUE ↓	PRIORIDAD														EVALUACION COMPARATIVA																	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Importancia para el cliente (1-6)	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3														
1	Proceso de volteo rápido y eficiente	15	3	45	1	15	3	45	9	135	9	135	3	45	9	135	3	45	1	15	0	0	9	135	3	45	9	135	3	45	5	5	4	4	1
2	Costos	14	3	42	3	42	1	14	3	42	3	42	3	42	3	42	3	42	0	0	1	14	3	42	3	42	3	42	3	42	4	4	4	5	2
3	Seguridad	13	3	39	3	39	1	13	9	117	3	39	1	13	3	39	3	39	1	13	3	39	3	39	3	39	3	39	3	39	4	5	4	3	3
4	Dimensionabilidad	12	3	36	1	12	3	36	3	36	9	108	0	0	3	36	3	36	1	12	3	36	3	36	3	36	3	36	3	36	4	2	3	3	4
5	Capacidad	11	3	33	0	0	1	11	1	11	9	99	1	11	3	33	3	33	3	33	0	0	3	33	3	33	3	33	1	11	4	2	4	3	5
6	Economía	10	3	30	3	30	1	10	1	10	3	30	0	0	3	30	3	30	3	30	1	10	3	30	9	90	3	30	3	30	4	5	5	5	6
7	Fácil Mantenimiento	9	3	27	9	81	1	9	3	27	9	81	1	9	3	27	3	27	0	0	9	81	1	9	0	0	1	9	1	9	3	4	5	4	7
8	Estética	8	3	24	1	8	3	24	3	24	9	72	0	0	3	24	3	24	9	72	3	24	1	8	1	8	3	24	3	24	2	2	2	2	8
9	Fácil montaje y desmontaje	7	1	7	1	7	1	7	3	21	3	21	1	7	3	21	3	21	0	0	3	21	3	21	1	7	9	63	1	7	4	4	4	4	9
10	Disponibilidad de repuestos	6	1	6	1	6	0	0	1	6	3	18	9	54	3	18	3	18	0	0	0	0	1	6	3	18	3	18	0	0	3	5	4	3	10
11	Fácil Operación	5	9	45	1	5	0	0	9	45	9	45	1	5	1	5	3	15	0	0	0	0	9	45	1	5	3	15	3	15	3	4	5	3	11
12	Humedad	4	3	12	0	0	0	0	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12	0	0	0	0	3	12	1	4	3	12	3	12	4	4	3	4	12
13	Transportable	3	0	0	1	3	3	9	0	0	9	27	3	9	0	0	3	9	1	3	1	3	1	3	1	3	0	0	1	3	3	3	3	4	13
14	Baja contaminación auditiva y	2	3	6	0	0	1	2	3	6	3	6	0	0	3	6	3	6	1	2	3	6	3	6	1	2	3	6	9	18	3	2	3	2	14
15	Otros	1	0	0	1	1	3	3	3	3	1	1	1	1	3	3	3	3	1	1	0	0	3	3	1	1	1	1	1	1	2	2	3	15	
EVALUACION CARACT. DE NUESTRO SERVICIO	ABSOLUTA			352	249	183	495	736	208	431	360	181	234	428	333	463	294				FUERTE: 9														
	RELATIVA (%)			7	5	4	10	15	4	9	7	4	5	9	7	9	6				MEDIA: 3														
PRIORIDAD				7	10	13	2	1	12	4	6	14	11	5	8	3	9				DEBIL: 1														

3.3. Ponderación De Prioridades Para Selección De La Solución

Se hace la ponderación de prioridades en la tabla 6 luego de llenar la matriz de calidad para definir los requerimientos de diseño que serán decisivos en el momento de escoger una alternativa.

Tabla 6*Ponderación de prioridades*

DIMENSIONABILIDAD	736	28,8
SEGURIDAD	495	19,4
FUNCIONABILIDAD	463	18,2
CALIDAD	431	16,9
FIABILIDAD	428	16,7

*Volar total = $736+495+463+431+428 = 2553$ “este valor es el 100%”

Aplicando Regla de tres: $(736/2553) \times 100\% = 28,8\%$

3.4. Planeamiento De Alternativas

Se presentan 3 alternativas que son muy destacadas y viables para la solución del problema, Al obtener los resultados del QFD y la ponderación de prioridades a tener en cuenta, se proponen las alternativas para la solución del problema.

Figura 5*Alternativas para el compostaje*

1) Elevadora de compost	2) volteadora de residuos orgánicos	3) Pala mecánica
Compuesta por una banda transportadora con paletas. Ensamblada a un tractor que le suministra potencia desde él toma fuerza. De tal manera que al moverse las paletas levanten los residuos orgánicos para voltearlos.	Compuesta por un bastidor con ruedas como soporte, un tanque en la parte superior para suministro de agua y un rotor montado sobre rodamientos sujetos al bastidor, el rotor tiene múltiples paletas ubicadas en forma helicoidal desde el centro hacia los extremos del mismo, esto mantiene la forma de la pila como prisma triangular o trapezoidal. El tractor transmite la potencia para el funcionamiento del rotor, esto eleva los residuos en el aire oxigenándolos para caer nuevamente en la pila.	Compuesta por una pala mecánica sujeta a dos brazos hidráulicos que se comandan con los controles hidráulicos del tractor. Se puede voltear los residuos orgánicos acercándose a la pila y extrayendo residuos orgánicos con la pala mecánica que caen desde cierta altura de manera que los residuos se oxigenen.
		

3.5. Ventajas y Desventajas de las alternativas

Tabla 7

Ventajas y Desventajas de las alternativas de volteo de compost

Ventajas	Desventajas
Alternativa 1	Alternativa 1
Voltea ordenadamente los residuos orgánicos de forma que es menos complejo que la pala mecánica ya que depende menos de un operario de forma que deteriora menos los espacios entre pilas por no poseer ruedas.	El sistema mecánico es más complejo por lo cual necesita un mantenimiento más riguroso, el dispositivo no desmorona bien los residuos orgánicos lo que perjudica el proceso de compostaje.
Alternativa 2	Alternativa 2
El tiempo de volteo se minimiza siendo más eficiente y rápida que las otras alternativas. Tiene un acople a la toma fuerza, es de fácil mantenimiento, montaje y desmontaje con el tractor.	Las dimensiones máximas del área transversal de la pila en hilera están limitadas por el dimensionamiento de la estructura del dispositivo volteador.
Alternativa 3	Alternativa 3
La pala mecánica realiza diversos trabajos que requieren aplicar fuerza, elevar carga entre otras. Mantenimiento sencillo, utiliza sistema hidráulico, el transporte de residuos es sencillo, no produce contaminación sonora, ni atmosférica y forma diferentes tamaños de pila.	No realiza una pila con forma de prisma triangular o trapezoidal, lo que afecta al compostaje ya que no voltea homogéneamente ni oxigena correctamente los residuos orgánicos, lo cual causa el requerimiento de una persona calificada para la operación.

3.6. Evaluación de Alternativas

De lo anterior, se muestran alternativas útiles para el proceso de compostaje analizando las ventajas y desventajas para evaluar mediante la tabla de matriz de ponderación al tener en cuenta la información que se obtiene del QFD, en la figura 6 es posible escoger la alternativa que se ajusta mejor a los requerimientos, necesidades y tópicos ingenieriles.

Figura 6

Matriz de ponderación

ALTERNATIVAS		ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
FACTORES		1		2		3	
Dimensionabilidad	0,288	3	0,864	5	1,44	5	1,44
Seguridad	0,194	4	0,776	5	0,97	5	0,97
Funcionabilidad	0,182	4	0,728	5	0,91	4	0,728
Calidad	0,169	3	0,507	3	0,507	3	0,507
Fiabilidad	0,167	3	0,501	4	0,668	4	0,668
		3,396		4,495		4,313	

*Multiplicar términos de alternativa 2: $0,288 \times 5 = 1,44$ (igual con las demás filas)

*Suma de términos: $1,44 + 0,97 + 0,91 + 0,507 + 0,668 = 4,495$

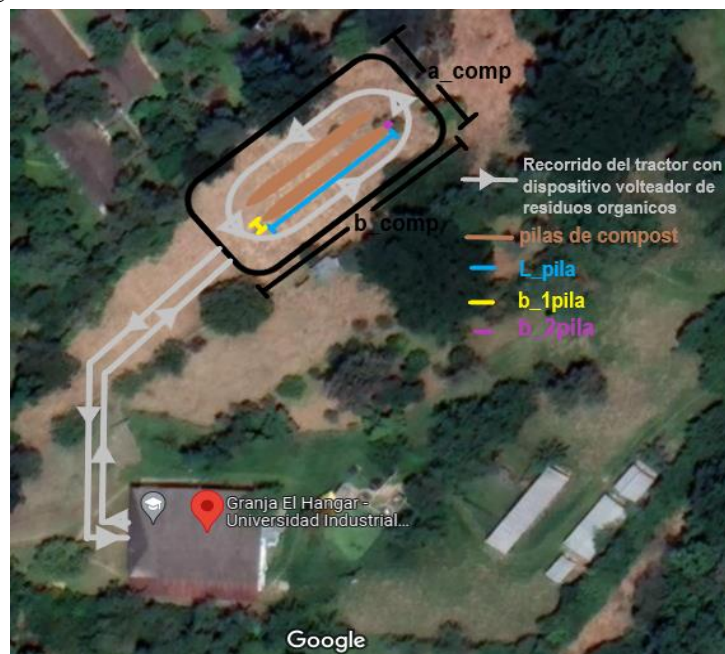
Mediante la matriz de ponderación se selecciona la alternativa 2 para el diseño.

3.7. Descripción de la zona de compostaje

En la figura 7 se muestra la vista superior de la Granja el Hangar, donde se señala tanto el ancho- a_{comp} como largo- b_{comp} de la zona de compostaje, el recorrido del tractor-dispositivo, el largo- L_{pila} y las bases menor- b_{1pila} y mayor- b_{2pila} de la pila trapezoidal, también se muestra cómo deben ubicarse las 2 pilas de compostaje.

Figura 7

Zona de compostaje

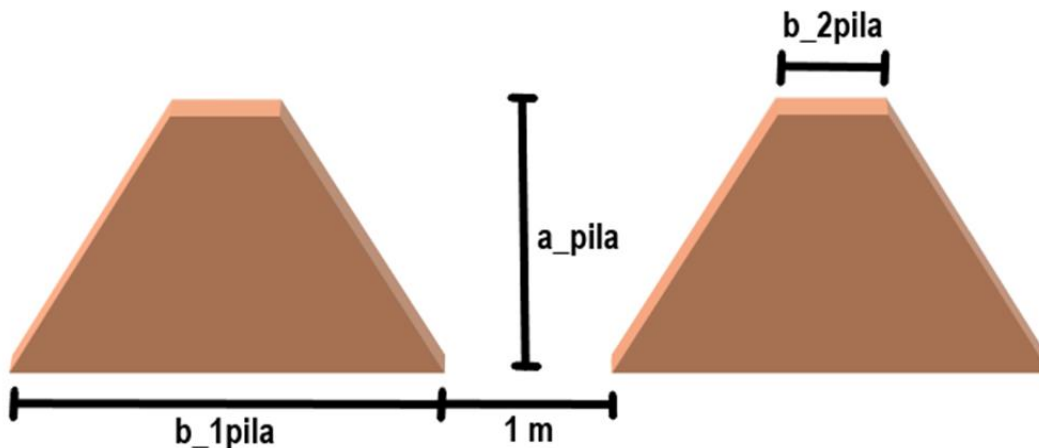


Nota. Todos los valores numéricos de estos datos se muestran más adelante en los cálculos.

Se muestran en la figura 8 las medidas de las pilas de compost y la distancia recomendable entre pila y pila para utilizar la volteadora de compost, estas medidas están dadas para facilitar la movilización del tractor con el dispositivo de volteo, esta distribución está dada con la finalidad de optimizar el área y que almacene la mayor cantidad de compost.

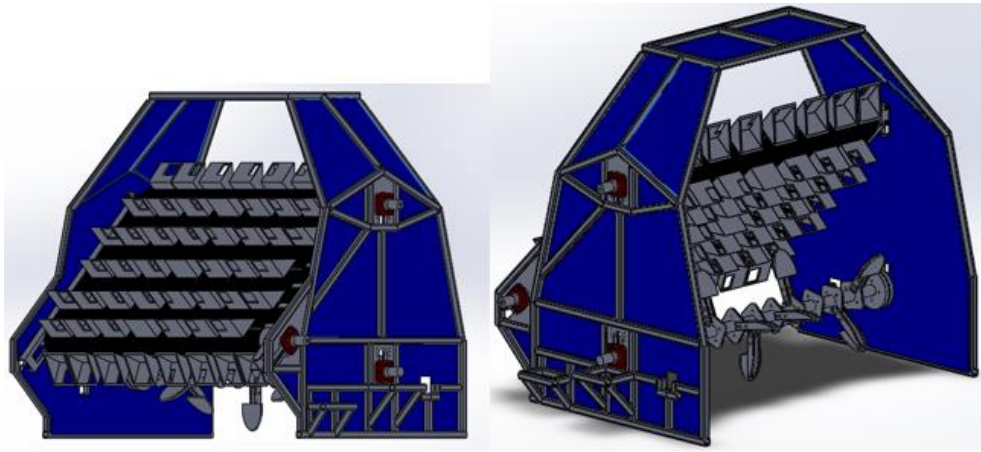
Figura 8

Distancia entre pilas



3.8. Especificación De Alternativa Ganadora

Se selecciona la volteadora de residuos orgánicos para el compostaje mediante la matriz de ponderación, en el hangar del agroparque se seleccionan los elementos que aplican para diseñar el dispositivo mediante un software (CAD-CAE) como SolidWorks y conocimientos previos para el diseño (BUDYNAS, 2008). Este programa se utiliza para diseñar varias alternativas del mismo tipo de dispositivo volteador, gracias a esto se modifica el diseño de concepto escogido del dispositivo volteador de residuos orgánicos haciendo análisis de esfuerzos en las piezas y subensambles al simular cargas para analizar cómo se comporta, de lo cual se analiza un primer diseño al tener en cuenta algunas alternativas de máquinas encontradas para el compostaje, se diseña el dispositivo que se muestra en la figura 9 el cual se realiza partiendo de la concepción del diseño.

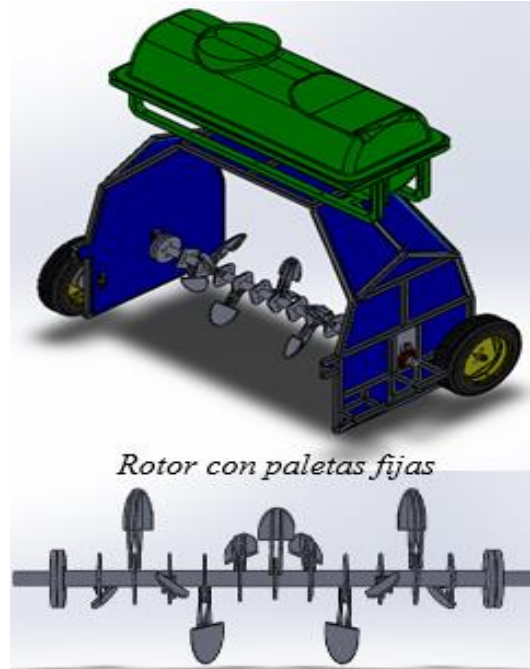
Figura 9*Diseño elevador volteador*

Nota. Diseño propuesto a partir del Diseño de concepto.

Este dispositivo se produjo al intentar juntar una elevadora de compost y una volteadora de residuos orgánicos en un solo dispositivo la idea consiste en transmitir potencia a los rodillos de la banda transportadora y al rotor de volteo al mismo tiempo por medio de un sistema de transmisión por correas o por polea conectados a un reductor de velocidad la banda transportadora esta ensamblada a unos cangilones huecos para que los residuos orgánicos recogidos caigan de cangilón en cangilón al tiempo que son elevados para ser posteriormente expulsados de la banda transportadora con el fin de expulsar más material del centro de la banda que de los extremos para generar la geométrica triangular o trapezoidal del área transversal de la pila en hilera. Al analizar el diseño en solidworks se presentan varios errores en las simulaciones y se vuelve un diseño demasiado complejo y tedioso para lo que se necesitaba en el agroparque, por tal motivo se modifican varios aspectos del diseño como se muestra en la figura 10 surge la segunda alternativa.

Figura 10

Diseño modificado utilizando elementos mecánicos del agroparque



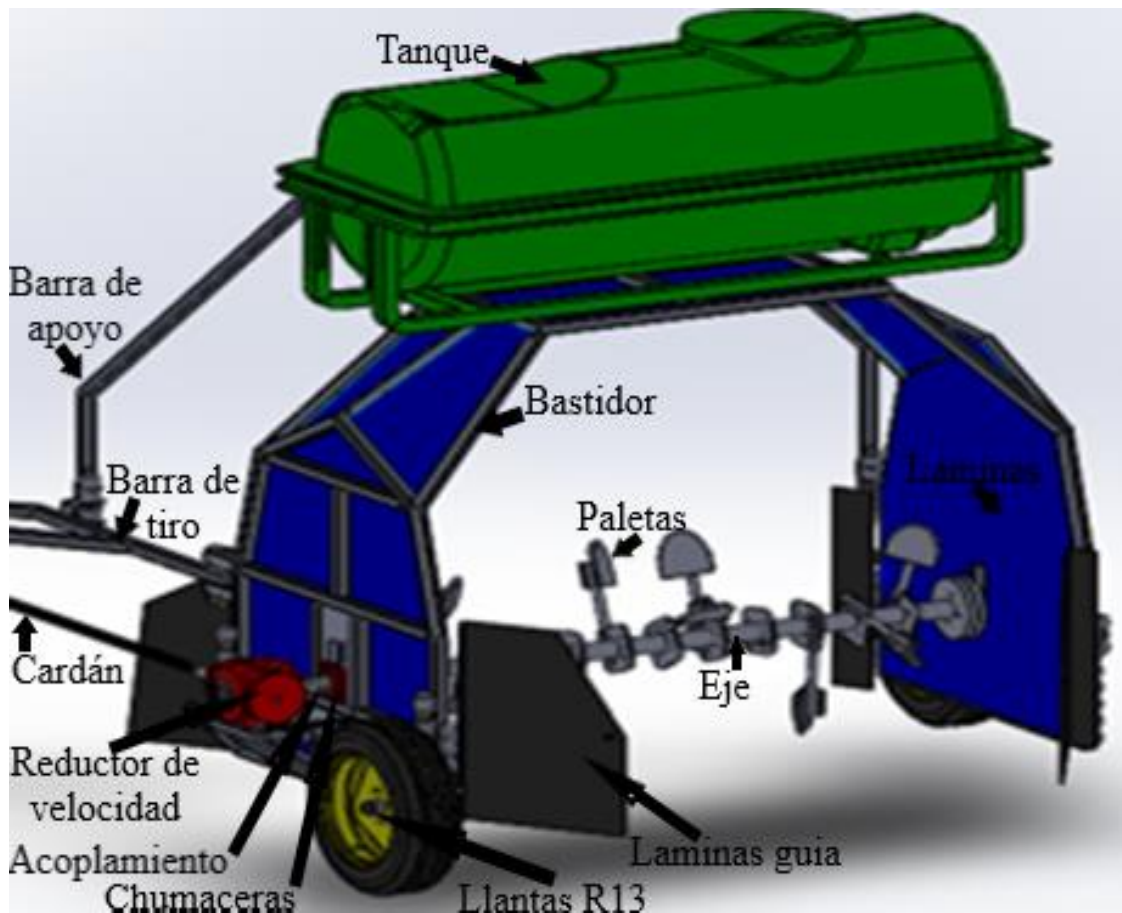
Esta alternativa es más práctica y se utilizan varios elementos que se encuentran en el hangar del agroparque los cuales se diseñan y ensamblan en el dispositivo, algunos de estos son el tanque para suministro de agua y el perfil estructural para el bastidor que lo soporta, el rotor de volteo, las paletas, las llantas, laminas, reductor de velocidad y los rodamientos que soportan el rotor, alguna de las complicaciones que se encuentran en el diseño de este dispositivo son las paletas ensambladas al rotor, quedan fijas y se limita el proceso de volteo, otra complicación es la altura del dispositivo ya que al soportar el tanque se generan grandes esfuerzos para ello se modifica el dispositivo por tercera vez al tener en cuenta los antecedentes presentes en el proceso de diseño surge la concepción del diseño en detalle cómo se evidencia en la figura 11.

Este diseño permite modificar el Angulo de trabajo de las paletas a libertad, también se redujo la altura del dispositivo para minimizar los esfuerzos y momentos producidos por el tanque que suministra agua a los residuos orgánicos, se puede configurar la altura del dispositivo respecto

del suelo mediante las llantas que lo soportan ya que son graduables, otra forma es que se puede graduar la altura a la que trabaja el rotor de volteo orgánico respecto del suelo, se diseña una barra de tiro practica para el trabajo y transporte del dispositivo, se adapta un reductor de velocidad de una maquina agrícola para el funcionamiento y unas láminas guía para mantener la pila en hilera.

Figura 11

Concepción del Diseño en detalle































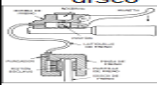


3.9. Matriz morfológica del proyecto

De lo anterior se rediseña la barra de tiro, con esto se logra tener un dispositivo confiable para el trabajo y proceso de volteo de residuos orgánicos para el compostaje, teniendo en cuenta la figura 12 la cual es la matriz morfológica del proyecto para una mejor resolución en el proceso de diseño.

Figura 12

Matriz morfológica del proyecto

N°	FUNCION	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
1	ACCIONAMIENTO	manual 	manipulada 	PLC 	
2	DESPLAZAMIENTO Y DIRECCION	manual 	Vehículo menor 	Tractor agrícola 	Dirección manual 
3	MOVIMIENTO DEL ROTOR	Motor estacionario 	Motor de vehículo 	Toma de fuerza 	Motor de moto 
4	EMBRAGUE	Embrague centrifugo 	Embrague de discos 	Embrague de moto 	
5	TRANSFERENCIA DE ENERGIA AL ROTOR	Engranajes conicos 	Faja 	rodamientos 	Acople de toma de fuerza 
6	MECANISMOS DE VOLTEADO	Paletas 	Púas 	Tornillo sin fin 	Pala de carga 
7	MECANISMO PARA EL AVANCE	manual 	Caja reductora 	tractor 	
8	TRANSFERENCIA DE ENERGIA DEL AVANCE	Cadena y fajas 	Rodajes directos 	t.d.f y barra de tiro del tractor 	
9	SISTEMA DE FRENO	Hidraulico de vehiculo 	Mecanico de disco 	Hidraulico de disco 	

3.10. Requerimientos De Diseño

Se tiene como objetivo realizar el diseño y construcción de un prototipo del dispositivo de volteo, de acuerdo a los siguientes requerimientos principales que se muestran en la tabla 8.

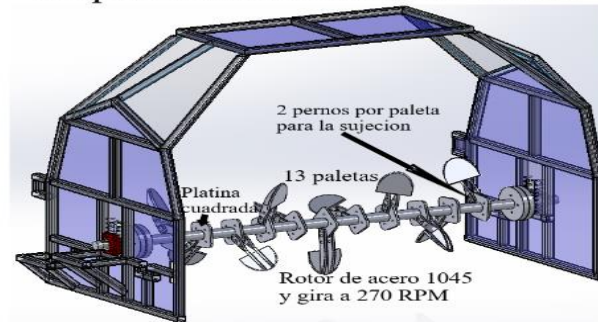
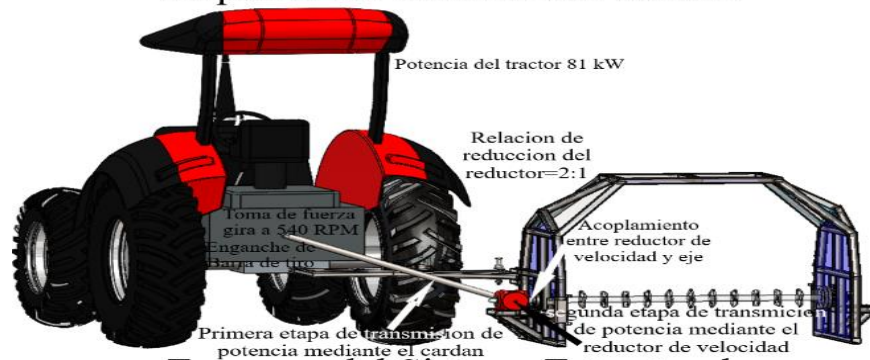
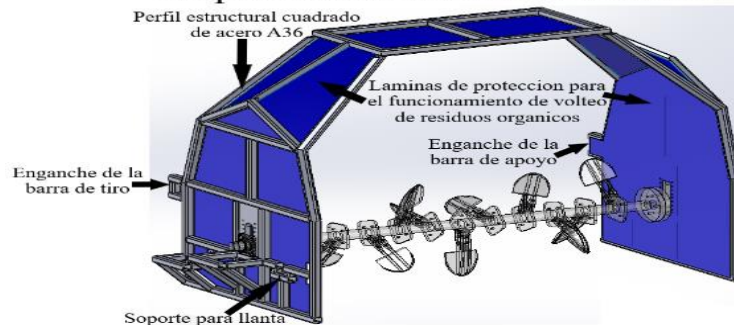
Tabla 8*Requerimientos principales*

Requerimientos Principales	
Descripción del Diseño:	Volteadora de compost
Capacidad de Volteo:	(650-1300) m ³ /h
Capacidad Volumétrica del tanque con agua:	0,5 m ³
Velocidad de Avance:	(0,3-0,7) m/s
Velocidad de giro:	(200-380) RPM
Longitud mínima del rotor	1,8 m
Altura de la Pila:	(1-1,25) m
Ancho de la Pila:	(1,5-1,7) m
Material Volteado:	Residuos orgánicos
Construcción:	Prototipo volteadora de compost

Para satisfacer los requerimientos, se diseña y construye un prototipo de la volteadora de compost, con fuente de alimentación mecánica mediante un tractor de mediana potencia de 81 kW. El dispositivo dispone de 2 ruedas rin 13 encontradas en el hangar, con fin de que se facilite el transporte con varios tipos de automóvil, campero, camioneta o tractor, sin que se pierda estabilidad en el transporte del dispositivo o en el funcionamiento de volteo de compostaje.

3.11. Subsistemas Del Dispositivo

Se definen tres subsistemas básicos que conforman todo el conjunto de la volteadora de residuos orgánicos para el compostaje: Sistema de volteo, Sistema de potencia y Sistema estructural. Como se observa en la figura 13. Cada sistema secundario a su vez, está constituido de distintos componentes mecánicos cuyos diseños se explican al detalle en los capítulos 4, 5 y 6.

Figura 13*Subsistemas de la volteadora de residuos orgánicos***Esquema del Sistema de Volteo****Esquema del Sistema de Potencia****Esquema del Sistema Estructural****3.12. Elementos para el diseño**

En la figura 14 se observan elementos para el diseño que se encuentran en el hangar del parque agroindustrial. La volteadora ofrece entre sus características la ubicación de un tanque en la parte superior del dispositivo-(bastidor) para el suministro de agua que humedece los residuos orgánicos mediante riego por goteo antes de ser volteados por las paletas del rotor, estas paletas están ubicadas en forma helicoidal desde el centro del rotor hasta sus extremos lo que permite un

mejor volteo de los residuos orgánicos, las configuraciones de las paletas y el diseño del bastidor hace que se contengan los residuos orgánicos volteados y que la pila mantenga su forma inicial de prisma ya sea triangular o trapezoidal que es la forma ideal para el proceso de compostaje. El dispositivo permite trabajar con potencias transmitidas del toma fuerza del tractor mediante un cardan ensamblado a un reductor de velocidad el cual esta ensamblado mediante un acople al rotor con paletas que al girar permiten elevar los residuos orgánicos, estos se oxigenan cuando están suspendidos en el aire hasta que caen al suelo de nuevo. La alternativa 2 ofrece una buena seguridad en el proceso de volteo ya que ocurre dentro de las paredes de la estructura (laminas), de forma que los residuos al elevarse chocan contra las paredes del dispositivo y caen. De esta manera se minimizan los riesgos durante el proceso de volteo de los residuos.

Figura 14

Elementos mecánicos del agroparque útiles para el diseño de la volteadora de compost

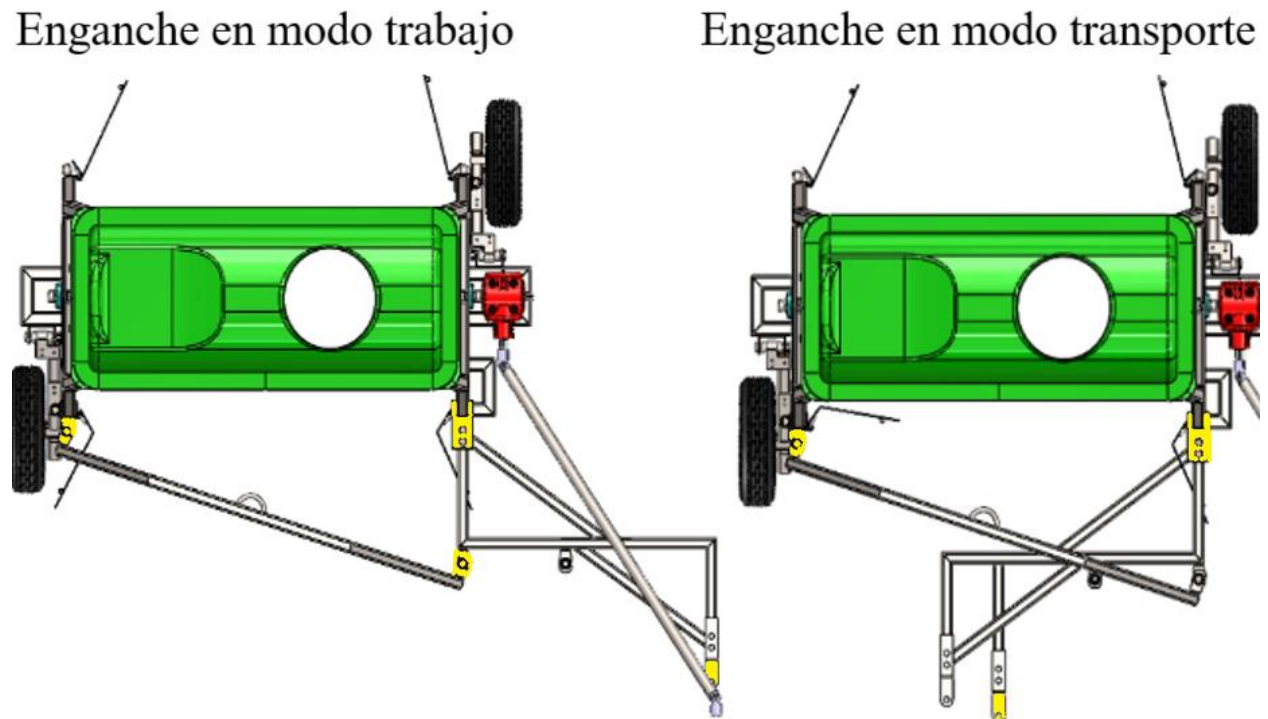


3.13. Enganche de la barra de tiro y de la barra de apoyo

El dispositivo siempre se engancha en 4 puntos, ya sea que se esté utilizando en modo trabajo o modo transporte, como se muestra en la figura 15 los puntos de enganche están resaltados en amarillo. En los puntos de enganche como en el dispositivo en general son distintas las fuerzas aplicadas que actúan en la configuración de trabajo y en la configuración de transporte, lo cual se analiza en los capítulos 4 y 6.

Figura 15

Puntos de enganche del dispositivo



La volteadora de residuos orgánicos y sus subsistemas están constituidos de distintos elementos y componentes mecánicos cuyos diseños serán explicados al detalle en los capítulos 4, 5, 6. El capítulo 4 para el sistema de volteo, capítulo 5 para el sistema de potencia y el capítulo 6 para el sistema estructural como se observa a continuación.

4. Diseño En Detalle Del Sistema De Volteo

Se deben tener en consideración diferentes requerimientos para el diseño del sistema de volteo durante el proceso de las pilas de compost. Los requerimientos principales mencionados en la tabla 8 son la capacidad de volteo, dimensión del dispositivo volteador y propiedades del material volteado-residuos orgánicos. Para el dispositivo de volteo se obtienen valores de λ en los que se puede trabajar $10 < \lambda < 23$. Con velocidad de avance real V_{avance_real} entre (0,3-0,7) [m/s] y con revoluciones por minuto del rotor n_{rot} entre (200-380) [rpm].

4.1. Datos Del Compost

La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, debido a la facilidad de acceso al sustrato. Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de (5 a 30) cm. La densidad del material, y por lo tanto la aireación de la pila o la retención de humedad, están estrechamente relacionados con el tamaño de la partícula, siendo la densidad aproximadamente 150-250 kg/m³, conforme avanza el proceso de compostaje, el tamaño disminuye y por tanto, la densidad aumenta máximo a 600-700 kg/ m³ o valores cercanos.

4.2. Datos De La Zona De Compostaje Y Pila De Compost

Al estimar las dimensiones de la pila de compost, tener en cuenta que durante el proceso de compostaje, la pila disminuye de tamaño hasta un 50% en volumen debido en parte a la compactación y en parte a la pérdida de carbono en forma de CO₂. En el compostaje en pilas el tamaño de la pila, en especial la altura afecta directamente al contenido de humedad, de oxígeno y la temperatura. Pilas de baja altura y de base ancha, a pesar de tener buena humedad inicial y buena relación C:N, hacen que el calor generado por los microorganismos se pierda fácilmente, de tal

forma que los pocos grados de temperatura que se logran, no se conservan. El tamaño de una pila viene definido por la cantidad de material a compostar, el área disponible para realizar el proceso y el manejo del proceso. La altura recomendada al principio del proceso es alrededor de 1,25 m.

4.3. Datos Del Tractor

Los datos necesarios para el análisis se extraen del Catálogo del tractor

4.4. Datos Del Rotor

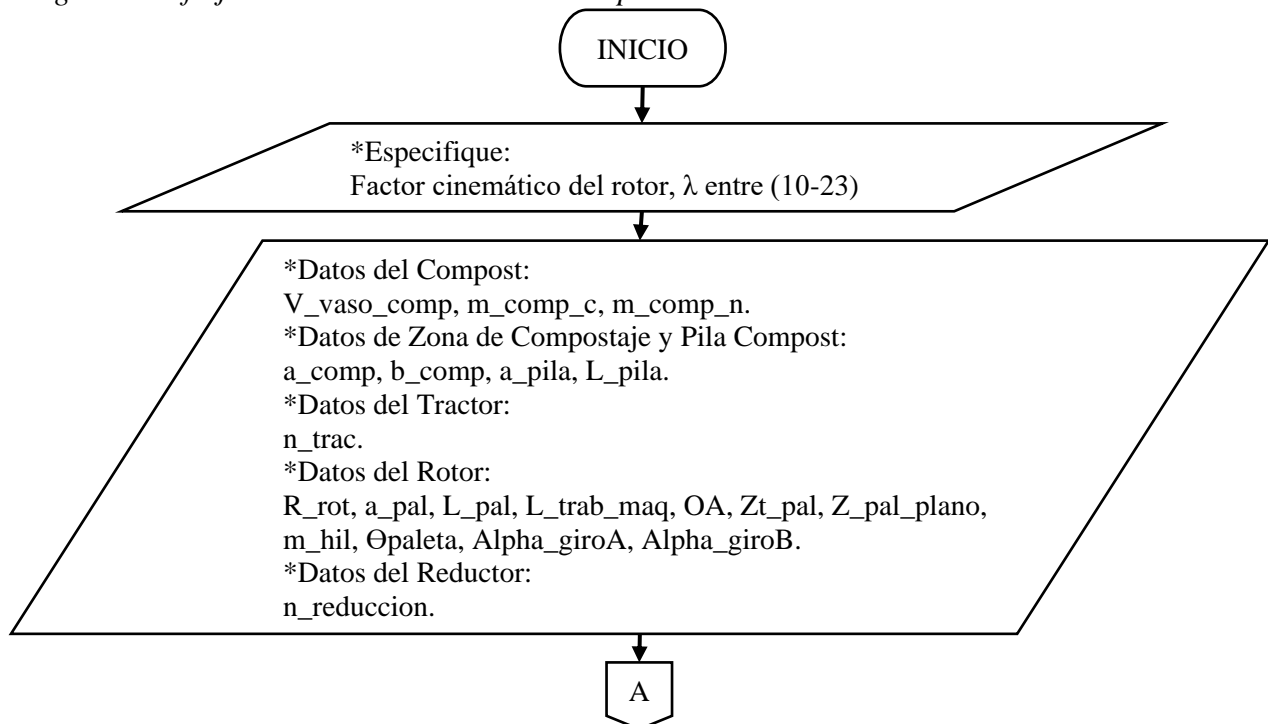
Radio del rotor R_{rot} entre (0,2-0,25) [m], Para que cumpla con un U entre (4-7) [m/s] a 270 [rpm] lo que genera buenas prácticas agrícolas.

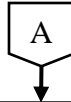
4.5. Datos Del Reductor De Velocidad

Se encuentran 2 reductores en el hangar ambos con relación de reducción 2:1 $n_{reduccion}=2$. La figura 16 muestra un Diagrama de flujo para la lógica del cálculo de diseño del sistema de volteo y en la tabla 9 se ven las variables de entrada y salida relevantes del proceso de

Figura 16

Diagrama de flujo del sistema de volteo de compost





*Calcule Para la Volteadora de Compost:

Relación de reducción, Periodo y Tiempo en girar una 1 revolución el rotor, Velocidades del rotor, Factor cinemático del rotor, Distancias y Tiempos del rotor, Cinemática del rotor, Base mayor y menor del área transversal trapezoidal, Áreas de la zona de compostaje y pila, Volúmenes de la pila, Desplazamiento horizontal del compost al salir de la paleta, Relación entre el radio del rotor - profundidad de la labor d y el trabajo, Altura sin compostar, Ángulos de arco cicloidal de corte, Tiempos de arco cicloidal recorridos, Longitud de arco cicloidal de corte, Distancia l_{cut} entre 2 cortes consecutivos de paletas en el mismo plano de corte, Áreas de la sección o perfil del compost respecto del movimiento cicloidal de la paleta, Volúmenes de la sección o perfil del compost respecto del movimiento cicloidal de la paleta, Flujos volumétricos, Capacidades volumétricas.

$$(1) \quad V_{volumetrico1} = \frac{V_{zpila;volteada}}{t_2} \quad , (2) \quad V_{volumetrico2} = \frac{2 \cdot V_{c;p1} + 4 \cdot V_{c;p2} + 4 \cdot V_{c;p4}}{t_1} \quad , (3) \quad V_{volumetrico3} = \frac{V_{zpila}}{t_2} \quad ,$$

$$(1.1) \quad C_{v1} = V_{volumetrico1} \cdot 3600 \quad , (2.1) \quad C_{v2} = V_{volumetrico2} \cdot 3600 \quad , (3.1) \quad C_{v3} = V_{volumetrico3} \cdot 3600 \quad .$$

*Datos:
V_avance_real, C_v1, C_v2, C_v3.

*Especifique:
Parámetros del método de babiciu, $\rho_{aparente}$, Alpha_ataque.

*Calcule Fuerzas En La Paleta:

$$(4) \quad R = F_s + F_a + F_r \quad , (5) \quad F_{t1} = R \cdot \cos(\gamma) \quad , (6) \quad F_{axial} = R \cdot \sin(\gamma) \quad ,$$

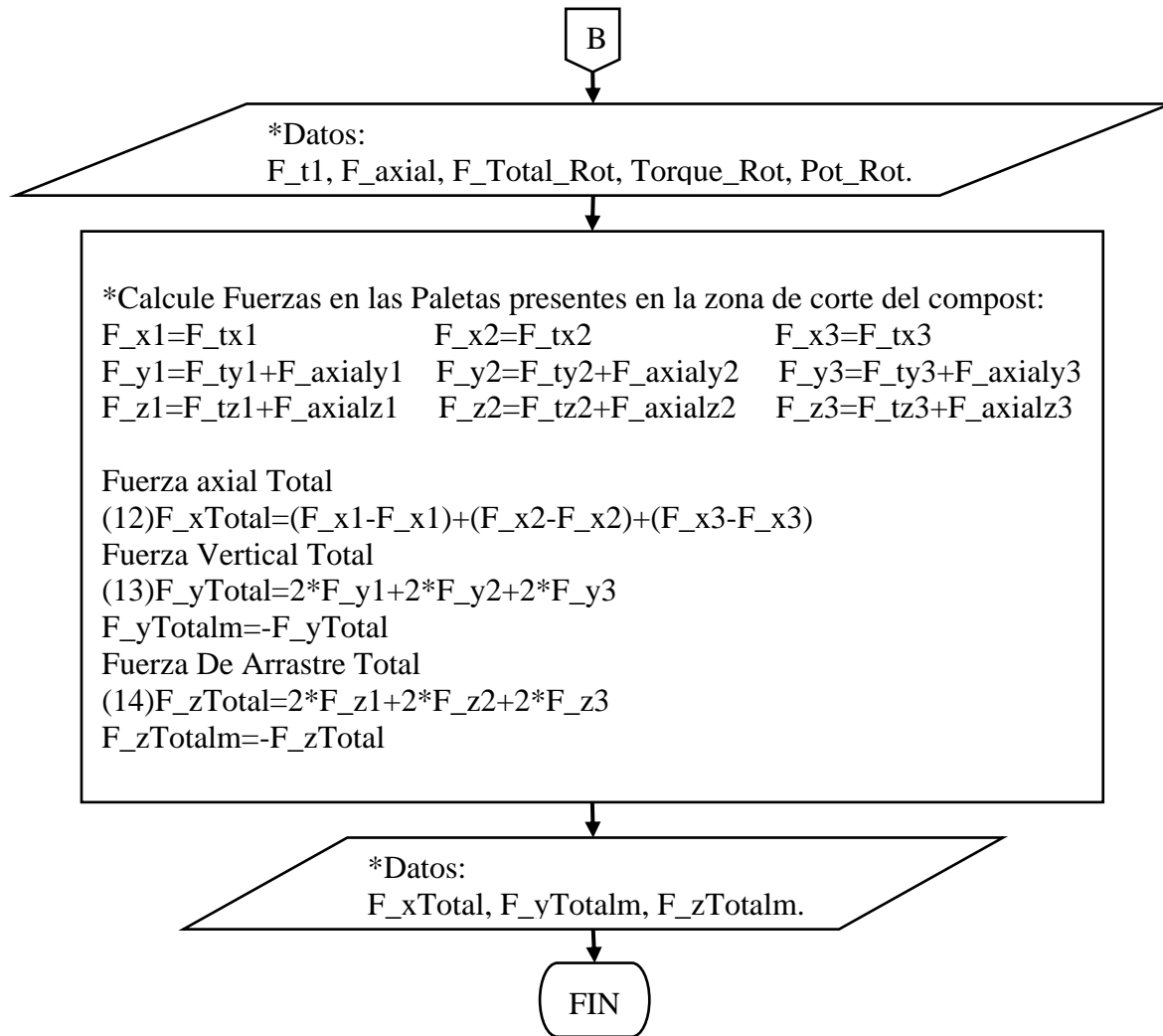
$$(7) \quad F_{t2} = F_{t1} \cdot \cos(\alpha_{ataque}) \quad , (8) \quad P = \frac{\theta_{cicloide1} \cdot m_{hil} \cdot L_{trab,maq}}{2 \cdot \pi \cdot a_{pal}} \quad .$$

*Especifique:
P1

*Calcule En el Rotor:

$$(9) \quad F_{Total;Rot} = P1 \cdot F_{t2} \quad , (10) \quad Torque_{Rot} = R_{rot} \cdot F_{Total;Rot} \quad , (11) \quad Pot_{Rot} = F_{Total;Rot} \cdot U \cdot \frac{1}{1000} \quad .$$



**Tabla 9**

Variables relevantes en el diseño del sistema de volteo

#Ecuación	Variable de entrada	Variable de salida	Valor	Unidad	Descripción
...	α_{ataque}	...	2,44	°	Angulo de ataque desde la punta de la paleta respecto a la línea radial del rotor
...	α_{giroA}	...	0	°	Giro de la paleta central a lo largo del eje del rotor respecto al tubo donde está puesto, partiendo desde una línea horizontal que es axial al eje del rotor
...	A_{giroB}	...	0	°	Giro de las paletas a lo largo del eje del rotor respecto al tubo donde están puestas, partiendo desde una línea horizontal que es axial al eje del rotor, con rango de (0-90)°

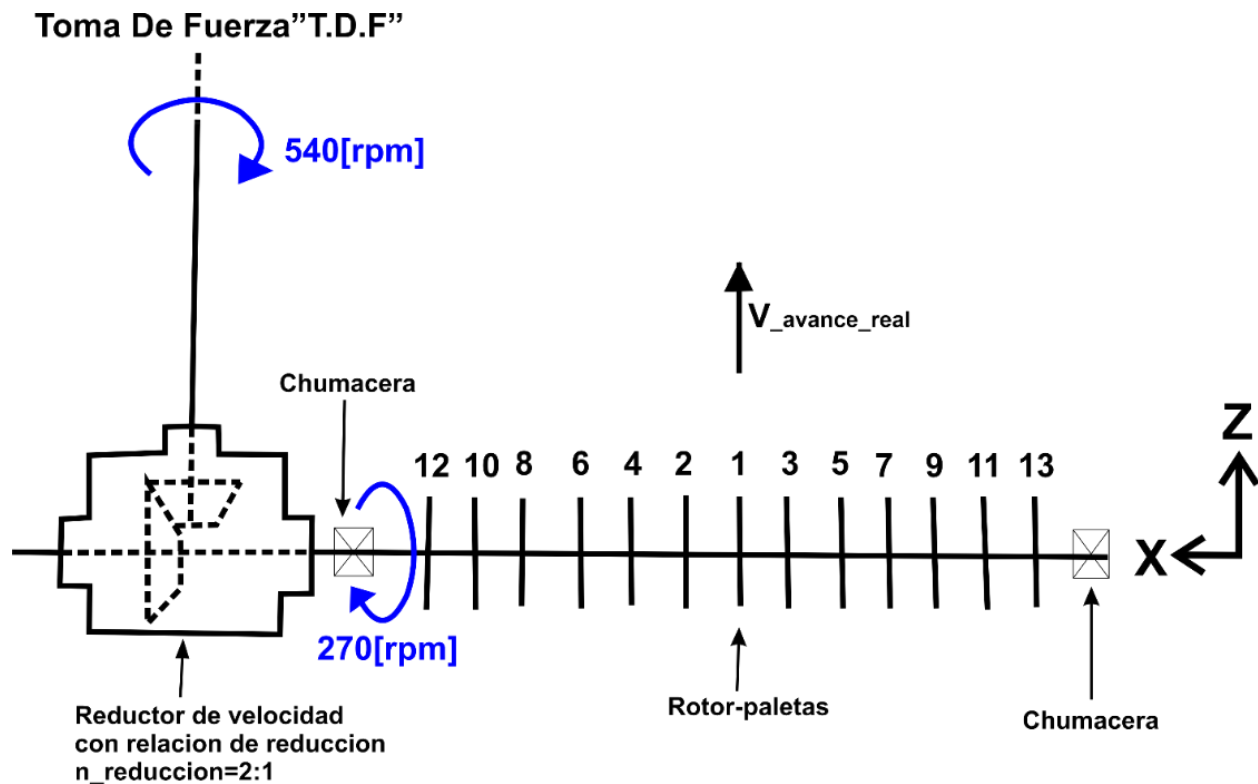
...	a_pila	...	0,6	m	Altura de la pila, la pila disminuye de tamaño hasta un 50% en volumen, entonces la altura al principio del proceso es de 1,2 m
...	a_pal	...	0,14	m	Ancho de paleta y ancho entre paletas
...	β	...	10	°	Ángulo de afilado de la paleta
...	H_tiro	...	0,6	m	Altura desde el suelo hasta la barra de tiro del tractor
...	λ	...	9,415	...	Factor Cinemático del rotor, es la relación entre U y V_avance_real
...	L_pal	...	0,145	m	Longitud de trabajo de paleta
...	L_trab_maq	...	2,034	m	Longitud de trabajo de la maquina
...	n_trac	...	540	rpm	Revoluciones por minuto del toma fuerza del tractor
...	n_reducción	...	2	...	Relación de reducción
...	m_comp_c	...	0,135	kg	Compost café tomado en la granja El Hangar
...	m_comp_n	...	0,234	kg	Compost negro tomado en la granja El Hangar
...	R_rot	...	0,25	m	Radio del rotor
...	Θ_{paleta}	...	51,43	°	Angulo entre paletas visto desde el perfil del rotor
...	Zt_pal	...	13	paletas	Número total de paletas en el rotor
1.1	...	C_v1	911,3	m ³ /h	Capacidad en la parte de la pila volteada transversalmente
2.1	...	C_v2	1708	m ³ /h	Capacidad debido a las paletas en la zona de corte
3.1	...	C_v3	1476	m ³ /h	Capacidad como si toda la pila fuera volteada
6	...	F_axial	267,6	N	Fuerza actuando axialmente sobre la paleta
5	...	F_t1	933,3	N	Fuerza actuando tangencialmente sobre la paleta
7	...	F_t2	931,9	N	Fuerza actuando tangencialmente a la línea radia
9	...	F_Total_Rot	5591	N	Fuerzas de torsión que actúan sobre el rotor
12	...	F_xTotal	0	N	Fuerza axial Total
13	...	F_yTotal	2711	N	Fuerza Vertical Total
14	...	F_zTotalm	3625	N	Fuerza de arrastre
...	...	L_cut	0,1668	m	Distancia entre 2 cortes consecutivos de paletas en el mismo plano de corte
...	...	n_rot	270	rpm	Revoluciones por minuto a las que gira el rotor
8	...	P	5,30	paletas	Numero de paletas que se encuentran en la zona de corte

11	...	Pot_Rot	39,52	kW	Potencia requerida para hacer girar el rotor
4	...	R	970,9	N	Resistencia del compost en la paleta
...	...	ρ_{aparente}	1150	kg/m ³	Densidad aparente del compost
10	...	Torque_Rot	1398	Nm	Torque total ejercido por las fuerzas de torsión en el rotor
...	...	U	7,069	m/s	Velocidad periférica del rotor
...	...	V_avance_real	0,7508	m/s	Velocidad de avance real del rotor

En la figura 17 se observa el acoplamiento general entre el tractor y el dispositivo para el funcionamiento de volteo.

Figura 17

Análisis de movimiento tractor-dispositivo

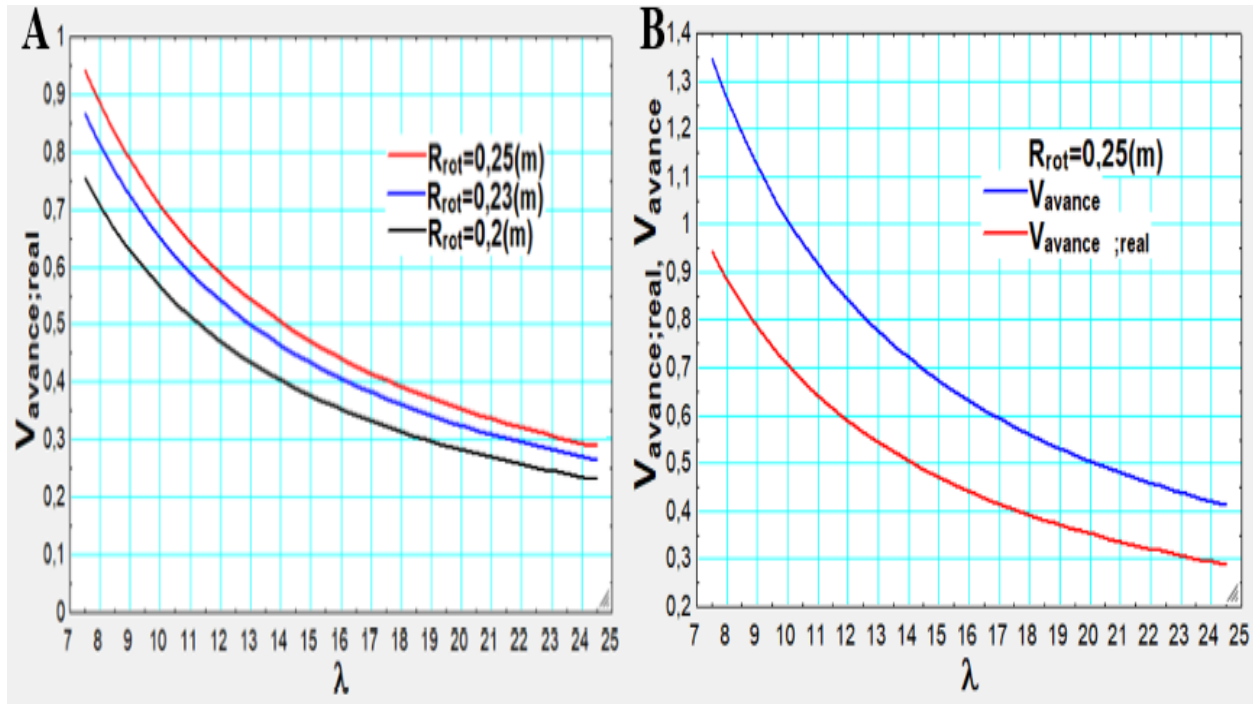


La figura 18A muestra la relación existente entre el radio del rotor a distintas longitudes de las paletas del rotor, la velocidad de avance y las RPM del rotor. La figura 18B permite ver el

comportamiento de la velocidad de avance en terrenos que produzcan mayor o menor deslizamiento en las llantas, con longitudes de las paletas del rotor constante.

Figura 18

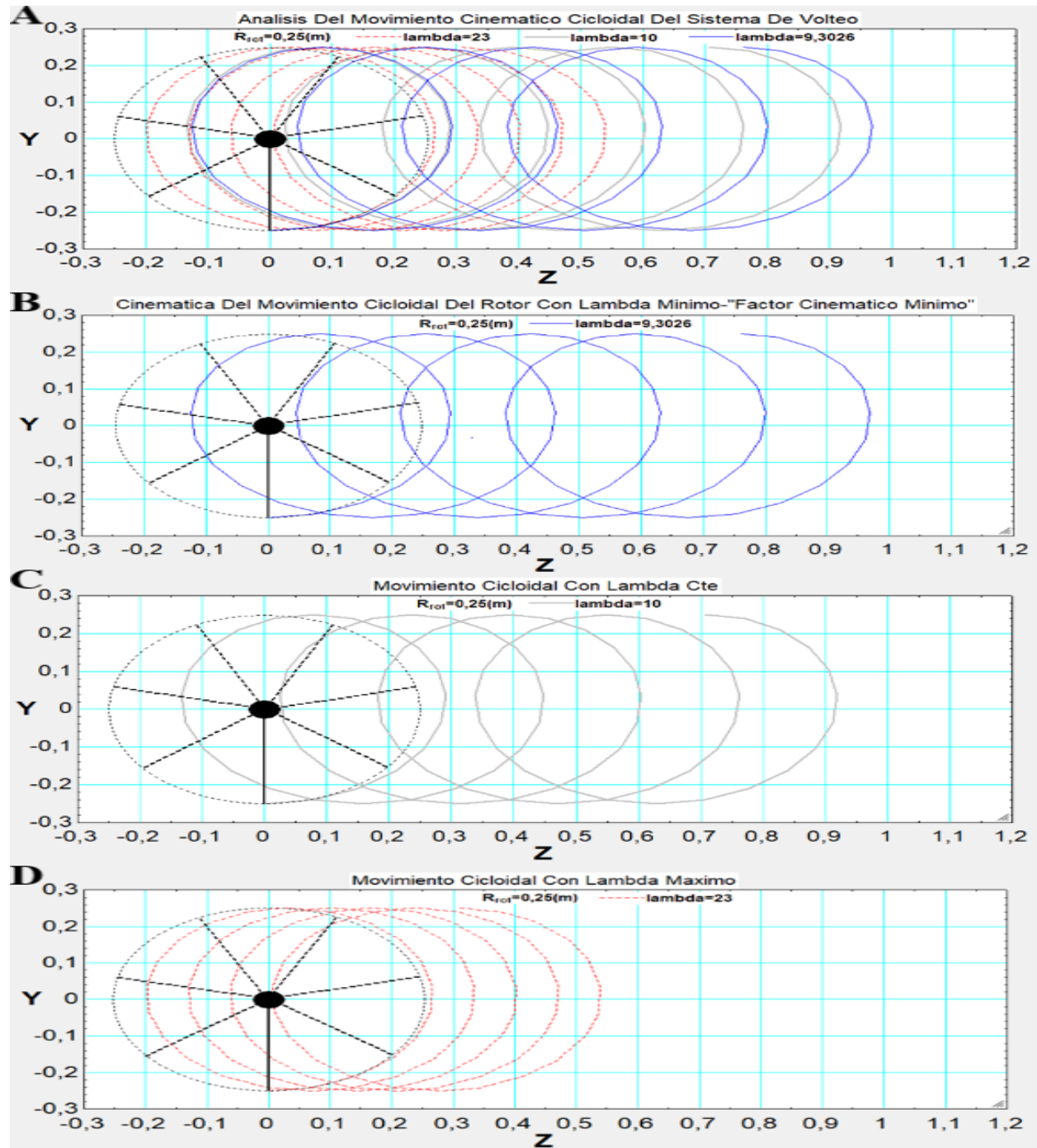
Velocidad de avance del dispositivo respecto al factor cinemático



Las ecuaciones de cinemática del rotor se intuyen al analizar los artículos rotary tiller desing parameters (Hendrick y Gill, 1971). También de libros para arados rotativos (Alvarez Mejia, 1985) y de conocimientos teóricos de física mecánica en cinemática, lo anterior permite desarrollar el Movimiento Cicloidal que genera el rotor debido a la relación entre las rpm del rotor y la velocidad de avance real, tal como se muestra en la figura 19. El movimiento cicloidal con factor cinemático mínimo se muestra en la figura 19B. Se visualiza el movimiento cicloidal en la figura 19C con un Lambda y Rrot constantes. Se puede apreciar en la figura 19D que la volteadora de compost tiene un menor desplazamiento en Z a mayor valor del factor cinemático, esto representa una menor área de contacto al voltear el material.

Figura 19

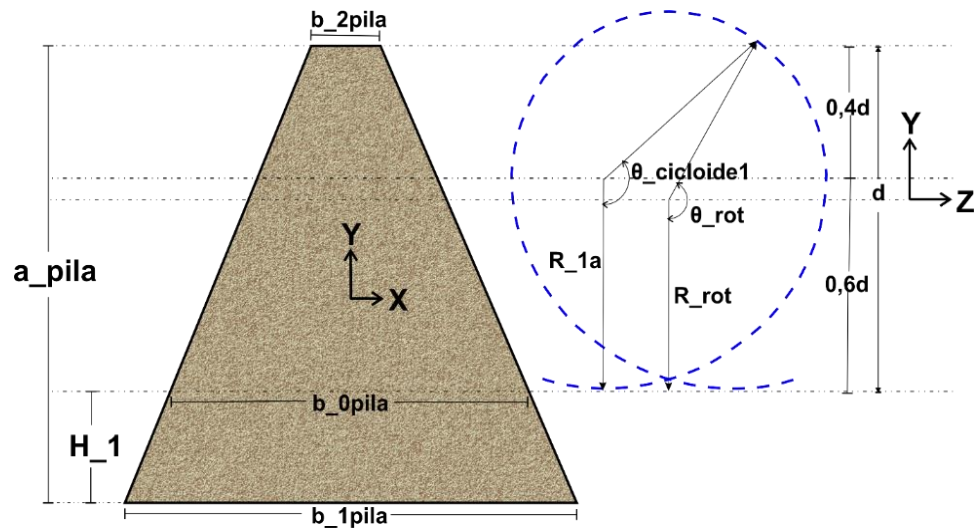
Movimiento cicloidal del rotor de volteo



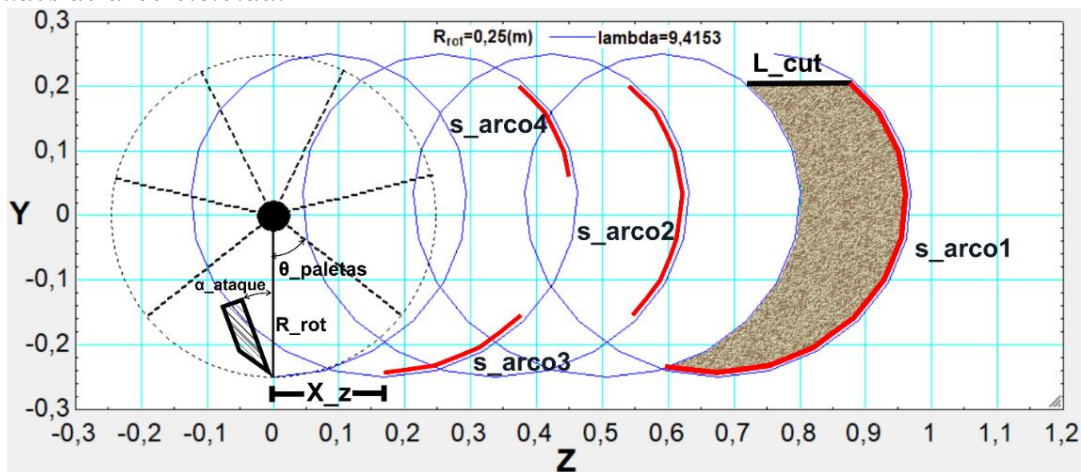
En la figura 20 y figura 21 se muestran diferentes variables a tener presentes para la pila de compost y para el movimiento cicloidal el voltear los residuos orgánicos.

Figura 20

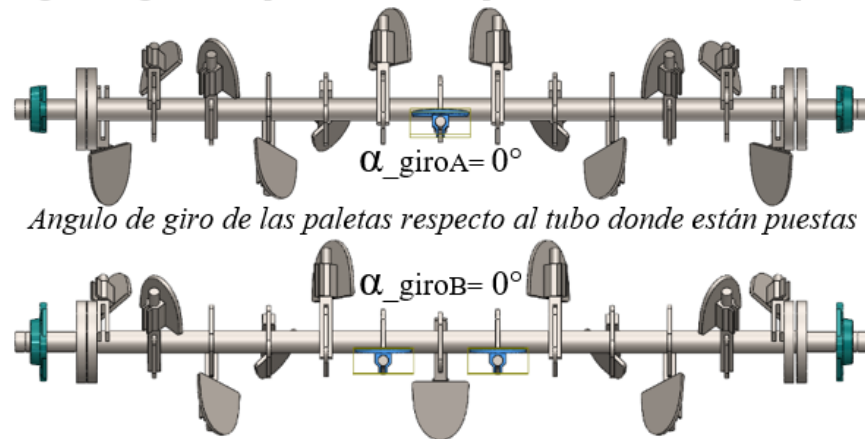
d =profundidad de labor de corte de la paleta en el rotor

**Figura 21**

Longitudes de arco cicloidal



Alpha_giroA y Alpha_giroB son el giro de la paleta central y giro de las demás paletas respectivamente, respecto al tubo donde están puestas como se muestra en la figura 22, partiendo desde una línea horizontal imaginaria paralela al eje del rotor. Pueden girar en el rango de $(0^\circ-90^\circ)$ grados según las necesidades de funcionamiento.

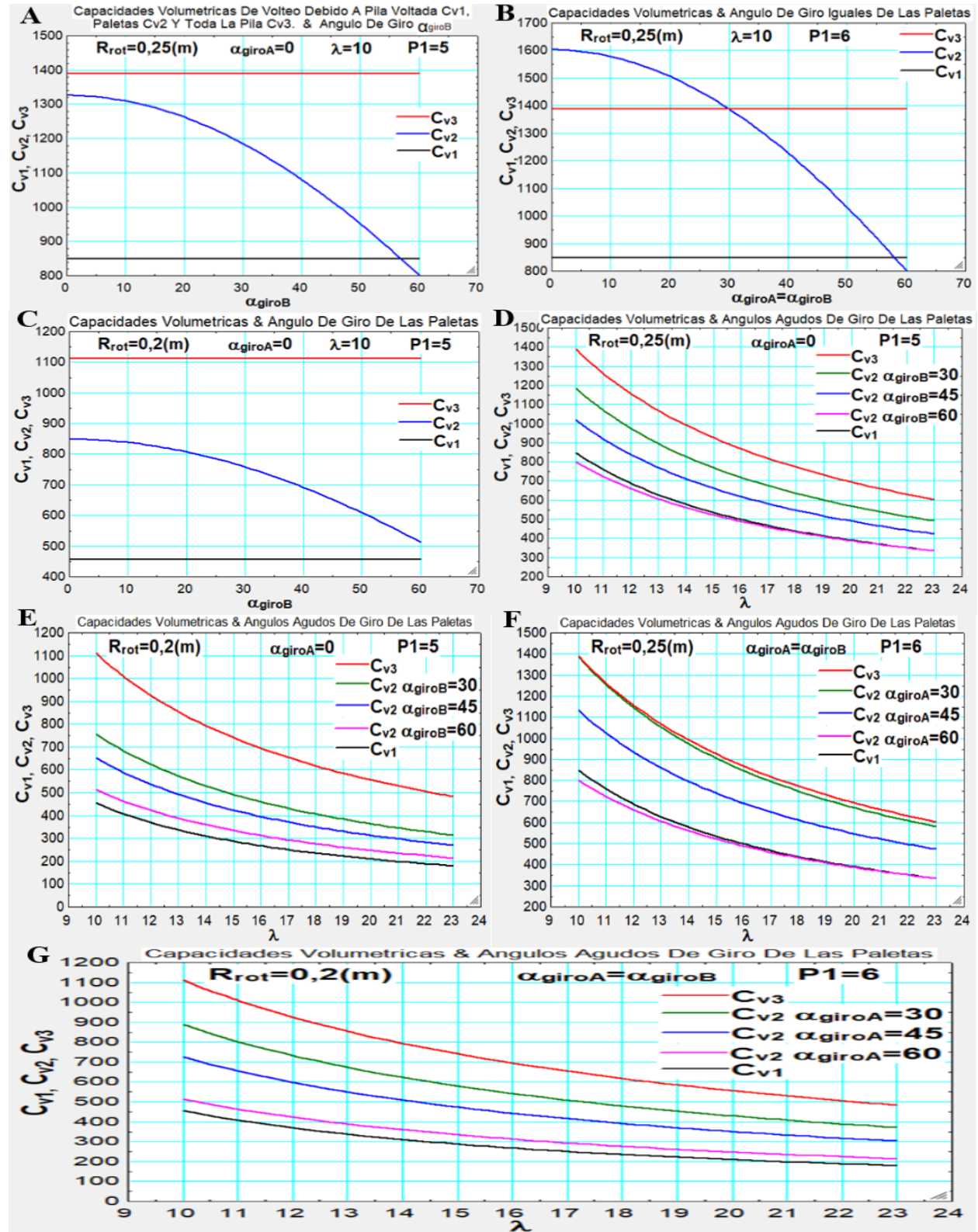
Figura 22*Angulo de giro de las paletas**Angulo de giro de la paleta central respecto al tubo donde esta puesta**Angulo de giro de las paletas respecto al tubo donde están puestas* $\alpha_{\text{giroB}} = 0^\circ$

4.6. Capacidades Volumétricas De Volteo

La capacidad de volteo del dispositivo se relaciona directamente con la potencia del tractor. Los tractores se clasifican en 3 tipos según su potencia. Hay tractores de baja potencia menor a 100 [hp], mediana potencia y alta potencia. El tractor del hangar ensamblado el dispositivo de volteo es de mediana potencia. La capacidad de volteo del dispositivo varía de acuerdo al ángulo de giro de las paletas como se observa en la figura 23A donde 5 paletas con ángulo de giro igual a cero hacen el proceso de volteo. A mayor ángulo de giro se reduce la capacidad de volteo, el ángulo de giro también permite modificar el ancho y alto de la pila al ser volteada. Cuando en la zona de volteo de compost trabajan 6 paletas. Como se evidencia en la figura 23B, Las capacidades volumétricas aumentan respecto a la figura 23A. La capacidad de volteo del dispositivo también varía de acuerdo a la longitud de las paletas, por tal razón se observa en la figura 23C que las capacidades volumétricas disminuyen a una longitud de paleta menor o a un radio del rotor-paleta menor $R_{\text{rot}}=0,2$ [m]. Desde la figura 23D hasta la figura 23G se puede ver como disminuye la capacidad volumétrica al aumentar el ángulo de giro de las paletas a distintos R_{rot} y número de paletas, se intuye que es preferible trabajar con ángulos de giro de las paletas menores a 60° grados para superar la capacidad volumétrica de la pila y voltear el material en su totalidad.

Figura 23

Capacidades Volumétricas



4.7. Análisis Dinámico Del Rotor

4.7.1. Método De Babiciu

En la figura 24 se ve la longitud efectiva del borde de ataque OA, necesaria para ingresar al nomograma de babiciu. También se ilustra en la figura 25 como una disminución de lambda requiere un cambio rápido en el valor del Angulo de corte aparente para proporcionar espacio libre.

Figura 24

Cota OA de la paleta

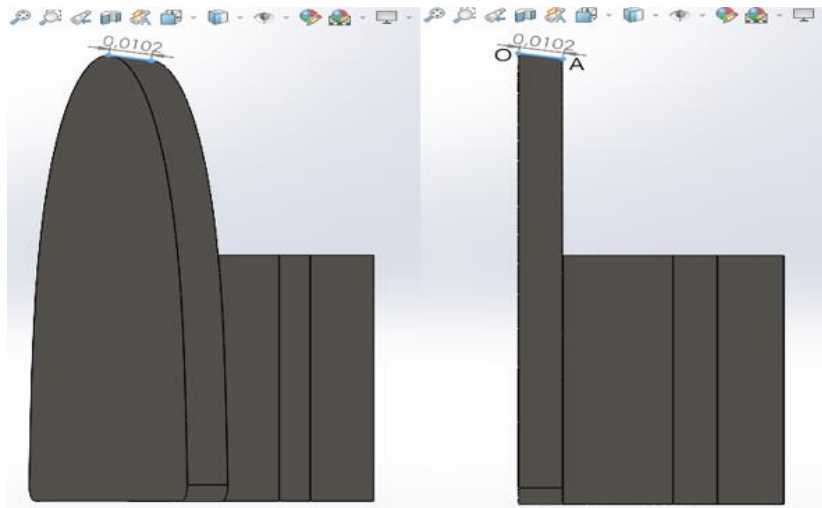


Figura 25

Nomograma de babiciu y Angulo de corte aparente mínimo

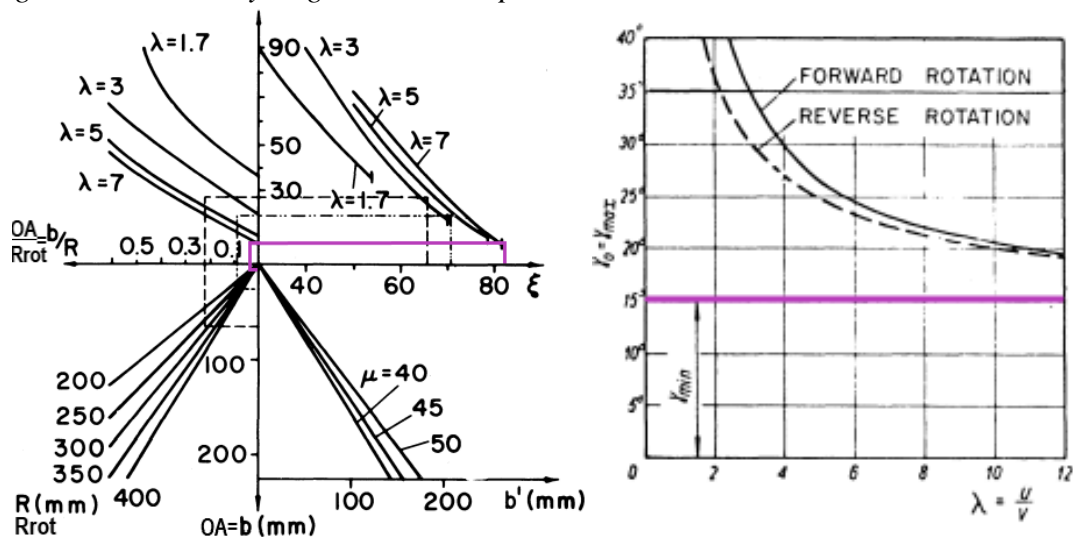
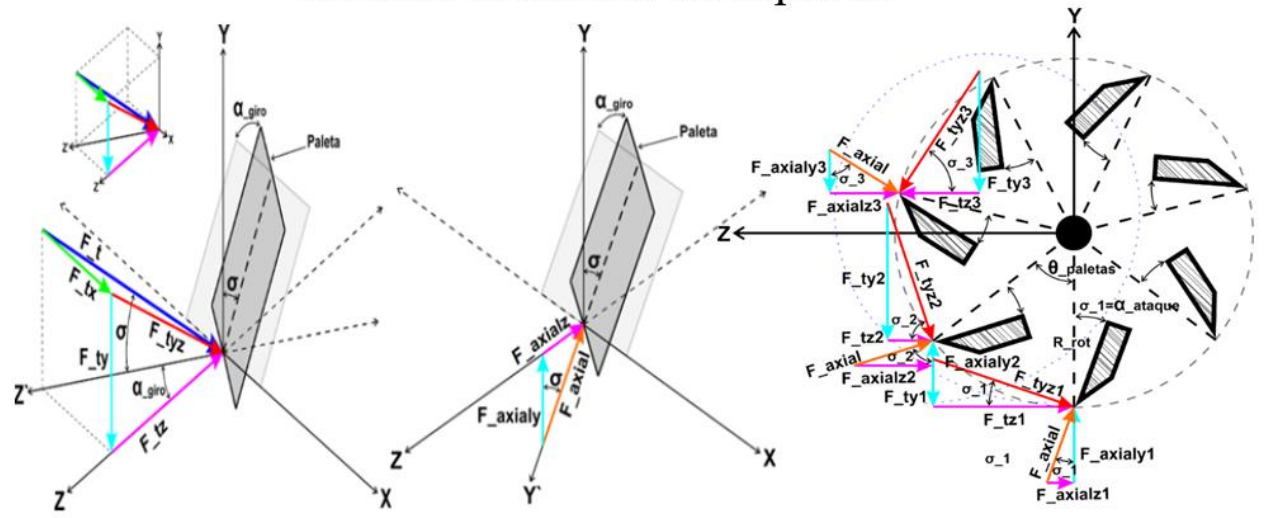
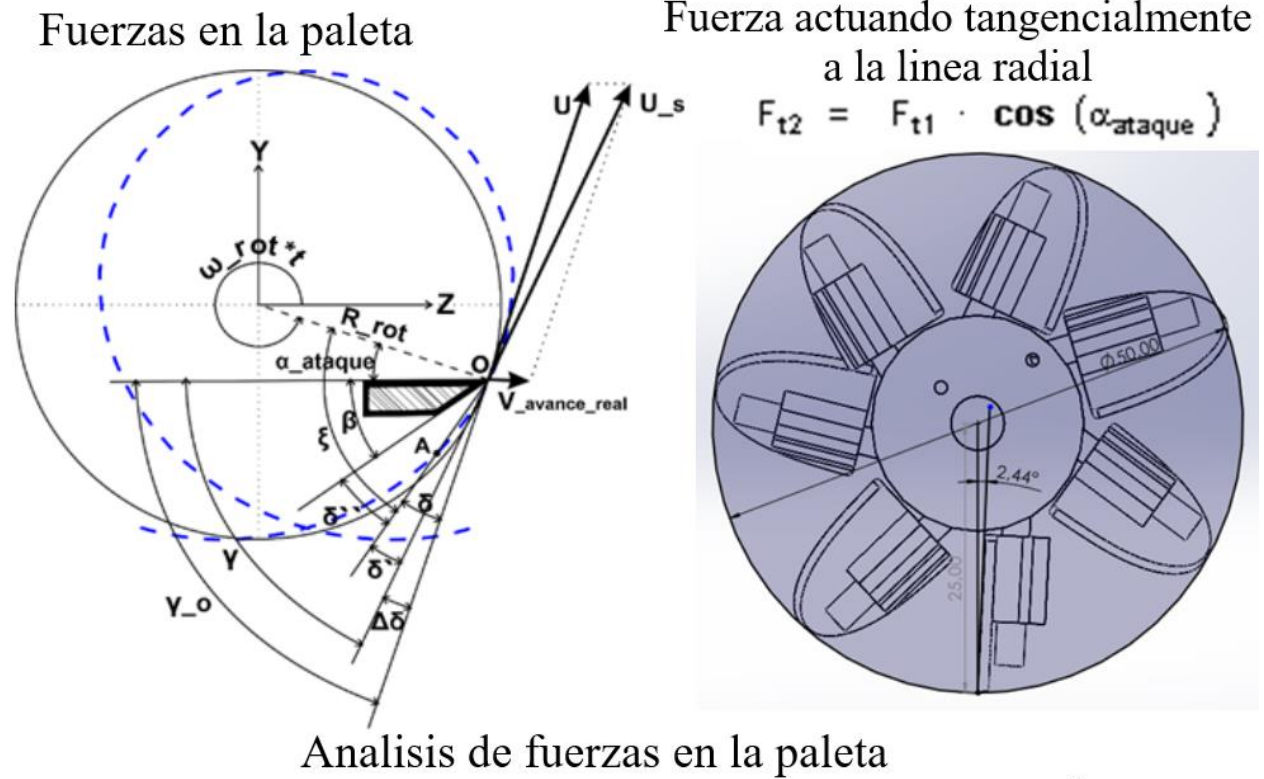


Figura 26

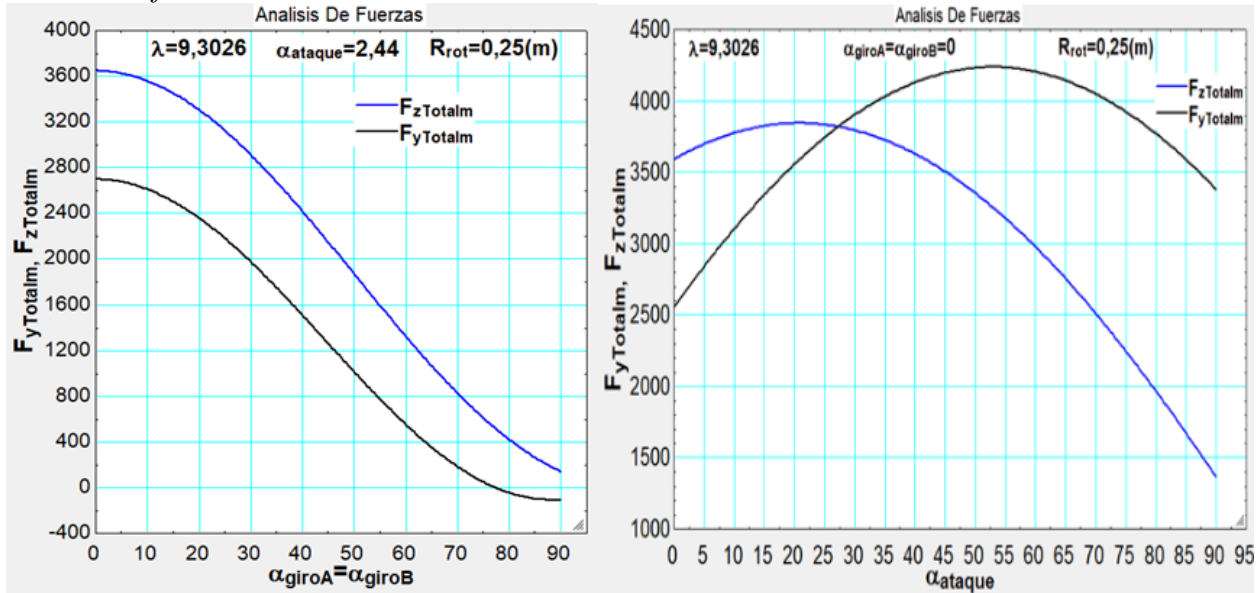
Análisis de fuerzas en la paleta



Con un $\lambda=9,4153$ se calculan los demás parámetros, entre esos las fuerzas que siente la paleta del rotor. Los datos obtenidos de los cálculos son los que se utilizan para aplicarlos en las simulaciones de Solidworks.

Figura 27

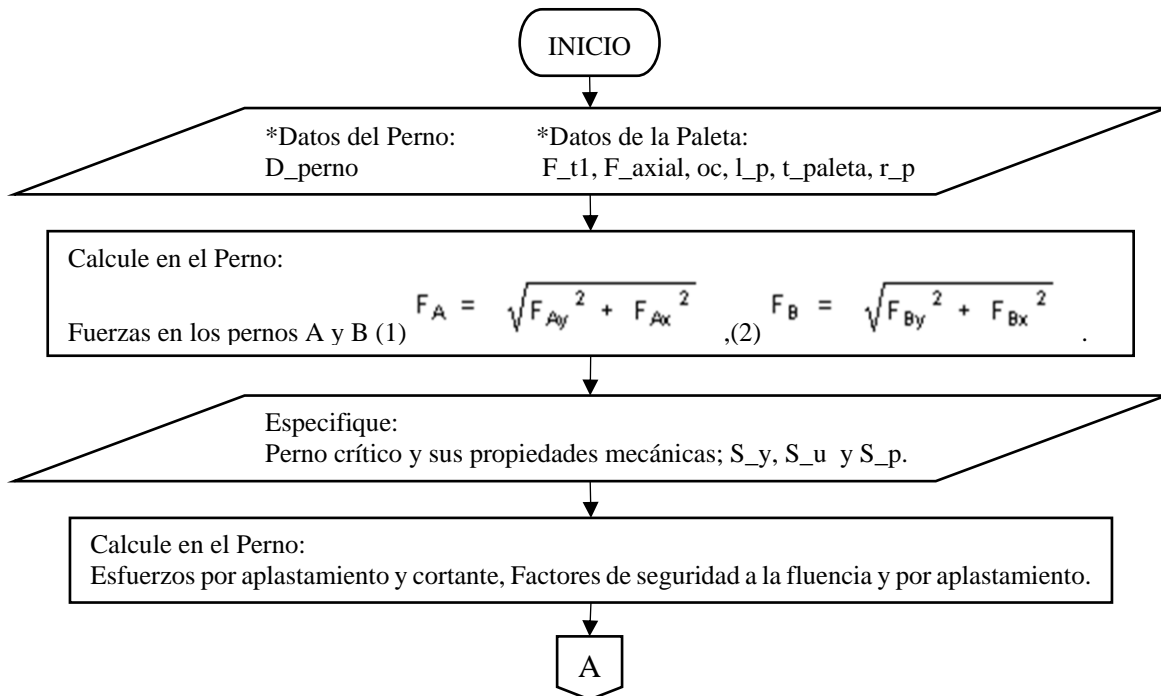
Análisis de fuerzas con lambda critico

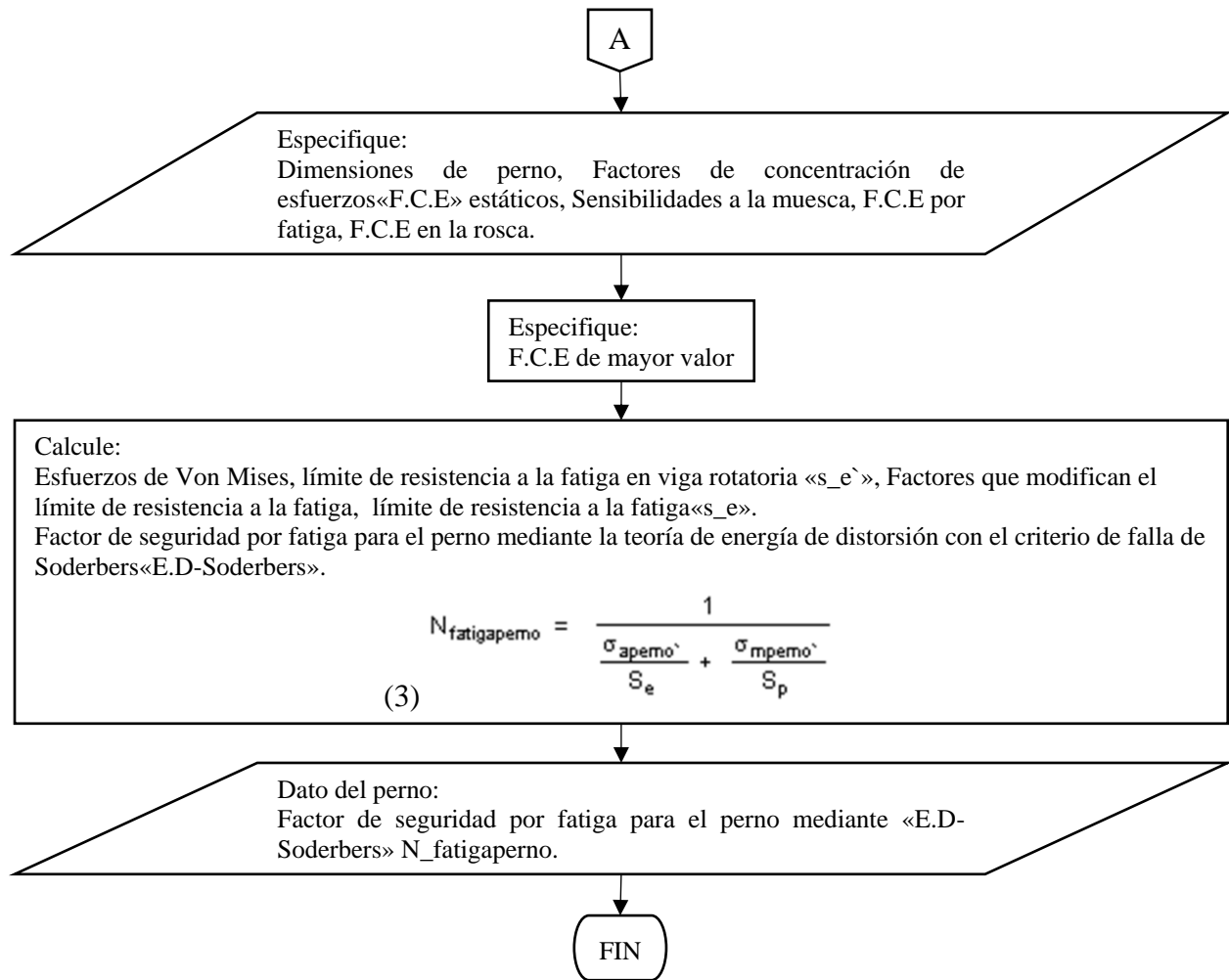


4.8. Diseño del perno en las paletas

Figura 28

Diagrama de flujo para el proceso de cálculo de diseño del perno en las paletas



**Tabla 10**

Variables relevantes en el cálculo del perno en las paletas

#Ecuación	Variable de entrada	Variable de salida	Valor	Unidad	Descripción
...	D_perno	...	12	mm	Diámetro del perno
...	F_axial	...	267,6	N	Fuerza actuando axialmente sobre la paleta
...	F_t1	...	933,3	N	Fuerza actuando tangencialmente sobre la paleta
...	l_p	...	0,0283	m	Distancia de la punta de la paleta hasta el punto c en línea axial al tubo que la sostiene
...	oc	...	0,27	m	Distancia desde el punto medio O entre los pernos hasta la punta de la paleta
...	rp	...	0,045	m	Distancia desde el perno hasta el punto medio O

...	t_paleta	...	10	mm	Ancho del mango rectangular de la paleta
...	S_p	...	225	MPa	Esfuerzo de prueba en el perno
...	S_u	...	400	MPa	Esfuerzo último en el perno
...	S_y	...	240	MPa	Esfuerzo de fluencia en el perno
1	...	F_A	2253	N	Fuerza cortante en el perno A
...	...	F_Ax	133,8	N	Fuerza cortante en el eje x del perno A
...	...	F_Ay	2249	N	Fuerza cortante en el eje y del perno A
2	...	F_B	3185	N	Fuerza cortante en el perno B
...	...	F_Bx	133,8	N	Fuerza cortante en el eje x del perno B
...	...	F_By	3182	N	Fuerza cortante en el eje y del perno B
3	...	N_fatigaperno	1,317	...	Factor de seguridad por fatiga en el perno
...	...	N_fluencia_aplastamiento	8,477	...	Factor de seguridad a la fluencia por aplastamiento en el perno
...	...	N_fluencia_corte	6,22	...	Factor de seguridad a la fluencia en el perno
...	...	σ_{aperno}	50,61	Mpa	Esfuerzos de von mises en el perno
...	...	σ_{mperno}	50,61	Mpa	Esfuerzos de von mises en el perno
...	...	S_e	94,69	Mpa	Límite de resistencia a la fatiga en el perno
...	...	S_e`	200	Mpa	límite de resistencia a la fatiga en viga (proveta) rotatoria perno

La figura 29A muestra las uniones a cortante con carga excéntrica doble, la figura 29B se muestra trasladando fuerzas al punto C, los demás diagramas permiten analizar las fuerzas hasta obtener el perno crítico.

Figura 29

Análisis de fuerzas en los pernos de las paletas

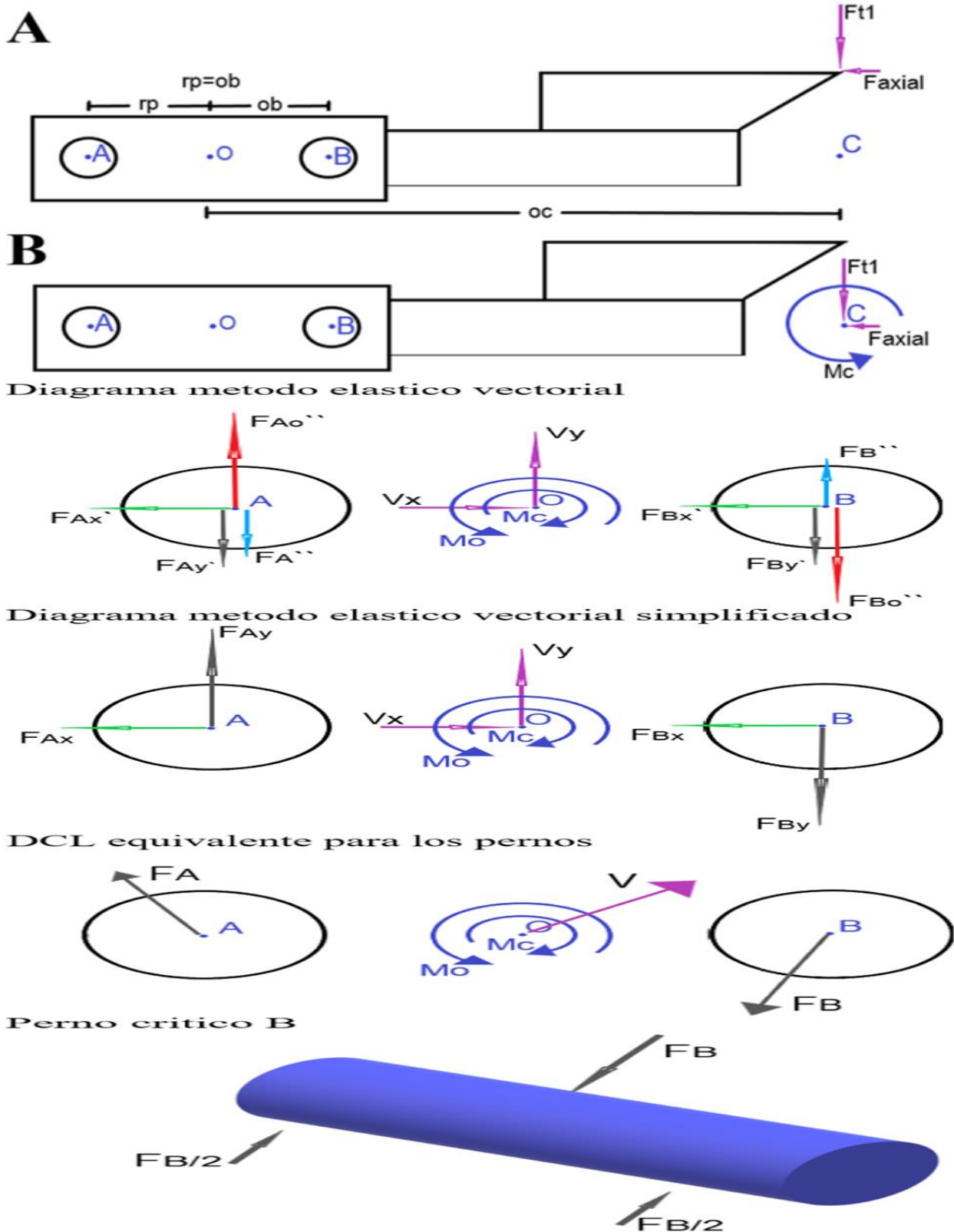


Tabla 11

Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero del libro shigley

Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero*



Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, MPa	Resistencia mínima a la tensión, MPa	Resistencia mínima a la fluencia, MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	

Tabla 12

Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino- shigley

Diámetro nominal d, mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p, mm	Area de esfuerzo de tensión A _t , mm ²	Area del diametro menor A _s , mm ²	Paso p, mm	Area de esfuerzo de tensión A _t , mm ²	Area del diametro menor A _s , mm ²
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116

Tabla 13

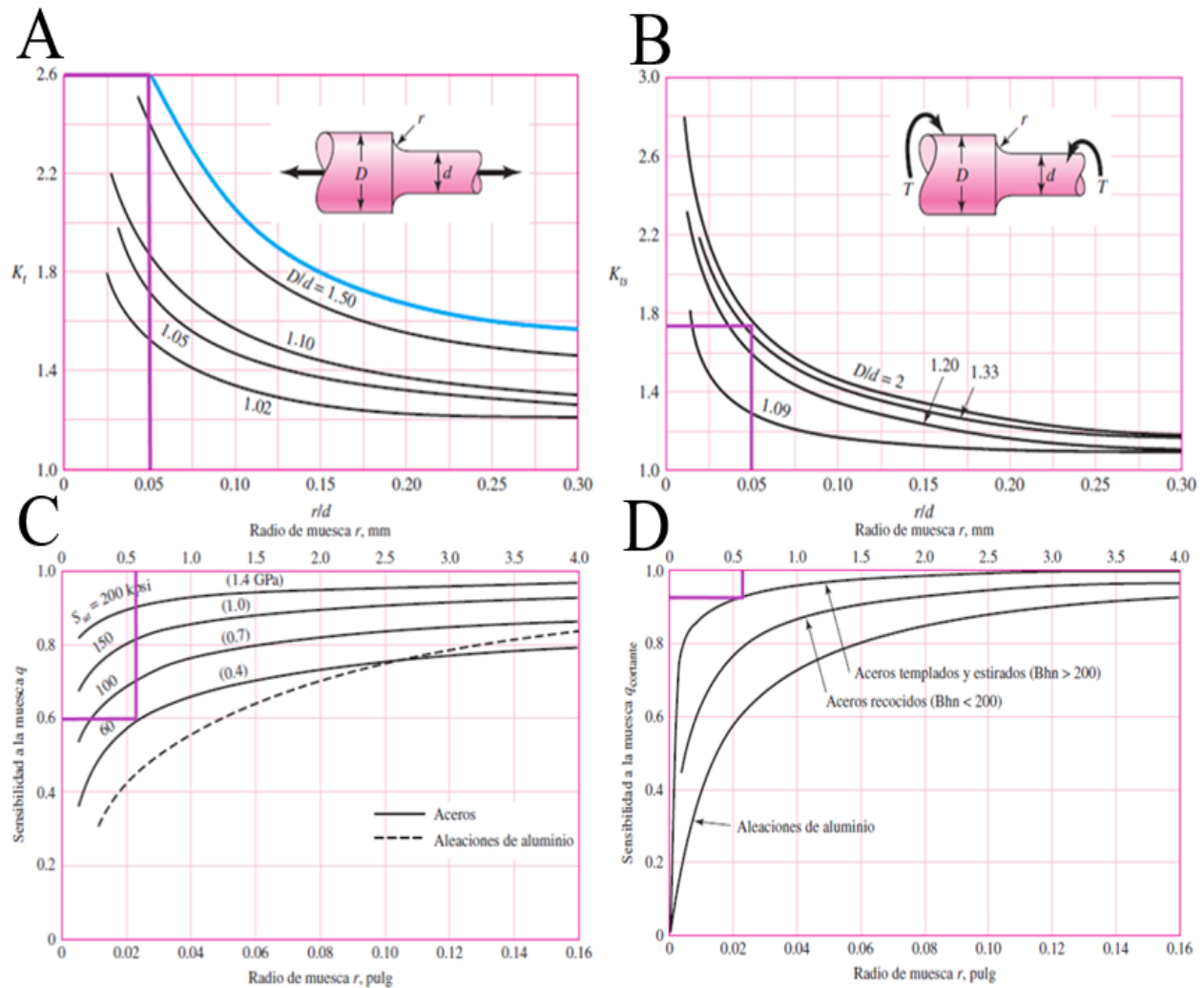
Dimensiones de pernos de cabeza cuadrada y hexagonal-tamaño nominal M12-shigley

Tamaño nominal, mm	Cuadrada			Hexagonal regular			Tipo de cabeza		
	W	H	R _{ext}	W	H	R _{ext}	Hexagonal pasada		Hexagonal estructural
							W	H	R _{ext}
M10				16	6.85	0.4			
M12				18	7.95	0.6	21	7.95	0.6
M14				21	9.25	0.6	24	9.25	0.6

En la figura 30 se muestra la selección Kt-Factor de concentración de esfuerzos«F.C.E» por tensión como en la figura 30A y F.C.E por torsión como en la figura 30B, también la Sensibilidad a la muesca por tensión-q como en la figura 30Cy por cortante q_s como en la figura 30D.

Figura 30

Selección Factor de concentración de esfuerzos «F.C.E» y Sensibilidad a la muesca- shigley



Para tornillos existen dos factores de concentración de esfuerzos uno es F.C.E en la rosca K_f y el otro es el F.C.E en la base de la cabeza K_f , se escoge el F.C.E de mayor valor como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14

F.C.E por fatiga en la rosca K_f Roscas cortadas-shigley

Grado SAE	Grado métrico	Roscas laminadas	Roscas cortadas	Filete
0 a 2	3.6 a 5.8	2.2	2.8	2.1
4 a 8	6.6 a 10.9	3.0	3.8	2.3

4.9. Diseño del perno con las Paletas a 45° grados

Figura 31

Diagrama de flujo para el proceso de cálculo de diseño del perno con las paletas a 45° grados

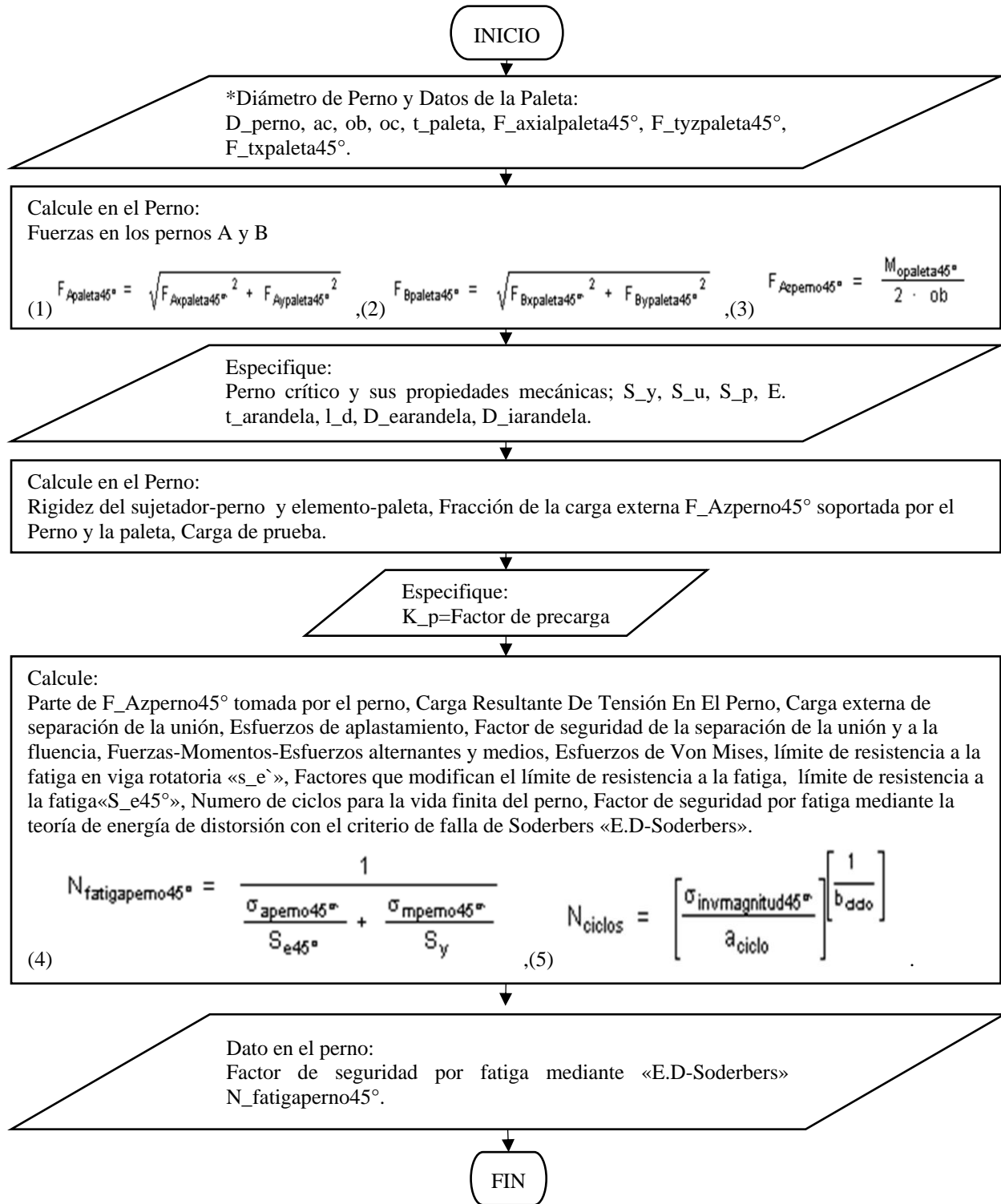


Tabla 15*Variables principales en el cálculo del perno en las paletas a 45°grados*

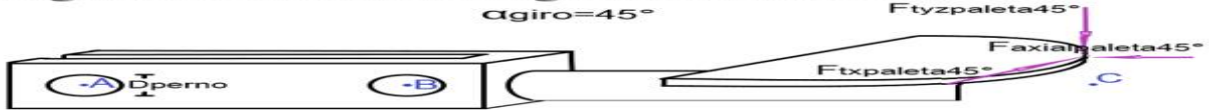
#Ecuación	Variable de entrada	Variable de salida	Valor	Unidad	Descripción
...	ac	...	0,02	m	Distancia de la punta de la paleta hasta una línea axial al tubo que la sostiene
...	α_{giro}	...	45	°	Angulo de giro de la paleta
...	D_perno	...	12	mm	Diámetro del perno
...	D_arandela	...	34	mm	Diámetro externo de la arandela
...	D_iarandela	...	13,3	mm	Diámetro interno de la arandela
...	E	...	207	Gpa	Módulo de elasticidad
...	F_axialpaleta45°	...	200,3	N	Fuerza axial sobre la paleta en eje de coordenadas z
...	F_txpaleta45°	...	494	N	Fuerza tangencial sobre la paleta en eje de coordenadas x
...	F_tyzpaleta45°	...	494	N	Fuerza tangencial sobre la paleta en eje de coordenadas y
...	l_d	...	20	mm	Longitud de la parte útil sin rosca del perno
...	ob	...	0,045	m	Distancia desde el perno hasta el punto medio O
...	oc	...	0,27	m	Distancia desde el punto medio O entre los pernos hasta la punta de la paleta
...	t_arandela	...	3,5	mm	Espesor de la arandela
...	S_p	...	225	MPa	Esfuerzo de prueba en el perno
...	S_u	...	400	MPa	Esfuerzo último en el perno
...	S_y	...	240	MPa	Esfuerzo de fluencia en el perno
1	...	F_Apaleta45°	1687	N	Fuerza cortante en el perno A
3	...	F_Azperno45°	1482	N	Fuerza de tensión en el perno A
2	...	F_Bpaleta45°	1195	N	Fuerza cortante en el perno B
5	...	N_ciclos	147939	ciclos	Numero de ciclos para la vida finita del perno
4	...	N_fatigaperno45°	0,765	...	Factor de seguridad por fatiga en el perno mediante E.D-Soderbers
...	...	N_fluenciaperno45°	16	...	Factor de seguridad a la fluencia por aplastamiento en el perno

...	...	$\sigma_{\text{aperno}45^\circ}$	33,95	Mpa	Esfuerzos de von mises
...	...	$\sigma_{\text{mperno}45^\circ}$	263,1	Mpa	Esfuerzos de von mises
...	...	S_{e45°	160,5	Mpa	Límite de resistencia a la fatiga en el perno

Figura 32

Análisis de fuerzas en los pernos de las paletas con Angulo de giro « α_{giro} » de 45° grados

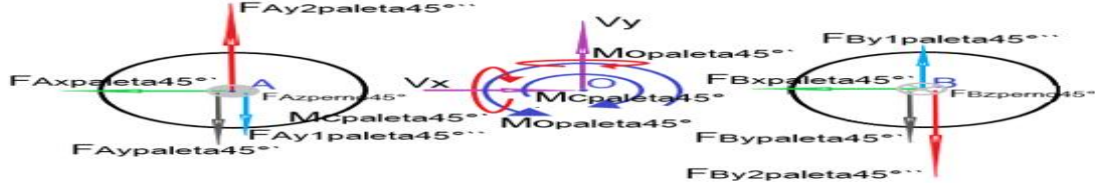
Diagrama uniones con carga excéntrica doble



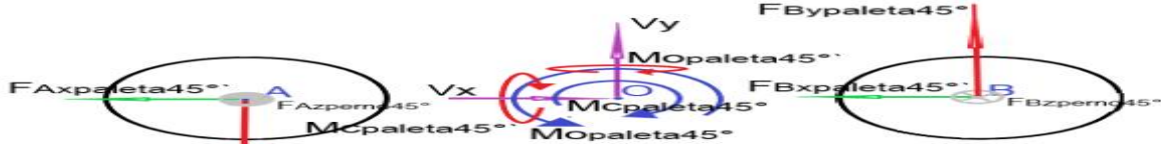
Traslado de fuerzas al punto c



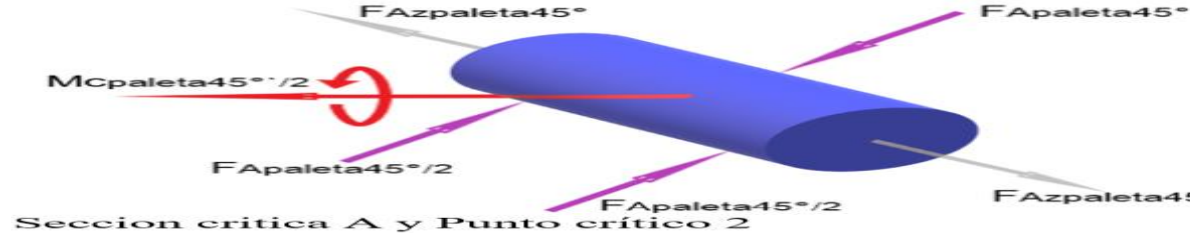
Metodo elastico vectorial



Metodo elastico vectorial simplificado



DCL equivalente para pernos



Seccion critica A y Punto critico 2

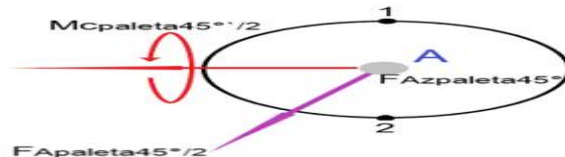


Tabla 16

Parámetros de rigidez de varios materiales-shigley

Material usado	Relación de Poisson	Módulo de elasticidad, GPa	Mpsi	A	B
Acero	0.291	207	30.0	0.787 15	0.628 73
Aluminio	0.334	71	10.3	0.796 70	0.638 16
Cobre	0.326	119	17.3	0.795 68	0.635 53
Hierro fundido gris	0.211	100	14.5	0.778 71	0.616 16
Expresión general				0.789 52	0.629 14

Tabla 17

Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino-shigley

Diámetro nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_s , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_s , mm ²
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116

Figura 33

Dimensiones de Pernos de cabeza cuadrada y hexagonal

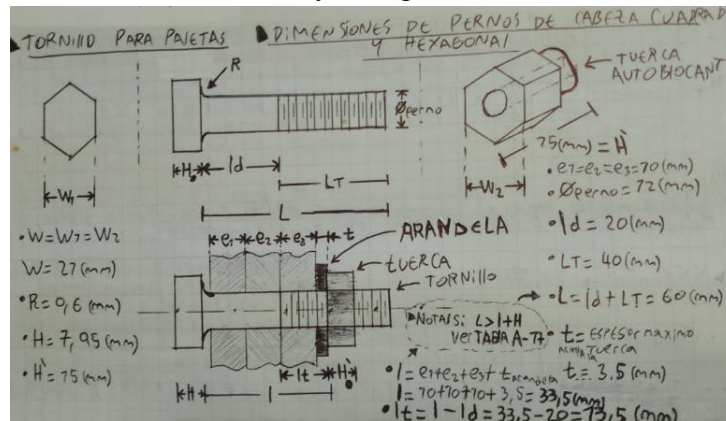


Tabla 18

Dimensiones de arandelas métricas simples-shigley

Tamaño de la arandela*	DI mínimo	DE máximo	Espesor máximo	Tamaño de la arandela*	DI mínimo	DE máximo	Espesor máximo
2 N	2.50	5.00	0.90	12 N	13.30	25.40	2.80
2 R	2.50	6.00	0.90	12 R	13.30	34.00	3.50
2 W	2.50	8.00	0.90	12 W	13.30	44.00	3.50

Figura 34

Carga resultante de tensión en el perno

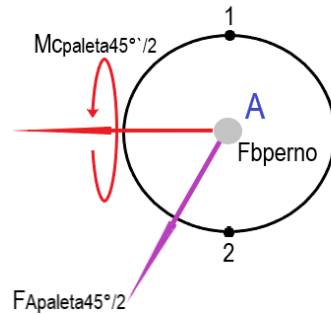


Figura 35

Factor de concentración de esfuerzos F.C.E-shigley

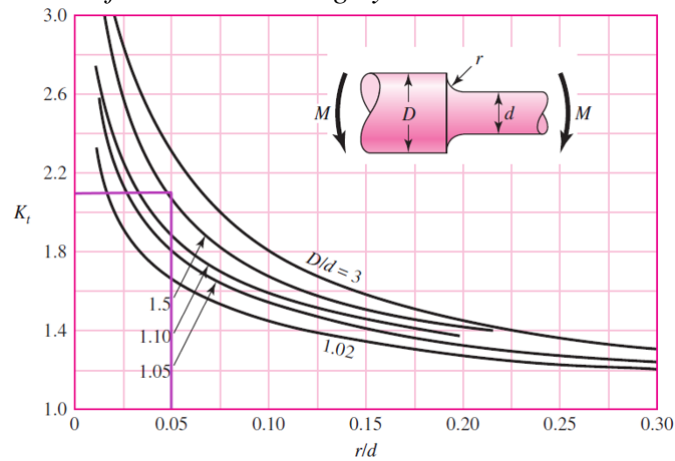


Figura 36

Metodo De Dowling Para Material Ductil-shigley

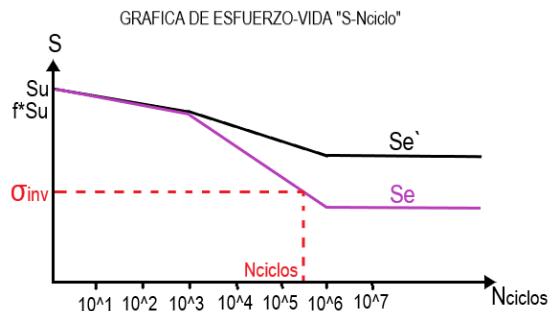
$$K_{fm} = K_f \quad K_f |\sigma_{\max,o}| < S_y$$

$$K_{fm} = \frac{S_y - K_f \sigma_{ao}}{|\sigma_{mo}|} \quad K_f |\sigma_{\max,o}| > S_y$$

$$K_{fm} = 0 \quad K_f |\sigma_{\max,o} - \sigma_{\min,o}| > 2S_y$$

Figura 37

Grafica Esfuerzo-Vida



4.10. Análisis de Cálculos de Diseño para la Paleta

Figura 38

Diagrama de flujo para el proceso de cálculo de diseño de la paleta

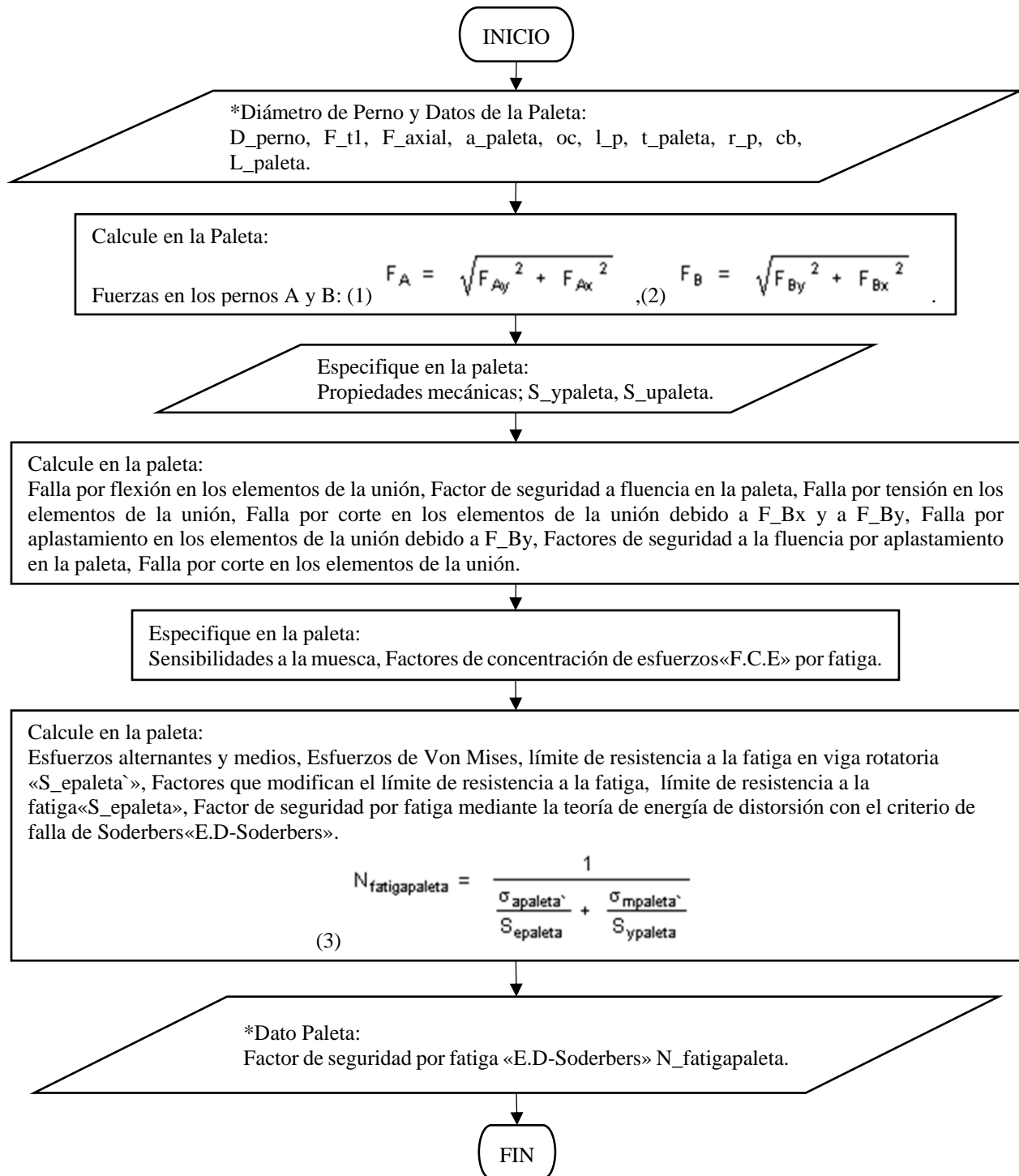


Tabla 19*Variables principales en el cálculo del diseño de la paleta*

#Ecuación	Variable de entrada	Variable de salida	Valor	Unidad	Descripción
...	a_paleta	...	20	mm	Dimensión paleta
...	cb	...	0,225	m	Dimensión de la paleta
...	D_perno	...	12	mm	Diámetro del perno
...	F_axial	...	267,6	N	Fuerza actuando axialmente sobre la paleta
...	F_t1	...	933,3	N	Fuerza actuando tangencialmente sobre la paleta
...	l_p	...	0,0283	m	Distancia de la punta de la paleta hasta el punto c en línea axial al tubo que la sostiene
...	L_paleta	...	26	mm	Dimensión de la paleta
...	oc	...	0,27	m	Distancia desde el punto medio O entre los pernos hasta la punta de la paleta
...	rp	...	0,045	m	Distancia desde el perno hasta el punto medio O
...	t_paleta	...	10	mm	Ancho del mango rectangular de la paleta
...	S_upaleta	...	630	MPa	Esfuerzo último en la paleta
...	S_yapaleta	...	530	MPa	Esfuerzo de fluencia en la paleta
1	...	F_A	2253	N	Fuerza cortante en el perno A
...	...	F_Ax	133,8	N	Fuerza cortante en el eje x del perno A
...	...	F_Ay	2249	N	Fuerza cortante en el eje y del perno A
2	...	F_B	3185	N	Fuerza cortante en el perno B
...	...	F_Bx	133,8	N	Fuerza cortante en el eje x del perno B
...	...	F_By	3182	N	Fuerza cortante en el eje y del perno B
3	...	N_fatigapaleta	1,231	...	Factor de seguridad por fatiga en la paleta
...	...	N_fluenciapaleta	2,66	...	Factor de seguridad a la fluencia en la paleta
...	...	N_fluencia_aplastamientopaleta	39,97	...	Factor de seguridad a la fluencia por aplastamiento en la paleta
...	...	σ_{apaleta}	118,5	Mpa	Esfuerzos de von mises en la paleta

...	...	$\sigma_{mpaleta}$	116,2	Mpa	Esfuerzos de von mises en la paleta
...	...	$S_{epaleta}$	199,7	Mpa	Límite de resistencia a la fatiga en la paleta
...	...	$S_{epaleta}$	315	Mpa	límite de resistencia a la fatiga en viga (proveta) rotatoria en paleta

Figura 39

Dimensiones y fuerzas actuantes en la paleta

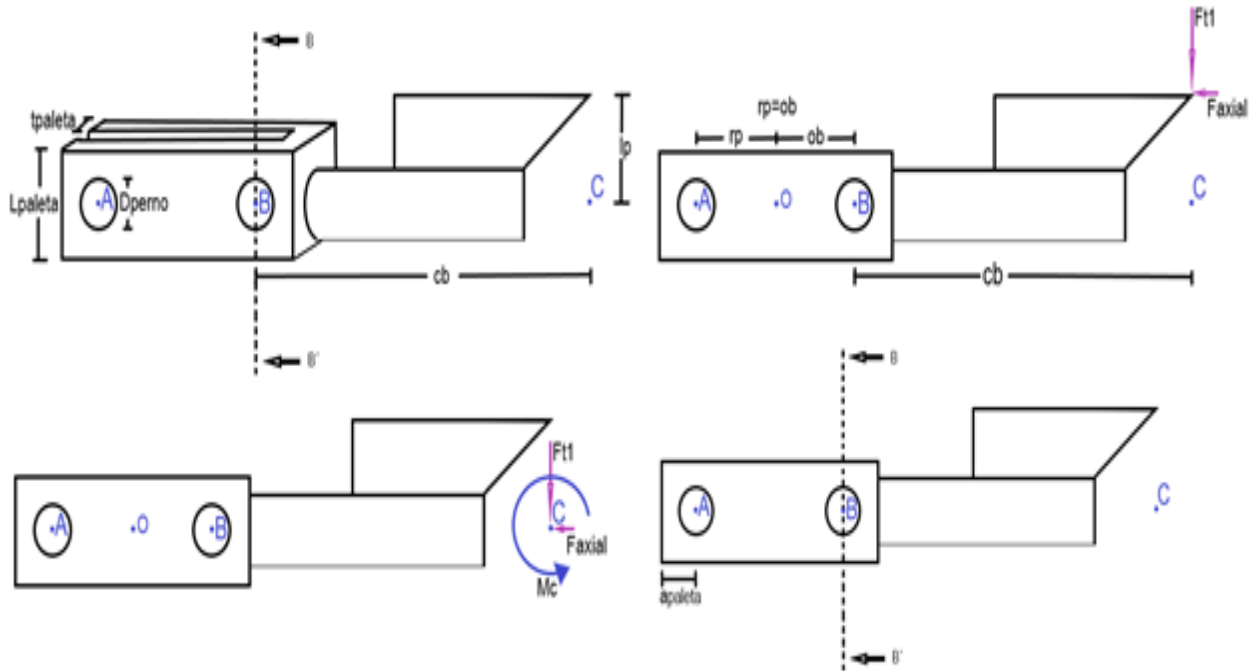


Figura 40

Corte B-B` en la paleta

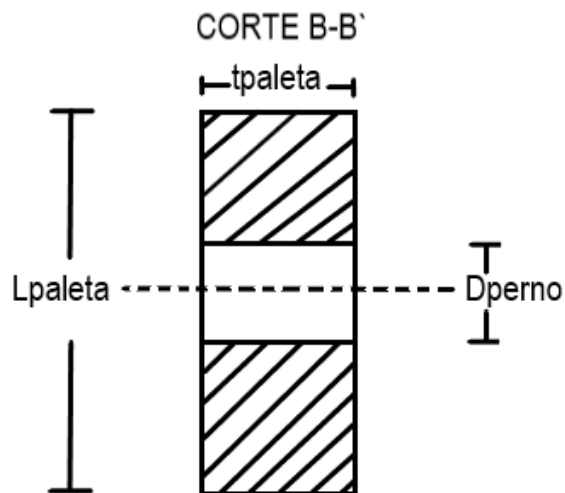


Tabla 20

Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD)-shigley

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y. o. AISI núm.	Proceso o tratamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg. %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197

Figura 41

Sensibilidad a la muesca (q) sometidos a tensión-shigley

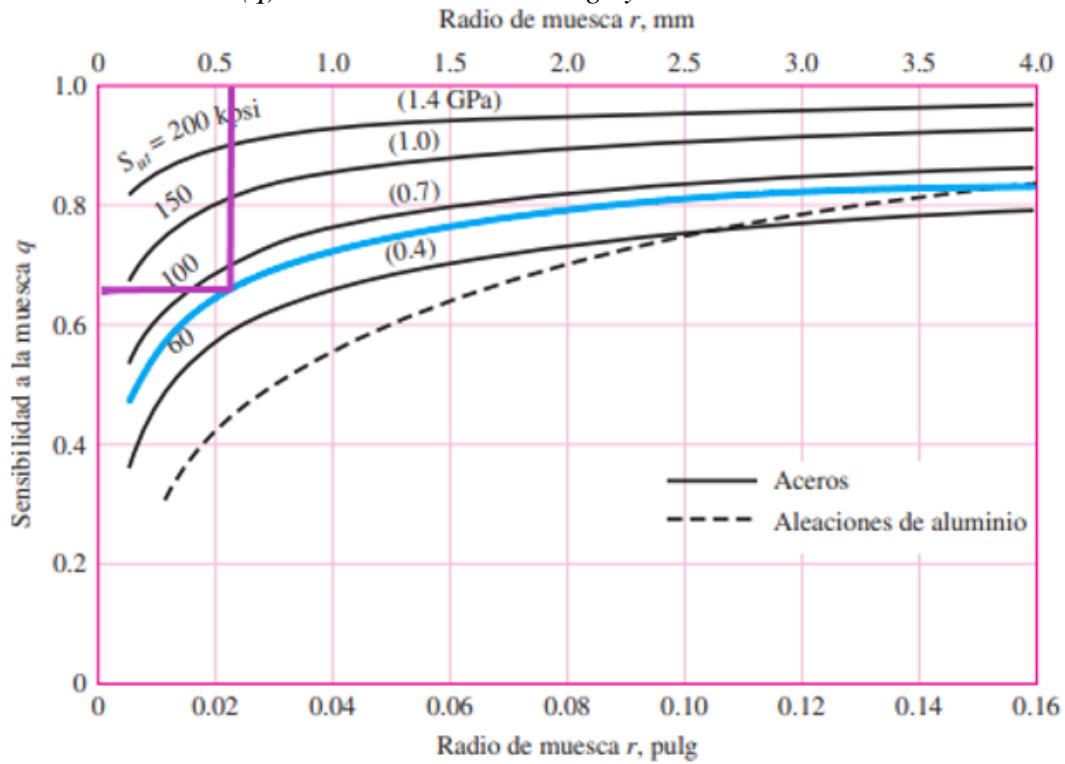


Figura 42

Grafica de concentración de esfuerzos de Peterson para placa con perforación sometida a momento flector del libro Fatiga fisura progresiva Alfredo parada corrales

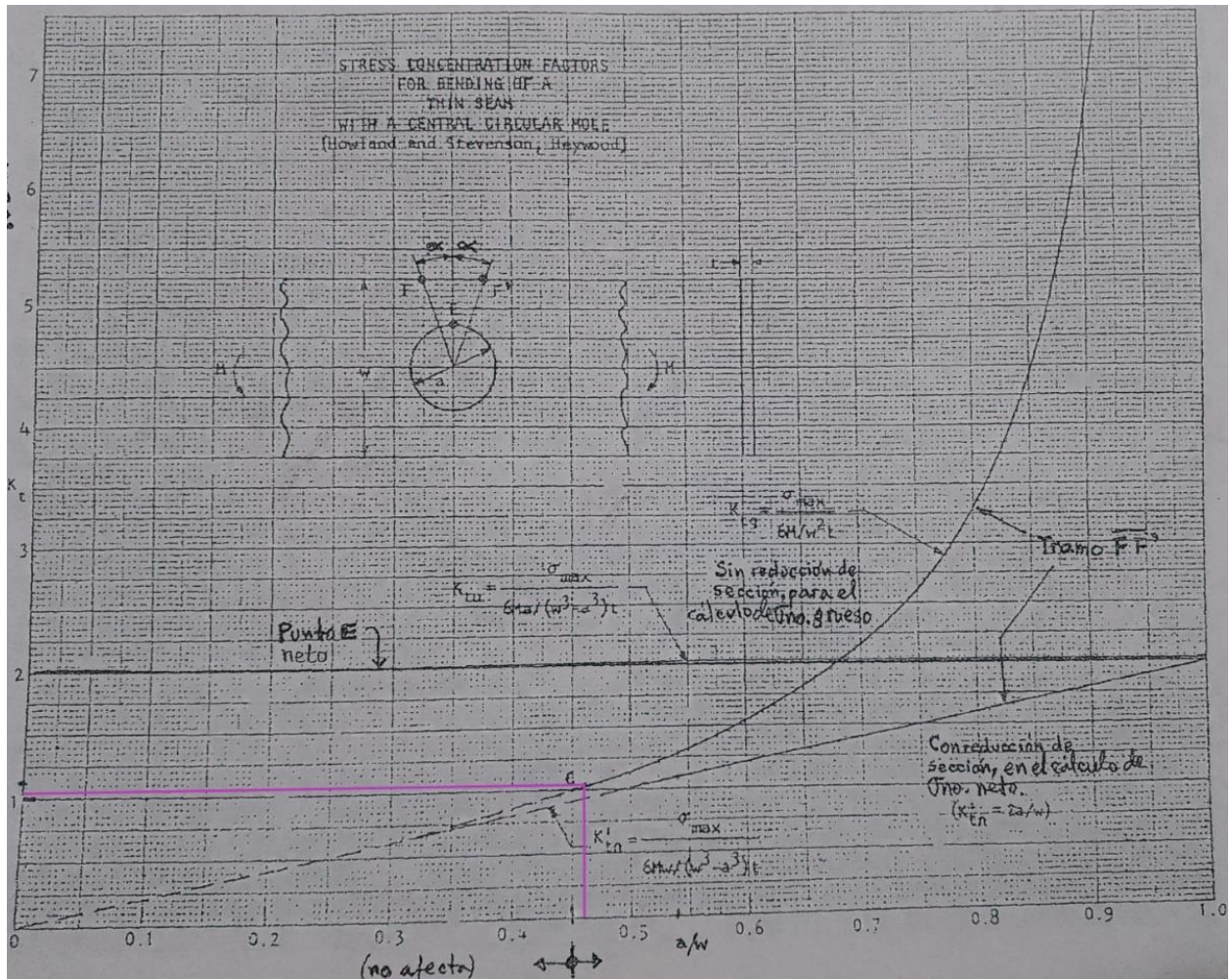


Figura 43

Placa cargada en tensión mediante un pasador a través de un agujero-shigley.

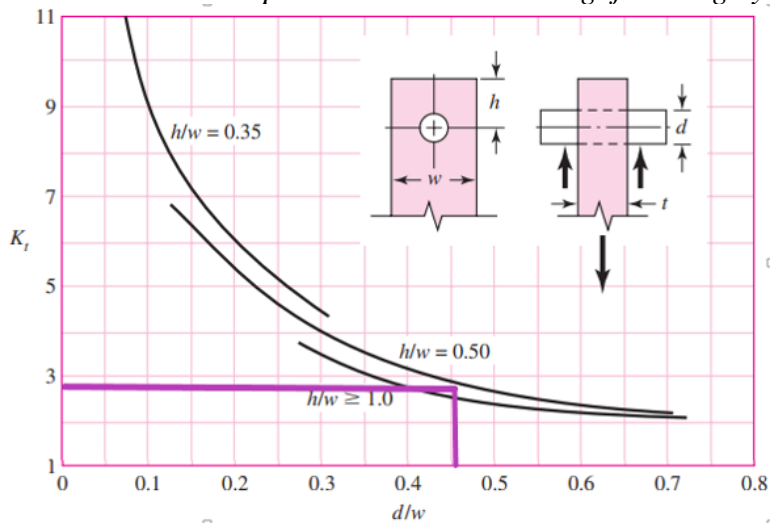


Figura 44

Factores que Modifican el Límite de Resistencia a la Fatiga-shigley

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Tabla 21

Factor de superficie en la paleta Ka_{paleta} , Factor de la condición superficial de Marín-shigley

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ur} , kpsi	S_{ur} , MPa	
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 45

Factor de tamaño Kb_{paleta} -shigley

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

Tabla 22

Factor de temperatura Kd_{paleta} -shigley

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020

Tabla 23

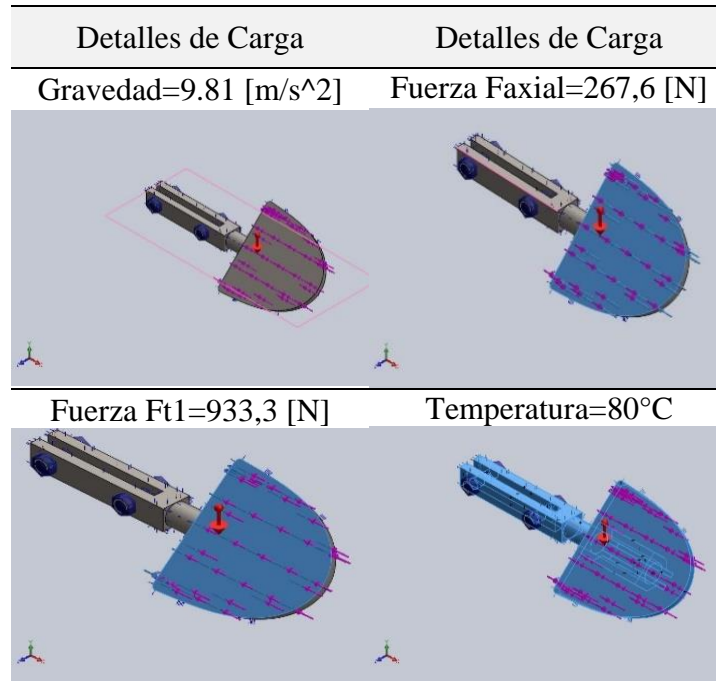
Factor de confiabilidad al 90% Ke_{paleta} -shigley

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_o	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868

4.10.1. Resultado de Estudio de Simulación de Cargas en la Paleta

Figura 46

Cargas aplicadas en la paleta

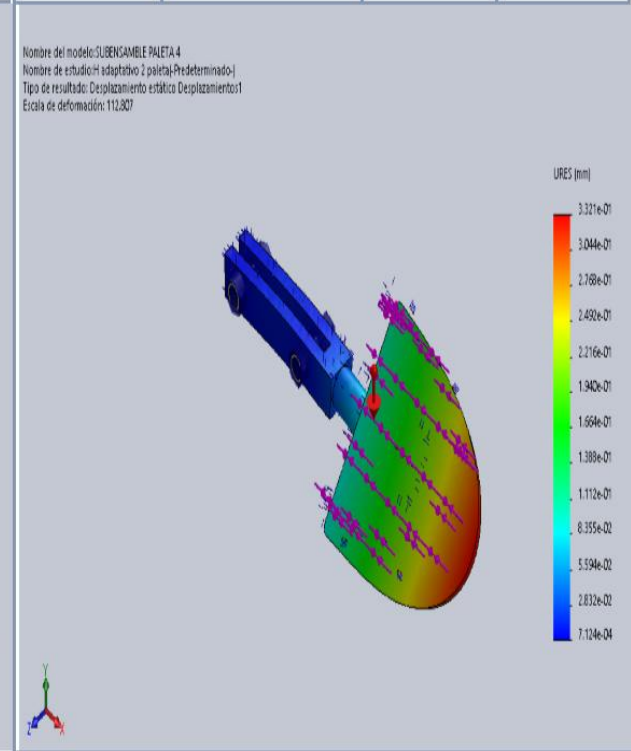
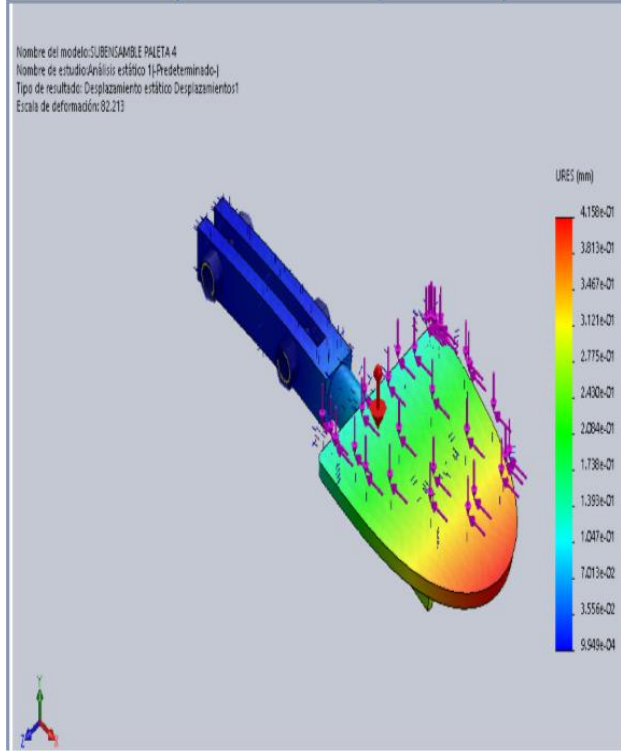


En la figura 47 se muestran las simulaciones debido a las fuerzas en la paleta con un ángulo de giro de cero grados y con un ángulo de giro de 45 grados. De esta manera se puede analizar la configuración más crítica a la que trabaja la paleta.

Figura 47

Desplazamiento y Factor de seguridad en la paleta

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.	Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	9.949e-04 mm	4.158e-01 mm	Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	7.124e-04 mm	3.321e-01 mm
		Nodo: 13101	Nodo: 1378			Nodo: 17149	Nodo: 109



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.	Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1.991e+00	4.641e+02	Factor de seguridad1	Automático	2.063e+00	2.955e+02
		Nodo: 11907	Nodo: 6164			Nodo: 20427	Nodo: 6890

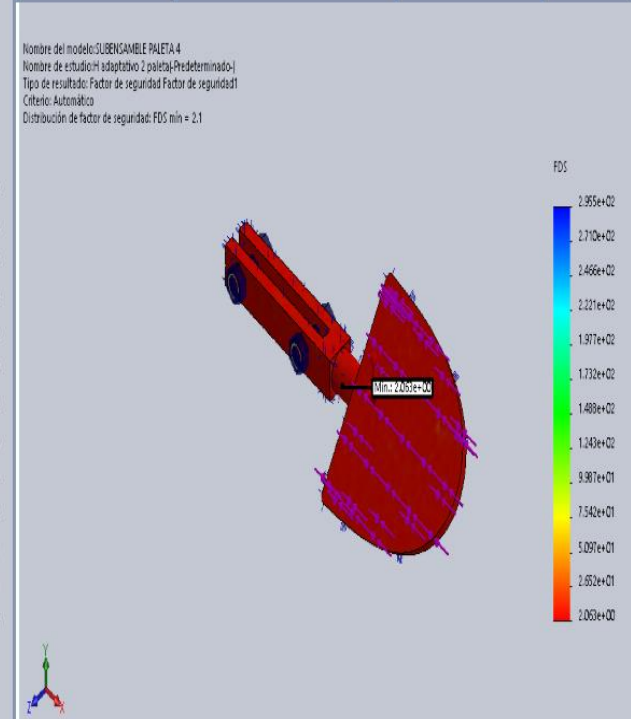
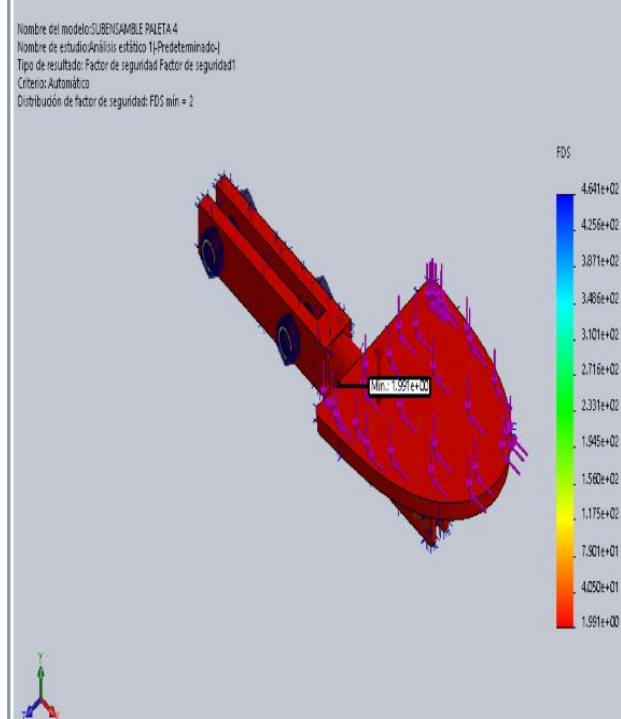
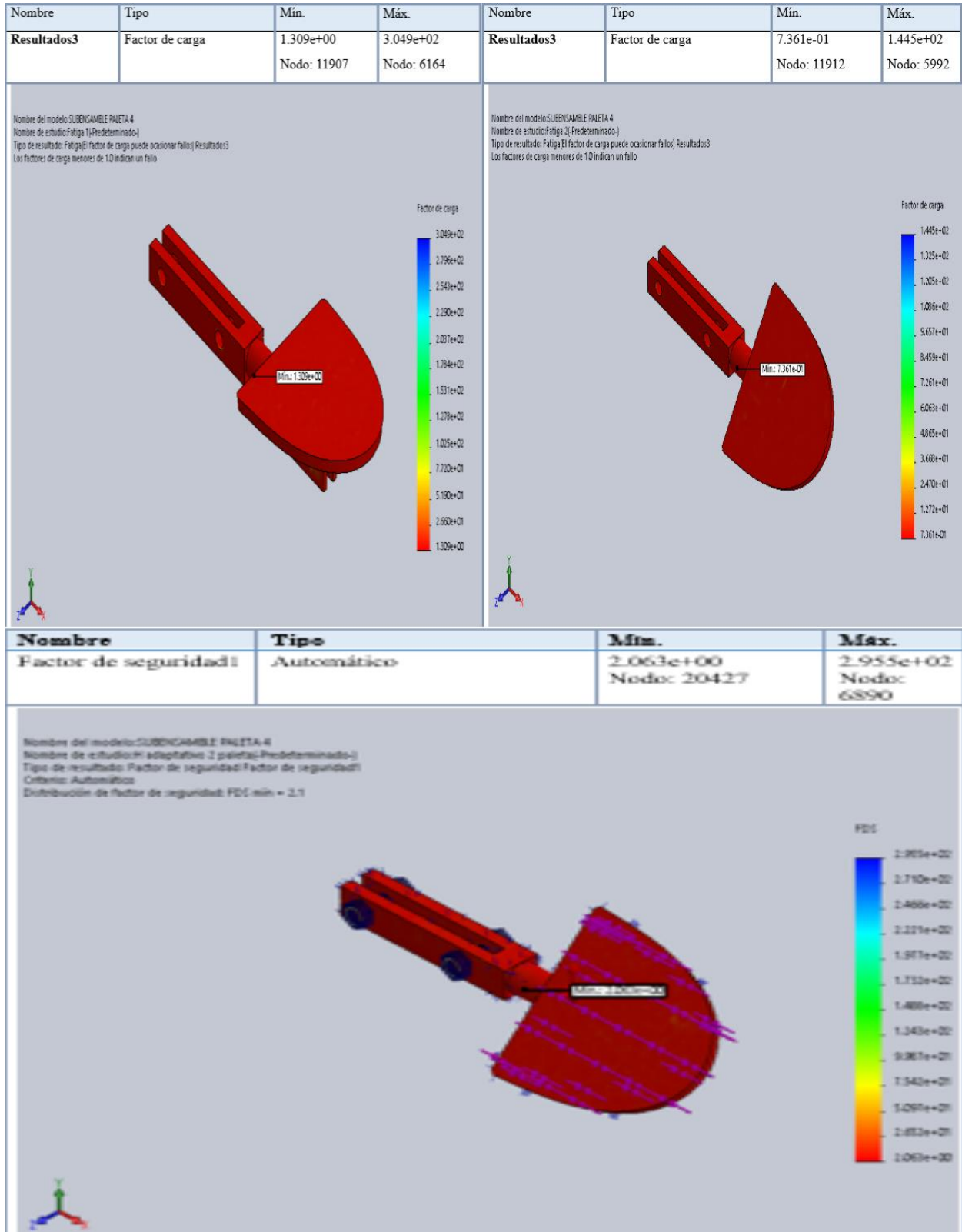


Figura 48

Factor de seguridad en la paleta



4.11. Análisis de los Cálculos para el Diseño del Eje

Figura 49

Diagrama de flujo para la lógica del cálculo de diseño del eje para el sistema de volteo

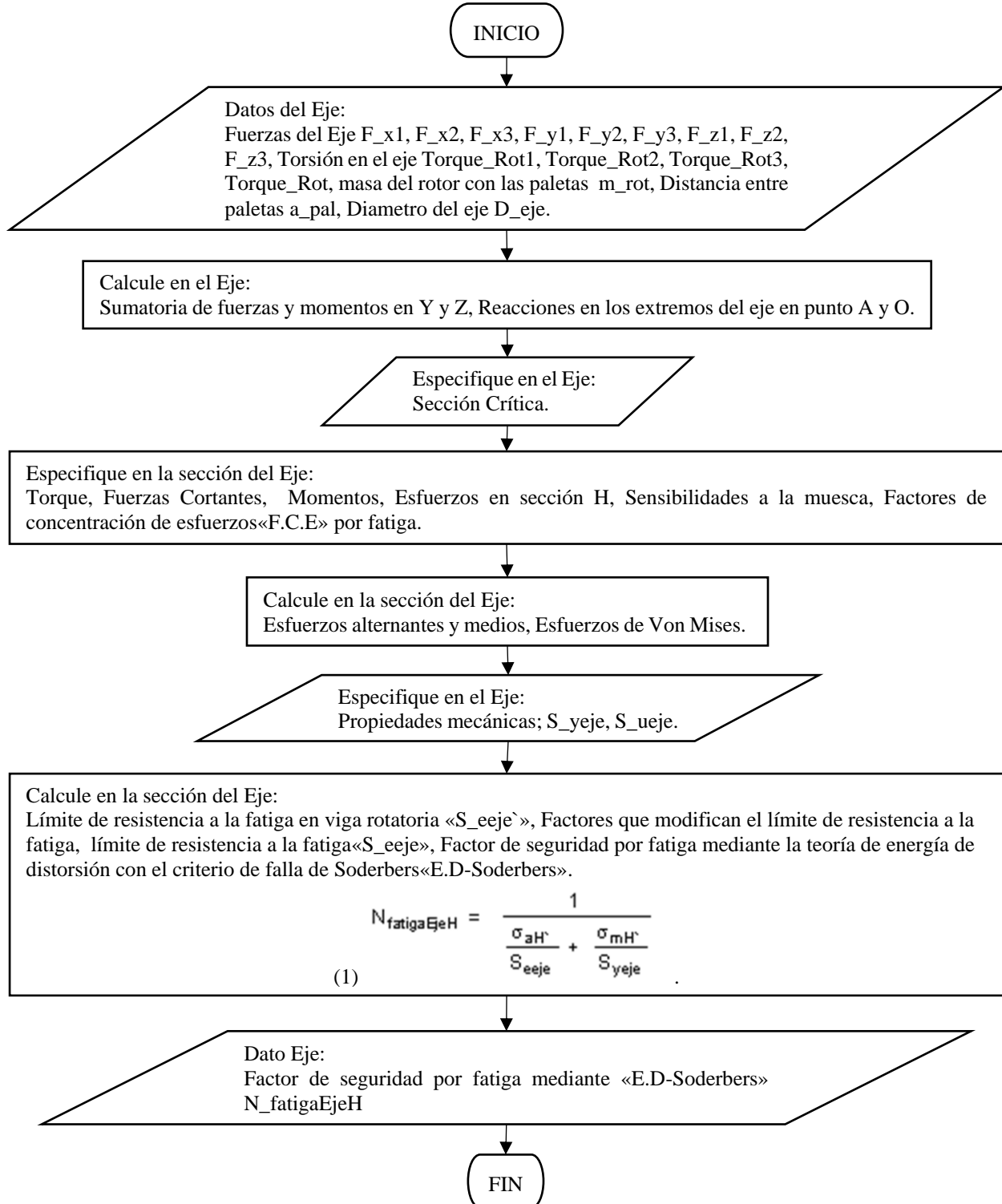
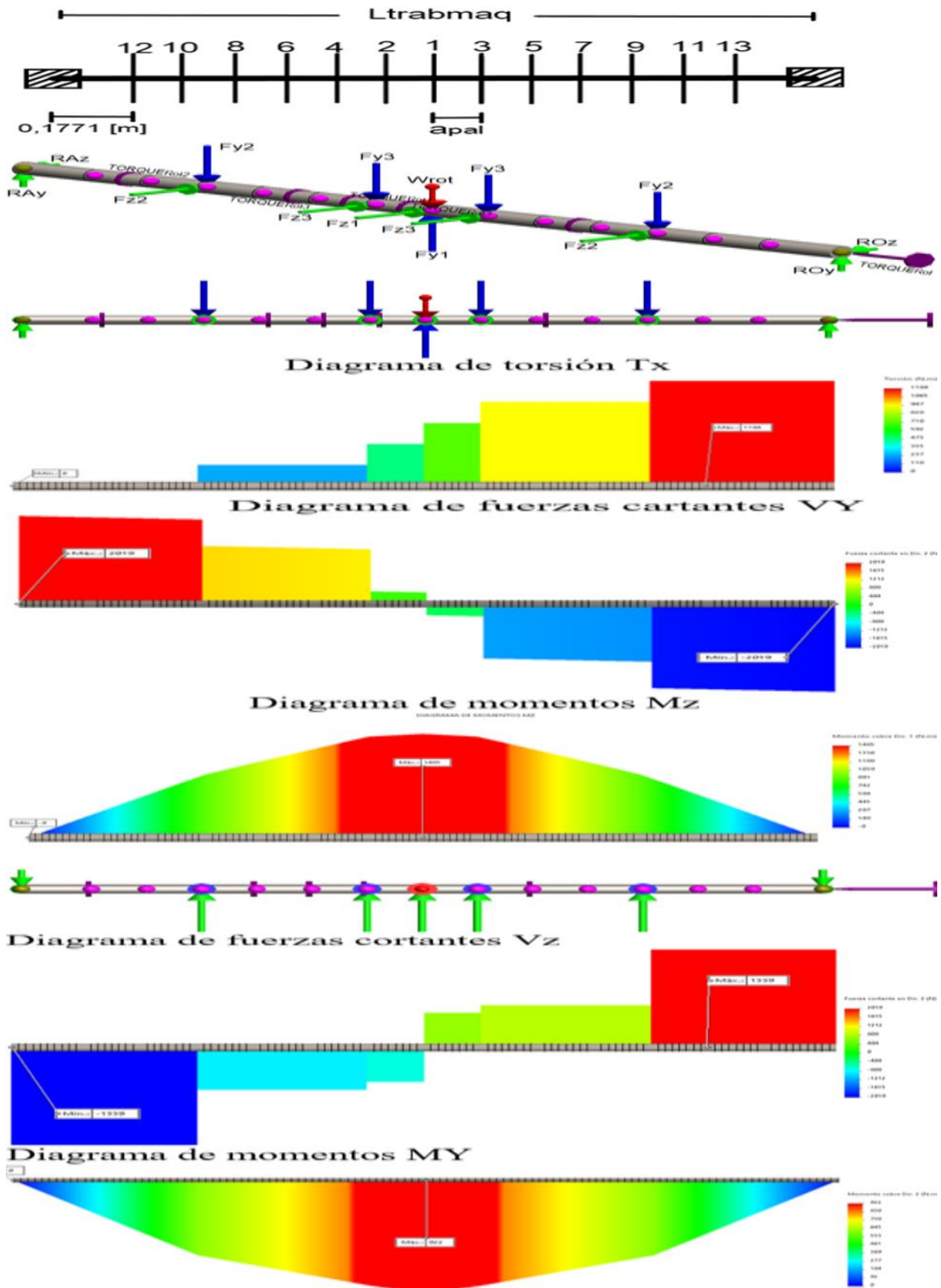


Tabla 24*Variables de entrada y salida relevantes para el cálculo de diseño del eje*

#Ecuación	Variable de entrada	Variable de salida	Valor	Unidad	Descripción
...	a_pal	...	0,14	m	Ancho de paleta y ancho entre paletas
...	D_eje	...	55	mm	Diámetro del eje
...	$F_{x1}=F_{x2}=F_{x3}$	...	0	N	Fuerzas axiales en el eje respecto al eje coordenado x
...	F_{y1}	...	215,4	N	Fuerza cortante en eje coordenado y
...	F_{y2}	...	605,8	N	Fuerza cortante en eje coordenado y
...	F_{y3}	...	965	N	Fuerza cortante en eje coordenado y
...	F_{z1}	...	946,7 N	N	Fuerza cortante en eje coordenado z
...	F_{z2}	...	758,7 N	N	Fuerza cortante en eje coordenado z
...	F_{z3}	...	-106,9	N	Fuerza cortante en eje coordenado z
...	m_rot	...	113,4	kg	Masa del rotor
...	Torque_Rot	...	1183	Nm	Torque total en el rotor
...	S_ueje	...	630	Mpa	Esfuerzo último en el eje
...	S_yeje	...	530	Mpa	Esfuerzo de fluencia en el eje
...	...	MR_H	1722	Nm	Momento de sección crítica H
1	...	$N_{fatigaEjeH}$	1,497	...	Factor de seguridad por fatiga en el eje
...	...	$\sigma_{aH}=\sigma_{mH}$	78,7	Mpa	Esfuerzos de von mises en el eje
...	...	S_eeje	151,5	Mpa	Límite de resistencia a la fatiga en el eje
...	...	S_eeje`	315	Mpa	límite de resistencia a la fatiga en viga (proveta) rotatoria
...	...	Torque_H	710,1	Nm	Torque de sección crítica H

Figura 50*Análisis de fuerzas en el eje*



4.12. Cálculo Para Eje En Una Posición Crítica De La Configuración De Paletas

Figura 51

Diagrama de flujo para el desarrollo de cálculo en el diseño del eje

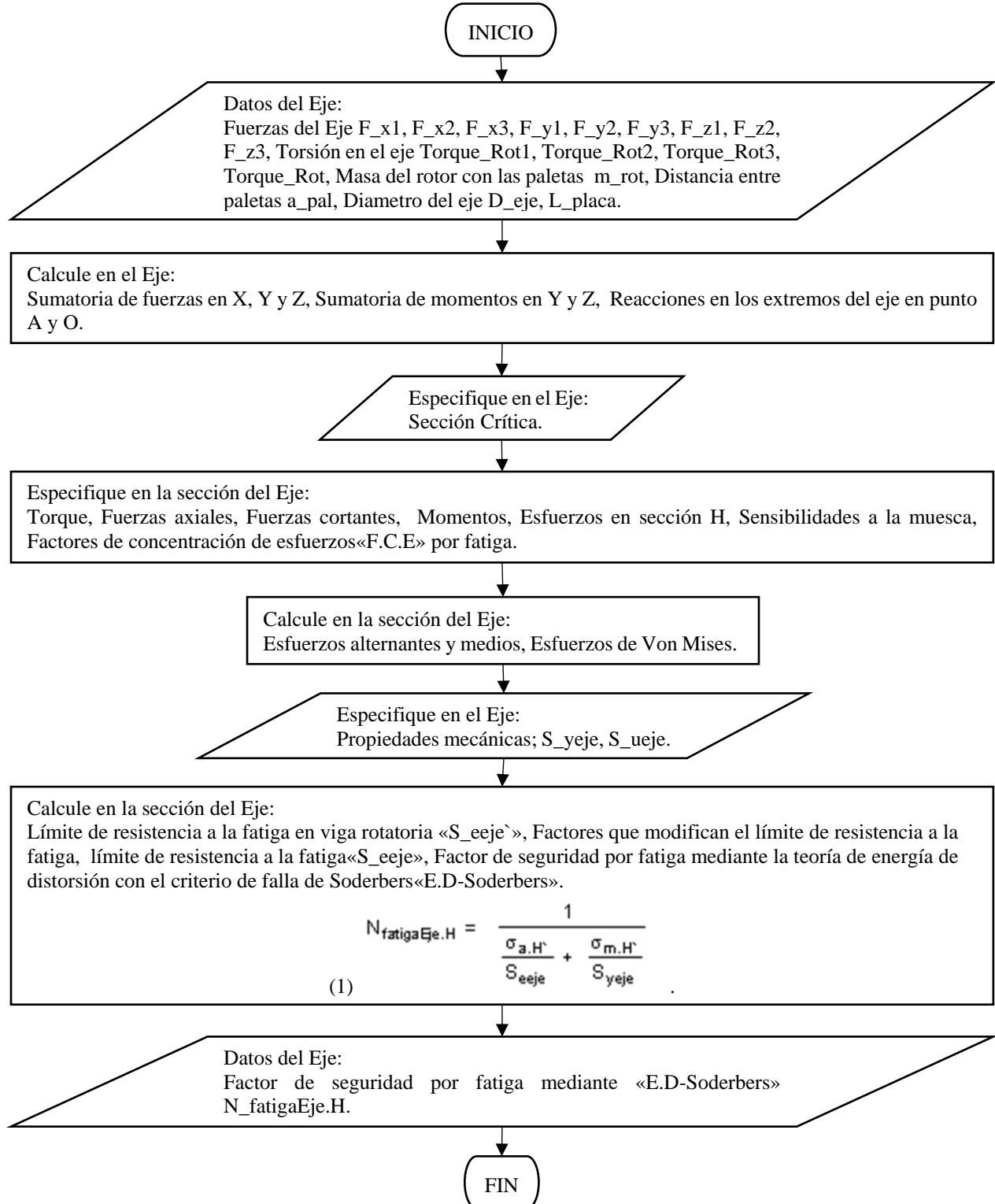


Tabla 25*Variables importantes del Cálculo de diseño del eje*

#Ecuación	Variable de entrada	Variable de salida	Valor	Unidad	Descripción
...	a_pal	...	0,14	m	Ancho de paleta y ancho entre paletas
...	D_eje	...	55	mm	Diámetro del eje
...	$F_{x1}=F_{x2}=F_{x3}$	...	494	N	Fuerzas axiales en el eje respecto al eje coordenado x
...	F_{y1}	...	172,6	N	Fuerza cortante en eje coordenado y
...	F_{y2}	...	286,7	N	Fuerza cortante en eje coordenado y
...	F_{y3}	...	520,6	N	Fuerza cortante en eje coordenado y
...	F_{z1}	...	504,3	N	Fuerza cortante en eje coordenado z
...	F_{z2}	...	449,4	N	Fuerza cortante en eje coordenado z
...	F_{z3}	...	114,4	N	Fuerza cortante en eje coordenado z
...	L_placa	...	145	mm	Longitud de placa cuadrada
...	m_rot	...	113,4	kg	Masa del rotor
...	Torque_Rot	...	756,5	Nm	Torque total en el rotor
...	S_ueje	...	630	Mpa	Esfuerzo último en el eje
...	S_yeje	...	530	Mpa	Esfuerzo de fluencia en el eje
...	...	FHx	1482	N	Fuerza axial al eje en la sección crítica H
...	...	MRH	997,8	Nm	Momento de sección crítica H
1	...	$N_{fatigaEje.H}$	1,543	...	Factor de seguridad por fatiga en el eje
...	...	$\sigma_{a.H}$	76,39	Mpa	Esfuerzo de von mises en el eje
...	...	$\sigma_{m.H}$	76,29	Mpa	Esfuerzo de von mises en el eje
...	...	S_eeje	151,5	Mpa	Límite de resistencia a la fatiga en el eje
...	...	S_{eeje}	315	Mpa	límite de resistencia a la fatiga en viga (proveta) rotatoria
...	...	Torque_H	378,3	Nm	Torque de sección crítica H

Figura 52

Análisis de fuerzas en el eje

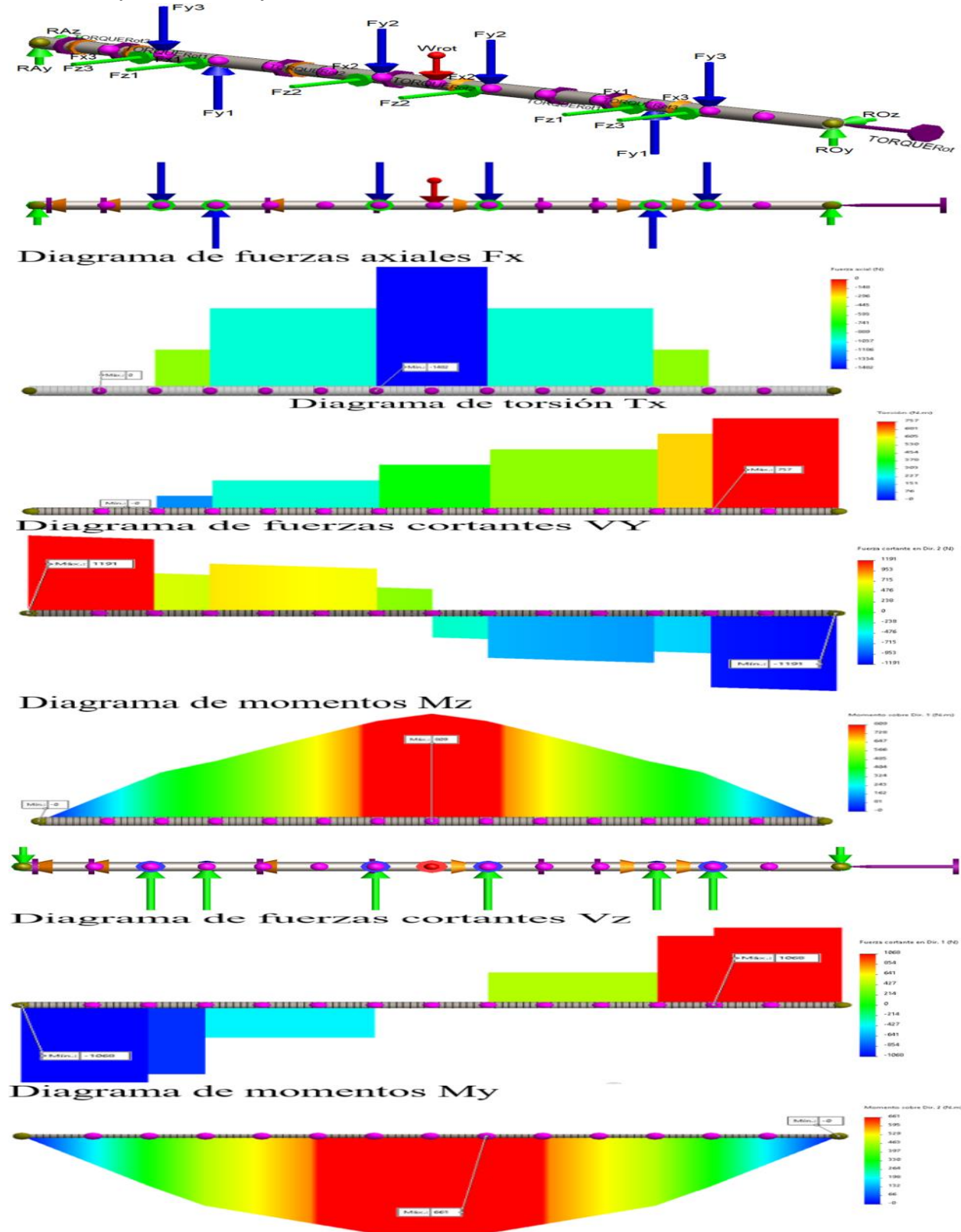


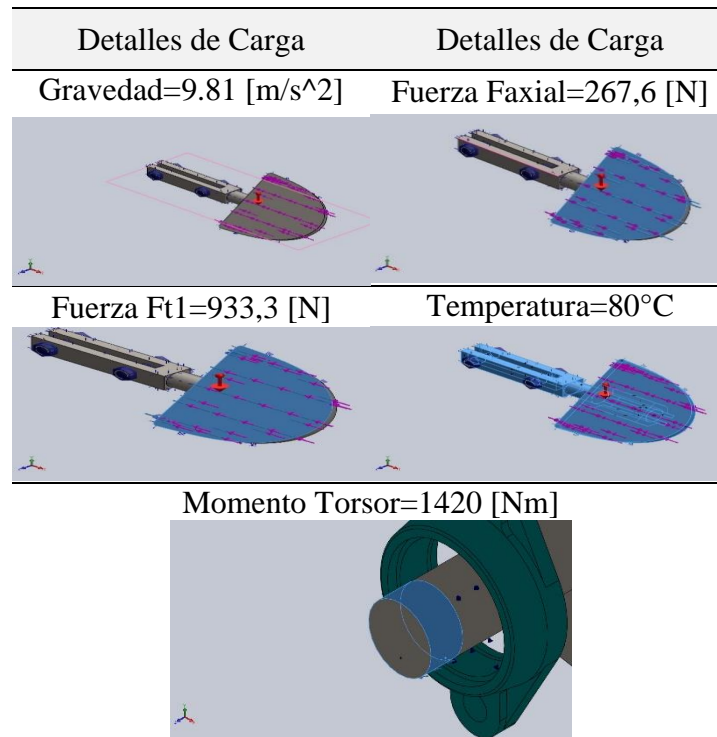
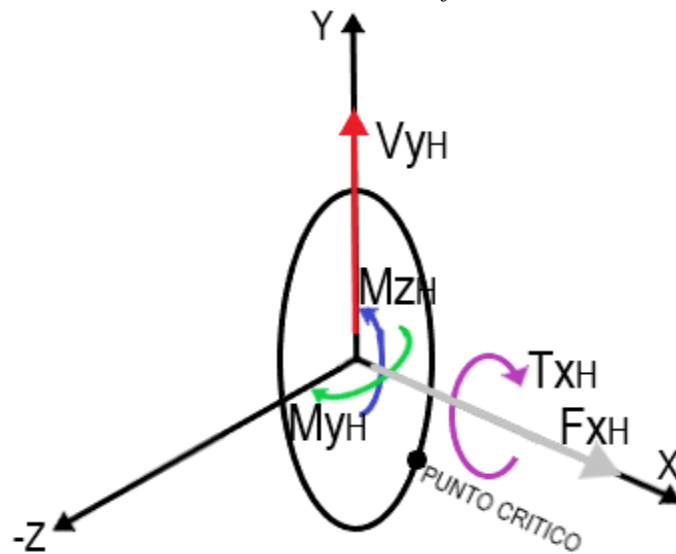
Figura 53*Análisis de cargas transmitidas al eje***Figura 54***Diagrama de cuerpo libre D.C.L de la sección H en el eje*

Figura 55

Análisis de Factor de seguridad de pernos en las chumaceras que soportan el eje y pernos que soportan las paletas conectadas al eje

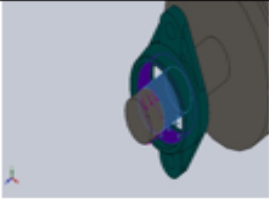
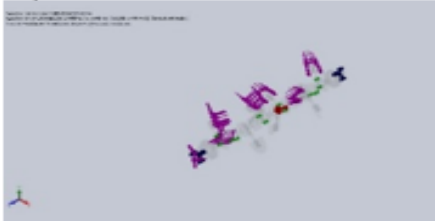
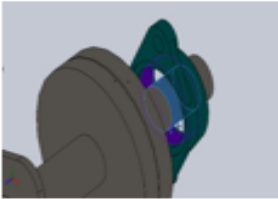

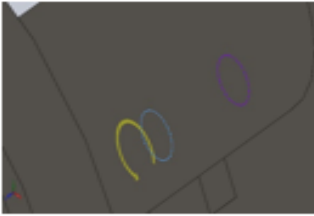

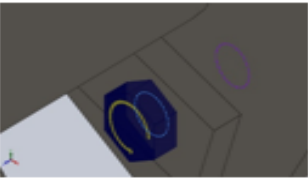

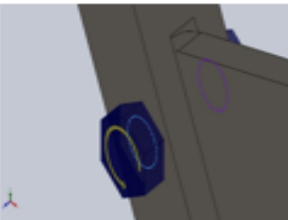

Referencia de modelo	Detalles del conector	Detalles de resistencia						
 Conector de apoyo - 1	Entidades: 2 cara(s) Tipo: Rodamiento 	<table border="1"> <tr> <td>Comprobación de perno:</td> <td>Aceptar</td> </tr> <tr> <td>FDS calculado:</td> <td>3.39402</td> </tr> <tr> <td>FDS deseado:</td> <td>1.2</td> </tr> </table>	Comprobación de perno:	Aceptar	FDS calculado:	3.39402	FDS deseado:	1.2
Comprobación de perno:	Aceptar							
FDS calculado:	3.39402							
FDS deseado:	1.2							
 Conector de apoyo - 2	Entidades: 2 cara(s) Tipo: Rodamiento 	<table border="1"> <tr> <td>Comprobación de perno:</td> <td>Aceptar</td> </tr> <tr> <td>FDS calculado:</td> <td>3.48506</td> </tr> <tr> <td>FDS deseado:</td> <td>1.2</td> </tr> </table>	Comprobación de perno:	Aceptar	FDS calculado:	3.48506	FDS deseado:	1.2
Comprobación de perno:	Aceptar							
FDS calculado:	3.48506							
FDS deseado:	1.2							
 Refrentado con tuerca-1	*Entidades:2 arista(s) *Tipo: Tornillo(Diámetro de la cabeza/tuerca)(Refrentado) *Diámetro de la cabeza: 18.375 mm *Diámetro de tuerca: 18.375 mm *Diámetro del vástago nominal: 12.25 mm *Precarga (Torsión):29 Nm *Módulo de Young:2.1e+11 *Cociente de Poisson:0.28 	<table border="1"> <tr> <td>Comprobación de perno:</td> <td>Aceptar</td> </tr> <tr> <td>FDS calculado:</td> <td>3.42091</td> </tr> <tr> <td>FDS deseado:</td> <td>1.2</td> </tr> </table>	Comprobación de perno:	Aceptar	FDS calculado:	3.42091	FDS deseado:	1.2
Comprobación de perno:	Aceptar							
FDS calculado:	3.42091							
FDS deseado:	1.2							
 Refrentado con tuerca-10		<table border="1"> <tr> <td>Comprobación de perno:</td> <td>Aceptar</td> </tr> <tr> <td>FDS calculado:</td> <td>3.41057</td> </tr> <tr> <td>FDS deseado:</td> <td>1.2</td> </tr> </table>	Comprobación de perno:	Aceptar	FDS calculado:	3.41057	FDS deseado:	1.2
Comprobación de perno:	Aceptar							
FDS calculado:	3.41057							
FDS deseado:	1.2							
 Refrentado con tuerca-22	*Entidades:2 arista(s) *Tipo: Tornillo(Diámetro de la cabeza/tuerca)(Refrentado) *Diámetro de la cabeza:18.375 mm *Diámetro de tuerca: 18.375 mm *Diámetro del vástago nominal: 12.25 mm *Precarga (Torsión): 29 Nm *Módulo de Young: 2.1e+11 *Cociente de Poisson: 0.28 	<table border="1"> <tr> <td>Comprobación de perno:</td> <td>Aceptar</td> </tr> <tr> <td>FDS calculado:</td> <td>3.39523</td> </tr> <tr> <td>FDS deseado:</td> <td>1.2</td> </tr> </table>	Comprobación de perno:	Aceptar	FDS calculado:	3.39523	FDS deseado:	1.2
Comprobación de perno:	Aceptar							
FDS calculado:	3.39523							
FDS deseado:	1.2							

Figura 56

Resultados de simulaciones en el eje

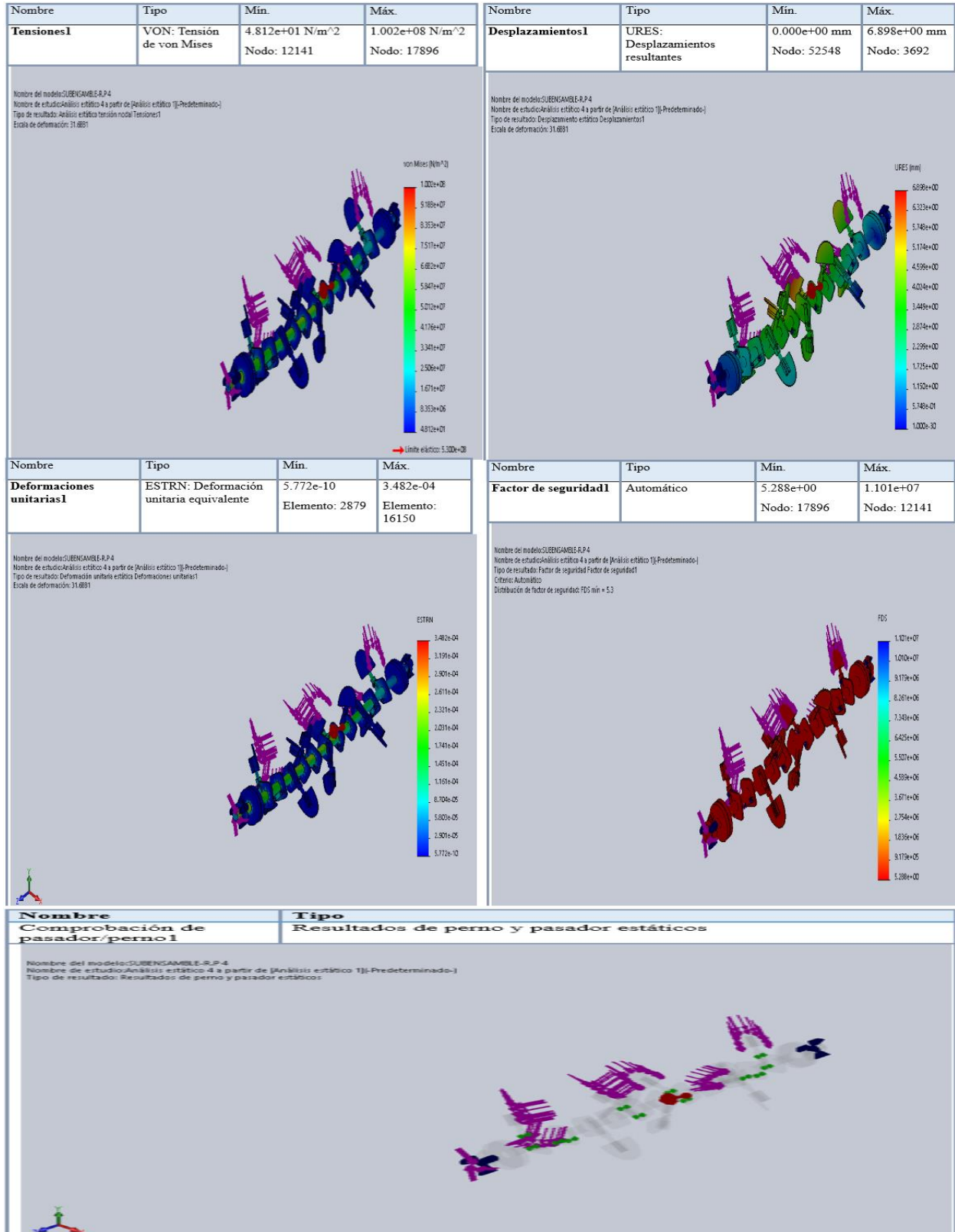
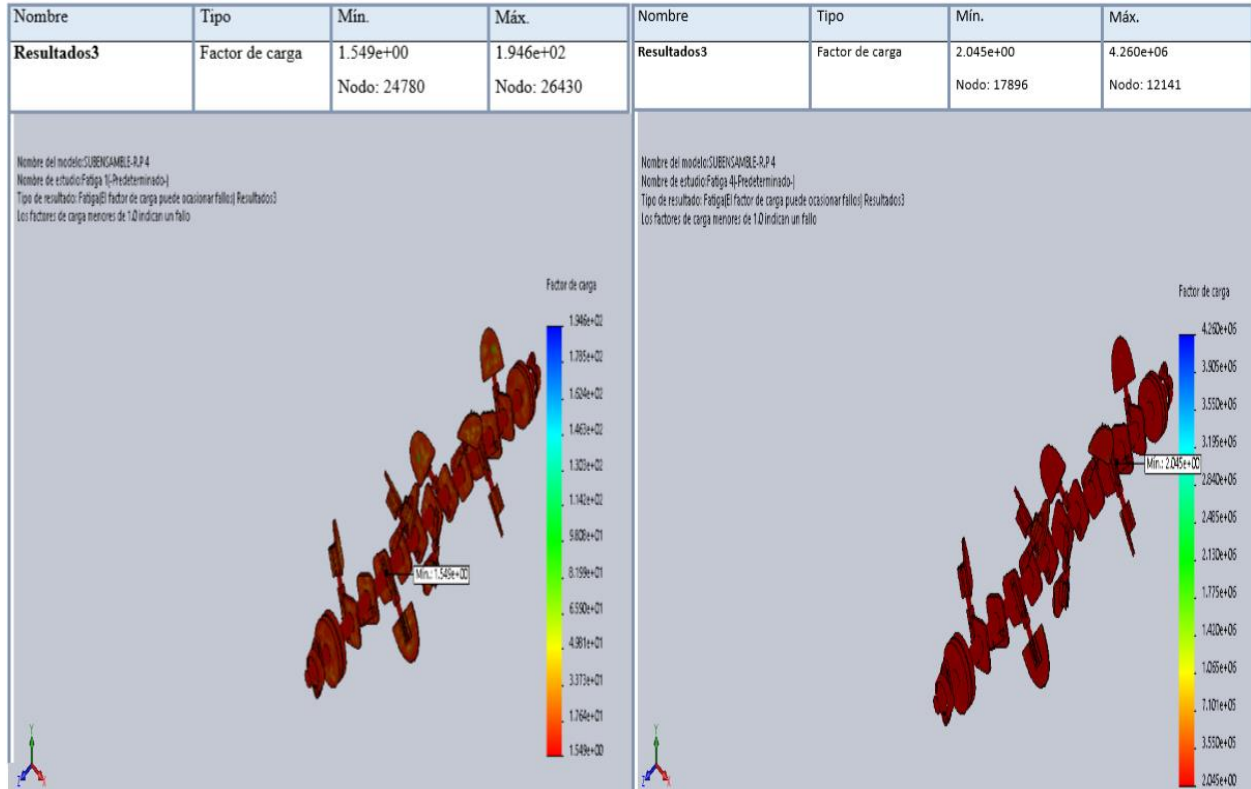


Figura 57

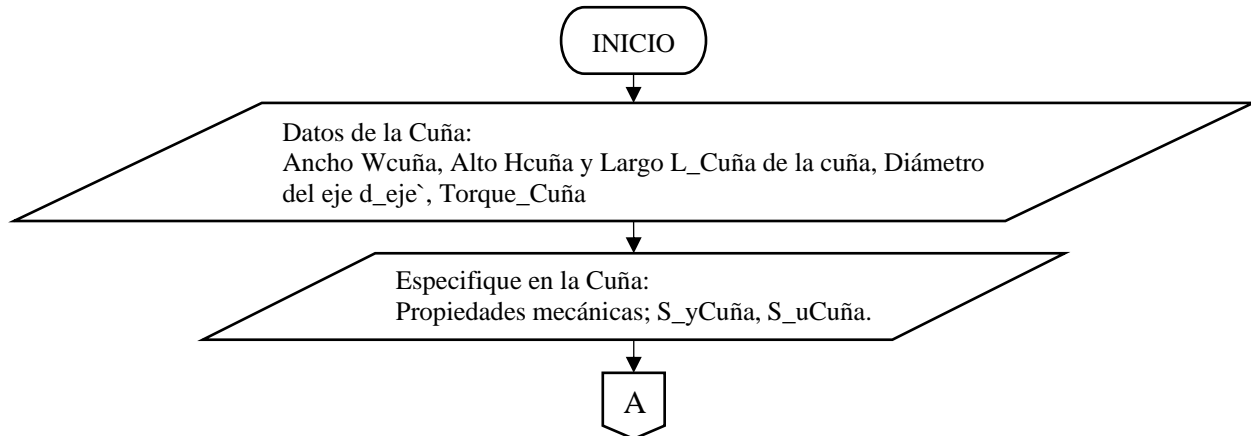
Factor de seguridad del eje



4.13. Análisis del Cálculo de Diseño para la Cuña en el Eje

Figura 58

Diagrama de flujo para el cálculo del diseño de la cuña del eje



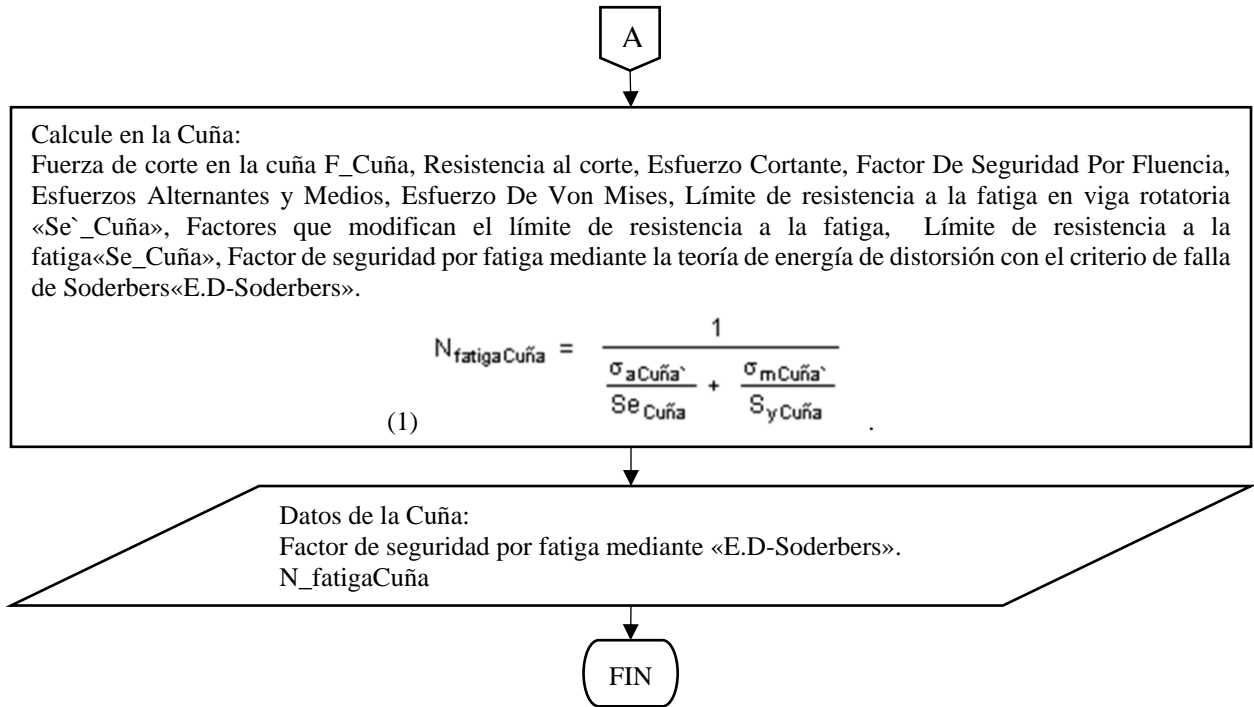


Tabla 26

Variables relevantes en el cálculo del diseño de la cuña

#Ecuación	Variable de entrada	Variable de salida	Valor	Unidad	Descripción
...	d_eje`	...	50	mm	Diámetro del eje
...	Hcuña	...	9	mm	Alto de la cuña
...	L_Cuña	...	33,33	mm	Longitud de la cuña
...	S_uCuña	...	630	Mpa	Esfuerzo último de la cuña
...	S_yCuña	...	530	Mpa	Esfuerzo de fluencia de la cuña
...	Torque_Cuña	...	1420	Nm	Torque de la cuña
...	Wcuña	...	14	mm	Ancho de la cuña
...	...	F_Cuña	56800	N	Fuerza aplicada a la cuña
1	...	N_fatigaCuña	0,9439	...	Factor de seguridad por fatiga en la cuña
...	...	N_fluenciaCuña	2,513	...	Factor de seguridad a la fluencia en la cuña
...	...	Se_Cuña	122,5	Mpa	Límite de resistencia a la fatiga en la cuña
...	...	Se`_Cuña	315	Mpa	límite de resistencia a la fatiga en viga (proveta) rotatoria
...	...	$\sigma_{aCuña}' = \sigma_{mCuña}'$	105,4	Mpa	Esfuerzos de von mises para la cuña

Tabla 27

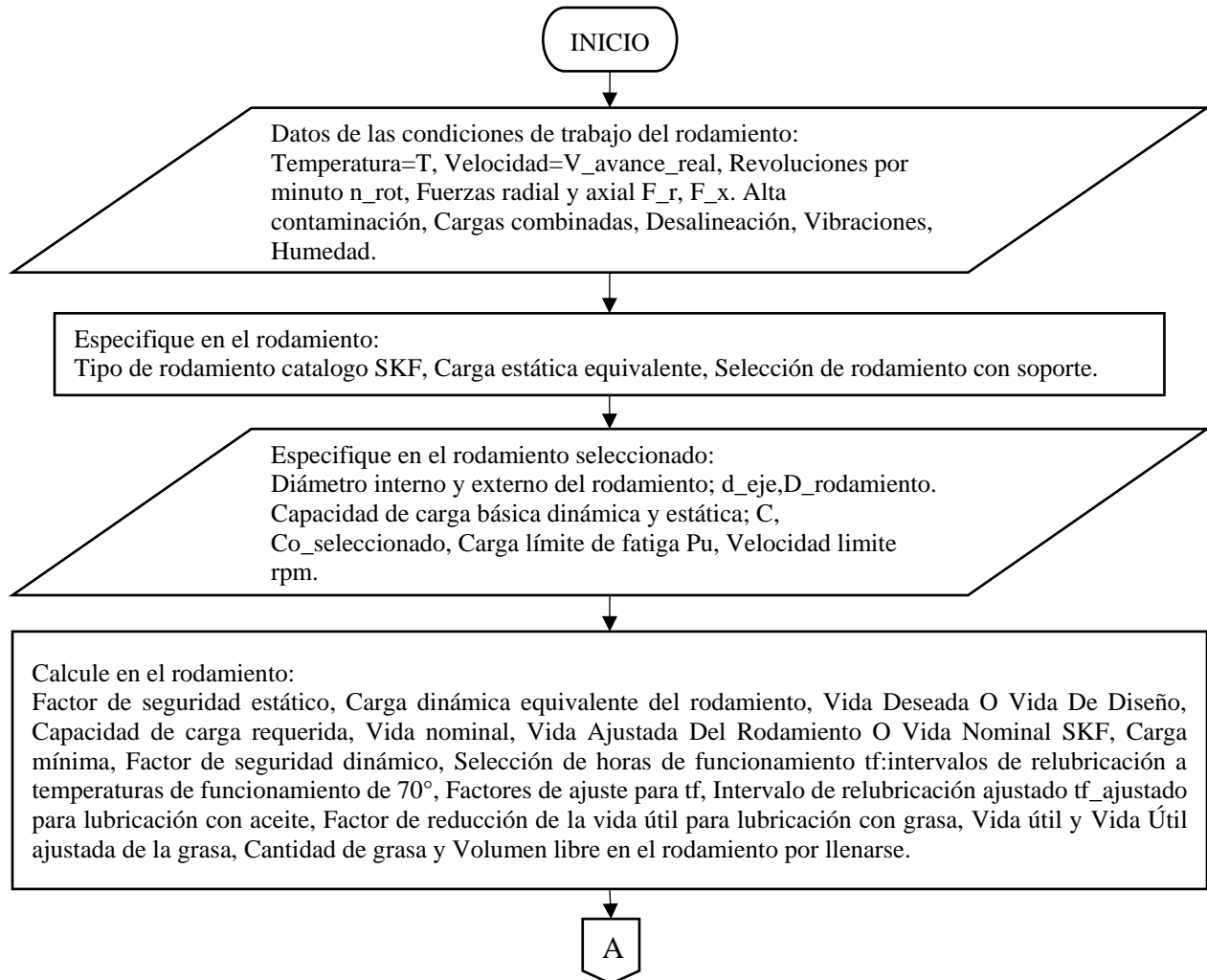
Cuñas estándar medida métrica para ejes y tamaño de tornillos de libro NORTON

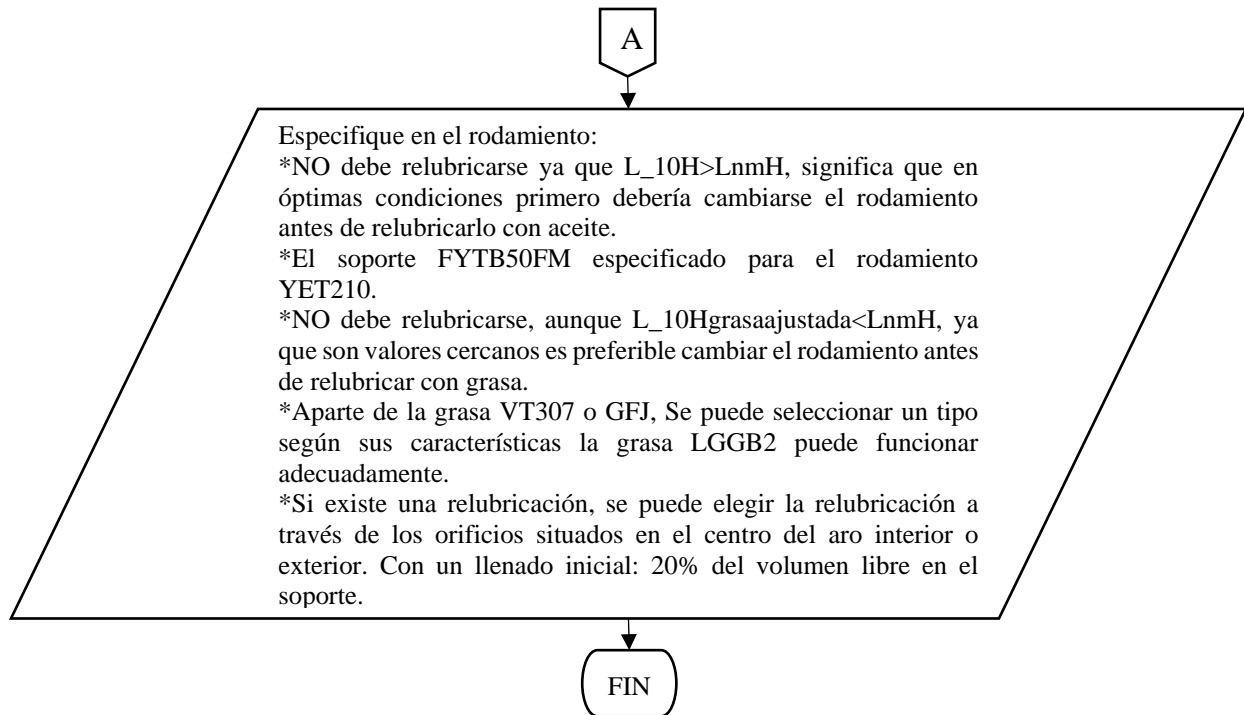
Diámetro del eje (in)	Ancho nominal de la cuña (in)	Diámetro del tornillo prisionero (in)	Diámetro del eje (mm)	Ancho x alto de la cuña (mm)
$1.750 < d \leq 2.250$	0.500	0.500	$38 < d \leq 44$	12 x 8
$2.250 < d \leq 2.750$	0.625	0.500	$44 < d \leq 50$	14 x 9
$2.750 < d \leq 3.250$	0.750	0.625	$50 < d \leq 58$	16 x 10

4.14. Cálculo de Selección de Rodamiento para Soportar el Rotor

Figura 59

Diagrama de flujo del Cálculo de Selección de rodamiento



**Tabla 28**

Variables de entrada y salida importantes en el Cálculo de selección de rodamiento

#Ecuación	Variable de entrada	Variable de salida	Valor	Unidad	Descripción
...	d_eje`	...	50	mm	El Diámetro de eje es el Diámetro interno del rodamiento
...	F_r	...	2,311	kN	Fuerzas radial
...	F_a	...	1,482	kN	Fuerzas axial
...	n_rot	...	270	rev/min	Revoluciones por minuto a las que gira el rotor
...	V_avance_real	...	2,703	km/h	Velocidad de avance real del rotor
...	T	...	80	°C	Temperatura de trabajo
...	...	a_skf	0,4617	...	Factor introducido por SKF
...	...	C	35,1	kN	Capacidad de carga dinámica básica
...	...	Co_seleccionado	23,2	kN	Capacidad de carga estática básica
...	...	D_rodamiento	90	mm	Diámetro externo del rodamiento
...	...	Gp	7,866	g	Cantidad de grasa que se debe añadir durante la reposición
...	...	LnmH	36996	h	Vida nominal SKF

...	...	L_10H	80137	h	Vida nominal
...	...	tf_ajustado	5670	h	Intervalo de relubricación ajustado
...	...	V1	48	mm ² /s	Viscosidad nominal
...	...	V_rodamiento	97,33	cm ³	Llenado inicial de grasa, es decir volumen libre en el rodamiento que debe llenarse en caso de relubricación.

Para el detalle de los cálculos para selección de rodamiento, remítase al Apéndice C. Detalle de Cálculo de Selección de Rodamiento. Y a los datos en medio electrónico donde se incluye en detalle las memorias de cálculo de selección de rodamiento y soporte.

Figura 60

Datos del rodamiento



SKF

YET 210

Rodamiento de inserción con un anillo de fijación excéntrico y aro interior estrecho, diseño PEER

Los rodamientos de inserción se basan en rodamientos rígidos de bolas sellados. Esta versión está pensada para aplicaciones en las que el sentido de giro es constante. Tiene un aro interior estrecho en un lado, con un anillo de fijación excéntrico, lo que permite un montaje rápido y fácil en el eje.

- Diseñados para rotación en un solo sentido
- Rápidos y fáciles de montar en el eje
- Se adaptan a la desalineación inicial estática
- Larga vida útil
- Reducen los niveles de ruido y vibración

Overview

Dimensiones		Rendimiento	
Ancho del aro exterior	22 mm	Capacidad de carga dinámica básica	35.1 kN
Ancho del aro interior	30.2 mm	Capacidad de carga estática básica	23.2 kN
Ancho total	43.7 mm	Velocidad límite	4 000 r/min
Diámetro exterior	90 mm		
Diámetro interno	50 mm		

Propiedades		Propiedades	
Aro de asiento de caucho	Sin	Material, rodamiento	Acero para rodamientos
Característica de relubricación	Con	Recubrimiento	Sin
Elemento de retención, aro interior	Anillo excéntrico	Sellado	Sello en ambos lados
Elementos rodantes	Bolas	Tipo de agujero	Cilíndrico
Extensión del aro interior	On one side	Tipo de sellado	Contacto
Jaula	No metálico	Tipo respecto del aro exterior	Esféricas
Lubricante	Grasa		

Figura 61

Datos del rodamiento

SKF
Generado desde [sitio] el [fecha]



FYTB 50 FM

Unidades de rodamientos de bolas con pestaña ovalada

Los valores dependen del rodamiento incluido:
tabla 1, tabla 2, tabla 3,
tabla 4

Especificación técnica

Cumplimiento con el estándar	ISO
Para un propósito específico	Para aplicaciones de manipulación de materiales
Material del soporte	Fundición
Solución de sellado	Sellos estándares



DIMENSIONES

d	50 mm	Diámetro del agujero
d ₂	62.51 mm	Diámetro exterior del aro interior
A	43 mm	Ancho total
A ₂	15 mm	Ancho de la pestaña
A ₃	3.2 mm	Profundidad del rebaje de centrado
A ₅	33 mm	Ancho incluida la tapa lateral
B ₁	43.7 mm	Ancho total del rodamiento
B ₄	6.75 mm	Distancia de la cara lateral del dispositivo de fijación al centro de la rosca
D ₀₁	107 mm	Diámetro superior externo
D ₀₂	116 mm	Diámetro externo de la base
D _c	101.6 mm	Diámetro del rebaje de centrado del soporte

ORIFICIO ROSCADO

R ₁	1/4-28 UNF	Rosca del soporte para boquilla engrasadora
R ₂	28.5 mm	Posición axial de la rosca del soporte
R ₃	45 °	Posición angular de la rosca del soporte

DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	35.1 kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	23.2 kN
Carga límite de fatiga	P _u	0.98 kN
Velocidad límite con tolerancia de eje h6		4 000 r/min

MASA

Masa de unidad de rodamientos	2 kg
-------------------------------	------

INFORMACIÓN DE MONTAJE

Tornillo de fijación	G ₂	M10x1
Tamaño de llave hexagonal para tornillo de fijación		5 mm
Par de apriete recomendado para el tornillo de fijación		16.5 Nm
Diámetro recomendado para los tornillos de fijación, mm	G	16 mm
Diámetro recomendado para los tornillos de fijación, pulgadas	G	0.625 in

PRODUCTOS INCLUIDOS

Soporte	FYTB 510 M
Rodamiento	YET 210

PRODUCTOS ASOCIADOS

Tapa lateral	ECY 210
--------------	---------

5. Diseño En Detalle Del Sistema De Potencia

5.1. Análisis del cálculo energético del tractor con el dispositivo volteador

Figura 62

Análisis de cálculos de potencia para el tractor con el dispositivo de volteo

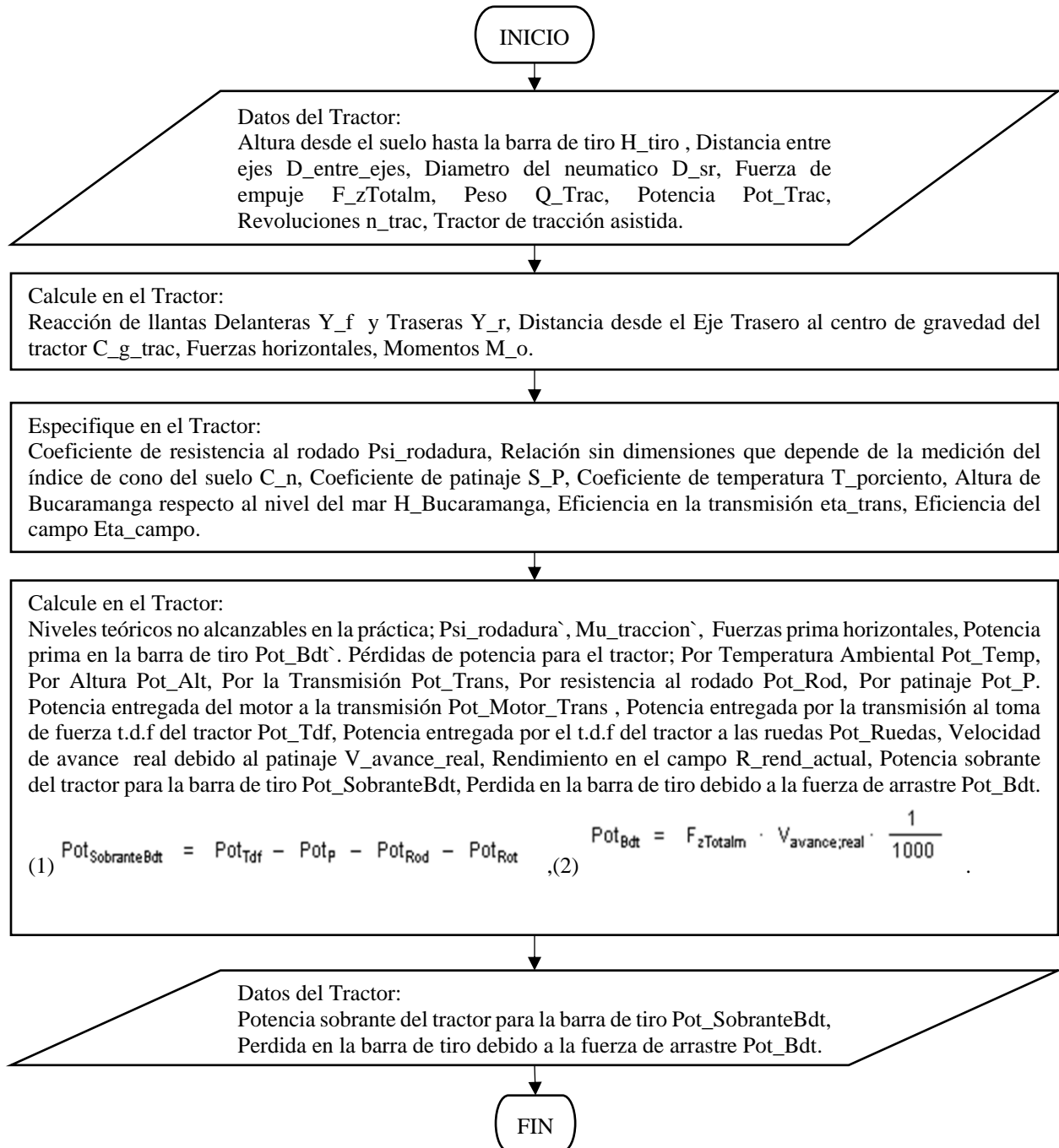


Tabla 29*Variables fundamentales en el cálculo de potencia del tractor con el dispositivo de volteo*

#Ecuación	Variable de entrada	Variable de salida	Valor	Unidad	Descripción
...	D_entre_ejes	...	2,75	m	Paso o Distancia entre ejes
...	D_sr	...	1,552	m	Diámetro del neumático
...	F_zTotalm	...	3625	N	Fuerza de arrastre
...	H_Bucaramanga	...	959	m	Altura de Bucaramanga respecto al nivel del mar
...	H_tiro	...	0,6	m	Altura desde el suelo hasta la barra de tiro
...	n_trac	...	540	rpm	Revoluciones por minuto del toma fuerza del tractor
...	Pot_Rot	...	39,52	kW	Potencia requerida para hacer girar el rotor
...	Pot_Trac	...	81	kW	Potencia del tractor
...	Q_Trac	...	47853	N	Peso del tractor
...	...	Pot_Alt	7,768	kW	Perdida de potencia por altura
2	...	Pot_Bdt	2,721	kW	Perdida de potencia en la barra de tiro debido a la fuerza de arrastre
...	...	Pot_Bdt`	8,019	kW	Perdida de potencia en la barra de tiro debido a F_zTotalm`, representan niveles teóricos no alcanzables en la practica
...	...	Pot_Motor_Trans	70,8	kW	Potencia entregada del motor a la transmisión
...	...	Pot_P	4,126	kW	Perdida de potencia por patinaje
...	...	Pot_Rod	6,467	kW	Perdida de potencia por resistencia al rodado
...	...	Pot_Ruedas	13,75	kW	Potencia entregada por la toma de fuerza del tractor a las ruedas
1	...	Pot_SobranteBdt	3,162	kW	Potencia sobrante del tractor para la barra de tiro
...	...	Pot_Tdf	52,28	kW	Potencia entregada por la transmisión al toma de fuerza del tractor
...	...	Pot_Temp	2,43	kW	Perdida por temperatura ambiental
...	...	Pot_Trans	17,53	kW	Perdida de potencia en la transmisión
...	...	R_rend_actual	0,3849	ha/h	Capacidad de trabajo actual o efectivo

Figura 63

Datos técnicos, dimensiones y peso en el catálogo del tractor

DATOS TECNICOS

MOTOR	LASER 110	LASER 130	LASER 150
Tipo	1006 P	1056 P	1056 PS (sobrealiment.)
Ciclo	DIESEL		
Tiempos	4		
Inyección	DIRECTA		
Cilindros	6		
Disposición de los cilindros	en línea		
Orden de encendido	1-5-3-6-2-4		
Alesaje x carrera (mm)	100x120	105x120	105x120
Cilindrada (cm ³)	5655	6235	6235
Relación de compresión	17:1	17:1	16:1
Régimen de potencia max.	CV CUNA 110 (81 kW)	125 (92 kW)	145 (107 kW)

EMBRAGUE MOTOR - CAMBIO

LASER 110

Monodisco en seco en material orgánico con mando hidrostático.
Diámetro disco: 350 mm

LASER 130-150

Monodisco en seco en material orgánico con mando hidrostático.
Diámetro disco: 350 mm.

EMBRAGUE TOMA DE FUERZA

Independiente de la transmisión.
Material de fricción sinterizado
Tipo de discos en baño de aceite

TOMA DE FUERZA

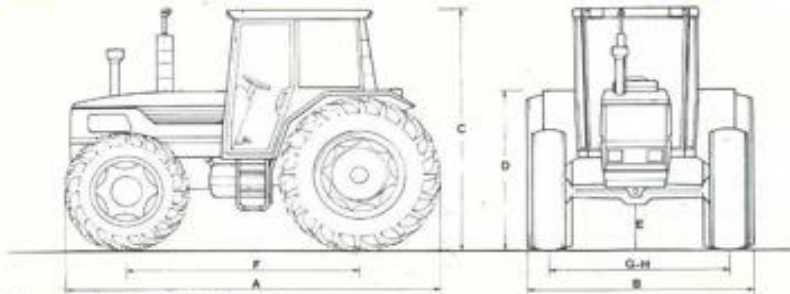
Terminal trasero 1.3/8" de 6 ranuras (540 r.p.m.)

Terminal trasero 1.3/8" de 21 ranuras (1000 rpm - a petición).

DIMENSIONES Y PESOS

LASER 110

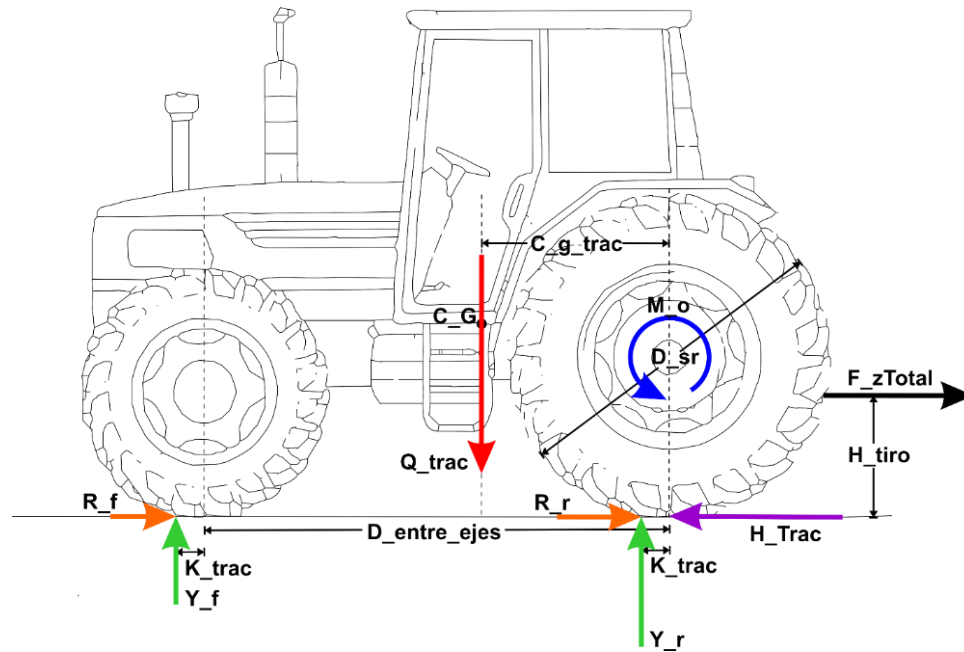
		2 RM	DT
largo máximo sin estevas (A)	mm	4035	5225
ancho (B)	mm	2120 + 2370	2120 + 2730
altura máx. a la cabina (C)	mm	2695	2695
altura máx. al bastidor de seguridad	mm	2655	2655
luz libre desde tierra (E)	mm	600	450
paso (F)	mm	2767	2750
via anterior: (G)			
mínima	mm	1500	1600
básica	mm	1600	1700
máxima	mm	2000	1900
via posterior: (H)			
mínima	mm	1650	1650
básica	mm	1750	1750
máxima	mm	2260	2260
neumáticos: anteriores		7.50-20	16.9/14-24
posterior		18.4/15-34	18.4-15/34
peso del tractor en orden de marcha	kg	4140	4680
con cabina sin pesos con bastidor de seguridad	kg	4330	4880



Dimensiones del tractor

Figura 64

Diagrama de cuerpo libre D.C.L del tractor y algunas dimensiones



Análisis Dinámico Del Tractor de tracción asistida, estas unidades poseen tracción en los dos ejes y dirección en el delantero. Tienen ruedas con neumáticos de tracción, siendo las delanteras de menor diámetro que las traseras. El peso se reparte aproximadamente, un 40% sobre el eje delantero y un 60% sobre el eje trasero. Esto hace que el peso total de la unidad se aproveche en la tracción. Dada esta configuración entre la transmisión y el reparto de peso, el tren delantero asiste al tren trasero en la tracción, lo que permite desarrollar en la barra de tiro una buena toma de potencia.

Figura 65

Análisis dinámico del tractor y algunas dimensiones

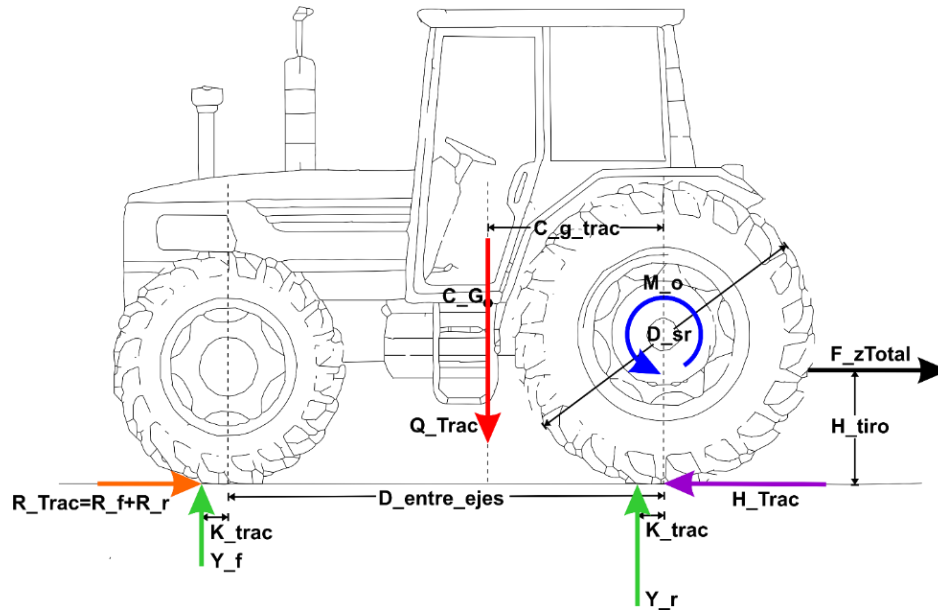


Figura 66

Análisis de fuerzas tractor-dispositivo

El equipo excéntrico de acople integral tiene un efecto inevitable en la maniobrabilidad del tractor, ya que las fuerzas laterales en las llantas traseras y delanteras del tractor son iguales.

En cambio el equipo de tiro normalmente tiene un efecto mucho menor en la maniobrabilidad, ya que la fuerza de arrastre F_{zTotal} que es desplazada causa una fuerza lateral en las llantas del dispositivo $F_{x'}$.

Momentos En El Punto De Intersección De La Línea Central Del Tractor Y El Rotor Del Dispositivo

$$l \cdot F_{x'} = a \cdot F_{zTotal}$$

$$F_{x'} = \frac{a}{l} \cdot F_{zTotal}$$

Momentos Desde El Eje Trasero Del Tractor

$$D_{entre,ejes} \cdot X_f = e \cdot F_{x'}$$

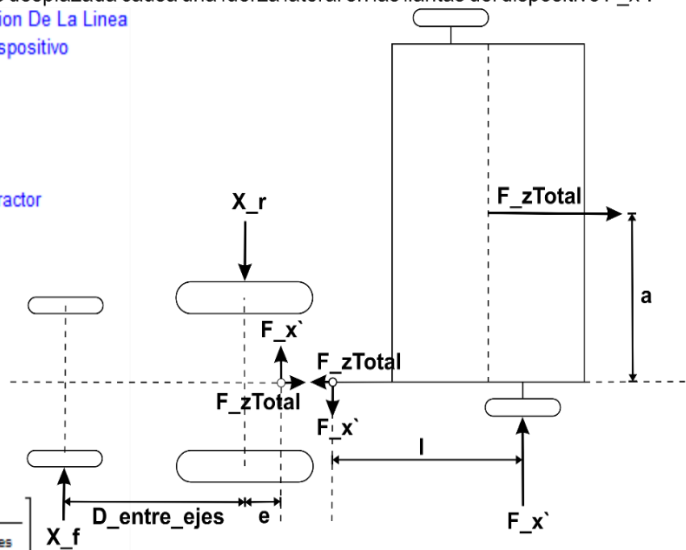
$$X_f = \frac{e}{D_{entre,ejes}} \cdot F_{x'}$$

$$X_f = \frac{e}{D_{entre,ejes}} \cdot \frac{a}{l} \cdot F_{zTotal}$$

Fuerzas laterales

$$X_r = F_{x'} + X_f$$

$$X_r = \frac{a}{l} \cdot F_{zTotal} \cdot \left[1 + \frac{e}{D_{entre,ejes}} \right]$$



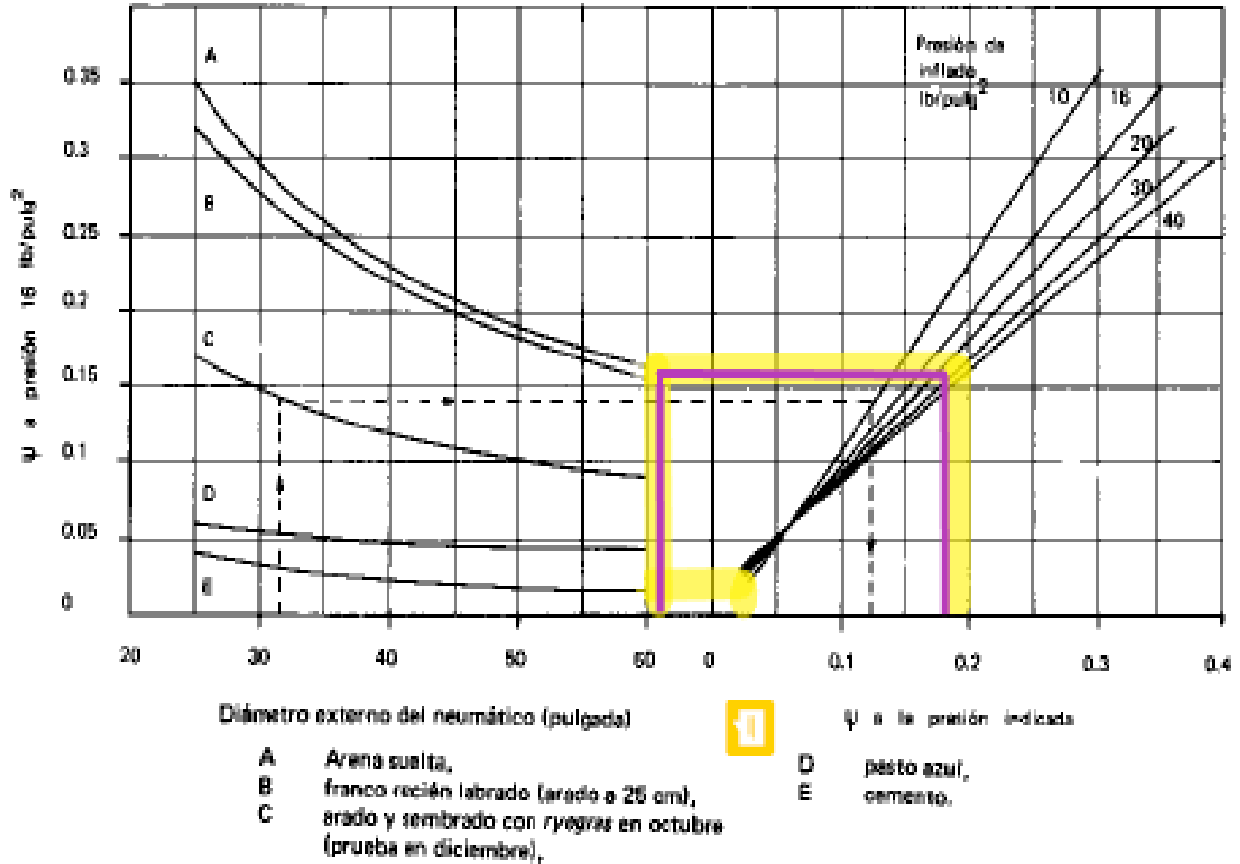
Normalmente la distancia (e) es mucho menor que (l). Se puede decir que la fuerza X_f que afecta la maniobrabilidad del tractor es menor para el equipo de acople integral (equipo de tiro) que para el equipo excéntrico de acople integral.

El equilibrio lateral de las fuerzas del tractor da la fuerza lateral X_r de la llanta trasera. Las dificultades en la dirección del tractor debido a las fuerzas laterales en las llantas del tractor, dependen de la magnitud de la fuerza de arrastre F_{zTotal} y el arreglo geométrico.

$\Psi_{\text{rodadura}}=(0,03-0,18)$ el coeficiente de la resistencia al rodado se encuentra en este rango según el suelo, el diámetro de la llanta y la presión de inflado el más crítico sería $\Psi_{\text{rodadura}}= 0,18$.

Figura 67

Coeficiente de la resistencia al rodado



Para un neumático goodyear para tractor con diámetro externo de $1,552\text{m}=61,102\text{pul}$ con una presión de aire o presión de inflado de 20psi el cual es menor que el que está en el catálogo del tractor con $1,6\text{bar}=23,206\text{ psi}$.

Figura 70

Análisis de fuerzas en el neumático y el ángulo de rodadura

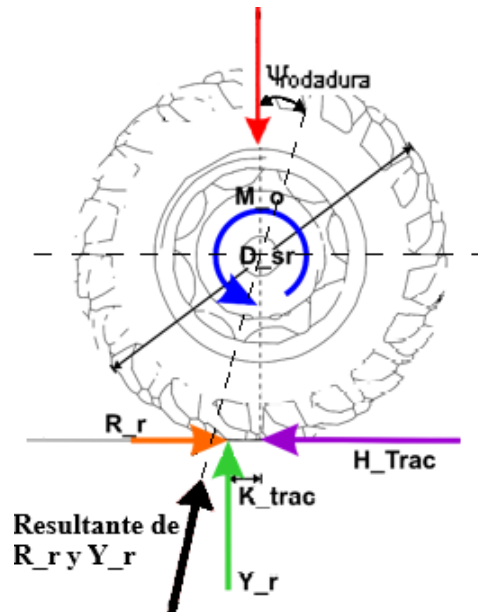


Figura 71

Perdida De Potencia Teórica "No Alcanzable En La Práctica" En La Barra De Tiro

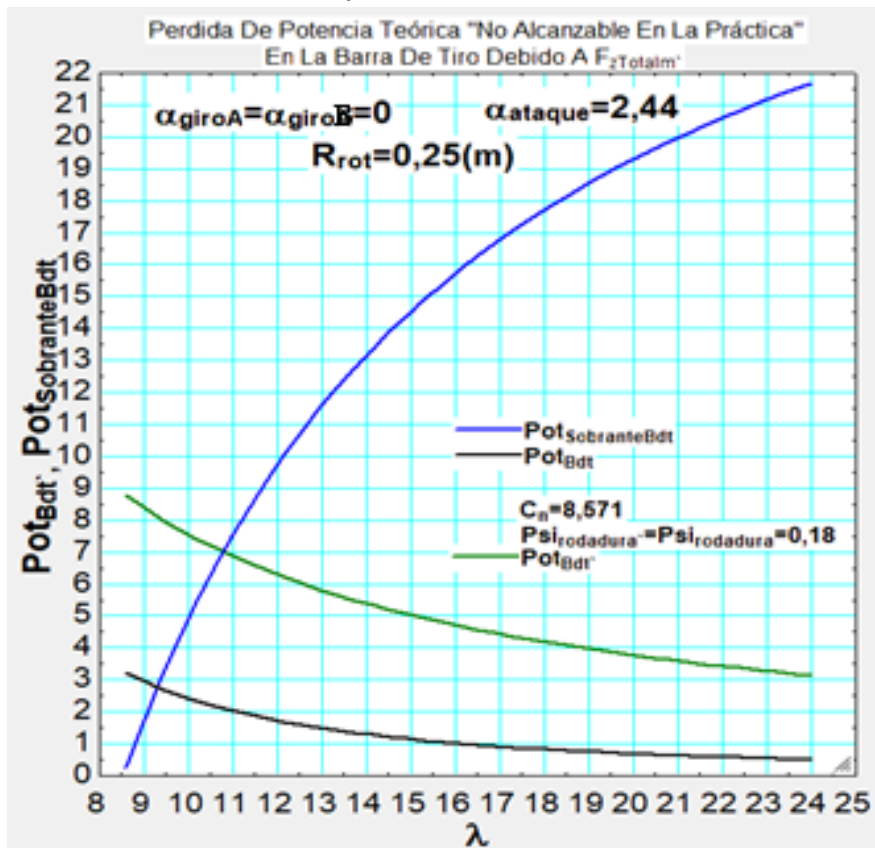
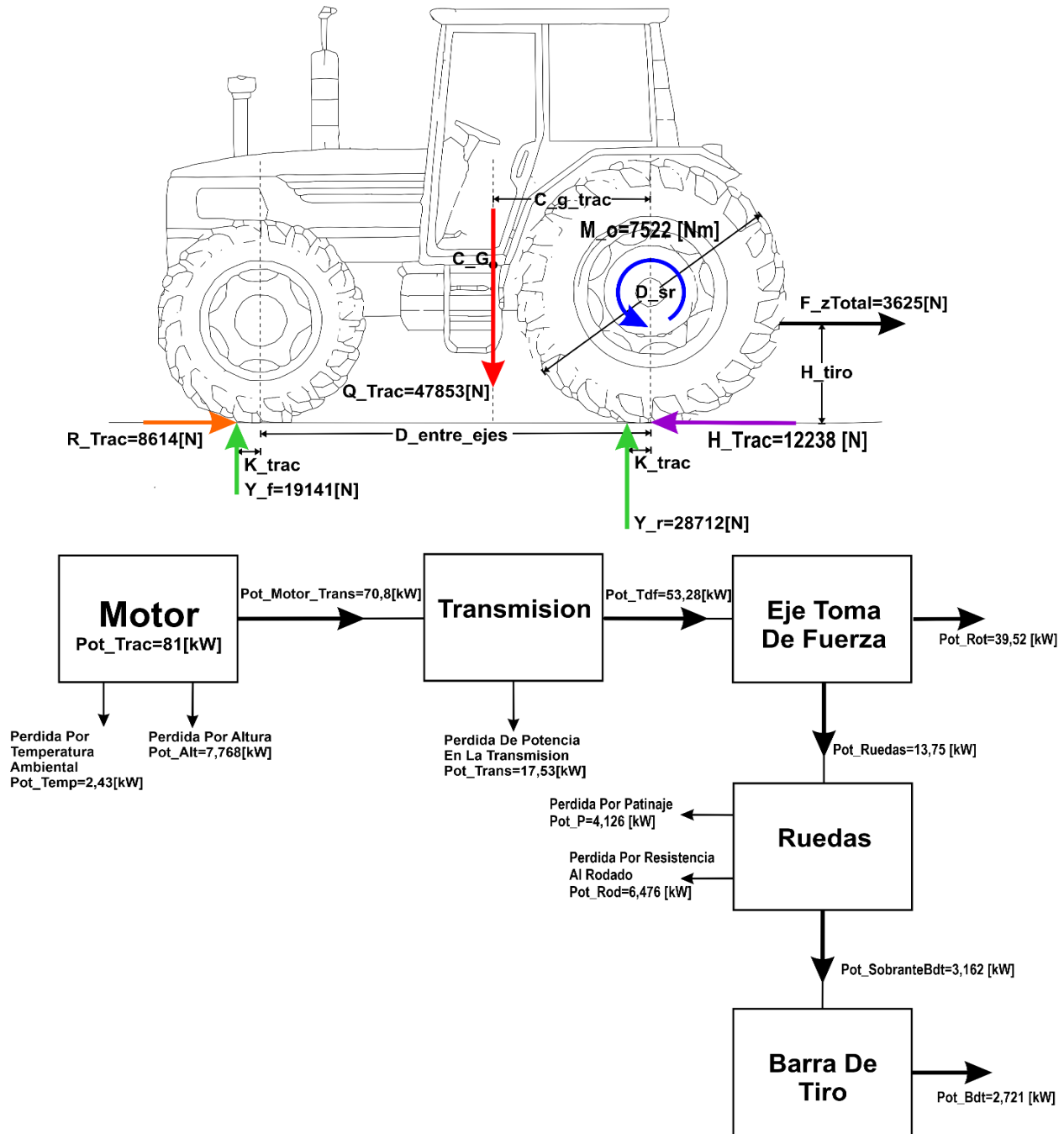


Figura 72

Análisis de Fuerzas y Energía del Tractor



rendimiento efectivo o rendimiento en el campo, la eficiencia de campo E_{ta_campo} es influenciada por la naturaleza del suelo, la topografía, la forma del campo, la densidad y condición del cultivo y la experiencia del operador, estos factores se consideran al seleccionar un valor.

Eficiencia de campo

$$\eta_{\text{campo}} = 0,7$$

Capacidad de trabajo teórico

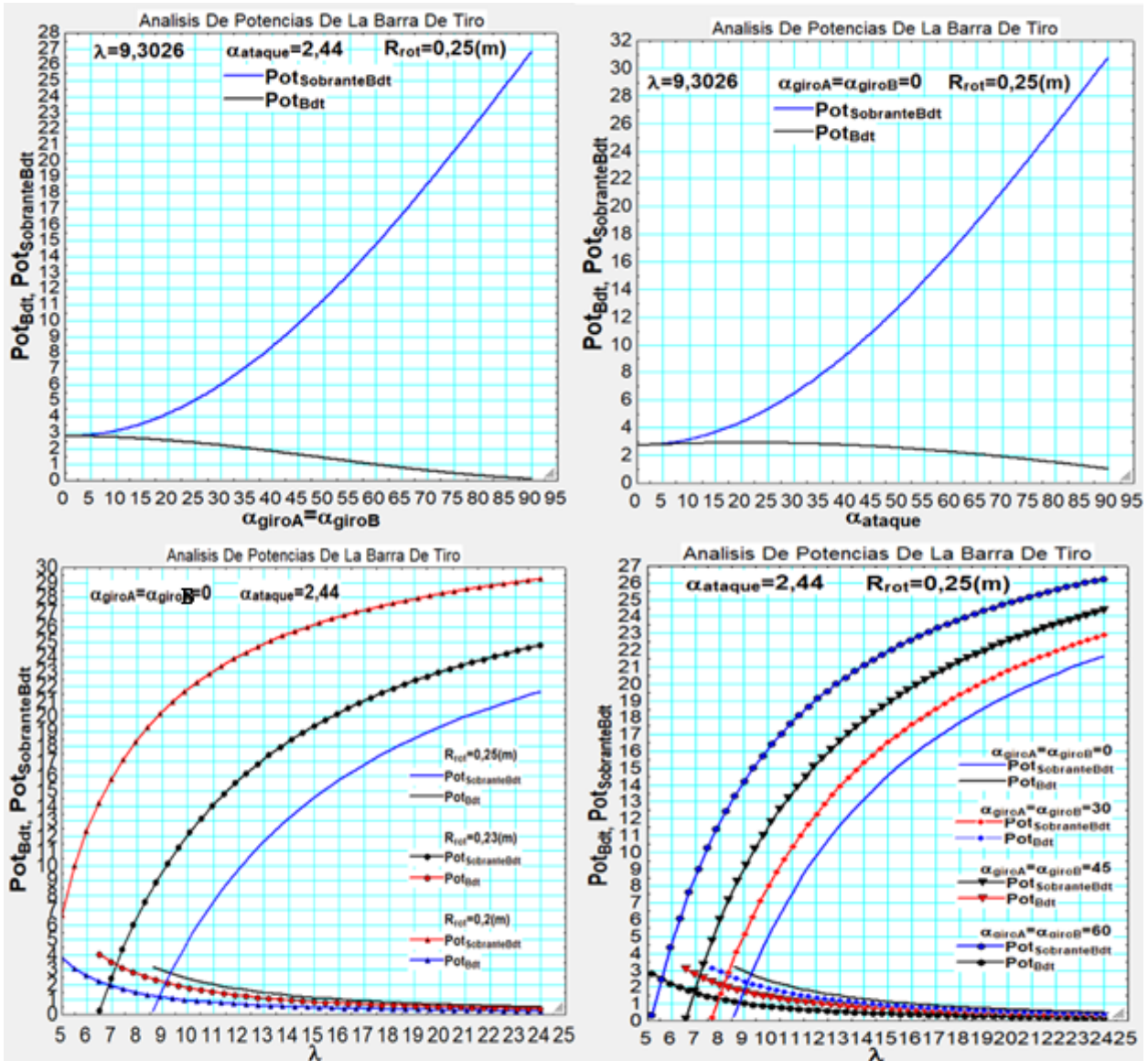
$$R_{\text{rend;teorico}} = 3600 \cdot V_{\text{avance;real}} \cdot L_{\text{trab;maq}} \cdot \frac{1}{10000} \cdot 1 \text{ [ha/h]}$$

Capacidad de trabajo actual o efectivo

$$\eta_{\text{campo}} = \frac{R_{\text{rend;actual}}}{R_{\text{rend;teorico}}}$$

Figura 73

Análisis de potencia



5.2. Selección de Cardan

La selección de Cardan se hace mediante el Catálogo de la empresa FICOPA-servicardan.

Torque de entrada en el reductor de velocidad Torque Operativo del Cardan

$$\text{Torque}_{\text{Ereductor}} = \frac{\text{Torque}_{\text{Rot}}}{n_{\text{reduccion}}} \quad \text{Torque}_{\text{OCardan}} = \text{Torque}_{\text{Ereductor}}$$

Para una Capacidad De Carga Dinámica igual a $n_{\text{trac}} = 540$ [rev/min], una Potencia de funcionamiento $\text{Pot}_{\text{Rot}} = 40$ [kW] y un Torque operativo $\text{Torque}_{\text{OCardan}} = 707$ [Nm] se tiene:

1) Verificar que la potencia del Cardan seleccionado del catálogo sea mayor que la potencia de funcionamiento, $\text{Pot}_{\text{Cardan}} > \text{Pot}_{\text{Rot}}$

Potencia del Cardan Seleccionado del Catalogo

$$\text{Pot}_{\text{Cardan}} = 47 \text{ [kW]}$$

"Se cumple que $\text{Pot}_{\text{Cardan}} > \text{Pot}_{\text{Rot}}$ "

2) Verificar que $\text{ParTorque} > \text{Torque}_{\text{OCardan}}$

$$\text{ParTorque} = 830 \text{ [Nm]}$$

"Se cumple que $\text{ParTorque} > \text{Torque}_{\text{OCardan}}$ "

3) Nomenclatura del Cardan seleccionado

-CARDAN SERIE: 2230-TIPO:PT

Figura 74

Selección de cardan

Serie Series	Cruz U/Joint	Tubos Tubes		Capacidad de carga dinámica * Dynamic load capacity *						
				540 rpm			1000 rpm		Max.	
				Potencia Power	Par Torque	Potencia Power	Par Torque			
	E x L	J x e	J x e	Kw	Hp	Nm	Kw	Hp	Nm	Nm
2128	27,0x74,6	36 x 4	43x3	26	35	460	40	54	380	780
2130	30,2x80,0	45 x 4	52 x 3	35	47	620	54	74	520	1050
2230	30,2x92,0	45 x 4	54 x 4	47	64	830	74	101	710	1450
2132	30,2x106,5	45 x 5	54 x 4	55	75	970	87	118	830	1800

5.3. Reductor de Velocidad

Para la selección mediante un catálogo de reductores, se necesitan tener las siguientes características técnicas:

Potencia transmitida por el reductor

$$Pot_{reductor} = Pot_{Rot}$$

Torque de salida del reductor

$$Torque_{Rot} = 1414 \text{ [Nm]}$$

$$Torque_{Sreductor} = Torque_{Rot}$$

RPM de entrada al reductor

$$n_{trac} = 540 \text{ [rev/min]}$$

RPM de salida en el reductor

$$n_{Sreductor} = n_{rot}$$

$$n_{Ereductor} = n_{trac}$$

Relación de Reducción de velocidad

$$n_{reduccion} = \frac{n_{Ereductor}}{n_{Sreductor}} \quad "n_{reduccion}=2"$$

Mediante los datos anteriores se puede ir al Catálogo de grupos motrices de reducción de la empresa Industrias F.A.M.A en la pag.73 y seleccionar el reductor de velocidad óptimo para la aplicación de volteo. En este caso puede ser el Modelo: CREN48 Tipo:IB pero el Torque de salida del Catálogo del reductor seleccionado, es menor que el Torque de salida del reductor $Torque_{Sreductor} = Torque_{Rot}$ por esa razón no es óptimo.

-Selección Mediante La Placa De Características Del Reductor De Velocidad:

Se encuentran tres reductores de velocidad en el hangar del agroparque, se busca la placa de características y referencias de los reductores pero no se encuentran o no era visible la información. Sin embargo, se comprueba la relación de reducción $n_{reduccion}$ de estos reductores mediante experimentación al dar una revolución al eje de entrada y ver las revoluciones de giro del eje de salida. De lo anterior dos de los tres reductores cumplen con el requisito de $n_{reduccion}=2$. También se analiza el funcionamiento de los reductores según la aplicación de

cada máquina a la que están ensamblados y se pregunta al personal del hangar acerca del comportamiento de cada máquina.

Se comprueba que los reductores son de 90° como los del Catálogo de grupos motrices de reducción, que son del mismo tipo de reductor, que operan ensamblados a máquinas agrícolas de arado y trabajo de tierra con torques parecidos o mayores a los de la aplicación deseada de volteo de compost. Por tales argumentos, se concluye que los 2 reductores de velocidad encontrados en el hangar son aptos y sirven para el dispositivo de volteo de residuos orgánicos para el compostaje.

Figura 75

Reductor de velocidad con cardan que se encuentra en el hangar del agroparque



Con un índice de reducción de $i=2$ se selecciona un reductor de engranes cónicos del hangar.

5.4. Selección del Tipo de Acoplamiento

Selección del tipo de acoplamiento entre rotor y reductor que sea correcto para la aplicación mediante un catálogo de acoplamientos.

"Catálogo de acoplamientos de disco flexible Thomas – Rexnord FALK"

1) Tipo De Acoplamiento

Tipo: AMR "catalogo pag.3"

2) Torque Operativo De La Aplicación

$$Pot_{Rot} = 40 \text{ [kW]} \quad \text{"datos de los cálculos del rotor"}$$

$$HP_{accionamiento} = Pot_{Rot} \cdot 1,341 \cdot 1 \text{ [Hp]}$$

$$Torque_{Operativo} = \frac{HP_{accionamiento} \cdot 63025}{n_{rot}} \cdot 4,4482 \cdot 0,0254 \quad \text{"catalogo pag.5"}$$

Es de esperarse que el Torque_Operativo del acoplamiento tenga un valor cercano o igual al Torque_Rot=1398 [Nm] del rotor, ya que el acople está conectado al rotor transmitiéndole la potencia.

3) Factor De Servicio fs

Factores de servicio típicos - Equipo accionado por motor y turbina.

Los factores del servicio de la tabla-pag.6 del catálogo son para equipos accionados con base en accionadores principales lisos tales como motores y turbinas eléctricos. Para accionadores principales reciprocantes, tales como motores de diésel o gas, sume el siguiente factor de servicio:

- Para 8 o más cilindros, sume 0,5
- Para 6 cilindros, sume 1
- Para 4 cilindros, sume 1,5
- Máquinas para trabajo con arcilla - fs=2
- Equipos para levantar material - fs=2
- Para cargas de choque y variaciones significativas de torque - fs=2,5

Teniendo en cuenta los anteriores parámetros se escoge un fs=2,3 y se le suma 1 ya que el accionador es un tractor de mediana potencia de 6 cilindros

$$fs = 2,3 + 1$$

4) Torque Nominal Minimo Requerido

$$\tau_{Nmin} = \text{Torque}_{Operativo} \cdot fs$$

5) Búsqueda de acople que cumpla con $\tau_{Nmin} \leq \text{Torque}_{continuo}$. Catalogo-tabla-pag.18

-Tamaño de acoplamiento = 350

"6) Verificar tamaño del Diametro_{eje} del rotor, donde $\text{Max.barreno} \geq \text{Diametro}_{eje}$

$$\text{Max.barreno} = 4 \text{ [in]}$$

$$\text{Diametro}_{eje} = 2 \text{ [in]}$$

"se cumple que $\text{Max.barreno} \geq \text{Diametro}_{eje}$ "

7) Verificar $\text{RPM}_{operativa} \leq \text{Max.RPM}_{acoplamiento}$

$$n_{rot} = 270 \text{ [rev/min]}$$

"esta rpm es baja, datos de los cálculos del rotor"

$$\text{RPM}_{operativa} = n_{rot}$$

$$\text{Max.RPM}_{acoplamiento} = 2300 \text{ [rev/min]}$$

"se cumple que $\text{RPM}_{operativa} \leq \text{Max.RPM}_{acoplamiento}$ "

8) verificación de otros datos limitantes para comprobar que el acoplamiento seleccionado funciona en la aplicación de volteo

9) Nomenclatura del acoplamiento seleccionado

Modificaciones B=Balanceado

-ACOPLAMIENTO:

350-AMR-B "sirve para velocidades RPM bajas, como en la aplicación de volteo"

Tabla 30

Variables relevantes para la selección de acoplamiento

#Ecuación	Variable de entrada	Variable de salida	Valor	Unidad	Descripción
	HP_accionamiento	...	53,64	Hp	Potencia de accionamiento
4	...	Tau_Nmin	4668	Nm	Torque nominal mínimo requerido
2	...	Torque_Operativo	1414,7	Nm	Torque operativo de la aplicación

Figura 76

Acoplamiento de disco flexible

Acoplamientos de disco simple flexible Rexnord Thomas

Tipo SN individual

Los acoplamientos tipo SN individual se utilizan para aplicaciones de eje flotante donde los usuarios desean suministrar su propio eje sólido intermedio o para aplicaciones de disco simple flexible donde ocurren cargas radiales ligeras a moderadas. Generalmente son más económicos que los acoplamientos ST.

Construcción

Mazas: Acero al carbón

Tornillos: Acero aleado

Paquetes de discos: Tomaloy Tpack (no disponible en tamaño 450)

Recubrimientos superficiales disponibles: Consulte a Rexnord

Hay otros materiales disponibles para el paquete de discos tales como acero inoxidable, níquel-cobre y níquel, cromo molibdeno; comuníquese con Rexnord. Desalineación: 1/3° por paquete de discos

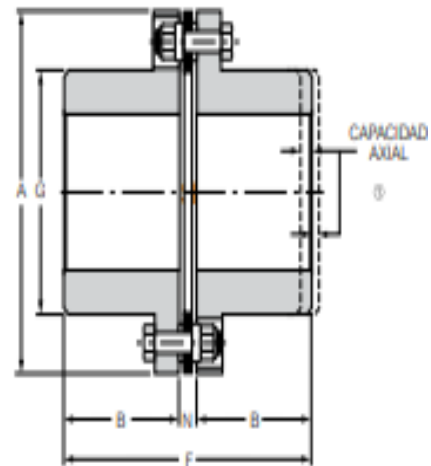
NOTA:

Los acoplamientos de disco simple flexible no pueden adaptarse a una desalineación paralela. No son adecuados para conectar equipo donde ambos ejes se sostienen rigidamente en sus propios rodamientos.



Dimensiones generales (pulg)

Tamaño del acoplamiento	② Mx. barreno	A	B	F	G	N
312	3.63	7.81	3.38	7.26	5.25	0.50
350	4.00	8.75	3.75	8.04	5.88	0.54
375	4.50	9.69	4.00	8.59	6.50	0.59



Tamaño de acoplamiento	Mx. caballos de fuerza por 100 RPM	Mx. RPM	Mx. torque continuo (lb-pulg)	Pico de torque de sobrecarga (lb-pulg)	③ Peso (lb-pulg)	③ WR ² (lb-pulg ²)	① Capacidad axial (pulg)
	Factor de servicio 1.0						
312	81.6	4,500	51,400	102,800	37	264	±0.026
350	106	4,100	66,900	133,800	52	469	±0.028
375	159	3,900	100,300	200,600	71	770	±0.031

① Todos los acoplamientos de disco Thomas cumplen con las especificaciones del motor con chumacera del marco de NEMA sin modificar ni añadir dispositivos de restricción de flotación axial.

② Consulte a Rexnord para información sobre el barreno preliminar mínimo en los tamaños 182-450.

③ El peso y momento de inercia WR² se muestran con el barreno máximo.

Aplicando el mismo proceso de selección de acoplamiento otro tipo de acople que se puede utilizar es el PHE IS2418X50,8mm del Catálogo de productos de transmisión de potencia SKF.

Figura 77

Acople de cadena

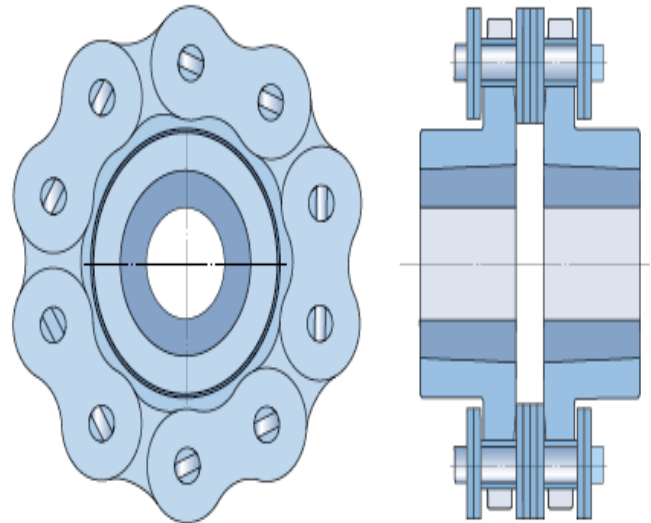
Detalles



Cubo de acoplamiento (perforado a medida)

PHE IS2418X50.8MM

Tamaño	IS2418
Diámetro mínimo (piloto)	50.8
máx. diámetro (mm)	119.1
Un (mm)	171.5
B (mm)	88.3
C (mm)	21.8
largo (mm)	198.4
DE (mm)	254
Peso (kg)	16.7
Máximo recomendado (r/min)	1500
Par nominal (Nm)	10032



Tenga en cuenta:
un acoplamiento completo consta de 2 cubos, 1 cadena y 1 cubierta.

Para completar la designación de tamaño de diámetro interior con un tamaño de diámetro interior diferente, reemplace el tamaño de diámetro interior. Por ejemplo, PHE IS1016X22.8MM designa el tamaño de buje IS1016 con un diámetro interior de 22,8 mm.

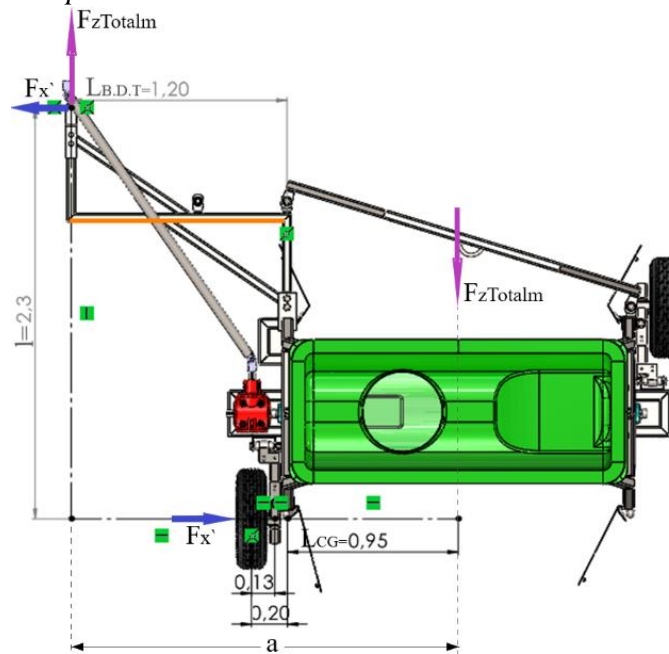
SKF

6. Diseño En Detalle Del Sistema Estructural

6.1. Análisis del Cálculo de Diseño del Dispositivo

Figura 78

Análisis de fuerzas en el dispositivo



(1) Sumatoria de momentos en Y

$$l \cdot F_{x'} - a \cdot F_{zTotalm} = 0$$

Tabla 31

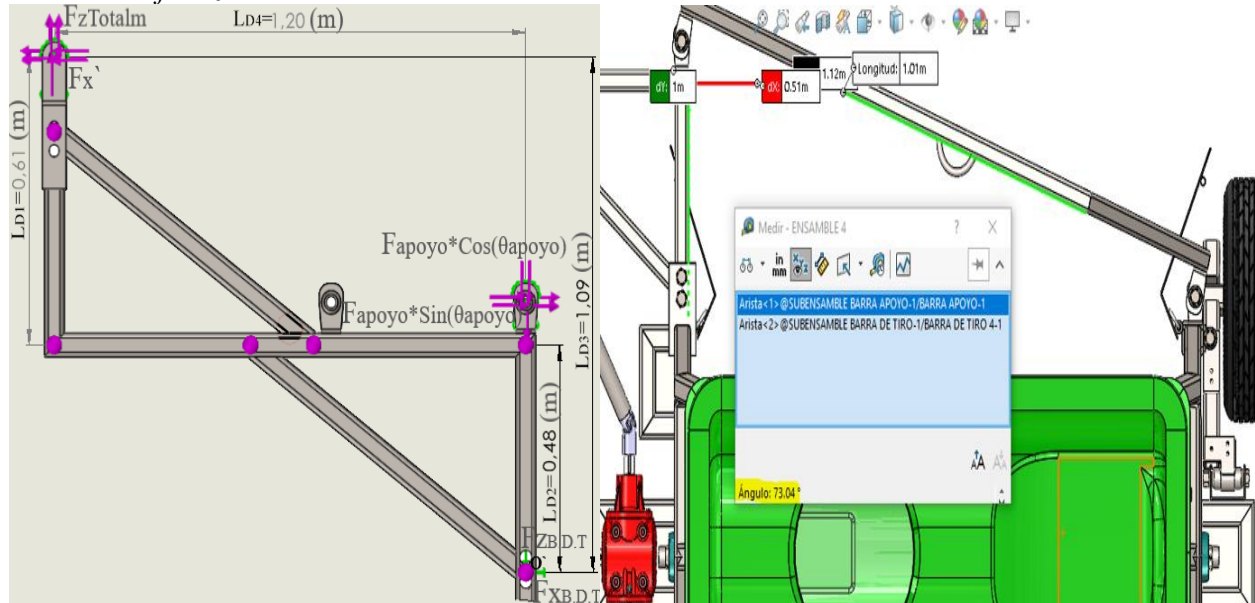
Variables de entrada y variables de salida relevantes

#Ecuación	Variable de entrada	Variable de salida	Valor	Unidad	Descripción
...	a	...	2,15	m	Dimensión de barra de tiro
...	F_zTotalm	...	3625	N	Fuerza de arrastre
...	l	...	2,3	m	Dimensión de barra de tiro
...	L_B.D.T	...	1,2	m	Dimensión de barra de tiro
...	L_CG	...	0,95	m	Dimensión de barra de tiro
1	...	F_x'	3389	N	Fuerza en eje coordenado x del dispositivo

6.2. Análisis de Diseño de la Barra de Tiro

Figura 79

Análisis de fuerzas en la barra de tiro



Sumatoria De Momentos M_o

$$(1) \quad L_{D3} \cdot F_{x'} - L_{D4} \cdot F_{zTotalm} + L_{D2} \cdot F_{apoyo} \cdot \sin(\theta_{apoyo}) = 0$$

Sumatoria de fuerzas en X

$$(2) \quad F_{x_{B.D.T}} - F_{x'} - F_{apoyo} \cdot \sin(\theta_{apoyo}) = 0$$

Sumatoria de fuerzas en Z

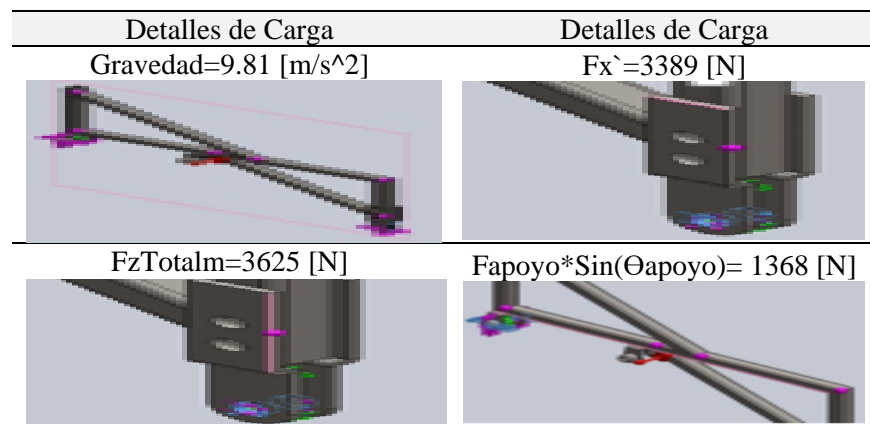
$$(3) \quad F_{zTotalm} + F_{apoyo} \cdot \cos(\theta_{apoyo}) - F_{z_{B.D.T}} = 0$$

Fuerzas resultantes

$$(4) \quad F_{B.D.T} = \sqrt{F_{x_{B.D.T}}^2 + F_{z_{B.D.T}}^2}, (5) \quad F_{zTotalmx'} = \sqrt{F_{zTotalm}^2 + F_{x'}^2}$$

Tabla 32*Variables importantes para el análisis de cálculo de la barra de tiro*

#Ecuación	Variable de entrada	Variable de salida	Valor	Unidad	Descripción
	F_x'	...	3389	N	Fuerza en el dispositivo en eje coordenado x
	$F_zTotalm$	...	3625	N	Fuerza de arrastre
	L_{D1}	...	0,61	m	Dimensión de barra de tiro
	L_{D2}	...	0,48	m	Dimensión de barra de tiro
	L_{D3}	...	1,09	m	Dimensión de barra de tiro
	L_{D4}	...	1,2	m	Dimensión de barra de tiro
	θ_{apoyo}	...	73,04	°	Angulo formado entre la barra de tiro y la barra de apoyo
1		F_{apoyo}	1430	N	Fuerza de apoyo debido a la barra de apoyo
4		$F_{B.D.T}$	6242	N	Fuerza resultante de sujeción en la barra de tiro
2		$F_{xB.D.T}$	4756	N	Fuerza de sujeción en la barra de tiro en eje coordenado x
3		$F_{zB.D.T}$	4042	N	Fuerza de sujeción en la barra de tiro en eje coordenado z
5		$F_zTotalmx'$	4962	N	Fuerza resultante de arrastre

Figura 80*Análisis de cargas en barra de tiro*

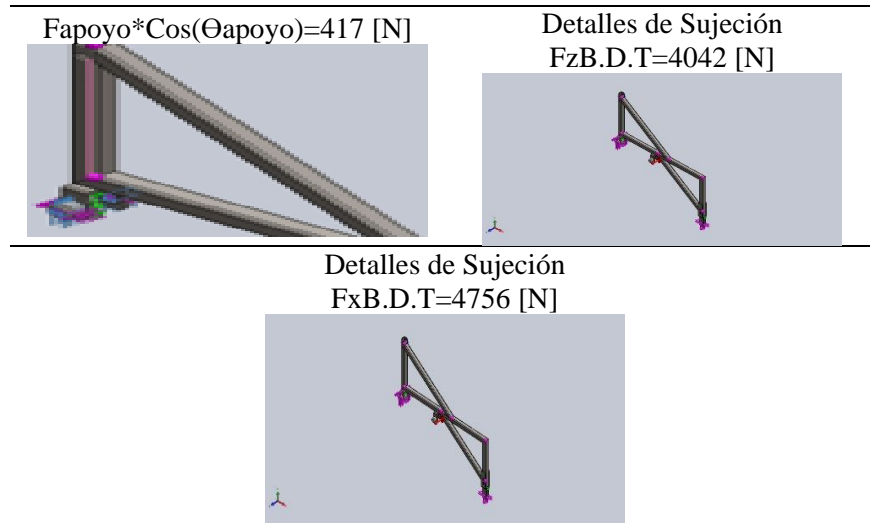
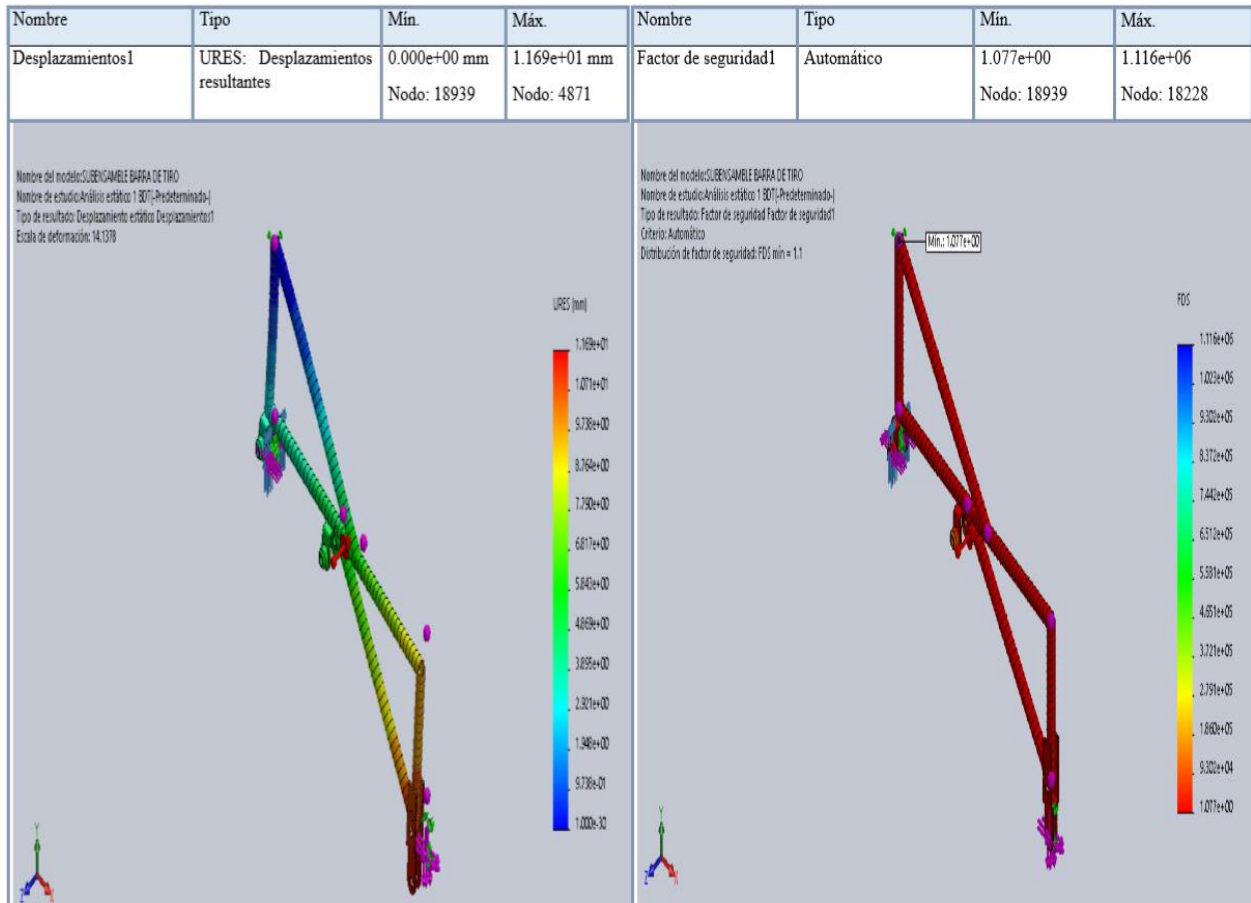


Figura 81

Simulación de fuerzas en la barra de tiro



6.3. Diseño del Pasador del Dispositivo

Figura 82

Diagrama de flujo de la lógica de cálculo del perno crítico en la barra de tiro

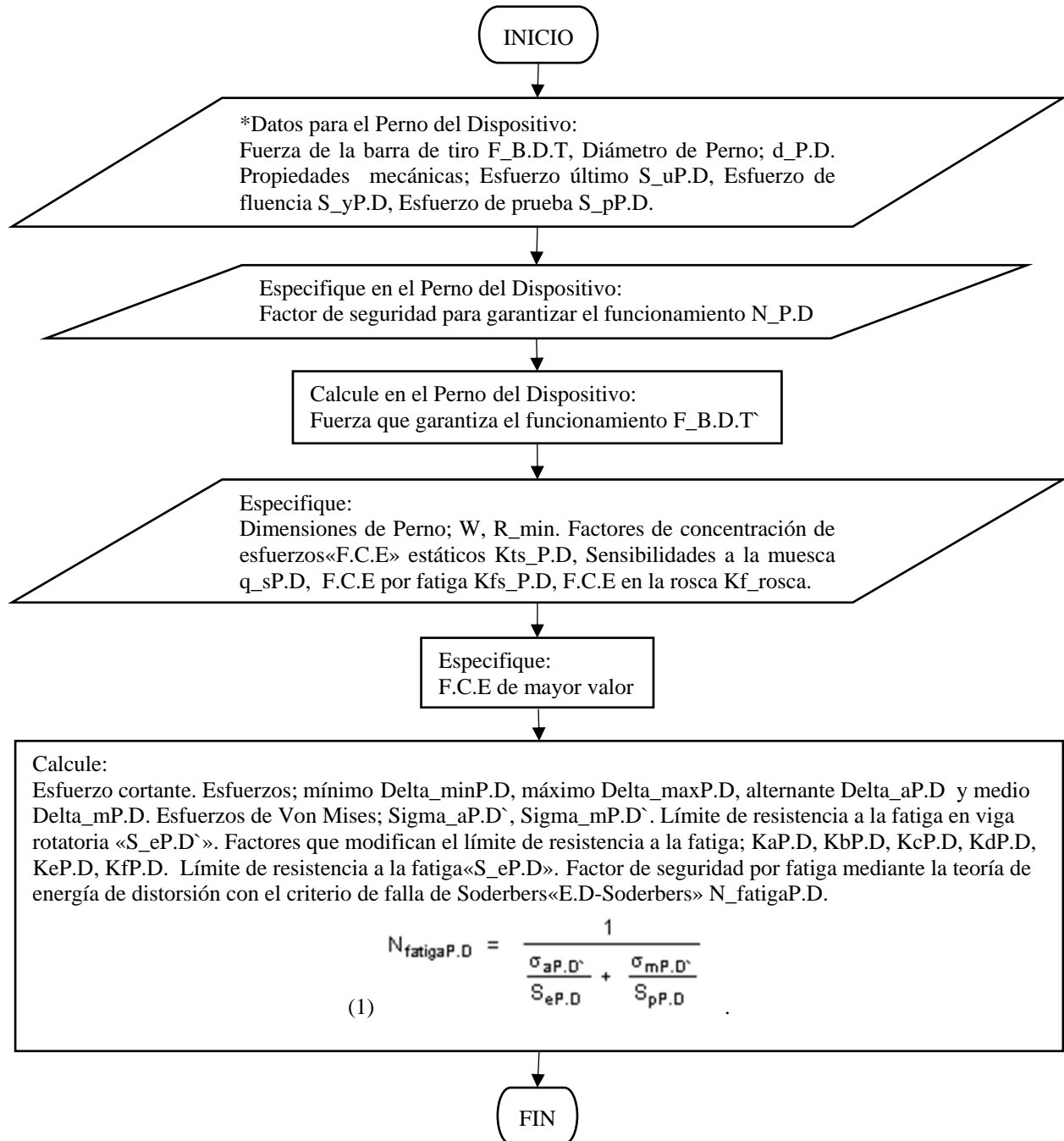


Tabla 33*Variables de entrada y salida relevantes en el diseño y cálculo del perno del dispositivo*

#Ecuación	Variable de entrada	Variable de salida	Valor	Unidad	Descripción
	d_P.D	...	24	mm	Diámetro de perno
	F_B.D.T	...	6242	N	Fuerza resultante de sujeción en la barra de tiro
	N_P.D	...	1.2		Factor de seguridad que garantiza el funcionamiento del equipo
	S_pP.D	...	225	MPa	Esfuerzo de prueba en el perno del dispositivo
	S_uP.D	...	400	MPa	Esfuerzo último en el perno del dispositivo
	S_yP.D	...	240	MPa	Esfuerzo de fluencia en el perno del dispositivo
1	...	N_fatigaP.D	1,181		Factor de seguridad por fatiga en el perno del dispositivo mediante la teoría de energía de distorsión con el criterio de falla de Soderbers «E.D-Soderbers»
	...	R_min	0,8	mm	Dimensión de perno
	...	Sigma_aP.D`	53,53	Mpa	Esfuerzos de von mises en perno del dispositivo
	...	Sigma_mP.D`	53,53	Mpa	Esfuerzos de von mises en perno del dispositivo
	...	S_eP.D	87,92	Mpa	Límite de resistencia a la fatiga en perno del dispositivo
	...	S_eP.D`	200	Mpa	Límite de resistencia a la fatiga en viga (probeta) rotatoria para perno del dispositivo
	...	W	36	mm	Ancho entre caras Planas de cabeza del perno

Para la posición de trabajo y la posición de transporte en el diseño del pasador se toma la

Fuerza resultante $F_{B.D.T}=6242$ [N]

Para garantizar el funcionamiento del equipo se multiplica la $F_{B.D.T}$ por un Factor De Seguridad $N_{P.D}=1.2$

Tabla 34*Dimensiones de pernos de cabeza cuadrada y hexagonal*

Tamano nominal, mm	Cuadrada		Hexagonal regular			Hexagonal pesada			Hexagonal estructural		
	W	H	W	H	R _{min}	W	H	R _{min}	W	H	R _{min}
M20			30	13.40	0.8	34	13.40	0.8	34	13.40	0.8
M24			36	15.90	0.8	41	15.90	0.8	41	15.90	1.0
M30			46	19.75	1.0	50	19.75	1.0	50	19.75	1.2

Para tornillos existen dos factores de concentración de esfuerzos uno es F.C.E en la rosca K_f _rosca y el otro es el F.C.E en la base de la cabeza K_f _cabeza. Se elige el de mayor valor.

Tabla 35

Factor de concentración del esfuerzo de fatiga de elementos roscados

Grado SAE	Grado métrico	Roscas laminadas	Roscas cortadas	Filete
0 a 2	3.6 a 5.8	2.2	2.8	2.1
4 a 8	6.6 a 10.9	3.0	3.8	2.3

6.4. Análisis del Diseño de la Barra De Apoyo

Figura 83

Análisis de fuerzas en la barra de apoyo

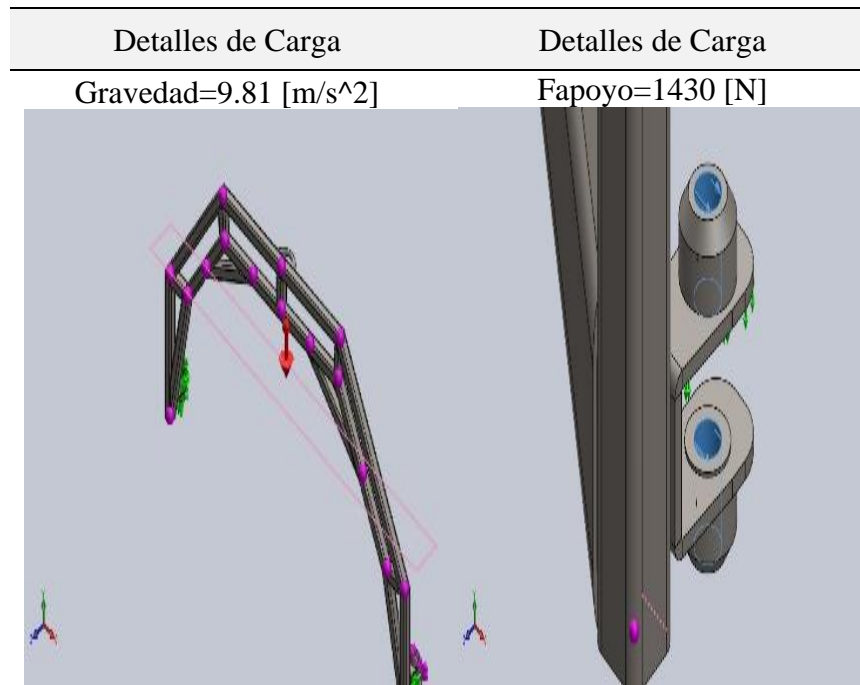
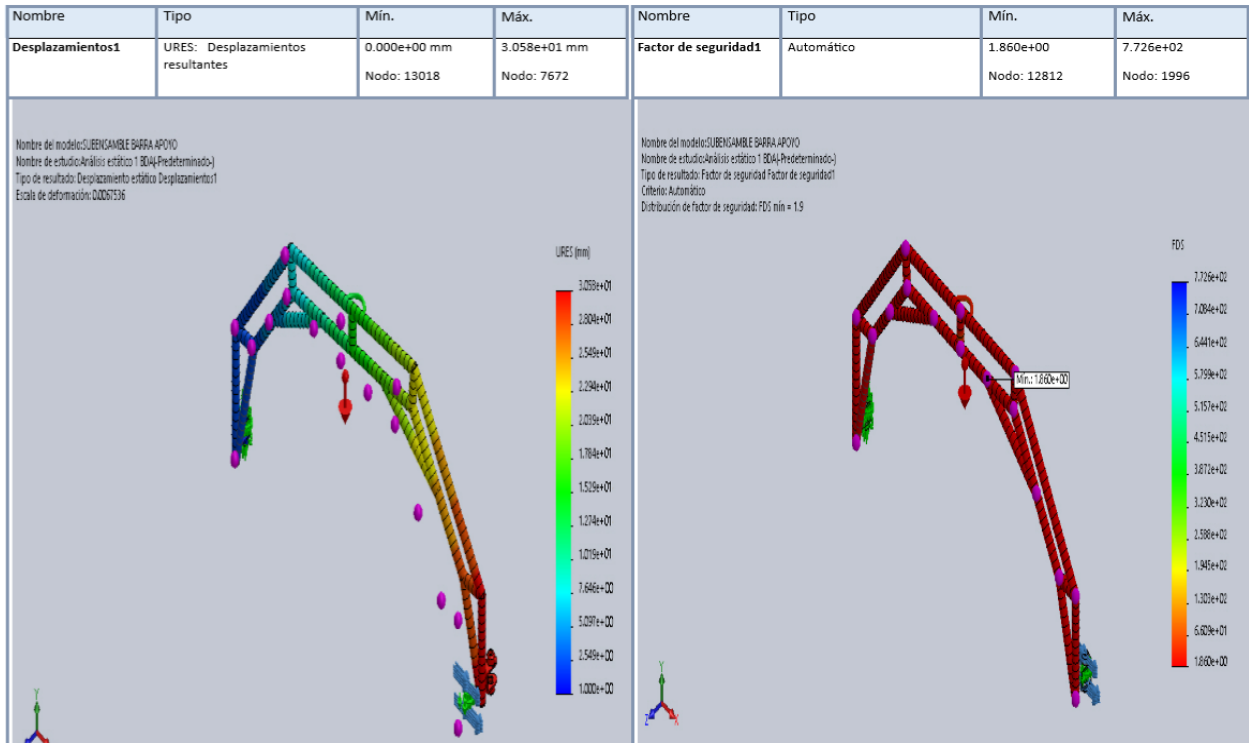


Figura 84

Simulación de fuerzas en la barra de apoyo



6.5. Análisis de Diseño para el Bastidor del Dispositivo

Se hace un análisis de esfuerzos del diseño del bastidor con el programa Solidworks y se toman los datos del elemento estructural crítico del bastidor.

Figura 85

Percepción del Diseño del Bastidor

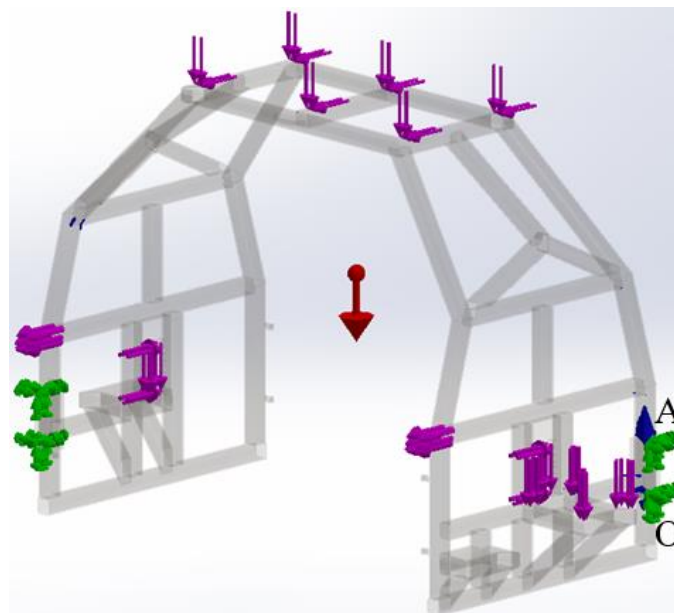


Figura 86

Diagrama de flujo para el cálculo de diseño del bastidor

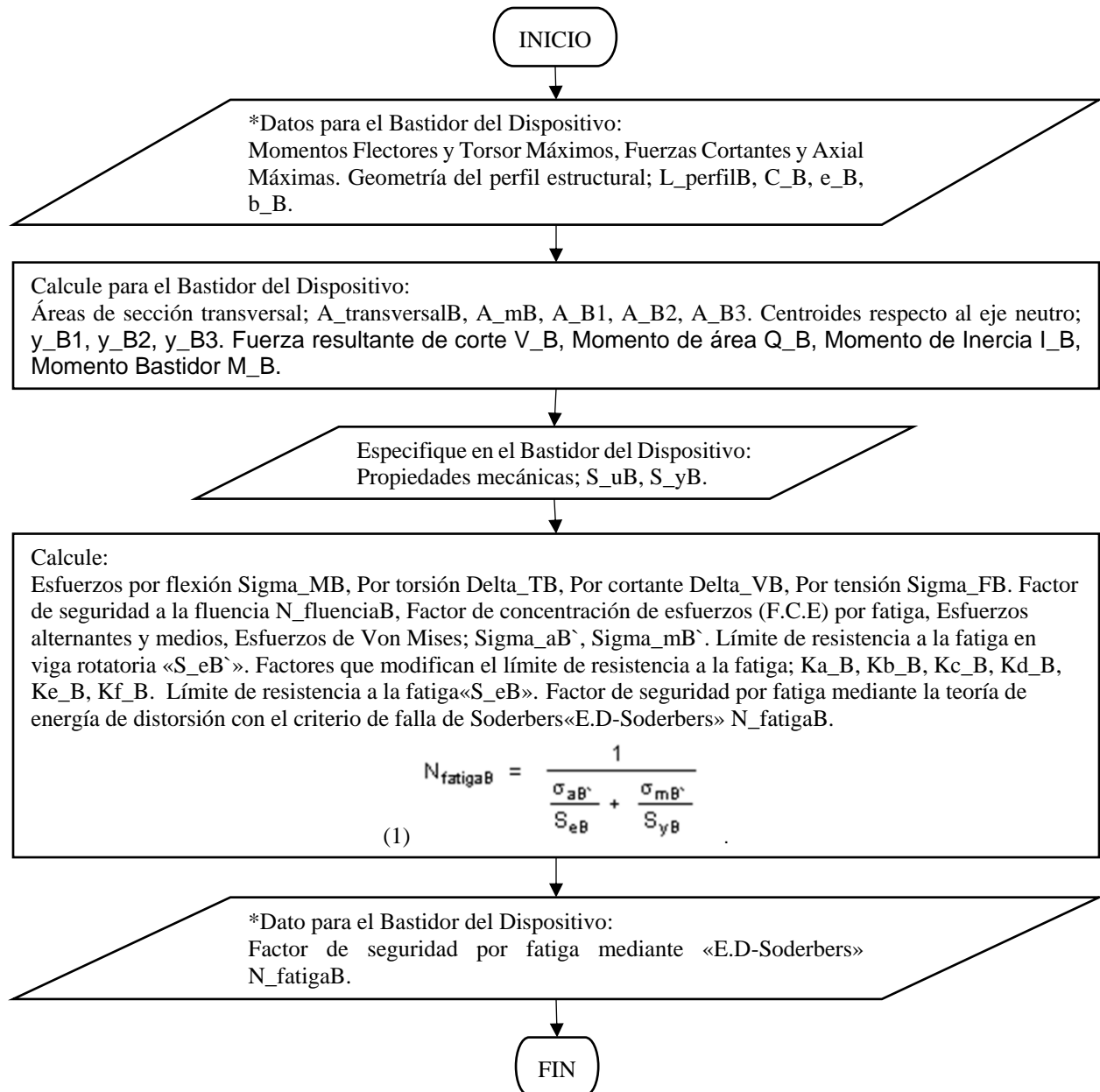


Tabla 36*Variables de entrada y salida relevantes en el proceso de cálculo del diseño del bastidor*

#Ecuación	Variable de entrada	Variable de salida	Valor	Unidad	Descripción
...	b_B	...	10	mm	Espesor en el eje neutro donde está el esfuerzo cortante máximo
...	C_B	...	30	mm	Distancia desde el eje neutro hasta la última fibra del tubo
...	e_B	...	5	mm	Espesor del perfil estructural del bastidor
...	FaxialB	...	677	N	Fuerza axial en el bastidor
...	L_perfilB	...	60	mm	Lado del perfil cuadrado del bastidor
...	Mmaxxz	...	1196,7	Nm	Momento flector en el bastidor en Plano x-z
...	Mmaxyx	...	534,7	Nm	Momento flector en el bastidor en Plano y-x
...	S_uB	...	630	Mpa	Esfuerzo último del bastidor
...	S_yB	...	530	Mpa	Esfuerzo de fluencia del bastidor
...	τ B	...	20,6	Nm	Torsor máximo en el bastidor
...	Vxz	...	1399	N	Fuerza cortante en el bastidor en Plano x-z
...	Vyx	...	364	N	Fuerza cortante en el bastidor en Plano y-x
1	...	N_fatigaB	1,888	...	Factor de seguridad por fatiga en el bastidor
...	...	N_fluenciaB	7,537	...	Factor de seguridad por fluencia en el bastidor
...	...	Sigma_aB`	35,66	Mpa	Esfuerzos de von mises en el bastidor
...	...	Sigma_mB`	35,61	Mpa	Esfuerzos de von mises en el bastidor
...	...	S_eB	77,12	Mpa	Límite de resistencia a la fatiga en el bastidor
...	...	S_eB`	315	Mpa	Límite de resistencia a la fatiga en viga (probeta) rotatoria para el bastidor

Figura 87

Análisis de fuerzas en el bastidor

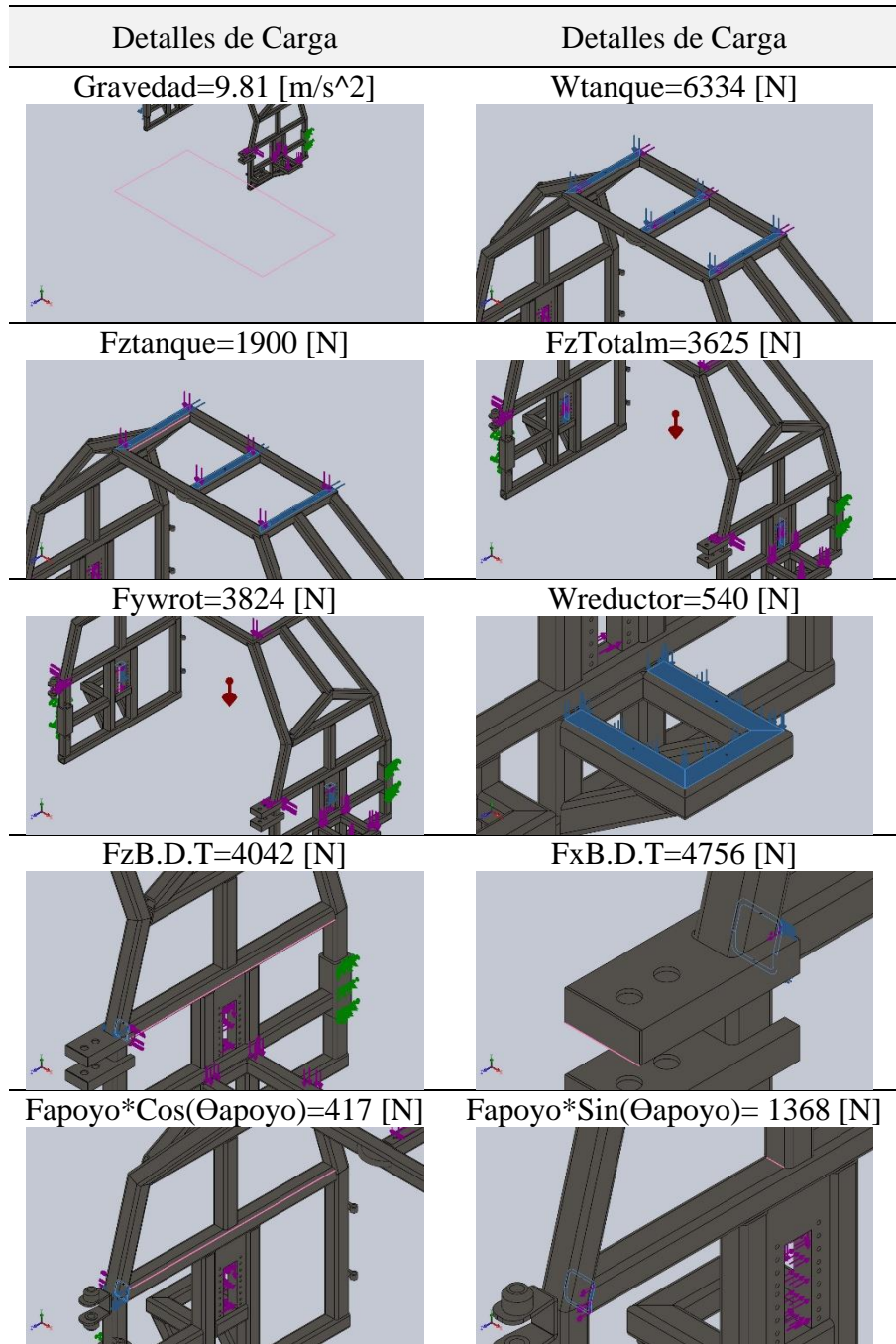
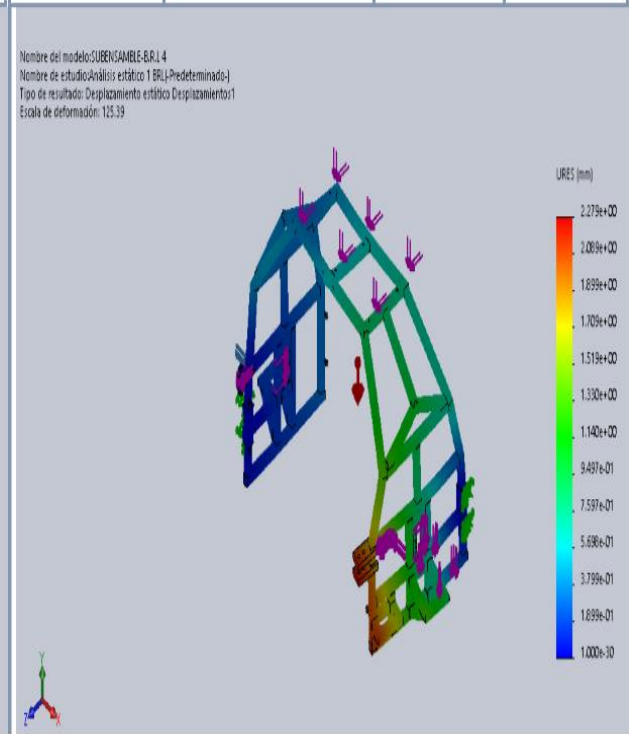
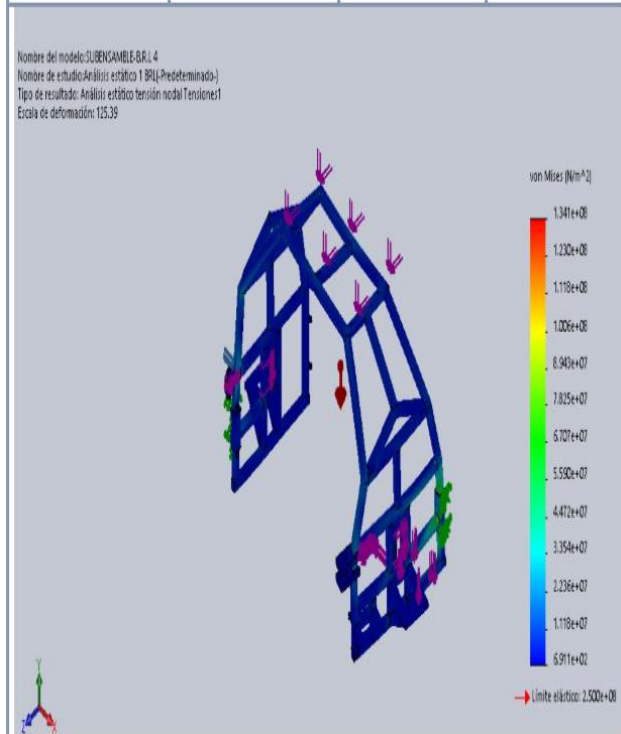


Figura 88

Análisis de las simulaciones de fuerzas en el bastidor en el trabajo

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.	Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	6.911e+02 N/m ² Nodo: 205599	1.341e+08 N/m ² Nodo: 52403	Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00 mm Nodo: 165993	2.279e+00 mm Nodo: 159063



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	6.374e-09 Elemento: 104290	4.245e-04 Elemento: 26030

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1.864e+00 Nodo: 52403	1.000e+16 Nodo: 32162

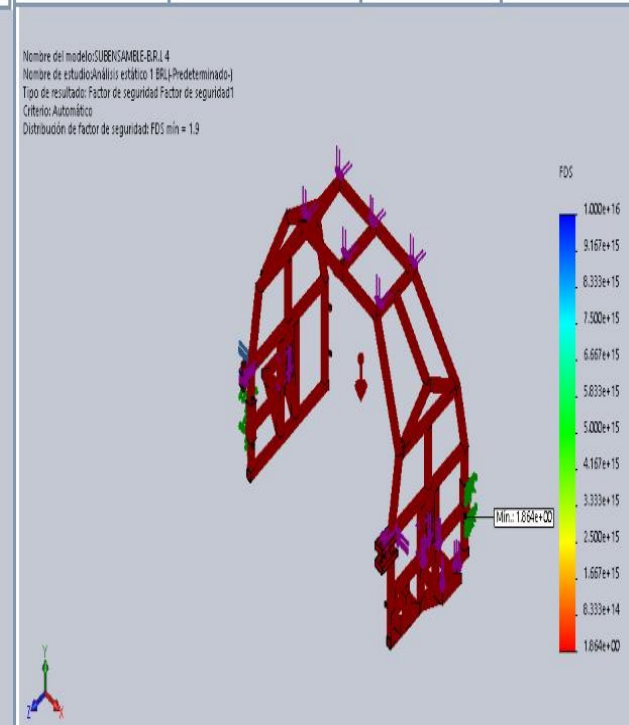
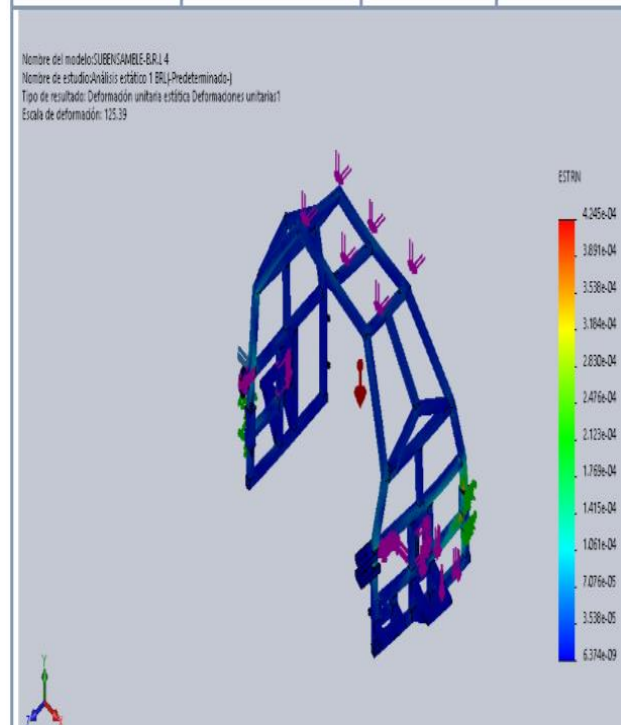


Figura 89

Análisis de las simulaciones de fuerzas en el bastidor en el transporte

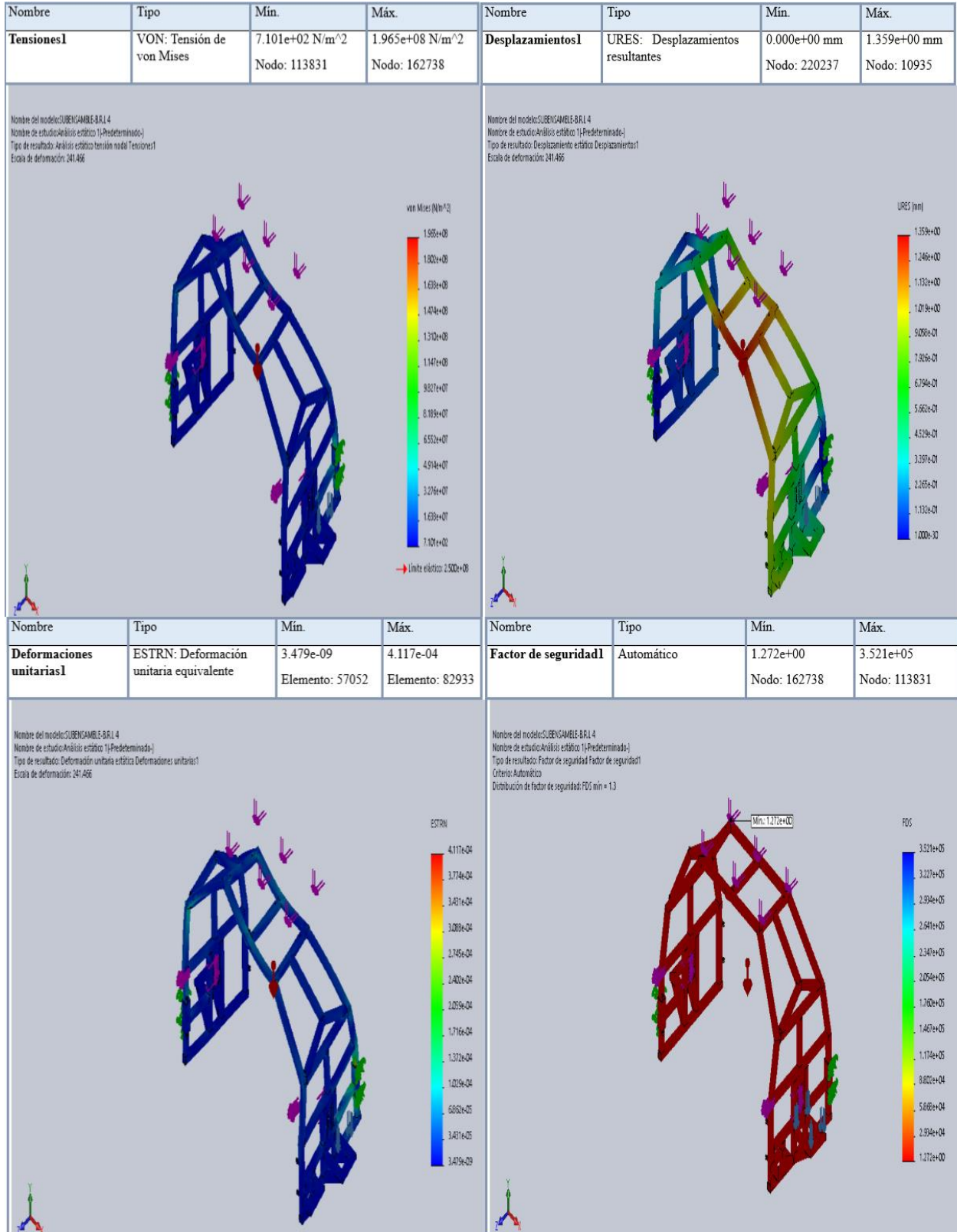
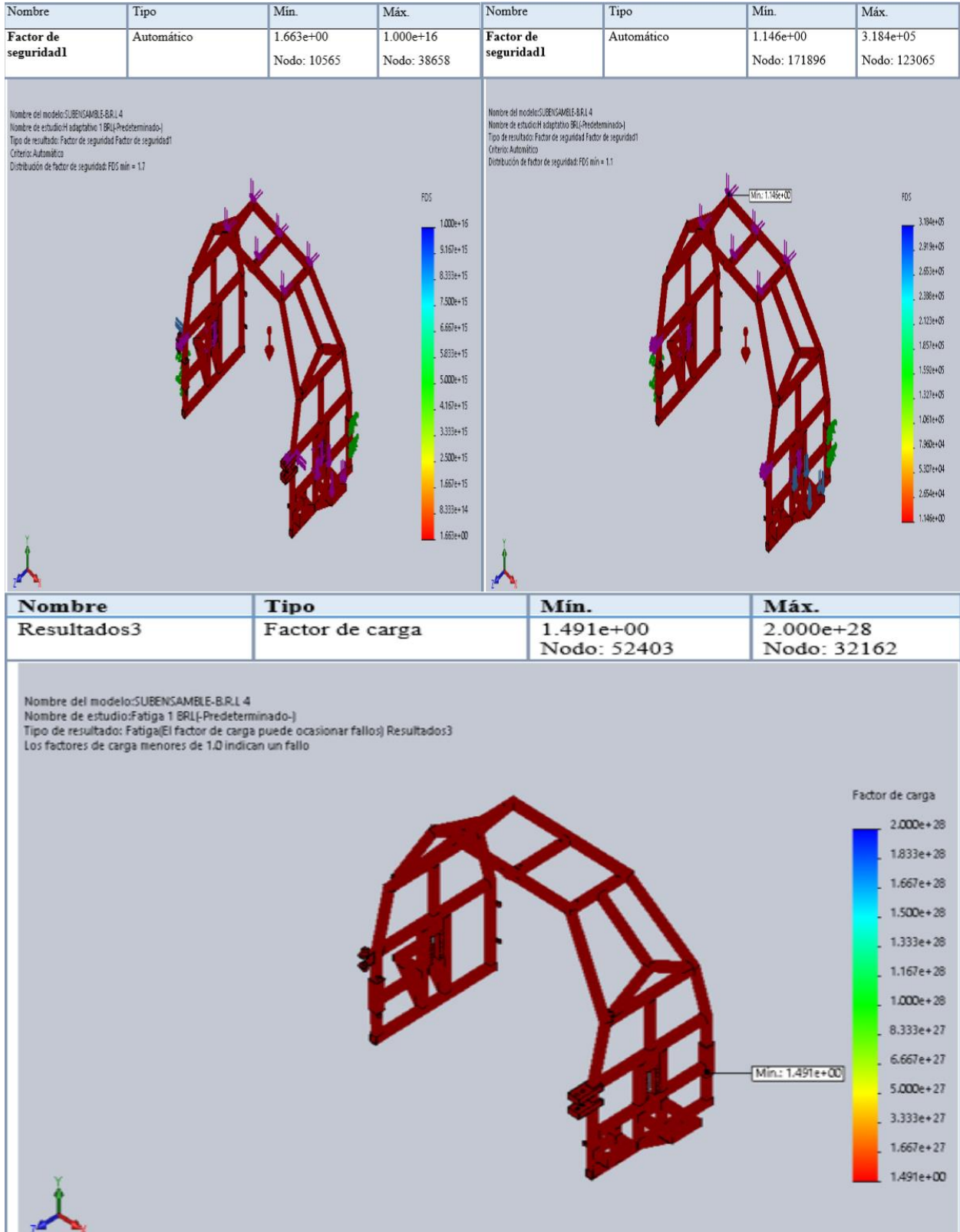


Figura 90

Análisis del Factor de Seguridad



6.6. Análisis del Diseño del Brazo pivotante que sostiene la llanta

Figura 91

Análisis de fuerzas en el brazo pivotante que sostiene la llanta

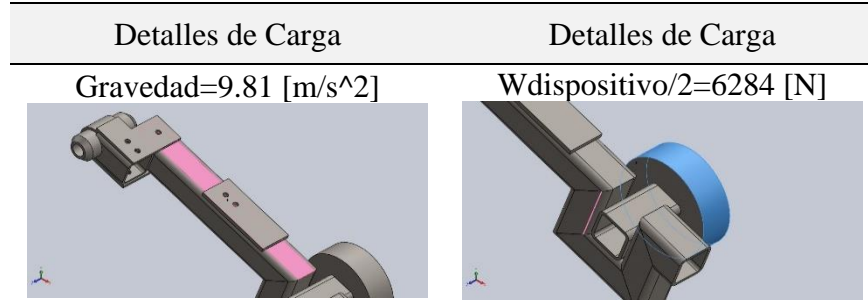
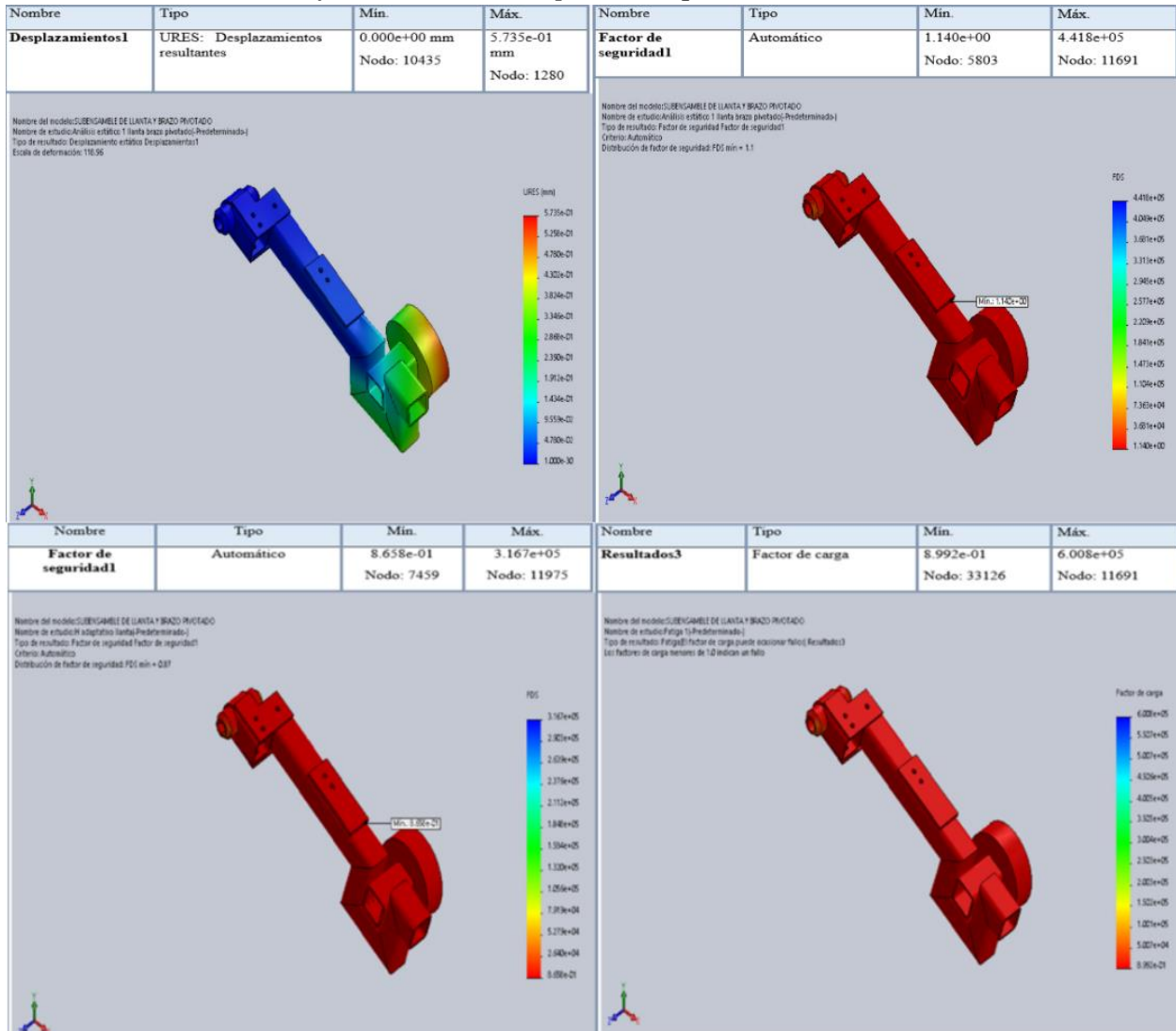


Figura 92

Análisis de simulación de fuerzas en el brazo pivotante que sostiene la llanta



6.7. Análisis del Diseño y Selección del Rodamiento para Llantas

Figura 93

Diagrama de flujo para el análisis de selección de rodamiento

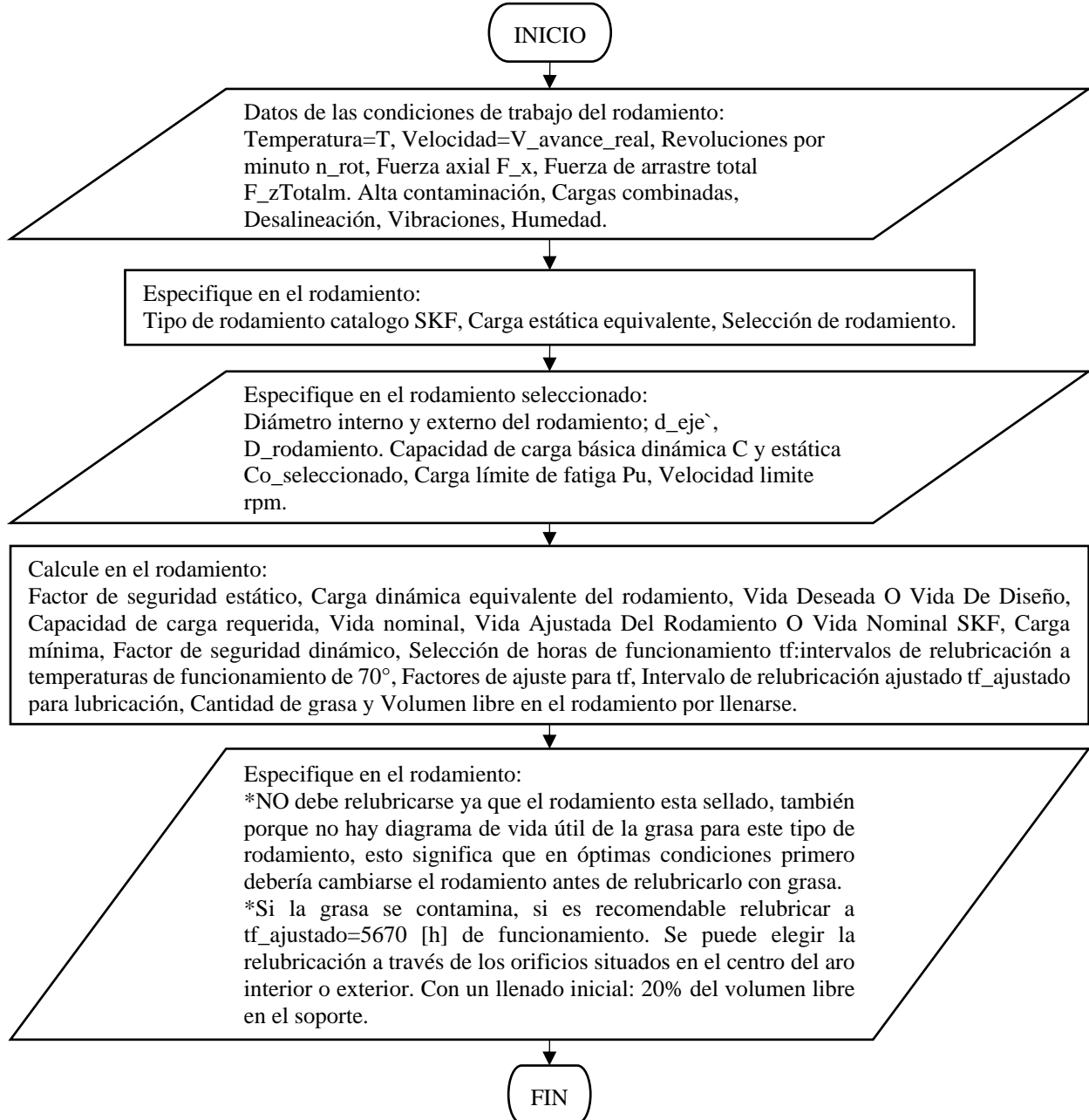


Tabla 37*Variables importantes para en la selección de rodamiento para el dispositivo*

#Ecuación	Variable de entrada	Variable de salida	Valor	Unidad	Descripción
...	d_eje`	...	50	mm	El Diámetro de eje es el Diámetro interno del rodamiento
...	F_r	...	8,006	kN	Fuerzas radial
...	F_a	...	1,482	kN	Fuerzas axial
...	n_rot	...	270	rev/min	Revoluciones por minuto a las que gira el rotor
...	V_avance_real	...	2,703	km/h	Velocidad de avance real del rotor
...	T	...	80	°C	Temperatura de trabajo
...	...	a_skf	0,3446		Factor introducido por SKF
...	...	C	75,1	kN	Capacidad de carga dinámica básica
...	...	Co_seleccionado	88	kN	Capacidad de carga estática básica
...	...	D_rodamiento	80	mm	Diámetro externo del rodamiento
...	...	Gp	3,2	g	Cantidad de grasa que se debe añadir durante la reposición
...	...	LnMH	37037	h	Vida nominal SKF
...	...	L_10H	107474	h	Vida nominal
...	...	tf_ajustado	5670	h	Intervalo de relubricación ajustado
...	...	V1	50	mm ² /s	Viscosidad nominal
...	...	V_rodamiento	12,54	cm ³	Llenado inicial de grasa, es decir volumen libre en el rodamiento que debe llenarse en caso de relubricación.

Figura 94*Selección de rodamiento para las llantas del dispositivo*



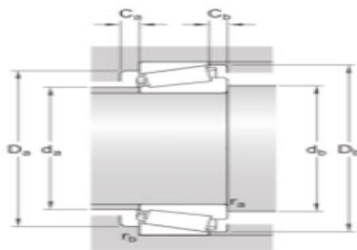
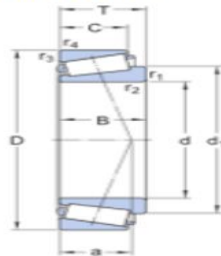
32010 X

Rodamientos de una hilera de rodillos cónicos

Datos de los rodamientos
Tolerancias:
Normales y CL7C, CLN, Normales y CL,
ancho de desviación

Interfaces del rodamiento
Tolerancias de los asentados,
para condiciones estándares,
Tolerancias y ajuste resultante

Especificación técnica



DIMENSIONES

d	50 mm	Diámetro del agujero
D	80 mm	Diámetro exterior
T	20 mm	Ancho total
d ₁	65.95 mm	Diámetro del resalte del aro interior
B	20 mm	Ancho del aro interior
C	15.5 mm	Ancho del aro exterior
r _{1,2}	min. 1 mm	Dimensiones de los chaflanes del aro interior
r _{3,4}	min. 1 mm	Dimensiones de los chaflanes del aro exterior
a	17.554 mm	Distancia de la cara lateral al punto de presión
d _c	min. 57.5 mm	Diámetro del resalte del eje
D ₁	min. 72 mm	Diámetro del resalte del soporte
D ₂	max. 73.5 mm	Diámetro del resalte del soporte
D ₃	min. 77 mm	Diámetro del resalte del soporte
C _a	min. 4 mm	Ancho mínimo del espacio requerido en el soporte en la cara lateral grande
C _b	min. 4.5 mm	Ancho mínimo del espacio requerido en el soporte en la cara lateral pequeña
r _a	max. 1 mm	Radio de acuerdo del eje
r _b	max. 1 mm	Radio de acuerdo del soporte

DATOS DEL CALCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	75.1 kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	88 kN
Carga límite de fatiga	P _u	9.65 kN
Velocidad de referencia		6 300 r/min
Velocidad límite		8 000 r/min
Valor límite	e	0.43
Factor de carga axial	Y	1.4
Factor de carga axial MASA	Y ₀	0.8
Masa		0.38 kg

Ancho total rodamiento

$$B_1 = 20 \text{ [mm]}$$

Cantidad de grasa que se debe añadir durante la reposición de lubricante

$$G_p = 0,002 \cdot D_{\text{rodamiento}} \cdot B_1$$

Llenado inicial de grasa y la relubricación, en el volumen libre del rodamiento a llenar

$$m_{\text{rodamiento}} = 0,38 \text{ [kg]}$$

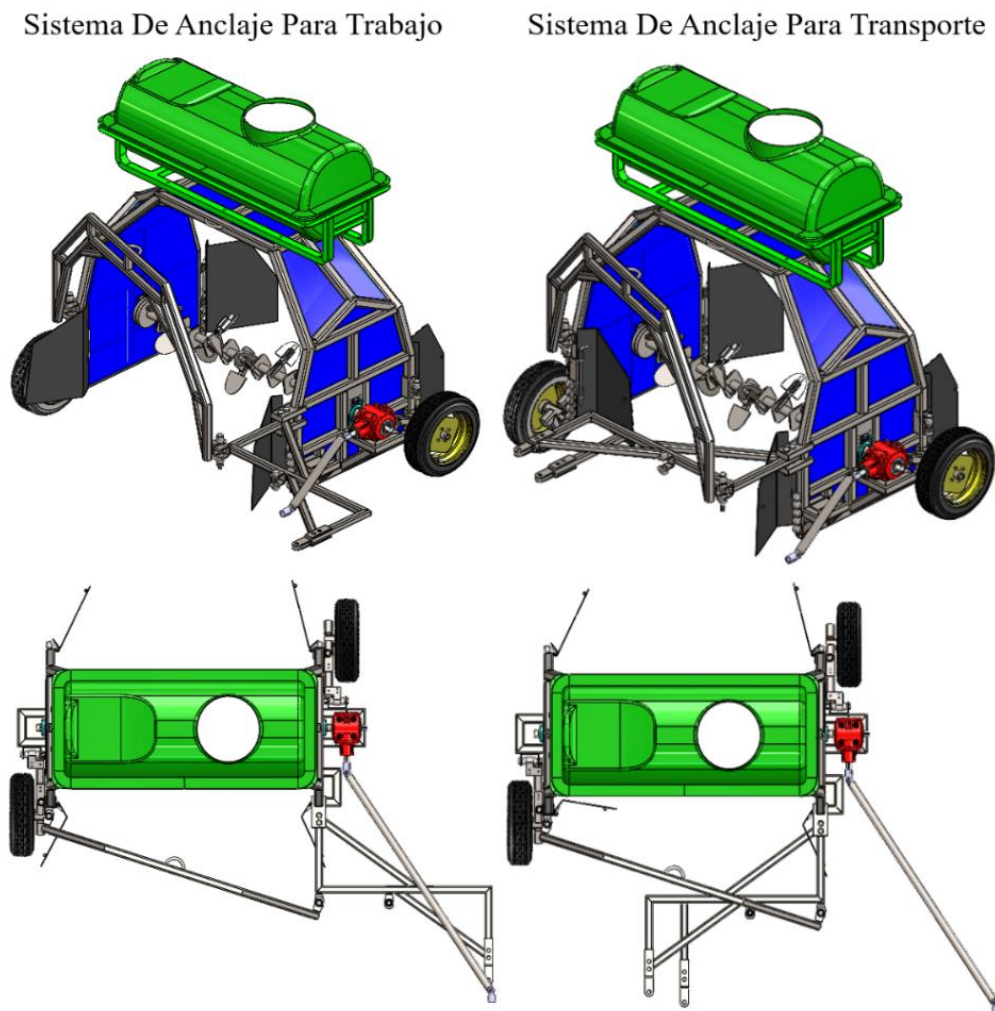
$$V_{\text{rodamiento}} = \frac{\pi}{4} \cdot B_1 \cdot (D_{\text{rodamiento}}^2 - d_{\text{eje}}^2) \cdot 10^{-3} - \frac{m_{\text{rodamiento}}}{7,8 \cdot 10^{-3}}$$

6.8. Sistema De Anclaje Para Trabajo Y Transporte

El dispositivo de volteo se fija al terreno mediante su propio peso y el peso del tanque. Se sostiene por dos ruedas en las partes laterales y un tercer punto de apoyo en la parte de adelante, punto sobre el cual se hace el transporte del dispositivo como se muestra en la figura 95. El sistema de anclaje es un subsistema del sistema estructural.

Figura 95

Sistema de Anclaje



Para el detalle de las dimensiones del implemento, remítase al Apéndice A, Planos de Construcción, y a los datos en medio electrónico adjunto con el trabajo de grado donde se incluye en detalle las memorias de cálculo, los planos y los resultados de las simulaciones.

7. Construcción, Montaje, Pruebas y Pintura

7.1. Construcción

Figura 96

Construcción del prototipo de la volteadora de compost



7.2. Montaje

Figura 97

Montaje de subsistemas del dispositivo



7.3. Pruebas

Figura 98

Pruebas en los subsistemas del dispositivo



7.4. Pintura

Figura 99

Pintura en el prototipo del dispositivo de volteo



8. Análisis De Costos

Tabla 38

Análisis de costos del prototipo del dispositivo de volteo de compost

CONCEPTO	PRESUPUESTO
GASTOS GENERALES	
Académico(Memorias, fotocopias, carpetas, borradores, empastes, libros, computador, recursos bibliográficos, artículos, proyectos)	\$ 300.000
Trabajo Intelectual y Asesoría Profesional (Asumido por la Universidad)	\$ 1'200.000
Subtotal	\$ 1'500.000
GASTOS CONSTRUCTIVOS	
Construcción (*Perfil estructural de Acero A36 – 3 Tubos cuadrados ½ x ½ pg x 1,2 mm C18 x 6 m. *Dos Rodamientos rígido de bolas 6201 RZ. *13 Mini abrazaderas de acero inoxidable. *Las 2 llantas, los 2 cojinetes del rotor y el tanque para agua son mecanizados en nylon. *Pernos Ø1/8 pg y Pernos de Ø3/16 pg. *Varilla de Ø1/2 pg y Ø1/4 pg de Acero A36. *Lamina Cal.26. *Motor eléctrico de 3.6 V-18650/1300 mah-250rev/min-3.5 N/m. Y demás materiales, elementos, sistemas, accesorios para la construcción)	\$ 1'000.000
Mano de obra (*Corte de lámina, tubería cuadrada y varilla redonda. *Pulido de tubo cuadrado y lámina. *Rolado de malla metálica para soporte del tanque. *Soldadura en estructura, rotor y paletas. *Taladrado Ø1/8 pg y Ø3/16 pg en tubería cuadrada, lamina y cojinetes. *Mecanizado de eje, paletas, cojinetes, llantas y tanque de agua.)	\$ 2'000.000
Subtotal	\$ 3'000.000
OTROS GASTOS E IMPREVISTOS	
transporte	\$ 200.000
viáticos	\$ 100.000
Subtotal	\$ 300.000
Imprevistos (10 %)	\$ 50.000
Subtotal	\$ 350.000
TOTAL	\$ 4'850.000

NOTA: la financiación en el prototipo del proyecto, materiales, mano de obra y componentes se asume y proporciona por el autor de proyecto. La asesoría profesional es asumida por la universidad.

9. Mantenimiento General Del Dispositivo

Figura 100

Mantenimiento general

LUBRICACIÓN	Grasa		Aceite		Otros
Concepto de lubricación	Semanal	Quincenal	Mensual	Semestral	
Revisión general de piezas		X			
Engrase Reductor De Velocidad			X		
Revisión de rodamientos				X	
MECÁNICA					
Descripción del trabajo	Repuestos		Tiempo	Otros	
Revisión y limpieza general de la máquina			10 min	Diaria	
Revisión De Paletas De Volteado			1 hora	Semanal	
Revisión de conexiones mecánicas			1 hora	Semestral	
Revisión de cojinetes			1 hora	Semestral	
Revisión del tanque de Agua			1 hora	Mensual	

Para el detalle del manual de instalación, uso y mantenimiento remítase al Apéndice B. Manual del Usuario y de Mantenimiento del Dispositivo. Y a los datos en medio electrónico donde también se encuentra.

10. Conclusiones

Ha sido posible aportar con la misión de la escuela de ingeniería mecánica al finalizar este proceso de diseño y construcción de un prototipo de dispositivo volteador de residuos orgánicos, permitiendo aplicar los conocimientos adquiridos en la academia, para dar respuesta adecuada a las necesidades de compostaje del Agroparque de maquinaria agrícola

Está diseñado para utilizar el enganche de 1 punto de unión entre tractor e implemento para voltear residuos orgánicos con densidades de compostaje máximas de (600-700 Kg/m³), hasta densidades de material de volteo menores a (1000 Kg/m³). El implemento dispone de un tanque de (0.5 m³) para el suministro de agua mediante riego por goteo durante la operación de volteo, con una capacidad de volteo entre (650-1300 m³/h).

El aprovechamiento de herramientas de cálculo y herramientas CAD-CAE en el proyecto ha sido fundamental, facilitando la concepción del diseño, mejorando la sincronía y secuencia en el proceso de construcción respecto al implemento deseado. Es una herramienta útil en un nicho de mercado amplio de implementos, dispositivos y máquinas para la agricultura.

Se ha logrado un aprendizaje práctico en el proceso de construcción, gracias al apoyo de las personas con conocimiento de los costos de elementos mecánicos y con la experiencia para sugerir cuáles tipos de procesos son factibles y cuáles no en un montaje mecánico. Por último, El Manual del Usuario y de Mantenimiento del Dispositivo permite crear conciencia en las personas para asegurar la integridad de la máquina y su durabilidad.

Referencias Bibliográficas

- Alvarez Mejia, F. (1985). Arados rotativos - Fundamentos teoricos para el analisis cinematico y dinamico. *Facultad Nacional de Agronomia Medellin*. <https://doi.org/chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/39602/28325-101134-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Augspurger, Q., & H. Bartlett, C. (1992). *Augspurger y H. Bartlett, US Patente n° US5300438A*.
- BUDYNAS, R. G. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica (Octava edición). El libro muestra los parámetros a tener en cuenta para el diseño de rotor, bastidor, piezas que componen el dispositivo y características de materiales para su implementación, entre otros*. Monterrey-Mexico: McGraw-Hill.
- Google. (2022). *Google Maps*. <https://www.google.com/maps/place/Granja+El+Hangar+-+Universidad+Industrial+de+Santander+-+IPRED/@6.9934093,-73.071713,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8e684795fffb3f45:0x4d7d48ddc9c266e4!8m2!3d6.993404!4d-73.0695243>
- Hendrick, J. G., & Gill, W. (1971). Rotary tiller desing-parameters. *American society of agricultural and biological engineers*. <https://doi.org/https://es.scribd.com/document/475454612/rotary-tiller-desing-parameters-part-1-pdf>
- Monterrosa, H. (2018). Hasta 70% de los residuos sólidos del país se pueden transformar en compostaje. *LR LA REPUBLICA*, <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/hasta-70-de-los-residuos-solidos-del-pais-se-pueden-transformar-en-compostaje-2762298>.

MOTT, R. L. (2006). *Diseño de elementos de maquinas (Cuarta edicion)*. Pearson Educacion.

Pérez, I. (Agosto de 2019). Solo se aprovecha el 2% de los residuos generados en el area metropolitana de bucaramanga. *Vanguardia*, págs. <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/solo-se-aprovecha-el-2-de-los-residuos-generados-en-el-area-metropolitana-de-bucaramanga-EJ1083060#:~:text=12%3A00%20AM-,Solo%20se%20aprovecha%20el%202%25%20de%20los%20residuos%20generados%20en,s%C>.

Roman et al., P. (2013). *Organizacion de las naciones unidas para la alimentacion y la agricultura FAO. Manual de compostaje del agricultor:* <https://www.fao.org/documents/card/es/c/1cea1861-e379-57f9-988e-93be04982954/>

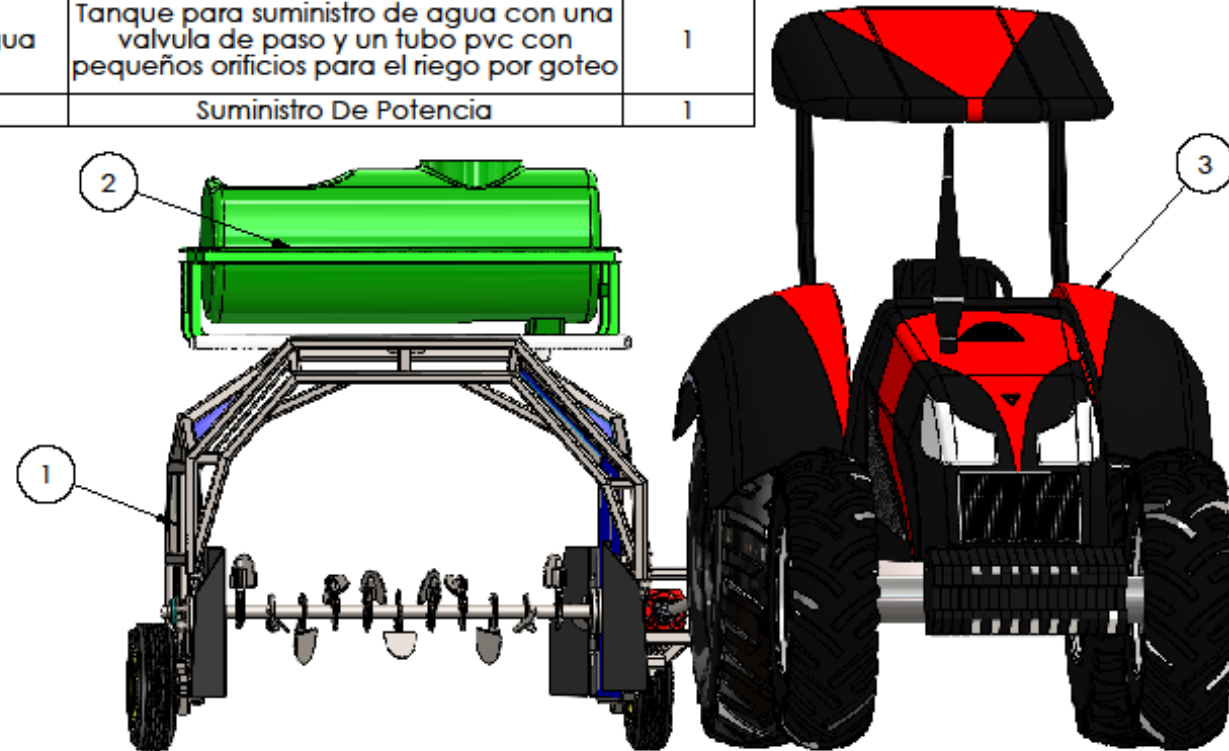
Santos Calderon et al. , J. (2020). *Organizacion de las naciones unidas para la alimentacion y la agricultura FAO. Consejo nacional de politica economica y social CONPES:* <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC191813/>

Syed et al. . (2000). *Studocu*. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-eia/teoria-de-compiladores/texto-ingenieria-para-la-investigacionnde-dichos-temas/26044166>

Apéndices

Apéndice A. Planos de Construcción

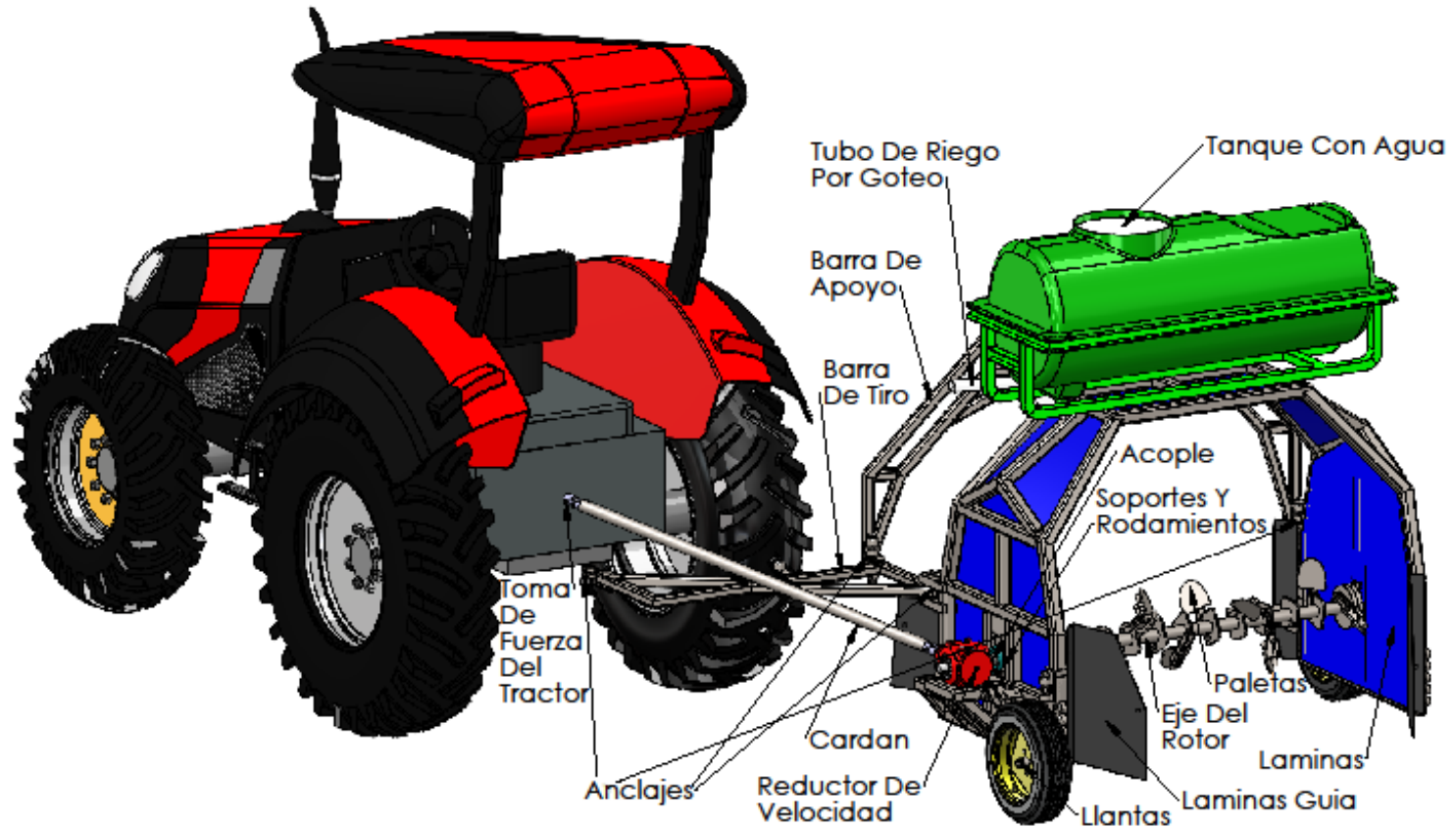
N. Elemento	Nombre De Pieza	Descripcion	Cantidad
1	Dispositivo De Volteo	Volteadora De Compost	1
2	Tanque De Agua	Tanque para suministro de agua con una valvula de paso y un tubo pvc con pequeños orificios para el riego por goteo	1
3	Tractor	Suministro De Potencia	1



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicacion contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De Santander			Universidad Industrial de Santander
TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA			
PLANO: ENSAMBLE 4 PROTOTIPO		 A4	
MATERIAL: Acero 1045	PESO APROX: ± 72 kg	HOJA 1 DE 26	ESCALA: 1:20



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicacion contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De Santander



Universidad Industrial de Santander

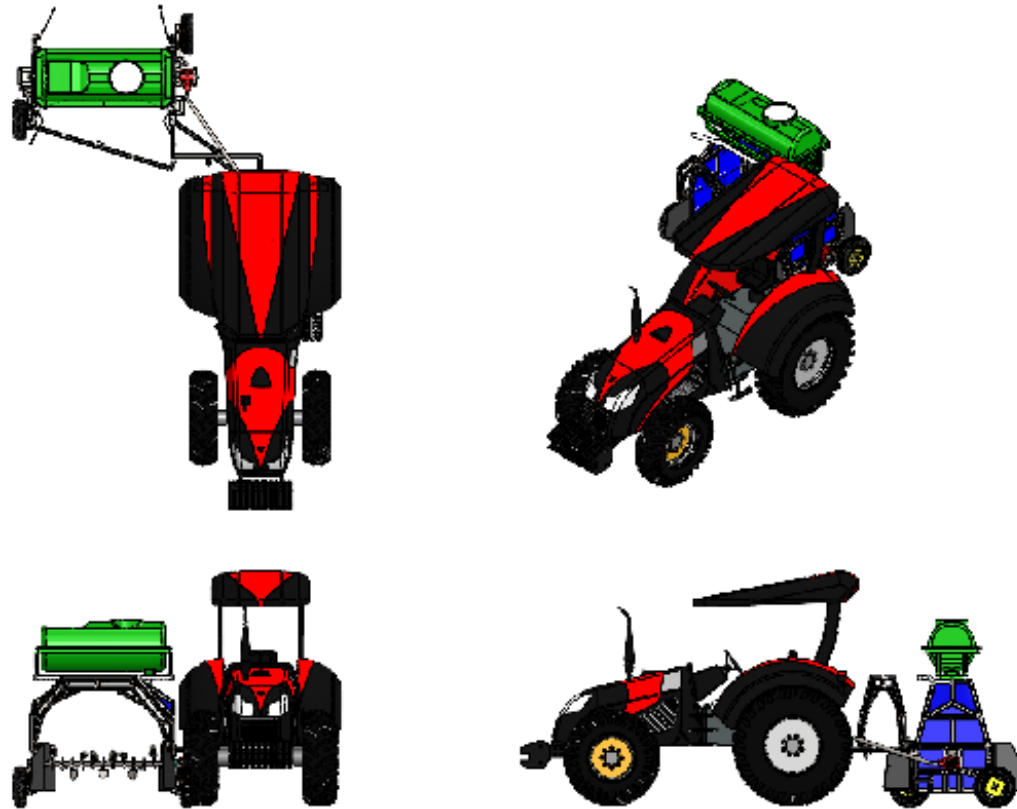
TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: ENSAMBLE 4.2 PROTOTIPO



A4

MATERIAL: Acero 1045 PESO APROX: ± 72 kg HOJA 2 DE 26 ESCALA: 1:26



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicacion contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De Santantander



Universidad Industrial de Santander

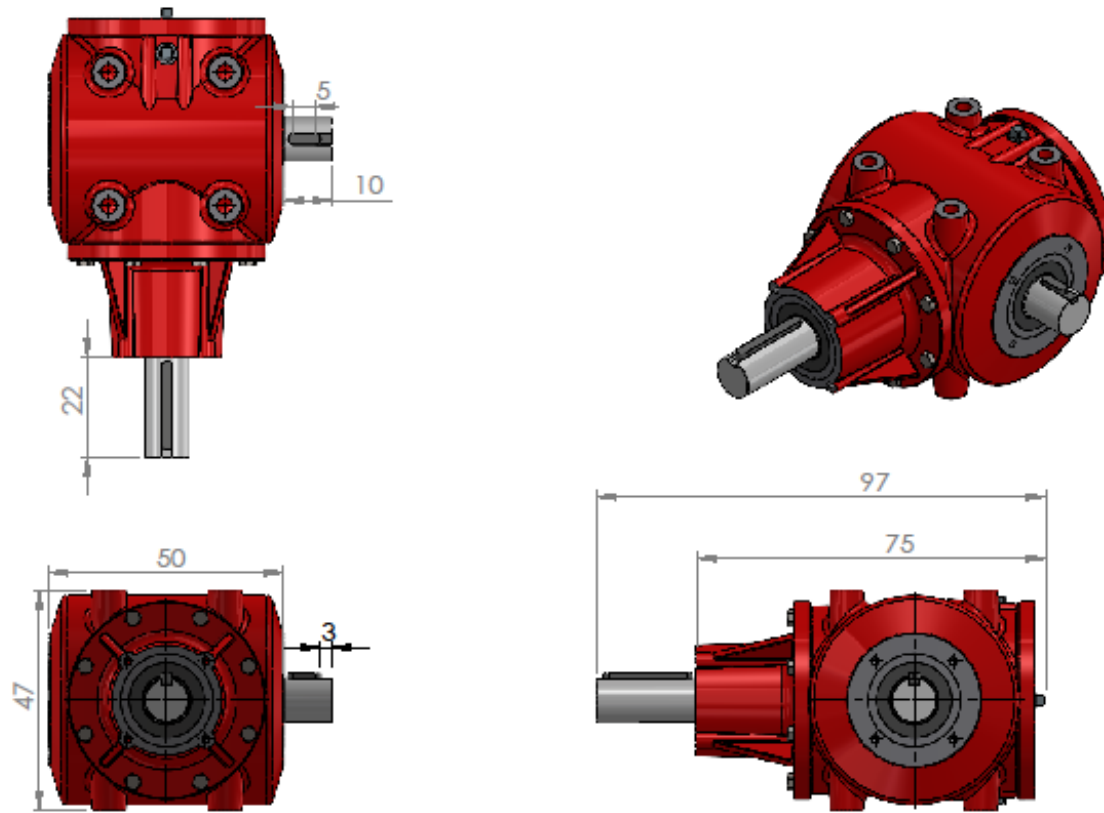
TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: ENSAMBLE 4.3 PROTOTIPO



A4

MATERIAL: Acero 1045 PESO APROX.: ± 72 kg HOJA 3 DE 26 ESCALA: 1:50



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicación contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De Santander



TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: GEARBOX-T-304A volteadora 4



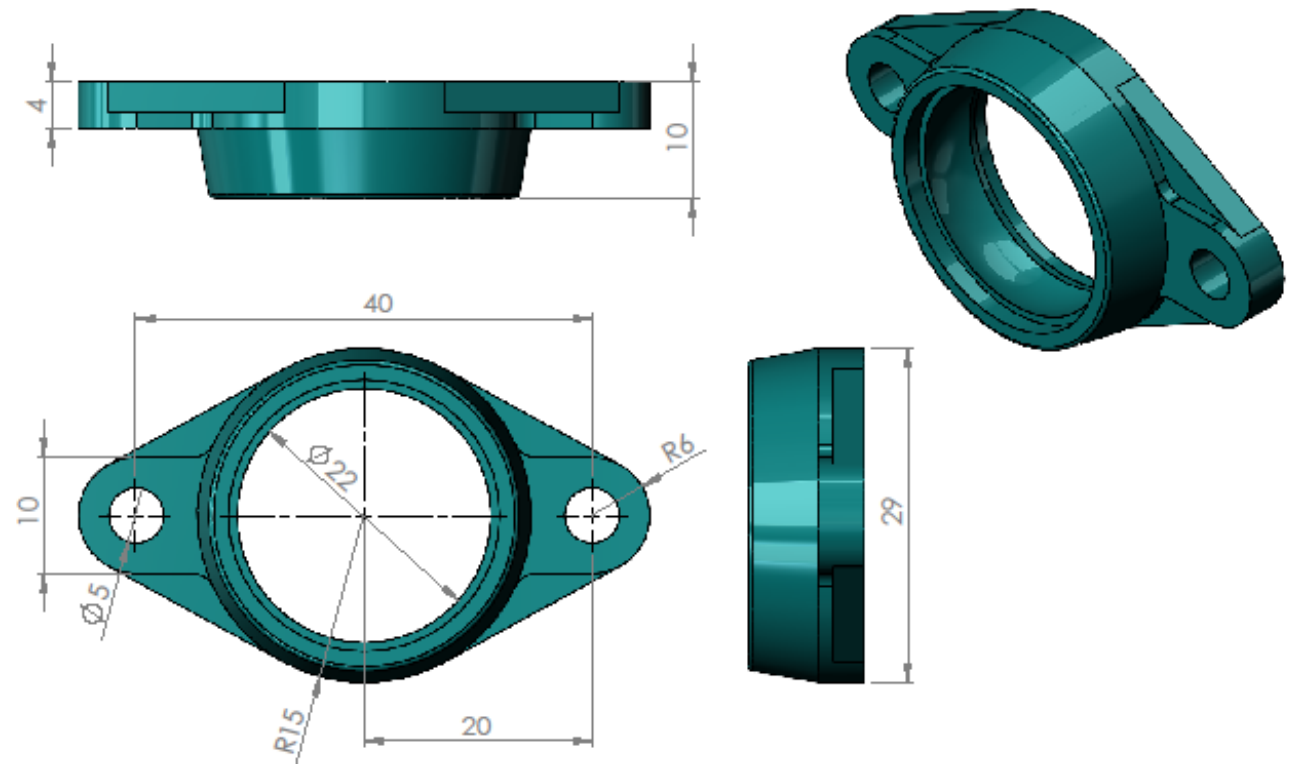
A4

MATERIAL: Acero 1045

PESO: 10 kg

HOJA 4 DE 26

ESCALA: 1:5



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicación contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$



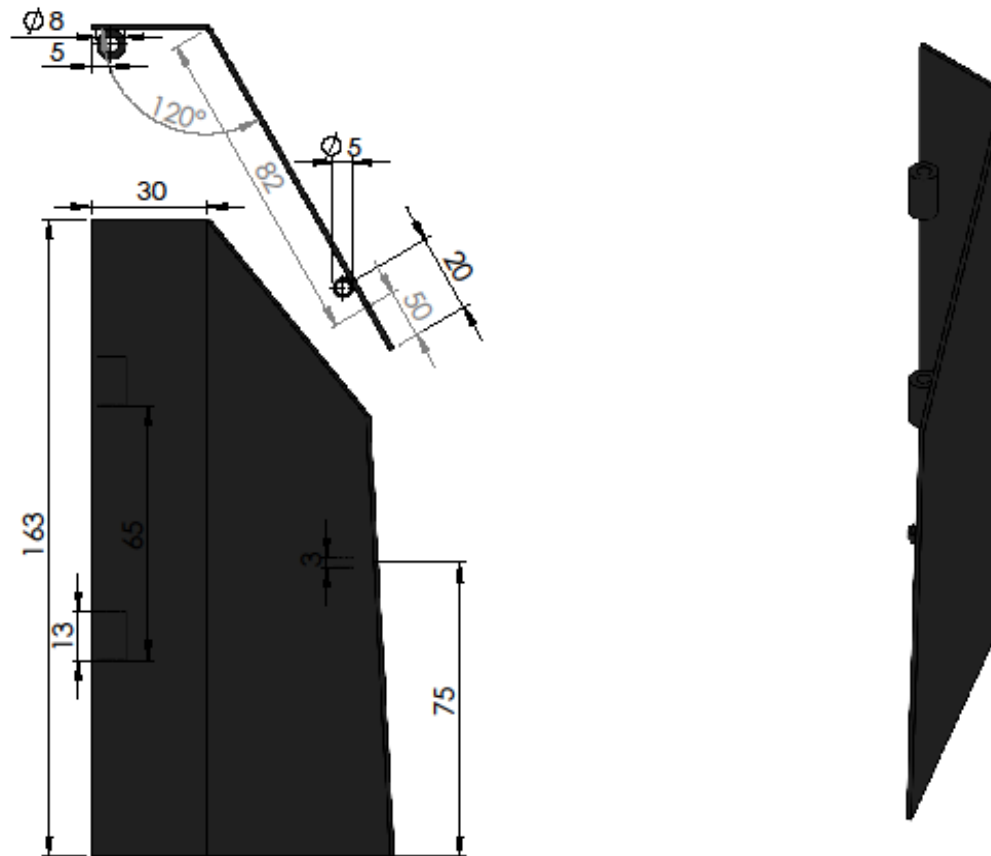

Universidad Industrial De Santantander

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: House-UCFL_210-DEBearings 1 PROTOTIPO

MATERIAL: Nylon | **PESO:** 0,5 kg | **HOJA** 5 DE 26 | **ESCALA:** 1:2


A4



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicación contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De Santander



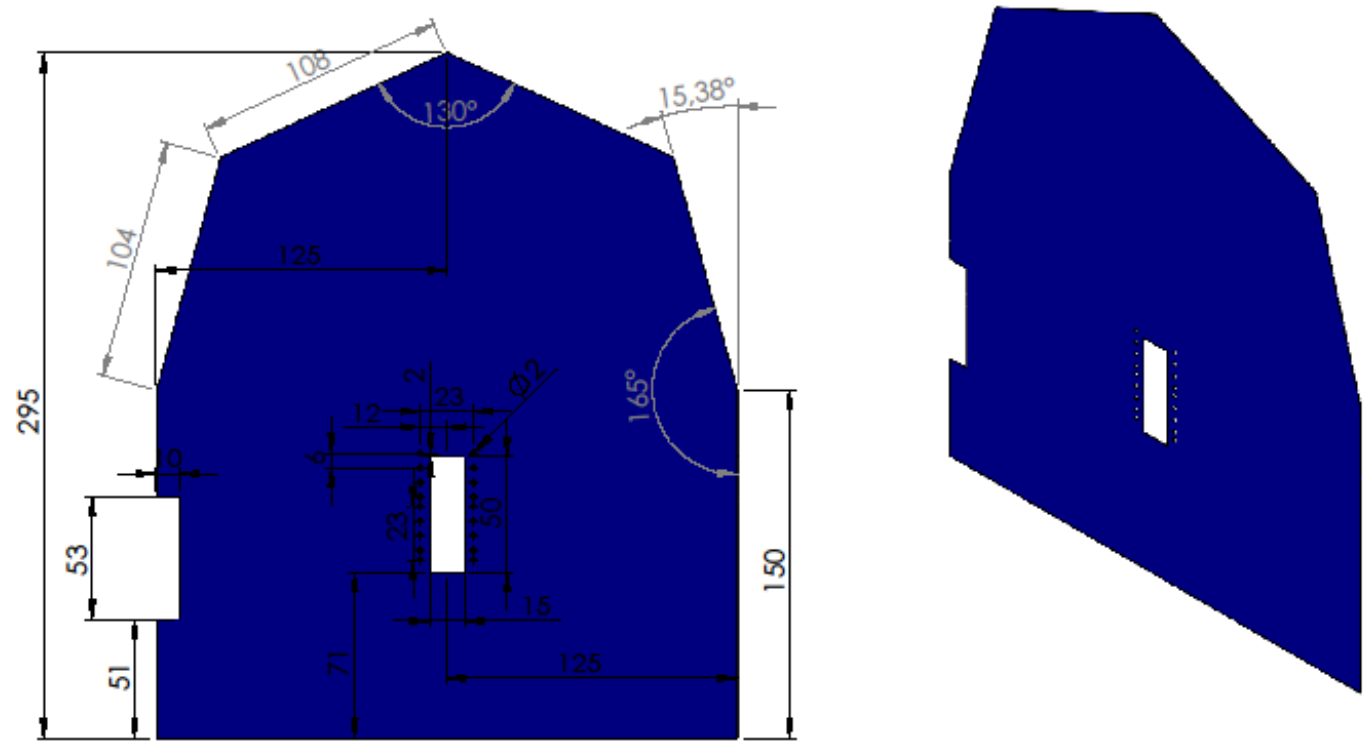

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: LAMINA1 GUIA PROTOTIPO



A4

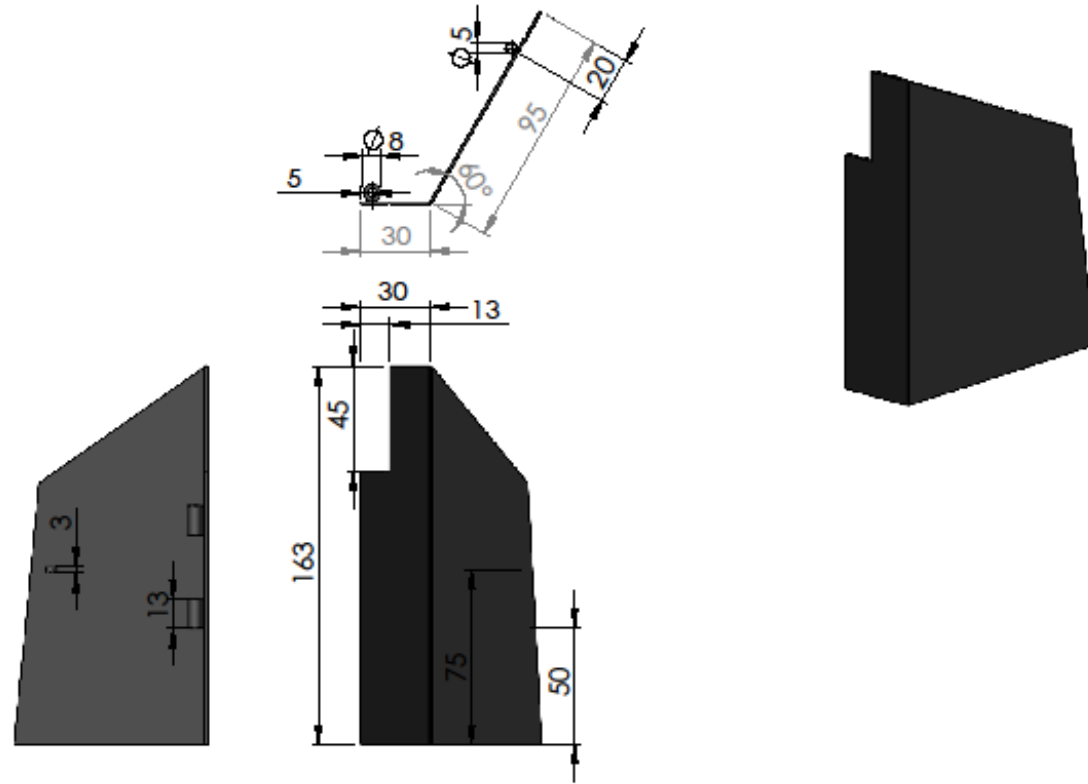
MATERIAL: Acero 1045 | PESO: 1 kg | HOJA 6 DE 26 | ESCALA: 1:10



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicación contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De Santander			
TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA			
PLANO: LAMINA 1-B.R 4 PROTOTIPO			A4
MATERIAL: Acero 1045	PESO: 2 kg	HOJA 7 DE 26	ESCALA: 1:10



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicacion contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De Santander



Universidad Industrial De Santander

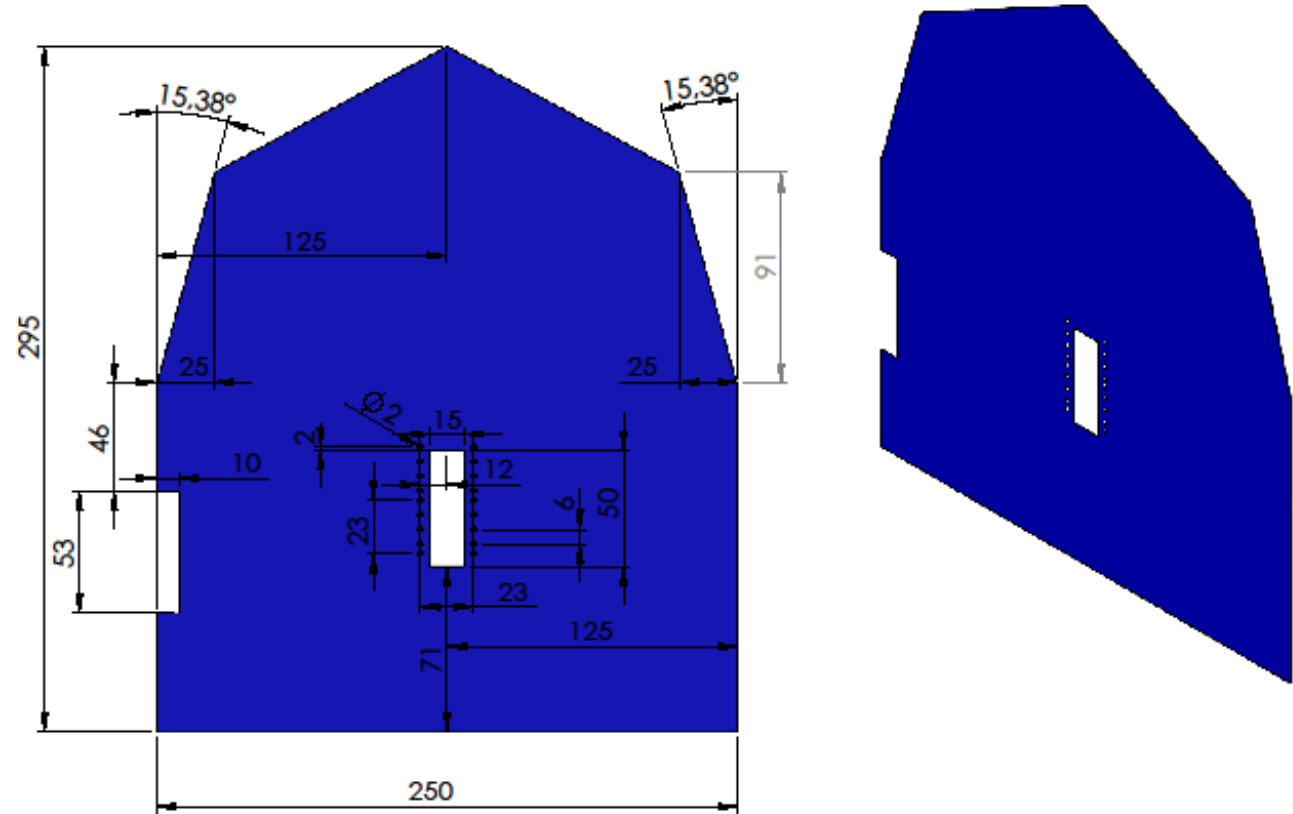
TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: LAMINA2 GUIA PROTOTIPO



A4

MATERIAL: Acero 1045 | PESO: 1 kg | HOJA 8 DE 26 | ESCALA: 1:10



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicacion contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De
Santander



TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: LAMINA2-B.R 4 PROTOTIPO



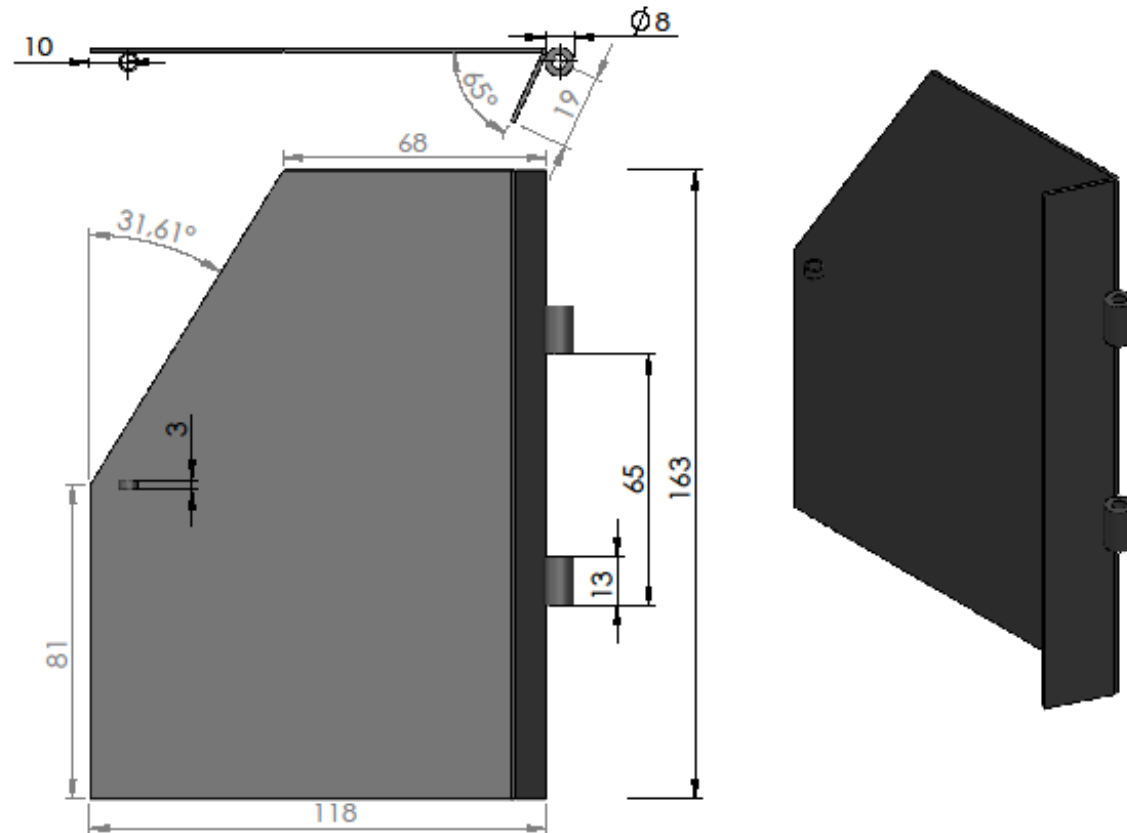
A4

MATERIAL: Acero 1045

PESO: 2 kg

HOJA 9 DE 26

ESCALA: 1:10



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicación contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De Santander



TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: LAMINA3 GUIA PROTOTIPO



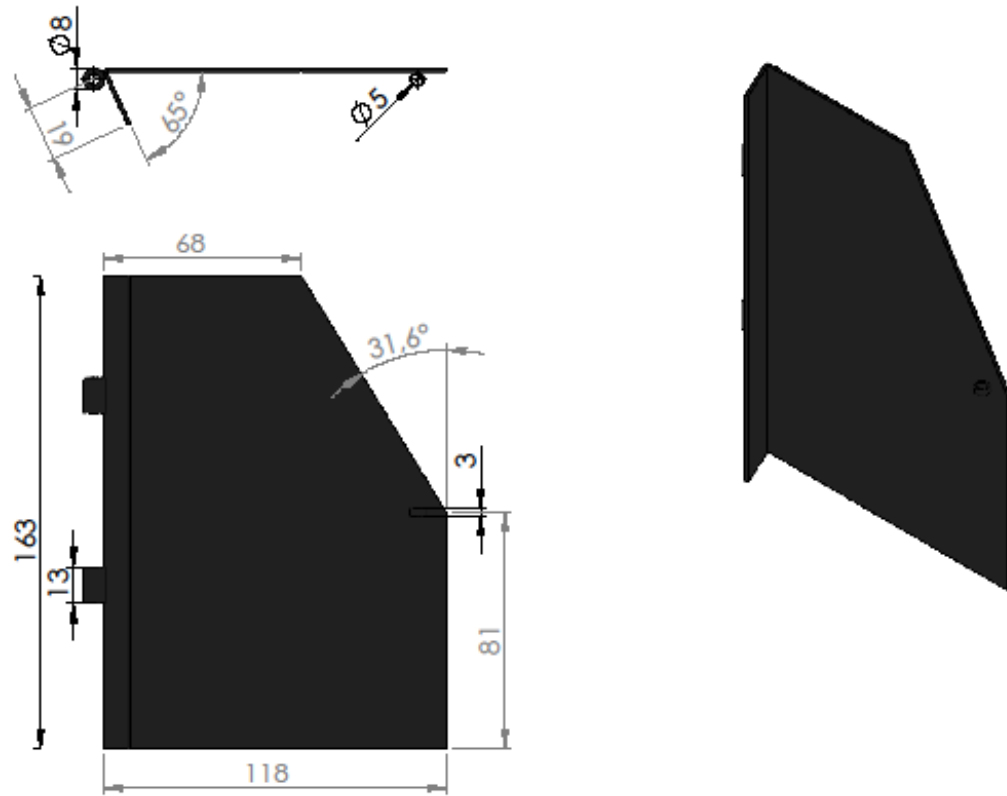
A4

MATERIAL: Acero 1045

PESO: 1 kg

HOJA 10 DE 26

ESCALA: 1:10



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicacion contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De Santander



TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: LAMINA4 GUIA PROTOTIPO



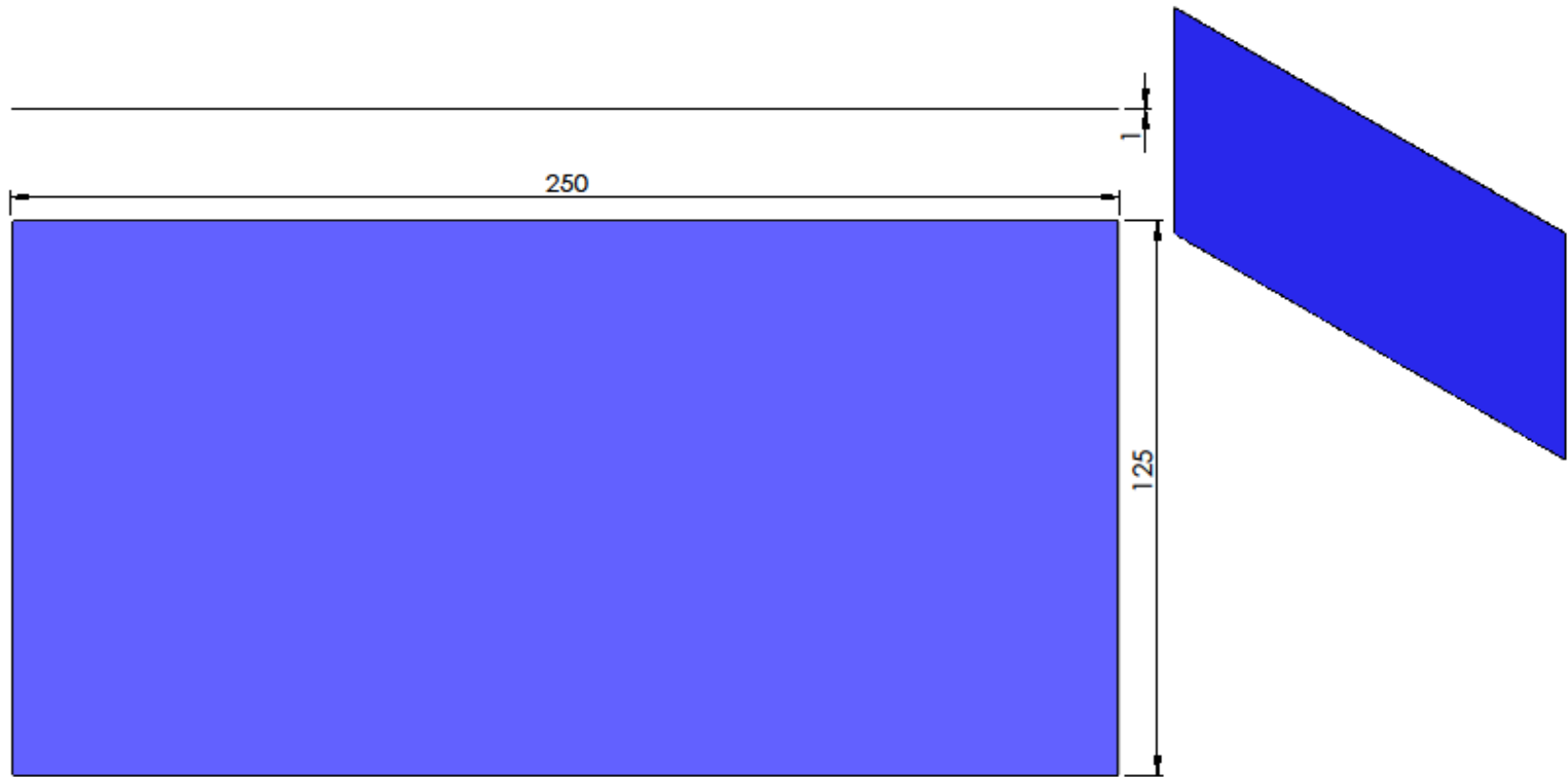
A4

MATERIAL: Acero 1045

PESO: 1 kg

HOJA 11 DE 26

ESCALA: 1:5



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R.JAIMES	25/01/2023

Salvo indicacion contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De Santantander



TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: LAMINA5-B.R 4 PROTOTIPO



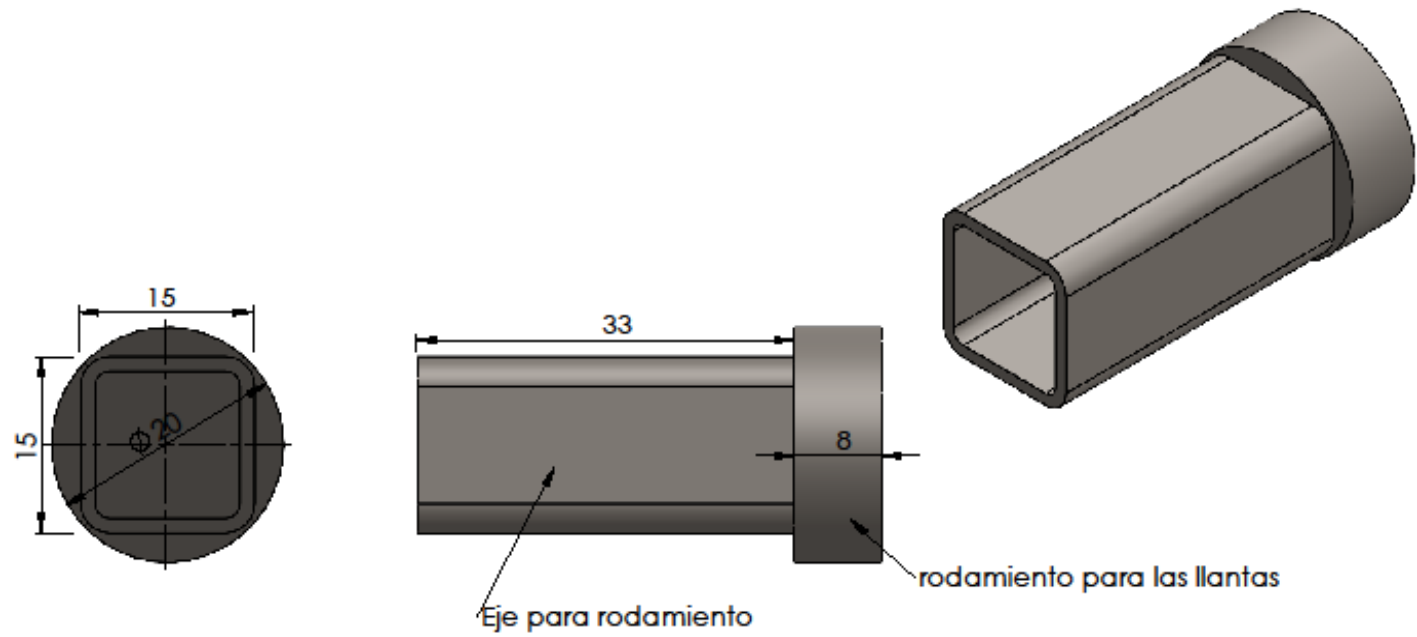
A4

MATERIAL: Acero 1045

PESO: 1 kg

HOJA 12 DE 26

ESCALA: 1:5




	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicación contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

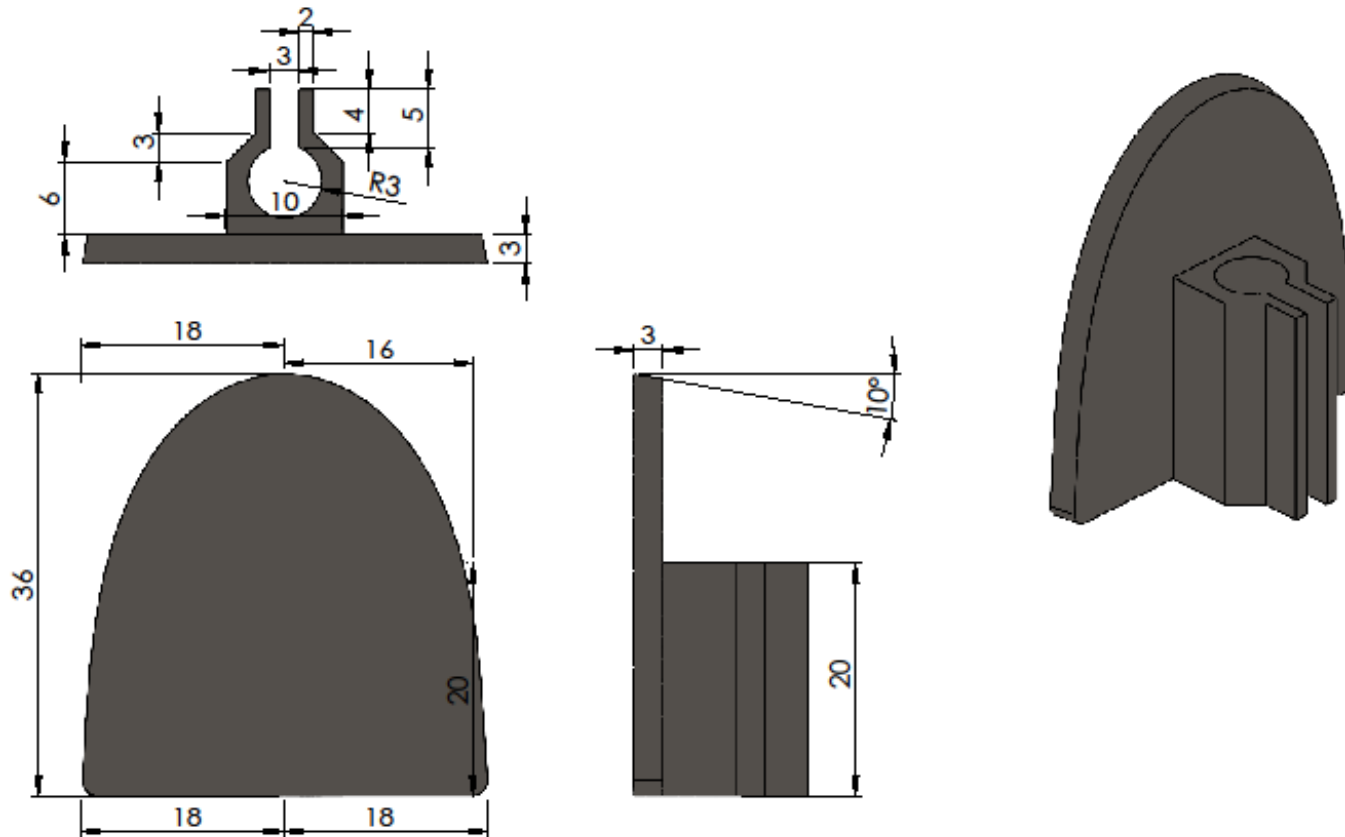


Universidad Industrial De Santander

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: LLANTA EJE 4 PROTOTIPO  **A4**

MATERIAL: Acero A36 | PESO: 2 kg | HOJA 13 DE 26 | ESCALA: 1:2



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicación contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De Santander



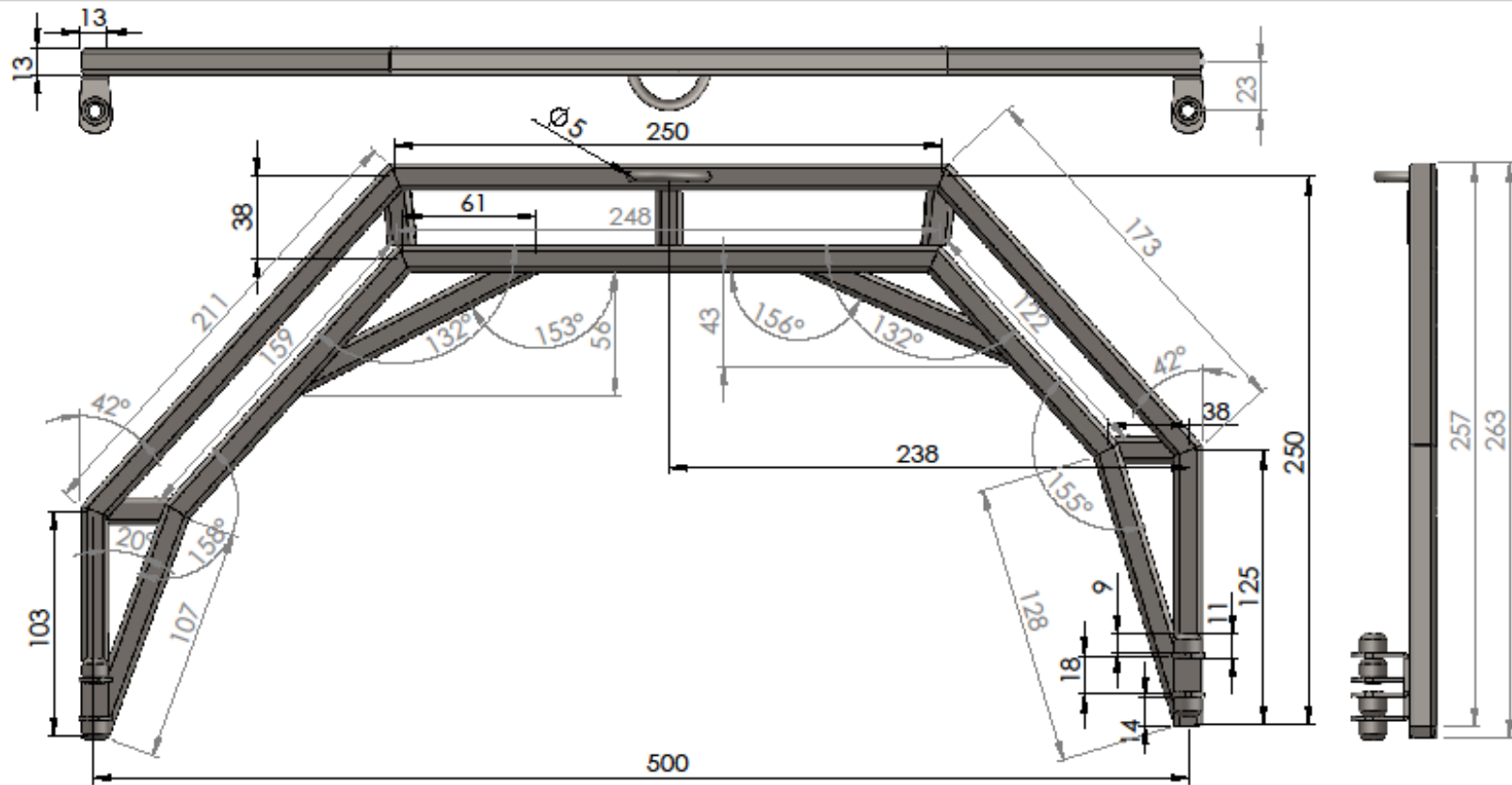

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: PALETA-ROTOR 4 PROTOTIPO



A4

MATERIAL: Acero 1045 | PESO: 0.5 kg | HOJA 14 DE 26 | ESCALA: 1:2



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicación contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De
Santander



Universidad
Industrial de
Santander

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: SUBENSAMBLE BARRA APOYO PROTOTIPO



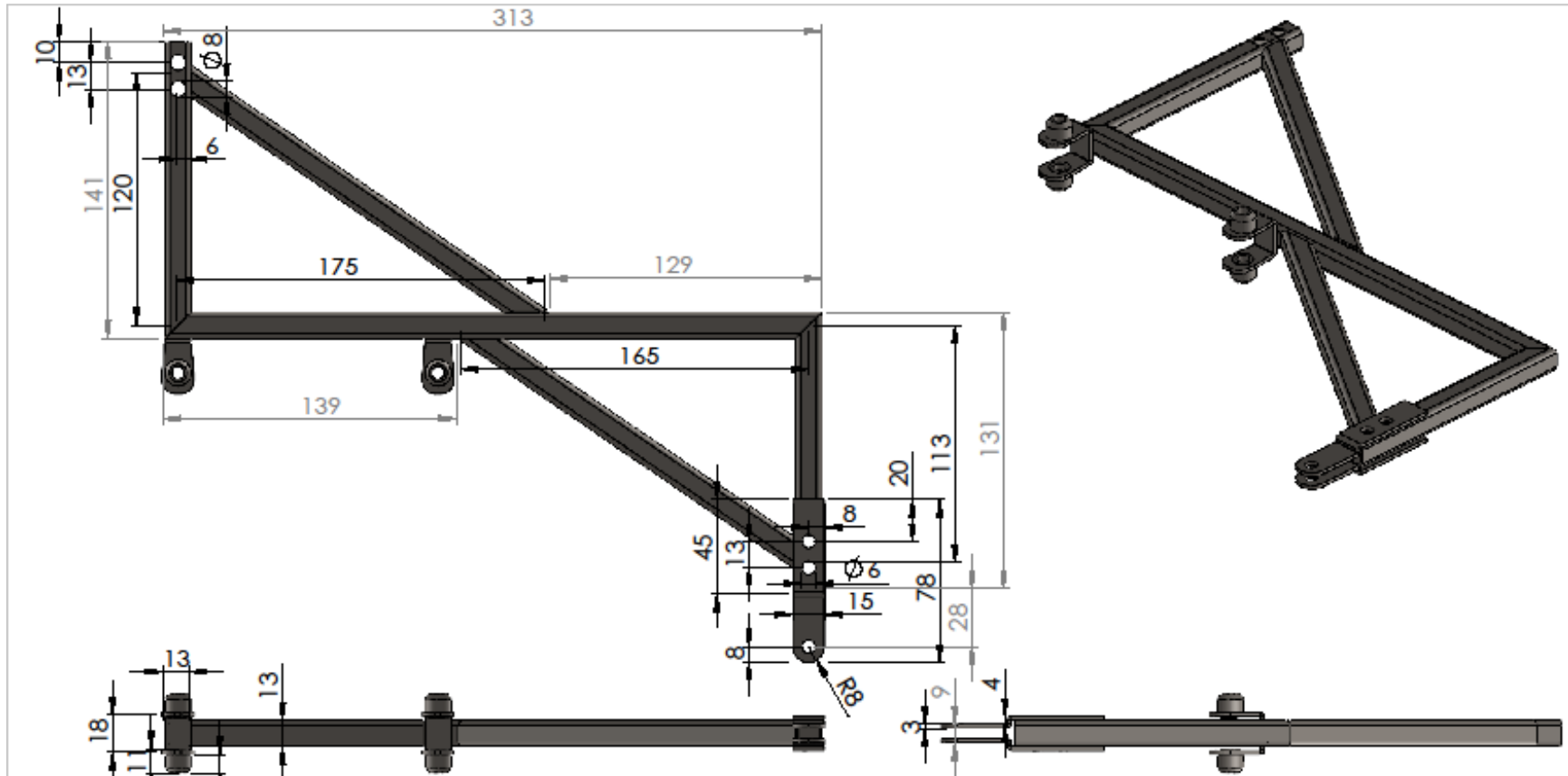
A4

MATERIAL: Acero A36

PESO: 3 kg

HOJA 16 DE 26

ESCALA: 1:10



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicacion contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$




Universidad Industrial De Santander

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: SUBENSAMBLE BARRA DE TIRO PROTOTIPO


A4

MATERIAL: Acero A36 | **PESO:** 2 kg | **HOJA:** 17 DE 26 | **ESCALA:** 1:10



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicación contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De Santander



TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: SUBENSAMBLE LLANTA PROTOTIPO



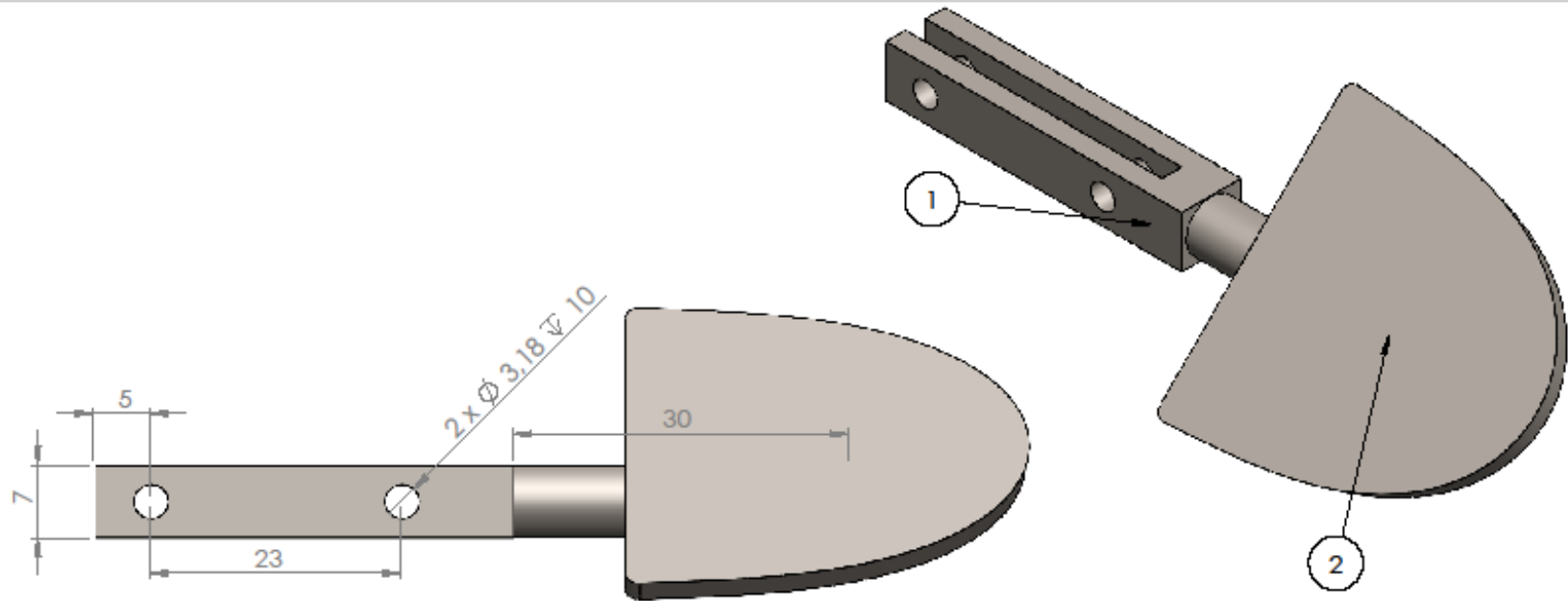
A4

MATERIAL: Nylon

PESO: 1 kg

HOJA 18 DE 26

ESCALA: 1:7




N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	TUBO PALETA 4	CONECTA CON LA PALETA Y LA PLATINA EN EL EJE	1
2	PALETA-ROTOR 4	VOLTEA EL MATERIAL	1

	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

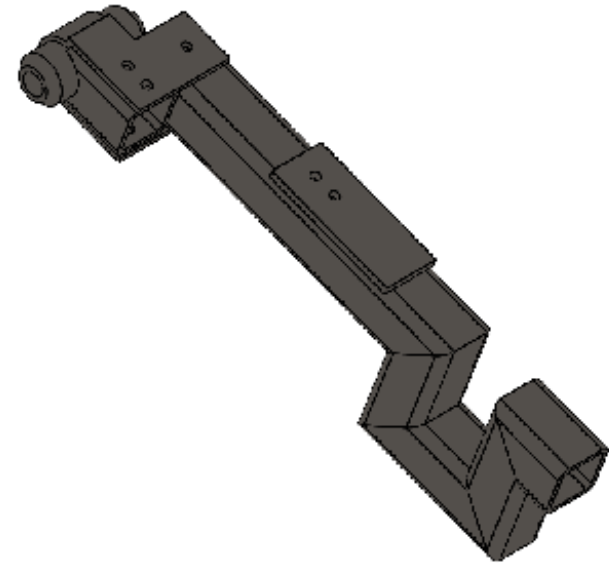
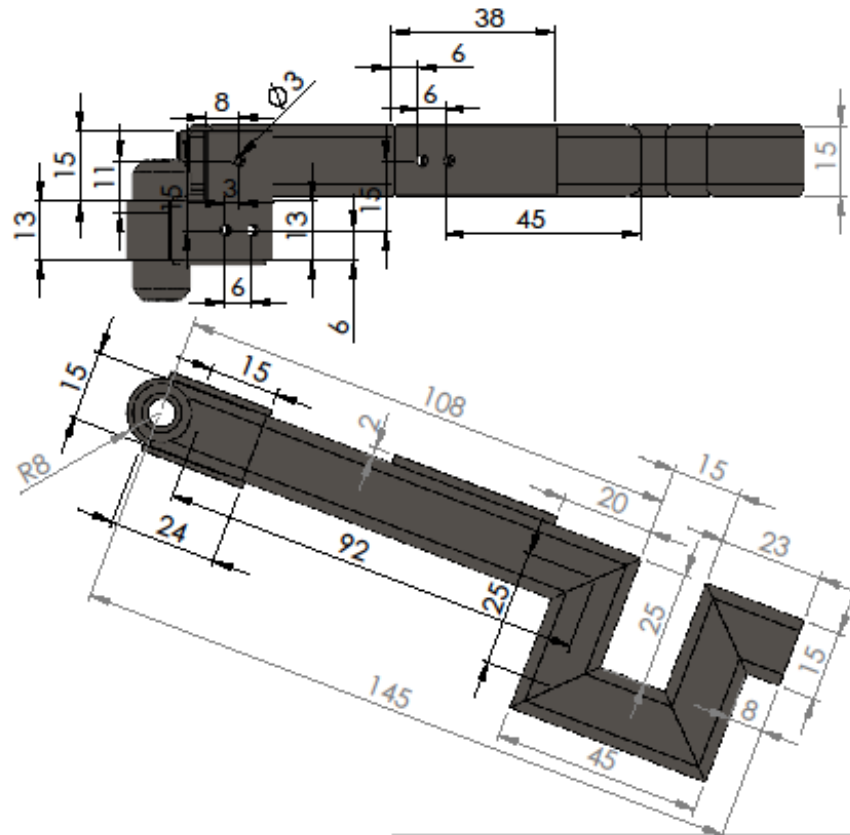
Salvo indicación contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1^\circ$

Universidad Industrial De Santantander  

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: SUBENSAMBLE PALETA 4 PROTOTIPO  **A4**

MATERIAL: Acero 1045 | PESO: 1 kg | HOJA 19 DE 26 | ESCALA: 1:2



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicación contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De Santander



Universidad Industrial De Santander

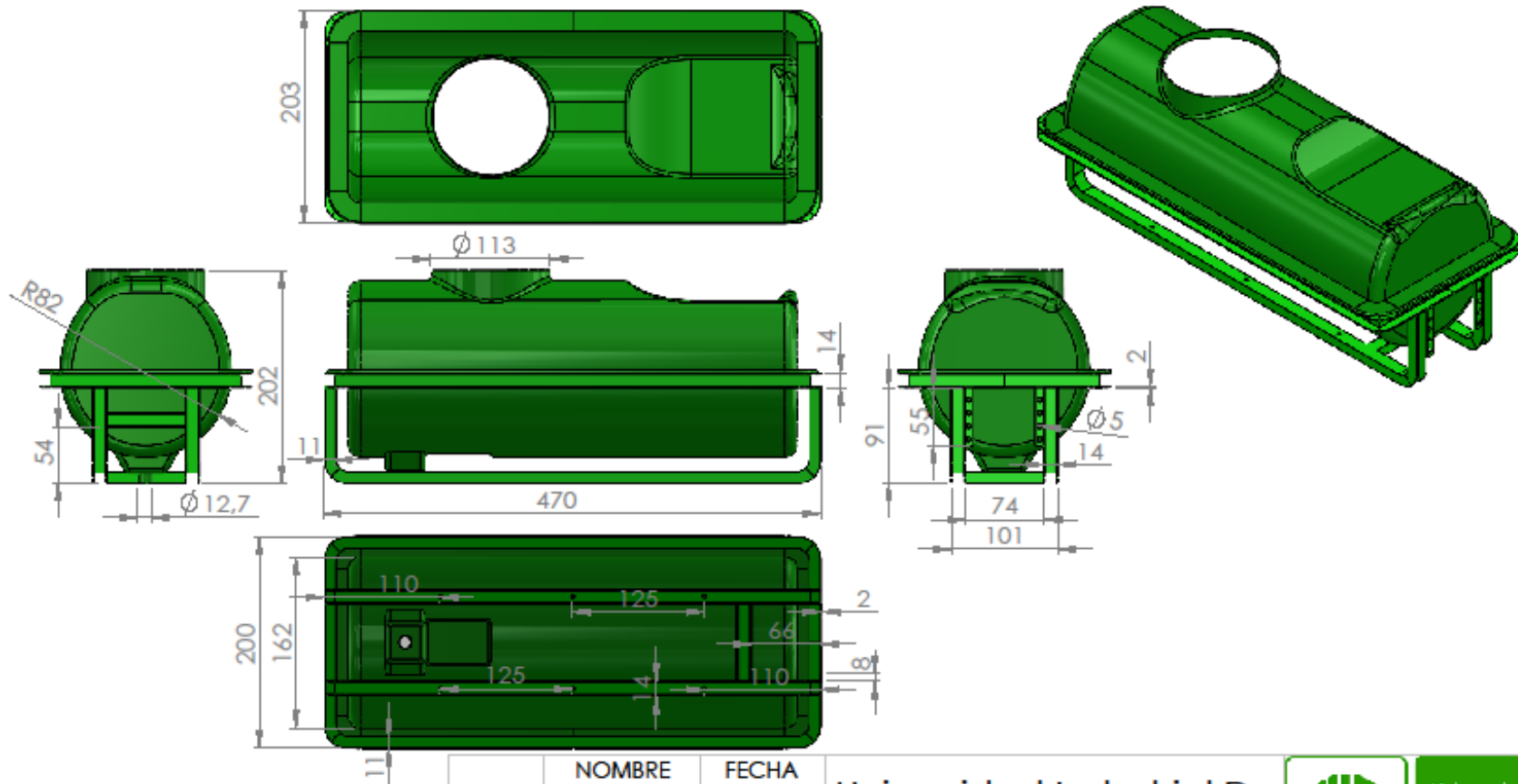
TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: SUBENSAMBLE PIVOTE-BRAZO 4 PROTOTIPO



A4

MATERIAL: Acero 1045 | PESO: 1 kg | HOJA 20 DE 26 | ESCALA: 1:5



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓR.	JAIMES	25/01/2023

Salvo indicacion contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De Santantander

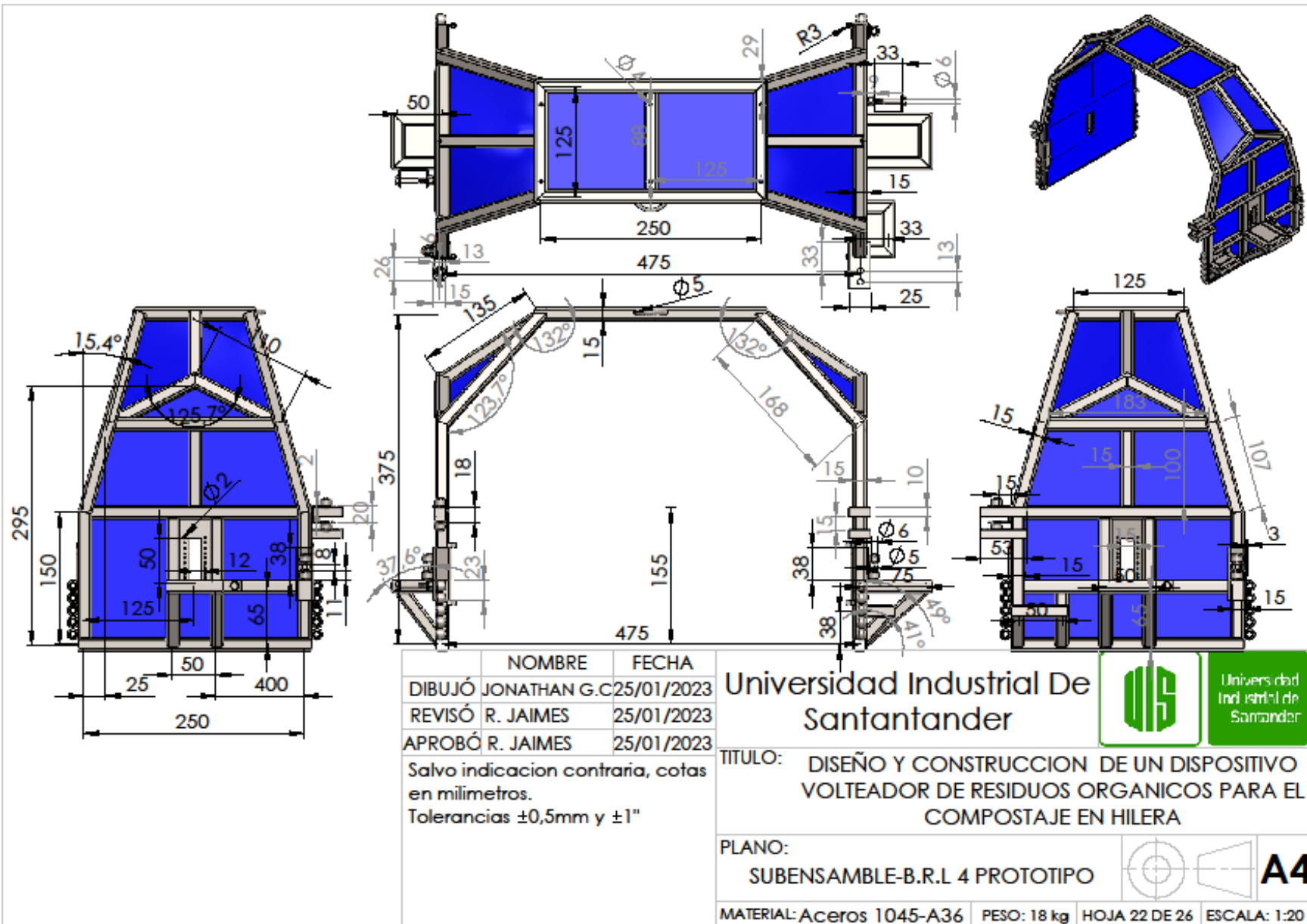


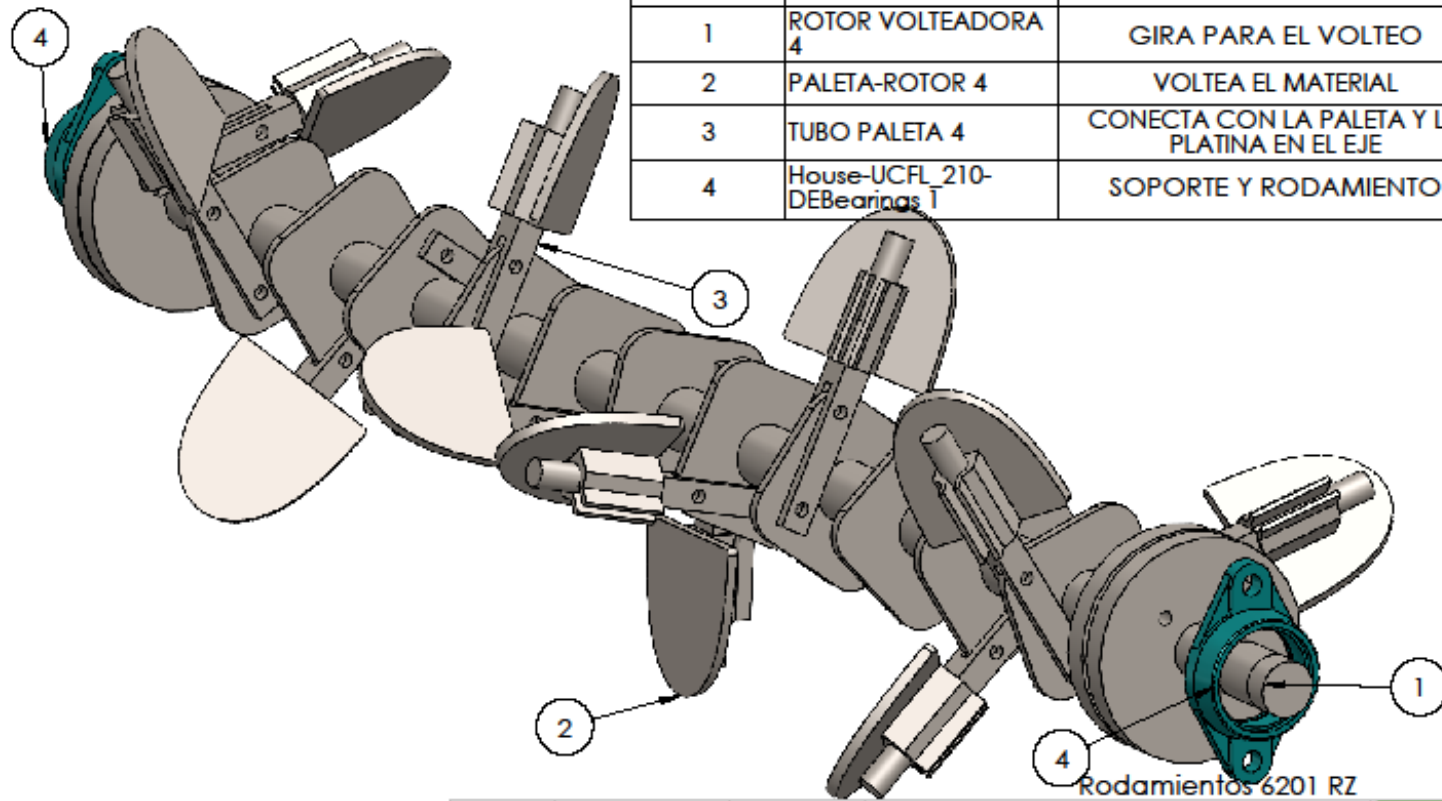
TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: SUBENSAMBLE TANQUE PROTOTIPO



MATERIAL: Acero 1045 | PESO: 16 kg | HOJA 21 DE 26 | ESCALA: 1:20





N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	ROTOR VOLTEADORA 4	GIRA PARA EL VOLTEO	1
2	PALETA-ROTOR 4	VOLTEA EL MATERIAL	13
3	TUBO PALETA 4	CONECTA CON LA PALETA Y LA PLATINA EN EL EJE	13
4	House-UCFL_210-DEBearings T	SOPORTE Y RODAMIENTO	2

Rodamientos 6201 RZ

	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicación contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De Santantander

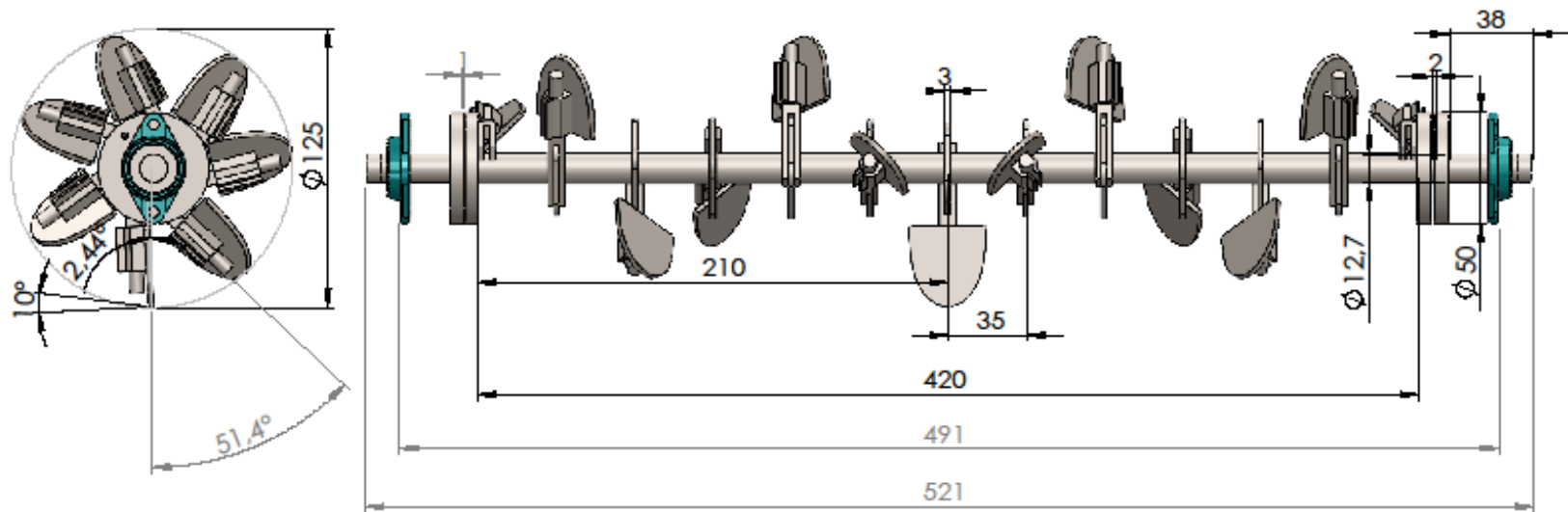


TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: SUBENSAMBLE-R.P 4 PROTOTIPO



MATERIAL: Acero 1045 | PESO: 28 kg | HOJA 23 DE 26 | ESCALA: 1:5



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicación contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De Santander



TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: SUBENSAMBLE-R.P 4.2 PROTOTIPO



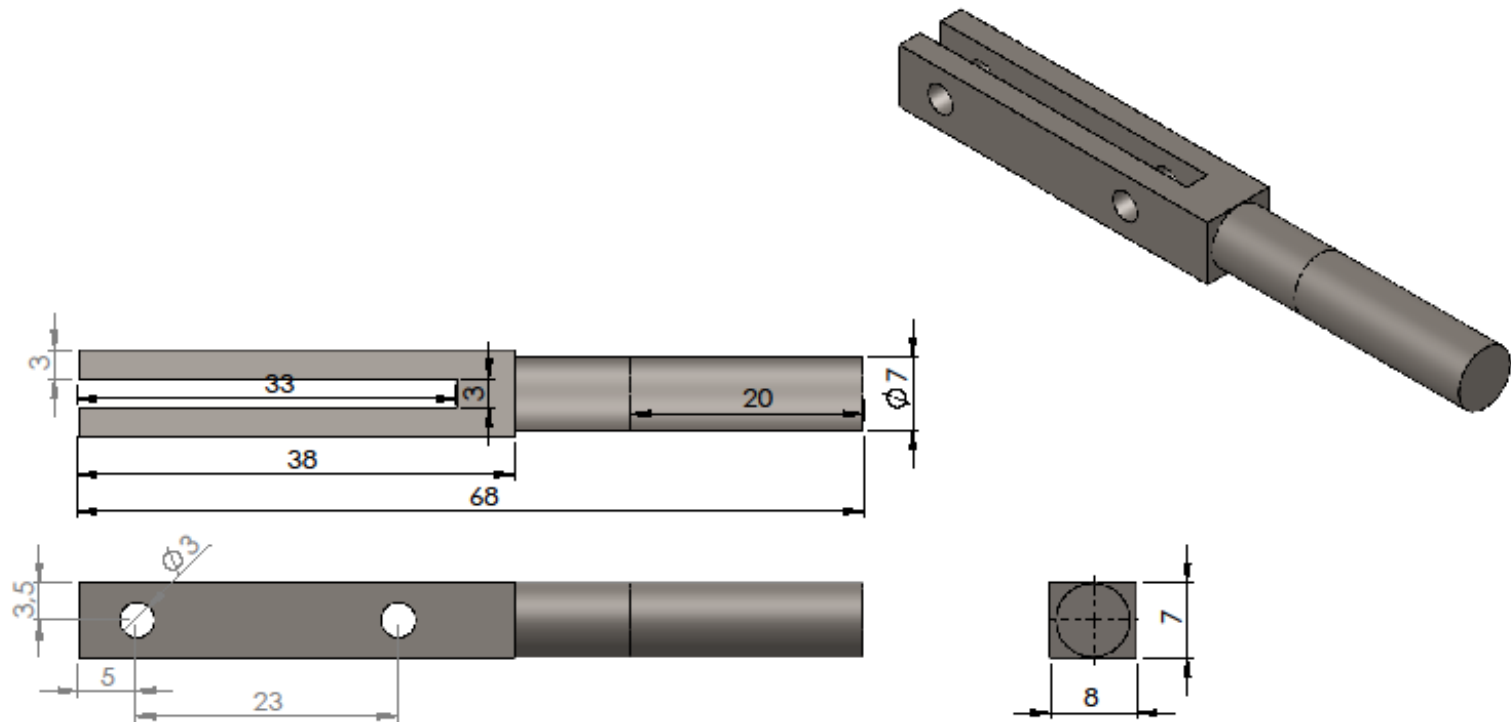
A4

MATERIAL: Acero 1045

PESO: 28 kg

HOJA 24 DE 26

ESCALA: 1:10



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicación contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1^\circ$

Universidad Industrial De
Santander



Universidad
Industrial de
Santander

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: TUBO PALETA 4 PROTOTIPO



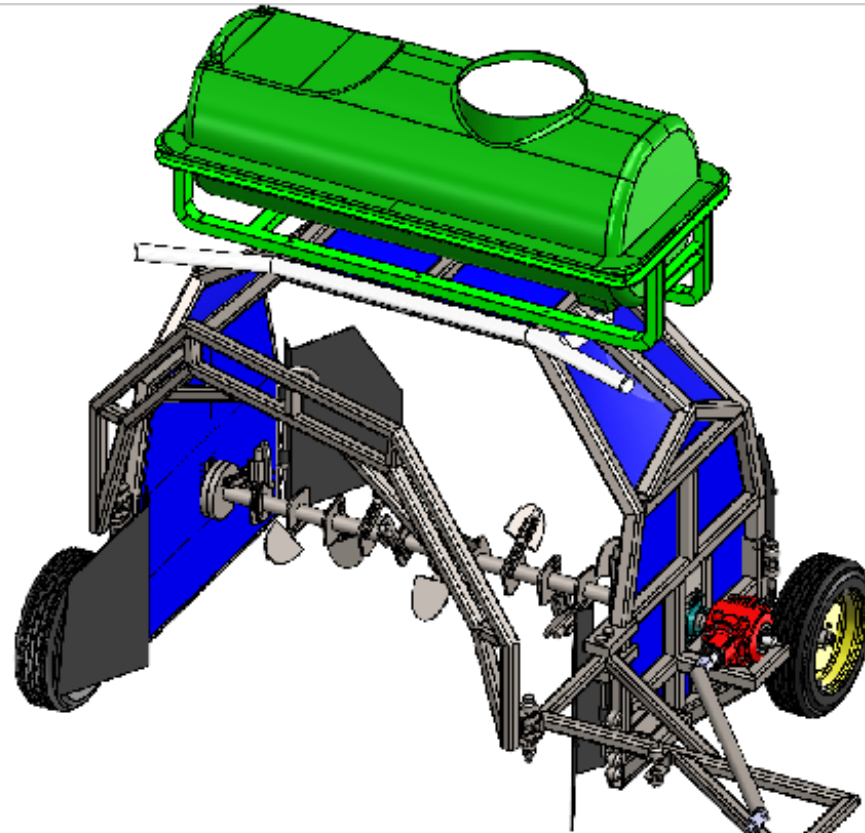
A4

MATERIAL: Acero 1045

PESO: 0.5 kg

HOJA 25 DE 26

ESCALA: 1:2



	NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ	JONATHAN G.C	25/01/2023
REVISÓ	R. JAIMES	25/01/2023
APROBÓ	R. JAIMES	25/01/2023

Salvo indicación contraria, cotas en milímetros.
Tolerancias $\pm 0,5\text{mm}$ y $\pm 1''$

Universidad Industrial De
Santander



TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO VOLTEADOR DE RESIDUOS ORGANICOS PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

PLANO: VOLTEADORA PROTOTIPO



A4

MATERIAL: Acero 1045 PESO APROX.: ± 72 kg HOJA 26 DE 26 ESCALA: 1:20

Apéndice B. Manual del Usuario y de Mantenimiento del Dispositivo

MANUAL DE INSTALACIÓN, USO Y MANTENIMIENTO



DISPOSITIVO VOLTEADOR
DE RESIDUOS ORGANICOS
PARA EL COMPOSTAJE EN
HILERA

MANUAL DE INSTALACION,
USO Y MANTENIMIENTO



Bucaramanga, Colombia
2023

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

INTRODUCCIÓN	3
ESPECIFICACIONES DE LA VOLTEADORA DE COMPOST	3
COMPONENTES DEL DISPOSITIVO VOLTEADOR	4
TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE LA VOLTEADORA.....	4
Sistema de Anclaje.....	4
Conexiones Mecánicas	5
Volteo y Evacuación de los Residuos Orgánicos.....	5
USO DE LA VOLTEADORA DE RESIDUOS ORGANICOS.....	5
Uso en el Volteo del Material.....	5
Comprobar Antes del Uso.....	5
Tiempos de operación	5
MANTENIMIENTO DE LA VOLTEADORA.....	5
Sistema de Lubricación	6
Ajuste de tornillos.....	6
Ajuste de uniones	6
Vibraciones.....	6
Limpieza de la Volteadora	6
Armado y Desarmado de la Volteadora	6

INTRODUCCION

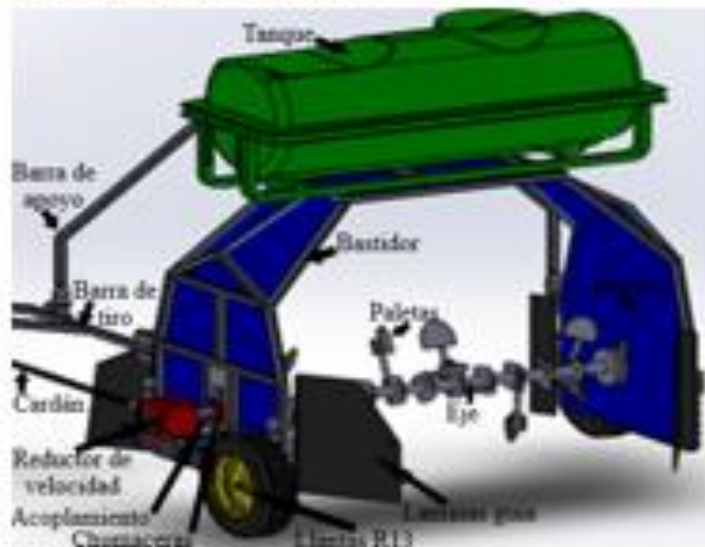
El dispositivo volteador de residuos orgánicos para el compostaje en hilera se diseña para cumplir los requerimientos de volteo. El sistema de volteo, sistema de potencia y sistema estructural, la existencia de fuerzas, torques y la velocidad de rotación. Han sido simulados y verificados mediante la aplicación de software de diseño asistido por computador (CAD-CAE). De tal forma que se tiene certeza de los elementos y materiales a utilizar en el proceso de producción y ensamble.



ESPECIFICACIONES DE LA VOLTEADORA DE COMPOST

Especificaciones de la Volteadora de Compost	
Descripción del Diseño:	Volteadora de compost
Fuente de Potencia:	Tractor de mediana y alta potencia
Peso Total de la Volteadora de Compost:	1296 kg
Sistema de volteo:	13 paletas de volteo distribuidas helicoidalmente
Sistema de Lubricación:	Grasa industrial
Transporte:	2 ruedas Rin 13. Presión de inflado 26 psi
Capacidad de Volteo:	(650-1300) m ³ /h
Capacidad Volumétrica del tanque con agua:	0,5 m ³
Velocidad de Avance:	(0,3-0,7) m/s
Velocidad de giro:	(200-380) RPM
Longitud mínima del rotor	1,8 m
Altura de la Pila:	(1-1,25) m
Ancho de la Pila:	(1,5-1,7) m
Material Volteado:	Residuos orgánicos
Densidad de Material Volteado:	Menor a (1000) kg/ m ³
Construcción:	Prototipo volteadora de compost

COMPONENTES DEL DISPOSITIVO VOLTEADOR

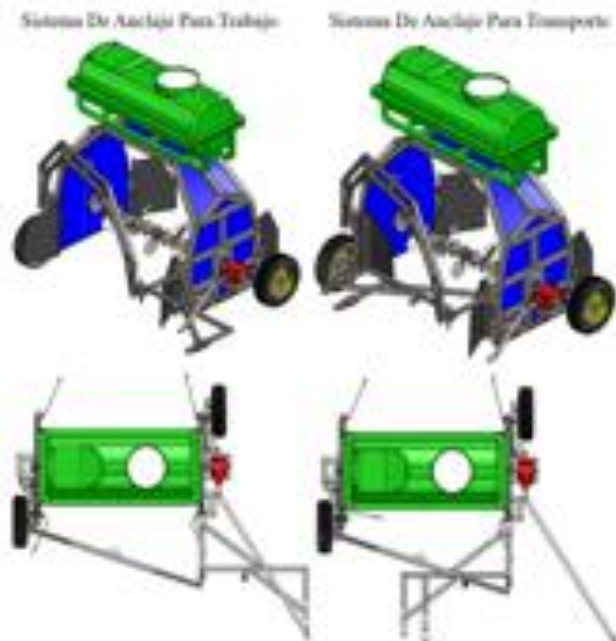


TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE LA VOLTEADORA

Se transporta gracias a las llantas y al sistema de anclaje de un punto para transporte y trabajo. Para la correcta instalación de la volteadora se debe verificar la fuente de potencia = tractor de media o alta potencia. Cerciórese de tener el sistema de anclaje de un punto correctamente tanto para transporte como para trabajo. Para poner en funcionamiento el sistema de volteo se hace mediante el toma de fuerza del tractor y la velocidad de avance del mismo.

Sistema de Anclaje

Compuesto por tubos cuadrados y platinas que forman la barra de tiro y la barra de apoyo.



Conexiones Mecánicas

Verificar que el tractor se encuentra conectado en el toma de fuerza mediante el cardán, el cardán conectado al reductor de velocidad y mediante un acoplamiento verificar que se conecta el reductor de velocidad con el rotor, por último verificar las conexiones del anclaje.

Volteo y Evacuación de los Residuos Orgánicos

El dispositivo cuenta con 2 láminas guía para controlar por donde ingresa el material a ser volteado en la parte frontal del dispositivo, cuenta con un tanque con agua para humedecer los residuos orgánicos mediante riego por goteo al inicio del proceso de volteo, el tanque puede ser retirado eventualmente para su limpieza para ello es necesario soltar 6 tuercas-tornillos que lo sujetan.

Las láminas en el bastidor son para la protección en el proceso de trabajo cuando el rotor volteo el material.

Para la parte de evacuación del material cuenta con 2 láminas guía en la parte trasera del dispositivo y la configuración helicoidal de las paletas del rotor que permiten mantener la forma trapezoidal de la pila de compost después de salir volteado el material.

USO DE LA VOLTEADORA DE RESIDUOS ORGANICOS

El dispositivo se diseña para un proceso de volteo continuo de 8 horas laborales, por lo que puede utilizarse de forma permanente sin necesidad de detener el tractor de mediana o alta potencia el cual es el suministro de energía.

Uso en el Volteo del Material

Es preferible comenzar el proceso de volteo con una velocidad de avance al material muy baja, esto para evitar cargas de inercia altas, aunque está diseñado para soportar las cargas altas lo que permite que se ponga en funcionamiento incluso con el rotor dentro del material a voltear. Es necesario agregar agua al proceso exclusivamente al comienzo del volteo mientras el rotor está en funcionamiento con el fin de evitar tómulos, pegotes que tiendan a atascar o frenar el sistema de volteo.

Comprobar Antes del Uso

Antes de poner en funcionamiento el dispositivo se debe comprobar que las láminas guía estén totalmente abiertas, la tapa superior del tanque se encuentre completamente cerrada, el anclaje y las paletas tenga una correcta sujeción de los pernos y que el ángulo de giro de las paletas sea el deseado.

Tiempos de operación

El tiempo de operación del dispositivo está diseñado para trabajo continuo de 8 horas diarias, sin embargo bajo las necesidades de uso la máquina opera muy bien en intervalos de tiempo menores entre el encendido y el apagado.

MANTENIMIENTO DE LA VOLTEADORA

Un mantenimiento excelente se basa en la revisión, limpieza, lubricación, ajuste de tuercas, ajuste de paletas, ajuste del tanque y en la operación en el rango de diseño. No seguir las

recomendaciones de un mantenimiento preventivo conlleva a un deterioro del dispositivo en general y genera pérdidas económicas por mantenimientos correctivos.

Sistema de Lubricación

El sistema de transmisión de potencia en general debe permanecer bien lubricado para su buen funcionamiento y así evitar ruido y vibraciones excesivas. Revisar de ser posible mensualmente todos los rodamientos y cojinetes para verificar que tengas la adecuada lubricación. También preste atención a ruidos extraños en el punto de contacto de los rodamientos con el eje, indicativo de fallas en la lubricación.

Ajuste de tornillos

Haga un ajuste del apriete de los tornillos frecuentemente durante el primer semestre de uso del dispositivo mientras se produce un ajuste propio debido al funcionamiento.

Ajuste de uniones

Verifique la unión entre el acoplamiento, el eje del rotor y el reductor de velocidad. También verifique la unión entre el cardan, el toma de fuerza del tractor y el reductor de velocidad de ser necesario ajústelo.

Vibraciones

Debido a sus características de operación el dispositivo tiene una vibración propia, mantenga constante observación, atención y revisión de los sistemas en movimiento como el sistema de volteo verificando posibles trabas, problemas que puedan causar flexión en el eje, flexión en el bastidor como en general. Los niveles de ruido anormales del sistema de transmisión de potencia o ruidos anormales del dispositivo en general. Si encuentra vibraciones anormales, no ponga en funcionamiento el dispositivo hasta que encuentre la fuente de la vibración, ajuste o cambie los elementos que sean necesarios hasta obtener su vibración o ruido normal.

Limpieza de la Volteadora

Permita al rotor y las paletas girar libres de carga al menos un minuto después de que finalice el volteo de los residuos orgánicos para que el material sea evacuado y retirado del rotor y las paletas. También puede hacer una limpieza semanal de las partes internas del tanque de agua y los posibles escombros pegados en las paredes, partes o elementos del dispositivo, esta limpieza puede hacerla con agua a presión evitando utilizar disolventes o extractos de petróleo en zonas de pintura ya que pueden mancharla o removerla.

Armado y Desarmado de la Volteadora

El dispositivo es desarmable y tiene sujeciones por tuerca-tornillo en todos los puntos de anclaje, uniones de elementos mecánicos y en la estructura. Para desarmar el dispositivo proceda en el siguiente orden:

1. Apagar la fuente de energía o suministro de potencia-tractor de mediana o alta potencia
2. Retiro del cardan respecto a el tractor
3. Desanclaje del punto de unión entre el dispositivo y el tractor
4. Retiro del cardan respecto al reductor de velocidad
5. Retiro del reductor de velocidad respecto a el bastidor y el acoplamiento

MANUAL DE INSTALACIÓN, USO Y MANTENIMIENTO

6. Retiro del acoplamiento respecto a el eje del rotor
7. Retiro de la cufia respecto a el eje
8. Retiro de láminas guía respecto al bastidor
9. Retiro de la barra de tiro respecto a el bastidor y la barra de apoyo
10. Retiro de la barra de apoyo respecto el bastidor
11. Retiro de tanque para agua respecto a el bastidor
12. Retiro de paletas respecto al eje
13. Afloje y retiro de los cojinetes respecto al bastidor y eje
14. Retiro de eje respecto al bastidor
15. Retiro de llantas respecto a bastidor y brazos pivotantes
16. Retiro de brazos pivotantes para llantas respecto al bastidor
17. Retiro de láminas en el bastidor

Para armar el dispositivo repita el procedimiento en forma inversa.

Apéndice C. Detalle de Cálculo de Selección de Rodamiento

Calculo de la Selección de Rodamiento para el Rotor

Condiciones De Trabajo

$$T = 80 \text{ [C]}$$

$$V_{\text{avance;real}} = 2,703 \text{ [km/h]}$$

$$n_{\text{rot}} = 270 \text{ [rev/min]}$$

$$R_A = 2,311 \text{ [kN]}$$

$$R_A = F_r$$

$$F_x = 1,482 \text{ [kN]}$$

$$F_x = F_a$$

"alta contaminacion"

"cargas combinadas"

"desalineacion"

"vibraciones"


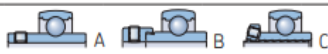
"humedad"

1) Datos De Catalogo SKF

"Rodamientos (Y)"

"Rodamiento De Insercion Con Prisionero"

Idoneidad de los rodamientos para aplicaciones industriales

Símbolos	Capacidad de carga	Desalineación				
		Carga radial	Carga axial	Carga de momento	Desalineación estática	Desalineación dinámica (unas décimas de grado)
+++ excelente ++ bueno + aceptable - deficiente -- inadecuado	↔ doble efecto ← simple efecto □ desplazamiento libre sobre el asiento ■ desplazamiento libre dentro del rodamiento					
✓ sí ✗ no						
Tipo de rodamiento						
Rodamientos rígidos de bolas		+	+ ↔	A-, B+	-	--
Rodamientos de inserción		+	+ ↔	--	++	--

Disposición				Apto para					Características de diseño				
Dellado fijo	Dellado libre	Ajustada	Flotante	Larga vida útil de la grasa	Alta velocidad	Baja variación	Alta rigidez	Baja fricción	Sellado integral	Montaje de aros separables	Agujero cónico	Soportes estándares y accesorios disponibles	
↔	□	✗	✓	A+++ B++	A+++ B+	A+++ B++	+	+++	A ✓	✗	✗	✗	
↔	↔	✗	✗	+++	++	A, B+ C++	+	++	✓	✗	✗	✓	

2) Carga Estática Equivalente Del Rodamiento PDF SKF pag355

Cargas

Carga mínima	$F_{rm} = 0,01 C$	Símbolos C capacidad de carga dinámica básica [kN] (tablas de productos, página 366) C ₀ capacidad de carga estática básica [kN] (tablas de productos) e valor límite (tabla 7, página 354) f ₀ factor de cálculo (tabla 8, página 354) F _a carga axial [kN] F _r carga radial [kN] F _{rm} carga radial mínima [kN] P carga dinámica equivalente del rodamiento [kN] P ₀ carga estática equivalente del rodamiento [kN] X factor de carga radial (tabla 7) Y factor de carga axial (tabla 7)
Para obtener más información → página 111	La importancia de someter los rodamientos a una carga mínima aumenta cuando las aceleraciones en el rodamiento son rápidas y las velocidades son próximas o superiores al 75% de la velocidad límite indicada en las tablas de productos.	
Capacidad de carga axial	$F_a \leq 0,25 C_0$	
La carga axial máxima admisible para cualquier mecanismo de fijación siempre es > 0,25 C ₀ .		
Carga dinámica equivalente del rodamiento	$F_a/F_r \leq e \rightarrow P = F_r$ $F_a/F_r > e \rightarrow P = X F_r + Y F_a$	
Para obtener más información → página 96		
Carga estática equivalente del rodamiento	$P_0 = 0,6 F_r + 0,5 F_a$	
Para obtener más información → página 110		

$$P_0 = 0,6 \cdot F_r + 0,5 \cdot F_a$$

"rodamientos proceso de selección SKF, PDF pag355"

Capacidad De Carga Estática Básica PDF pag 354

Factor de cálculo fo de tabla 8

Tabla 8

Factor de cálculo f_0	
Series de rodamientos tamaños	Factor f_0
YAT 2, YAR 2, YARAG 2, YET 2, YEL 2, YELAG 2, YSP 2, YSPAG 2, YSA 2	
03-04	13
05-12	14
13-18	15
20	14
17262	
03-04	13
05-12	14
17263	
05	12
06-10	13

$$f_0 = 14$$

Factores de cálculo de tabla 7 PDF pag 356

Tabla 7

Factores de cálculo						
$f_0 F_a / C_0$	Series de rodamientos YAT 2, YAR 2, YARAG 2, YET 2, YEL 2, YELAG, YSP 2, YSPAG 2, YSA 2			17262, 17263		
	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,29	0,46	1,88	0,19	0,56	2,3
0,345	0,32	0,46	1,71	0,22	0,56	1,99
0,689	0,36	0,46	1,52	0,26	0,56	1,71
1,03	0,38	0,46	1,41	0,28	0,56	1,55
1,38	0,4	0,46	1,34	0,3	0,56	1,45
2,07	0,44	0,46	1,23	0,34	0,56	1,31
3,45	0,49	0,46	1,1	0,38	0,56	1,15
5,17	0,54	0,46	1,01	0,42	0,56	1,04
6,89	0,54	0,46	1	0,44	0,56	1

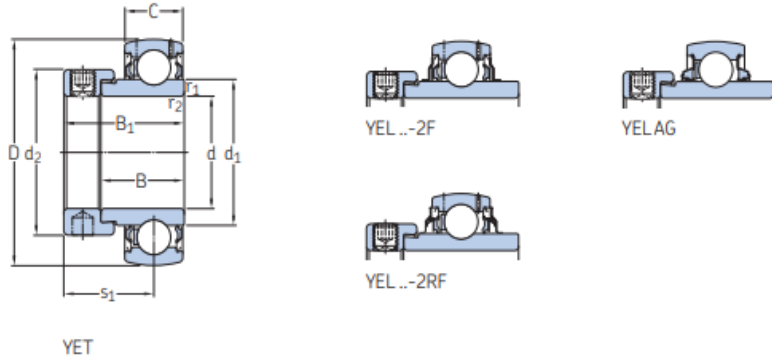
$$C_{0\text{ calculado}} = f_0 \cdot \frac{F_a}{1,03}$$

"se debe seleccionar un rodamiento con

$C_{0\text{ seleccionado}} > C_{0\text{ calculado}}$ "

3) Selección De Rodamiento YET 210 del PDF pag 375 con soporte FYTB50FM del PDF catalogo soportes para rodamientos skf pag(210-211)

2.3 Rodamientos de inserción con un anillo de fijación excéntrico, ejes métricos
d 15 – 60 mm



Dimensiones										Capacidad de carga	Carga	Velocidad	Masa	Designación
d	D	B	B ₁	C	d ₁	d ₂	s ₁	r _{1,2} min.	C	estática C ₀	límite de fatiga P _u	límite con tolerancia de eje h6	kg	
mm										kN	kN	r. p. m.	kg	-
45	85	30,2	43,7	22	56,8	62	32,7	1	33,2	21,6	0,915	4 300	0,68	▶ YET 209
	85	42,8	56,3	22	56,8	62	34,9	1	33,2	21,6	0,915	850	0,78	▶ YELAG 209
	85	42,8	56,3	22	56,8	62	34,9	1	33,2	21,6	0,915	4 300	0,79	▶ YEL 209-2F
50	90	30,2	43,7	22	62,5	67,2	32,7	1	35,1	23,2	0,98	4 000	0,74	▶ YET 210
	90	49,2	62,7	22	62,5	67,2	38,1	1	35,1	23,2	0,98	800	0,9	▶ YELAG 210
	90	49,2	62,7	22	62,5	67,2	38,1	1	35,1	23,2	0,98	4 000	0,92	▶ YEL 210-2F
55	100	32,6	48,4	25	69	74,5	35,9	1	43,6	29	1,25	3 600	1,05	▶ YET 211
	100	55,6	71,4	25	69	74,5	43,6	1	43,6	29	1,25	3 600	1,3	▶ YEL 211-2F
60	110	36,7	52,6	26	75,6	82	39,6	1,5	52,7	36	1,53	3 400	1,35	▶ YET 212
	110	61,9	77,8	26	75,6	82	46,8	1,5	52,7	36	1,53	3 400	1,7	▶ YEL 212-2F

$$d_{\text{eje}} = 50 \text{ [mm]}$$

$$D_{\text{rodamiento}} = 90 \text{ [mm]}$$

$$C = 35,1 \text{ [kN]}$$

$$C_{0\text{seleccionado}} = 23,2 \text{ [kN]}$$

$$P_u = 0,98 \text{ [kN]}$$

$$\text{rpm} = 4000 \text{ [rev/min]}$$

3,1) Factor De Seguridad Estático

B.3 Tamaño del rodamiento

Valores orientativos para el factor de seguridad estática, s_0

El factor de seguridad estática s_0 está dado por

$$s_0 = C_0/P_0$$

donde

s_0 = factor de seguridad estática

C_0 = capacidad de carga estática básica
requerida [kN]

P_0 = carga estática equivalente del rodamiento [kN]

$$S_0 = \frac{C_0 \text{ seleccionado}}{P_0}$$

4) Carga Dinámica Equivalente Del Rodamiento

Recalculando Factores de Calculo

$$f_0' = f_0 \cdot \frac{F_a}{C_0 \text{ seleccionado}}$$

Calculando (e) Mediante Interpolación tabla 7 PDF pag 356

$$e_0 = 0,36$$

$$e_1 = 0,38$$

$$f_1 = 1,03$$

$$f_0 = 0,689$$

$$y_0 = 1,52$$

$$y_1 = 1,41$$

$$e = e_o + \left[\frac{e_1 - e_o}{f_1 - f_o} \right] \cdot (f_o' - f_o)$$

$$Y = y_o + \left[\frac{y_1 - y_o}{e_1 - e_o} \right] \cdot (e - e_o)$$

Carga Dinamica Equivalente Del Rodamiento PDF pag355

"si $F_a/F_r \leq e$ entonces $P=F_r$ "

"si $F_a/F_r > e$ entonces $P=X \cdot F_r + Y \cdot F_a$ "

$$J = \frac{F_a}{F_r}$$

$$X = 0,46$$

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

5) Vida Deseada O Vida De Diseño

$$L_{\text{especifica}} = 0,1 \cdot 10^6 \text{ [km]}$$

"millones de kilometros"

$$L_D = \frac{L_{\text{especifica}} \cdot n_{\text{rot}} \cdot 60}{V_{\text{avance;real}}}$$

$$L_{DH} = \frac{L_D}{60 \cdot n_{\text{rot}}}$$

"tabla 1 PDF pag 90"

Tabla 1

Valores orientativos de la vida especificada de los diferentes tipos de máquinas

Tipo de máquina	Vida especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos donde se requiere una alta confiabilidad de funcionamiento: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadoras, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Máquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	100 000 ... 200 000

-Capacidad De Carga Requerida C_{req}

Exponente de la ecuación de la vida PDF pag 91

$$P_{\text{catalogo}} = 3$$

rodillos"

"3 para rodamientos de bolas y 10/3 para rodamientos de

$$C_{req} = P \cdot (L_D \cdot 10^{-6})^{\left[\frac{1}{P_{\text{catalogo}}} \right]}$$

adecuado ya que es mayor la capacidad del rodamiento"

"como $C > C_{req}$ es

6) Vida Nominal

- L_{10} = vida nominal básica (con una confiabilidad del 90%) [millones de revoluciones]
 L_{10h} = vida nominal básica (con una confiabilidad del 90%) [horas de funcionamiento]
 C = capacidad de carga dinámica básica [kN]
 P = carga dinámica equivalente del rodamiento [kN]
 n = velocidad de giro [r. p. m.]
 p = exponente de la ecuación de la vida
 = 3 para los rodamientos de bolas
 = $10/3$ para los rodamientos de rodillos

$$L_{10} = \left[\frac{C}{P} \right]^{p_{\text{catalogo}}} \cdot 10^6$$

$$L_{10H} = \frac{L_{10}}{60 \cdot n_{\text{rot}}}$$

7) Vida Ajustada Del Rodamiento O Vida Nominal SKF

"Valores orientativos para el factor n_c para distintos niveles de contaminación"

Factor n_c PDF tabla 6 pag 107

Tabla 6

Valores orientativos para el factor η_c para distintos niveles de contaminación

Condiciones	Factor η_c ¹⁾ para rodamientos con diámetro	
	$d_m < 100$	$d_m \geq 100$ mm
Limpieza extrema • Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante • Condiciones de laboratorio	1	1
Gran limpieza • Aceite lubricante con filtración muy fina • Condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Limpieza normal • Aceite lubricante con filtración fina • Condiciones típicas: rodamientos con placas de protección lubricados con grasa de por vida	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Contaminación ligera • Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste y leve ingreso de contaminantes	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
Contaminación típica • Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste e ingreso de partículas desde el exterior	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
Contaminación severa • Condiciones típicas: altos niveles de contaminación debido a desgaste excesivo o sellos ineficaces • Disposición de los rodamientos con sellos ineficaces o dañados	0,1 ... 0	0,1 ... 0
Contaminación muy severa • Condiciones típicas: niveles de contaminación tan severas que los valores de η_c están fuera de escala, lo que reduce significativamente la vida útil del rodamiento	0	0

¹⁾ La escala para η_c se refiere solo a contaminantes sólidos típicos. No se incluye la contaminación por agua u otros fluidos perjudiciales para la vida del rodamiento. Debido al fuerte desgaste abrasivo en entornos altamente contaminados ($\eta_c = 0$), la vida útil del rodamiento puede ser significativamente inferior a la vida nominal.

$$\eta_c = 0,7$$

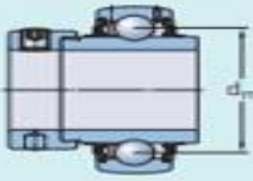
"Gran limpieza: *Aceite lubricante con filtración muy fina, *condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida"

Diametro medio del rodamiento PDF pag 103

$$d_m = 0,5 \cdot (D_{\text{rodamiento}} + d_{\text{eje}})$$

Tabla 3

Diámetro medio del rodamiento d_m

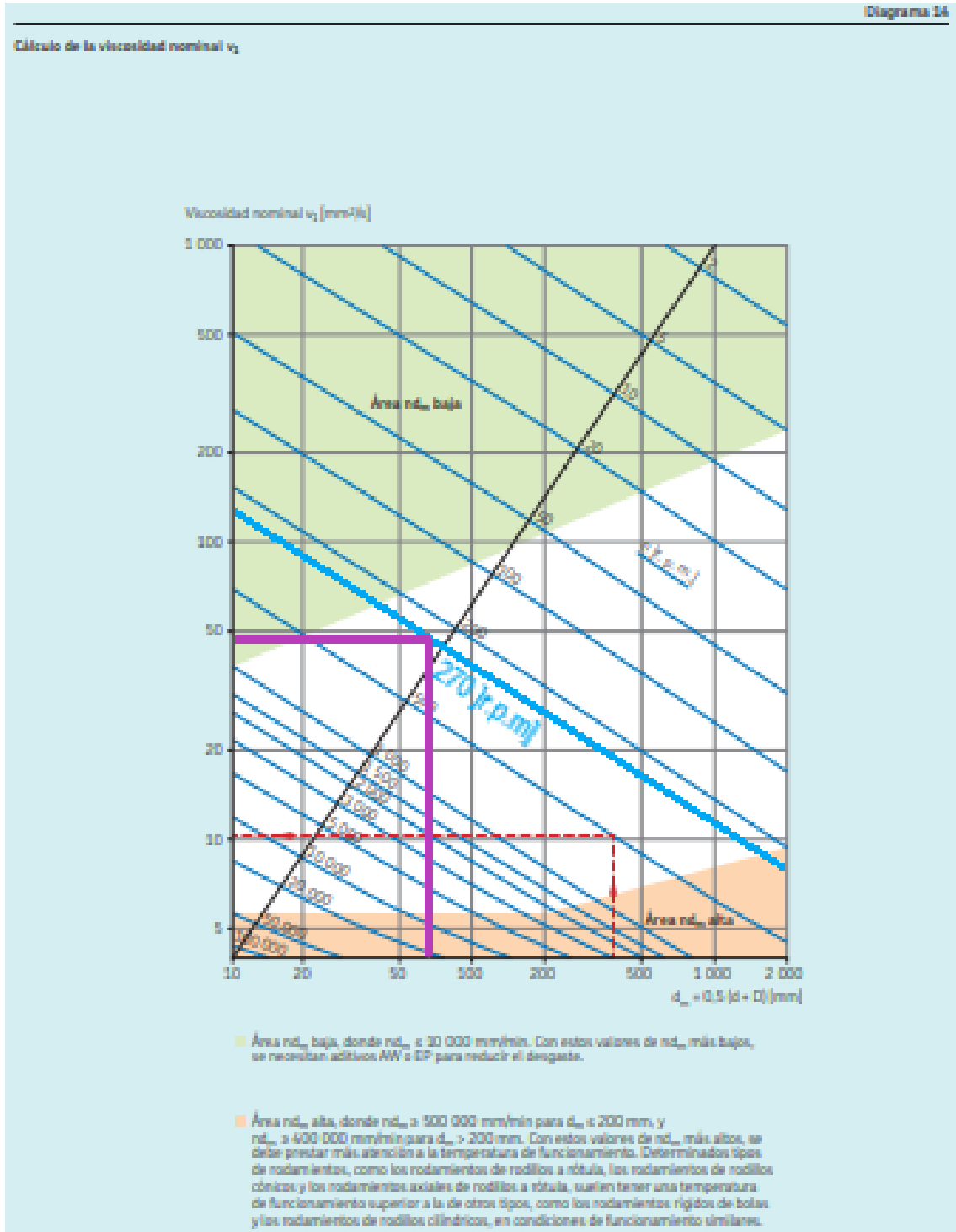


Tamaño del rodamiento ¹⁾	Diámetro medio del rodamiento d_m
--	mm
03	28,5
04	33,5
05	39
06	46
07	53,5
08	60
09	65
10	70
11	77,5
12	85
13	92,5
14	97,5
15	102,5
16	110
17	117,5
18	126
20	141

1) Por ejemplo: el tamaño del rodamiento 06 incluye todos los rodamientos en función de un rodamiento de inserción 206, como YAR 206-2F, YAR 206-101-2F, YAR 206-102-2F, YAR 206-103-2F, YAR 206-104-2F.

Viscosidad Nominal PDF pag 103

$$V1 = 48 \text{ [mm}^2\text{/s]}$$



Factores a_{skf} para rodamientos radiales de bolas

$$J' = n_c \cdot \frac{Pu}{P}$$

Factor de confiabilidad

Tabla 3

Valores del factor de ajuste de la vida útil a_1

Confiabilidad	Probabilidad de falla n	Vida nominal SKF L_{nm}	Factor a_1
%	%	millones de revoluciones	-
90	10	L_{10m}	1
95	5	L_{5m}	0,64
96	4	L_{4m}	0,55
97	3	L_{3m}	0,47
98	2	L_{2m}	0,37
99	1	L_{1m}	0,25

$$a_1 = 1$$

"PDF tabla 3 pag 92"

Relación De Viscosidad

κ = condición de lubricación del rodamiento, es decir, la relación de viscosidad

ν = viscosidad real de funcionamiento del aceite o del aceite base de la grasa [mm²/s]

ν_1 = viscosidad nominal, en función del diámetro medio del rodamiento y la velocidad de giro [mm²/s]

$$k = \frac{\nu}{\nu_1}$$

"V=Viscosidad Real"

$$k = 0,32$$

"PDF pag 104"

Factor Introducido Por SKF

$$a_{skf} = \frac{L_0}{a_1 \cdot L_{10}}$$

"PDF pag 96"

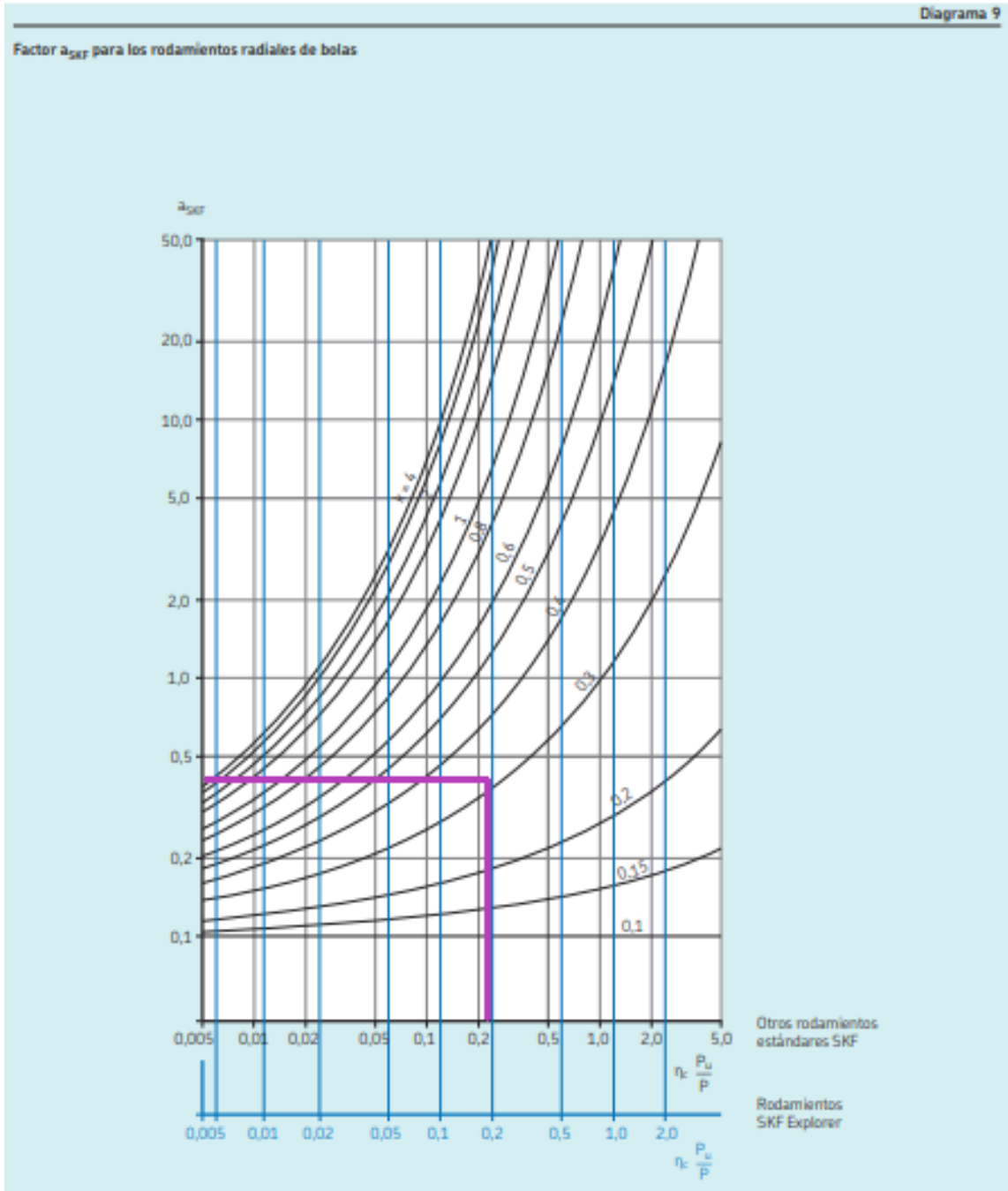
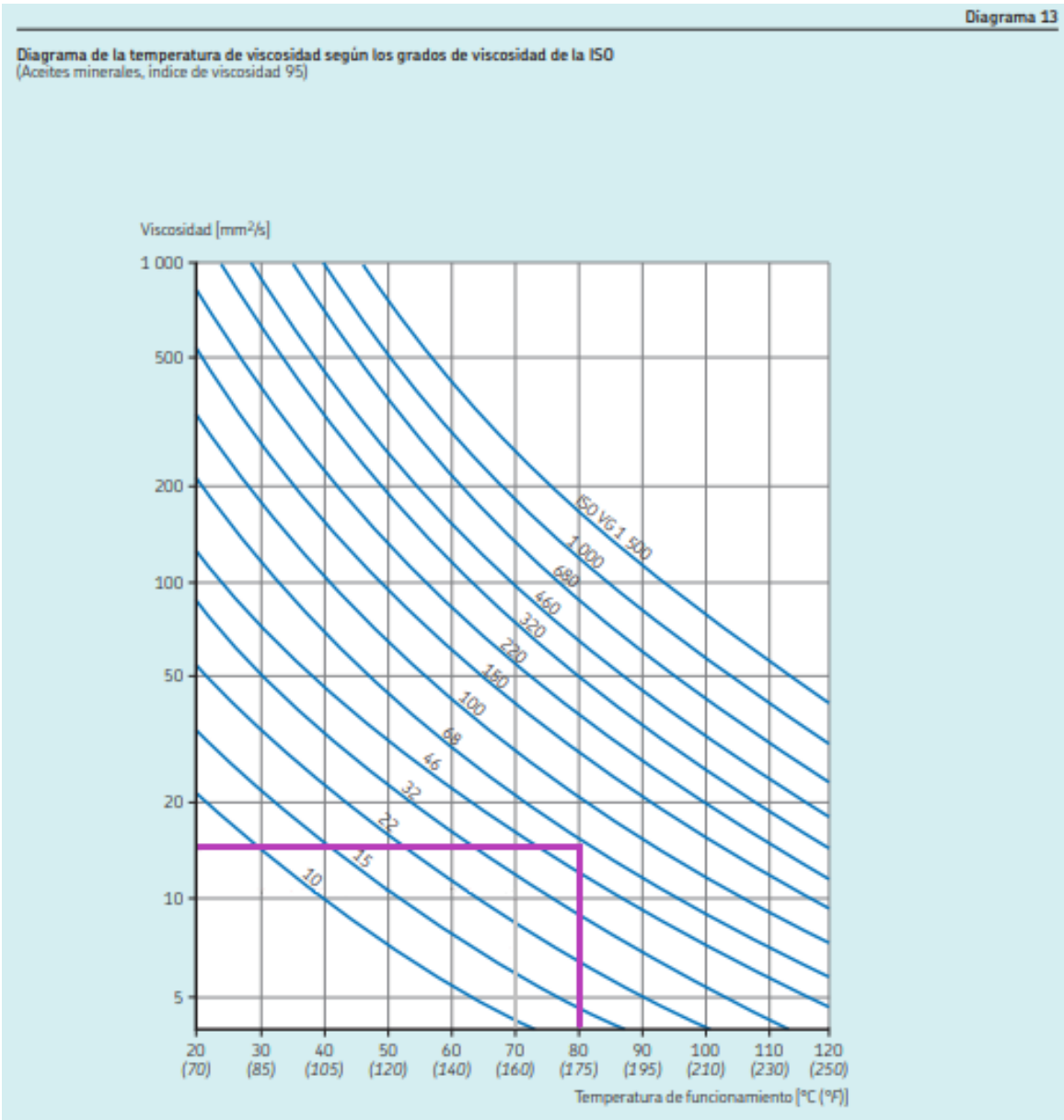


Diagrama de la temperatura de viscosidad segun los grados de viscosidad de la iso. Aceites minerales, indice de viscosidad 95.



*Lubricante ISOVG68, PDF diagrama 13 pag 102

Vida Nominal SKF

$$L_{nm} = a_1 a_{SKF} L_{10} = a_1 a_{SKF} \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Si la velocidad es constante, la vida útil se puede expresar en horas de funcionamiento, mediante

$$L_{nmh} = \left(\frac{10^6}{60 n}\right) L_{nm}$$

donde

L_{nm} = vida nominal SKF (con una confiabilidad del 100 - n²%) [millones de revoluciones]

L_{nmh} = vida nominal SKF (con una confiabilidad del 100 - n²%) [horas de funcionamiento]

L_{10} = vida nominal básica (con una confiabilidad del 90%) [millones de revoluciones]

a_1 = factor de ajuste de la vida útil para mayor confiabilidad (**tabla 3, página 90**, valores según la norma ISO 281)

a_{SKF} = factor de modificación de la vida útil

C = capacidad de carga dinámica básica [kN]

P = carga dinámica equivalente del rodamiento [kN]

n = velocidad de giro [r. p. m.]

p = exponente de la ecuación de la vida
= 3 para los rodamientos de bolas
= 10/3 para los rodamientos de rodillos

Para una confiabilidad del 90%:

L_{nm} = vida nominal SKF (con una confiabilidad del 100 - n²%) [millones de revoluciones]

Pasa a ser:

L_{10m} = vida nominal SKF [millones de revoluciones]

²⁾ El factor n representa la probabilidad de falla, que es la diferencia entre la confiabilidad requerida y el 100%.

$$L_{nm} = a_1 \cdot a_{skf} \cdot L_{10}$$

$$L_{nmH} = \frac{L_{nm}}{60 \cdot n_{rot}}$$

Tabla 1

Valores orientativos de la vida especificada de los diferentes tipos de máquinas	
Tipo de máquina	Vida especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos donde se requiere una alta confiabilidad de funcionamiento: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadoras, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Máquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	100 000 ... 200 000

8) Carga Mínima

$$F_{\min} = 0,01 \cdot C$$

"carga mínima determinada del rodamiento para que no se produzca falla por derrape y lograr un funcionamiento satisfactorio. $F_{\min} < P$ sirve. PDF pag 108"

9) Factor de rodamiento bf

9,1) Factor De Seguridad Dinámico

$$S = \frac{C}{P}$$

$$bf = 1$$

"PDF tabla 1 pag 115"

Tabla 1

Factores de los rodamientos y límites recomendados para nd_m

Tipo de rodamiento ¹⁾	Factor del rodamiento b_f	Límites recomendados de nd_m para relación de carga		
		C/P ≥ 15	C/P = 8	C/P = 4
mm/min				
–	–	–	–	–
Rodamientos rígidos de bolas	1	500 000	400 000	300 000
Rodamientos de bolas de contacto angular	1	500 000	400 000	300 000
Rodamientos de bolas a rótula	1	500 000	400 000	300 000
Rodamientos de rodillos cilíndricos				
– rodamiento libre	1,5	450 000	300 000	150 000
– rodamiento fijo, sin cargas axiales externas o con cargas axiales ligeras pero alternantes	2	300 000	200 000	100 000
– rodamiento fijo con carga axial ligera en constante movimiento	4	200 000	120 000	60 000
– sin jaula, completamente lleno de rodillos ²⁾	4	NA ³⁾	NA ³⁾	20 000
Rodamientos de agujas				
– con jaula	3	350 000	200 000	100 000
Rodamientos de rodillos cónicos	2	350 000	300 000	200 000
Rodamientos de rodillos a rótula				
– si la relación de carga F_d/F_r < e y d_m < 800 mm				
series 213, 222, 238, 239	2	350 000	200 000	100 000
series 223, 230, 231, 232, 240, 248, 249	2	250 000	150 000	80 000
serie 241	2	150 000	80 000	50 000
– si la relación de carga F_d/F_r < e y d_m > 800 mm				
series 238, 239	2	230 000	130 000	65 000
series 230, 231, 232, 240, 248, 249	2	170 000	100 000	50 000
serie 241	2	100 000	50 000	30 000
– si la relación de carga F_d/F_r > e				
todas las series	6	150 000	50 000	30 000
Rodamientos de rodillos toroidales CARB				
– con jaula	2	350 000	200 000	100 000
– sin jaula, completamente lleno de rodillos ²⁾	4	NA ³⁾	NA ³⁾	20 000
Rodamientos axiales de bolas	2	200 000	150 000	100 000
Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos	1,0	100 000	60 000	30 000
Rodamientos axiales de agujas	1,0	100 000	60 000	30 000
Rodamientos axiales de rodillos a rótula				
– arandela de eje gísteria	4	200 000	120 000	60 000

¹⁾ Los factores del rodamiento y los límites recomendados de nd_m se aplican a los rodamientos con una geometría estándar y una versión de la jaula estándar. Para diseños internos, alternativos del rodamiento y versiones especiales de la jaula, comuníquese con el Departamento de Ingeniería de Aplicaciones de SKF.

²⁾ El valor t_f obtenido en el **Diagrama 2** debe ser dividido por un factor de 30.

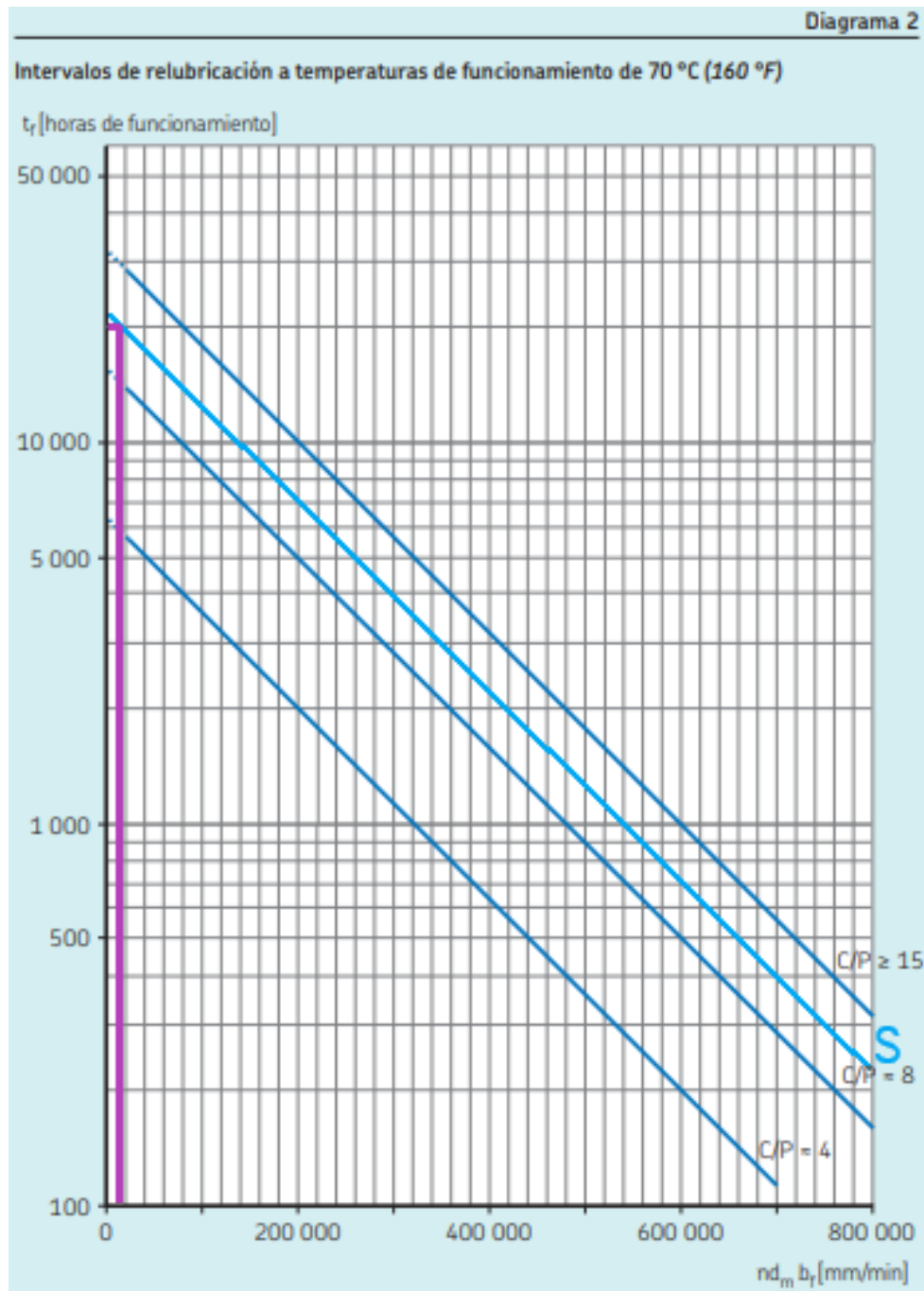
³⁾ No corresponde, ya que se recomienda utilizar un rodamiento con jaula para estos valores de C/P.

Selección de horas de funcionamiento t_f : intervalos de relubricación a temperaturas de funcionamiento de (70-80)°

$$Af = n_{rot} \cdot dm \cdot bf$$

"para PDF diagrama 2 pag 114"

$$tf = 20000 \text{ [h]}$$



Factores de ajuste para t_f PDF tabla 2 pag 117

Tabla 2

Ajustes del intervalo de relubricación			
Condición de funcionamiento / tipo de rodamiento	Descripción	Ajuste recomendado de t_r	Motivo del ajuste
Temperatura de funcionamiento	Por cada 15 °C (27 °F) por encima de 70 °C (160 °F) hasta el límite superior de temperatura (HTL)	La mitad del intervalo	Para justificar el envejecimiento acelerado de la grasa con el aumento de la temperatura
	Para 15 °C (27 °F) por debajo de 70 °C (160 °F)	El doble del intervalo (una vez como máximo) ^[1]	Para justificar el riesgo reducido de envejecimiento de la grasa con el descenso de la temperatura
Orientación del eje	Rodamientos montados sobre un eje vertical	La mitad del intervalo	La grasa tiende a escapar por efecto de la gravedad
Vibración	Altos niveles de vibración o aceleración	Reducción del intervalo	Intervalo reducido en función de las instrucciones específicas de la máquina (p. ej., criba vibratoria)
Giro del aro exterior	Giro del aro exterior o peso del eje excéntrico	Calcule la velocidad como nD más que como nD_{ext}	En estas condiciones, la grasa tiene una vida útil más corta
Contaminación	Contaminación o presencia de contaminantes líquidos	Ajuste en función del nivel de contaminación: Baja Los intervalos de relubricación se indican según la vida útil de la grasa. Se supone que el ingreso de contaminación en el rodamiento será muy bajo o nulo. Mediana Algunos contaminantes pueden ingresar al rodamiento. Se necesita relubricación adicional para eliminar los contaminantes. Alta Existe un claro riesgo de que los contaminantes ingresen en el rodamiento. Se necesita relubricación para eliminar la grasa envejecida y para eliminar los contaminantes. Grave La relubricación es necesaria, principalmente, para limpiar el rodamiento y eliminar los contaminantes.	Para reducir los efectos perjudiciales provocados por los contaminantes
Tamaño del rodamiento	Rodamientos con un diámetro del agujero $d > 300$ mm	Inicialmente, reduzca el intervalo por un factor 0,5. Si las muestras de grasa obtenidas antes de la relubricación resultan satisfactorias, se puede incrementar gradualmente el intervalo de relubricación.	Estas son disposiciones generalmente críticas, que requieren estrictos programas de relubricación frecuente
Rodamientos de rodillos cilíndricos	Rodamientos equipados con jaulas J, JA, JB, MA, MB, ML, MP y PHA ^[2]	La mitad del intervalo	Estos diseños de jaula requieren mayor separación de aceite de la grasa

^[1] Para los rodamientos axiales y completamente llenos de elementos rodantes, no amplíe el intervalo.
^[2] Para las jaulas P, PH, M y MR, no hay necesidad de realizar ajustes.

Factor de temperatura

$$f_t = 0,5$$

Factor de vibración

$$f_v = 0,9$$

Factor de contaminación

$$f_c = 0,7$$

Factor de humedad

$$f_h = 0,9$$

Rodamiento Lubricado Con Aceite

"intervalos de cambio de aceite para los aceites minerales entre 50°C a 100°C con algo de contaminación de 3 a 12 meses. Catalogo SKF tabla 10"

Tabla 10

Intervalos de cambio de aceite para los aceites minerales		
Sistema de lubricación con aceite	Condiciones de funcionamiento típicas	Intervalo aproximado de cambio de aceite¹⁾
Baño de aceite o anillo elevador de aceite	Temperatura de funcionamiento < 50 °C (120 °F); Bajo riesgo de contaminación	12 meses
	Temperatura de funcionamiento 50 a 100 °C (120 a 210 °F) Algo de contaminación	de 3 a 12 meses
	Temperatura de funcionamiento > 100 °C (210 °F); Entorno contaminado	3 meses
Circulación de aceite o chorro de aceite	Todos	Determinado mediante pruebas e inspección regular de la condición del aceite. Depende de la frecuencia de circulación de la cantidad de aceite total y de que el aceite se haya enfriado o no.

¹⁾ Se necesita una mayor frecuencia de cambios de aceite si las condiciones de funcionamiento son más exigentes.

Intervalo De Relubricacion ajustado

$$t_{\text{ajustado}} = t_l \cdot f_v \cdot f_c \cdot f_h \cdot t_f$$

Rodamiento Lubricado Con Grasa

Factor De Seguridad Dinamico util

$$S_{\text{util}} = \frac{P}{C}$$

Carga util

$$P_{\text{util}} = S_{\text{util}} \cdot C$$

Factor de Reduccion de la vida Util de la grasa segun la carga PDF tabla 4 pag 351.

El factor de reducción de la vida útil de la grasa según la carga.	
Carga P	Factor de reducción
$\leq 0,05 C$	1
0,1 C	0,7
0,125 C	0,5
0,25 C	0,2

$$f_0 = 1$$

$$f_1 = 0,7$$

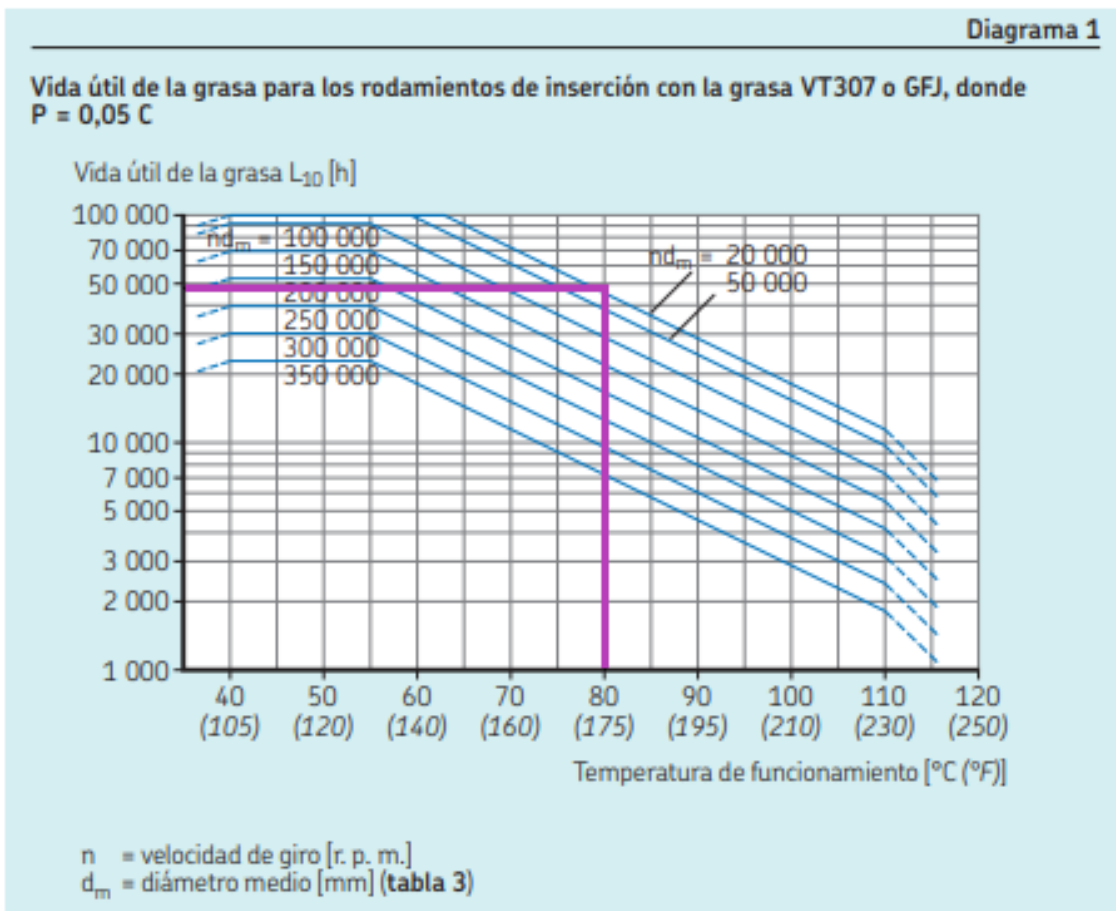
$$P_0 = 0,05 \cdot C$$

$$P_1 = 0,1 \cdot C$$

Interpolando

$$f = f_0 + \left[\frac{f_1 - f_0}{P_1 - P_0} \right] \cdot (P_{\text{util}} - P_0)$$

Vida Util de la grasa para los rodamientos de insercion con la grasa VT307 o GFJ, donde $P=0,05 \cdot C$. PDF diagrama 1 pag 351.



$$L_{10Hgrasa} = 48000 \text{ [h]}$$

Vida Util ajustada

$$L_{10Hgrasaajustada} = f \cdot L_{10Hgrasa}$$

$a_1 = 1$	$A_f = 18900 \text{ [mm/min]}$	$a_{skf} = 0,4617$	$b_f = 1$	$B_f = 43,7 \text{ [mm]}$	$C = 35,1 \text{ [kN]}$
$C_{o\text{calculado}} = 20,14 \text{ [kN]}$	$C_{o\text{seleccionado}} = 23,2 \text{ [kN]}$	$C_{req} = 27,13 \text{ [kN]}$	$dm = 70 \text{ [mm]}$	$d_{eje} = 50 \text{ [mm]}$	$D_{rodamiento} = 90 \text{ [mm]}$
$e = 0,372$	$e_1 = 0,38$	$e_0 = 0,36$	$f = 0,75$	$f_0 = 1$	$f_1 = 0,7$
$f_c = 0,7$	$f_h = 0,9$	$f_0 = 14$	$f_t = 0,5$	$f_v = 0,9$	$f_1 = 1,03$
$F_a = 1,482 \text{ [kN]}$	$F_{min} = 0,351 \text{ [kN]}$	$f_0 = 0,689$	$f_0 = 0,8943$	$F_r = 2,311 \text{ [kN]}$	$F_x = 1,482 \text{ [kN]}$
$G_p = 7,866 \text{ [g]}$	$J = 0,6413$	$J = 0,2132$	$k = 0,32$	$L_{nm} = 599E6 \text{ [rev]}$	$L_{nmH} = 36996 \text{ [h]}$
$L_{10} = 1,298E9 \text{ [rev]}$	$L_{10H} = 80137 \text{ [h]}$	$L_{10Hgrasa} = 48000 \text{ [h]}$	$L_{10Hgrasaajustada} = 36000 \text{ [h]}$	$L_D = 599E6 \text{ [rev]}$	$L_{DH} = 36996 \text{ [h]}$
$L_{especifica} = 100000 \text{ [km]}$	$m_{rodamiento} = 0,74 \text{ [kg]}$	$n_c = 0,7$	$n_{rot} = 270 \text{ [rev/min]}$	$P = 3,218 \text{ [kN]}$	$P_0 = 2,128 \text{ [kN]}$
$P_u = 0,98 \text{ [kN]}$	$P_0 = 1,755 \text{ [kN]}$	$P_1 = 3,51 \text{ [kN]}$	$P_{catalogo} = 3$	$P_{util} = 3,218 \text{ [kN]}$	$rpm = 4000 \text{ [rev/min]}$
$R_A = 2,311 \text{ [kN]}$	$S = 10,91$	$S_0 = 10,9$	$S_{util} = 0,09167$	$T = 80 \text{ [C]}$	$t_f = 20000 \text{ [h]}$
$t_{fajustado} = 5670 \text{ [h]}$	$V = 15,36 \text{ [mm}^2\text{/s]}$	$V_1 = 48 \text{ [mm}^2\text{/s]}$	$V_{avance,real} = 2,703 \text{ [km/h]}$	$V_{rodamiento} = 97,33 \text{ [cm}^3\text{]}$	$X = 0,46$
$Y = 1,454$	$y_1 = 1,41$	$y_0 = 1,52$			

-NO debe relubricarse ya que $L_{10H} > L_{nmH}$, significa que en óptimas condiciones primero debería cambiarse el rodamiento antes de relubricarlo con aceite.

-El soporte FYTB50FM especificado para el rodamiento YET210.

-NO debe relubricarse, aunque $L_{10Hgrasaajustada} < L_{nmH}$, ya que son valores cercanos es preferible cambiar el rodamiento antes de relubricar con grasa.

-Aparte de la grasa VT307 o GFJ, Se puede seleccionar un tipo según sus características la grasa LGGB2 puede funcionar adecuadamente.

-Si existe una relubricación, se puede elegir la relubricación a través de los orificios situados en el centro del aro interior o exterior. Con un llenado inicial: 20% del volumen libre en el soporte.

Cantidad de grasa que se debe añadir durante la reposicion

$$B_1 = 43,7 \text{ [mm]}$$

$$G_p = 0,002 \cdot D_{\text{rodamiento}} \cdot B_1$$

Llenado inicial de grasa y la relubricacion, es decir volumen libre en el rodamiento que debe llenarse

$$m_{\text{rodamiento}} = 0,74 \text{ [kg]}$$

$$V_{\text{rodamiento}} = \frac{\pi}{4} \cdot B_1 \cdot (D_{\text{rodamiento}}^2 - d_{\text{eje}}^2) \cdot 10^{-3} - \frac{m_{\text{rodamiento}}}{7,8 \cdot 10^{-3}}$$

"PDF pag 114"

Apndice D. Fotos de inspecciones finales al ajuste y del autor del proyecto

Inspecciones Finales al Ajuste



Vista Isometrica del Prototipo



Autor del Proyecto

