



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA VOLTEADORA DE COMPOST
IMPULSADO POR UN SISTEMA OLEOHIDRÁULICO COMO
PARTE DEL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO DE
PRODUCCIÓN, TRANSFORMACIÓN, COMERCIALIZACIÓN Y
PROMOCIÓN DE CONSUMO DE LA QUINUA Y SUS DERIVADOS”**

Trabajo de titulación

Tipo: proyecto técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

JERSON ALEXANDER BARRAGAN ANDRADE

CRISTIAN PAÚL MERINO NOGALES

DIRECTOR: Ing. SANTIAGO ALEJANDRO LÓPEZ ORTIZ

Riobamba – Ecuador

2021

2021, Jerson Alexander Barragan Andrade & Cristian Paúl Merino Nogales

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Jerson Alexander Barragan Andrade, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 18 de marzo de 2021



Jerson Alexander Barragan Andrade

210067654-9



Cristian Paúl Merino Nogales

060424617-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA VOLTEADORA DE COMPOST IMPULSADO POR UN SISTEMA OLEOHIDRÁULICO COMO PARTE DEL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO DE PRODUCCIÓN, TRANSFORMACIÓN, COMERCIALIZACIÓN Y PROMOCIÓN DE CONSUMO DE LA QUINUA Y SUS DERIVADOS**”, realizado por los señores JERSON ALEXANDER BARRAGAN ANDRADE y CRISTIAN PAÚL MERINO NOGALES, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.



	FIRMA	FECHA
Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: GEOVANNY GUILLERMO NOVILLO ANDRADE	<u>18 de marzo 2021</u>
Ing. Santiago Alejandro López Ortiz DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: SANTIAGO ALEJANDRO LOPEZ ORTIZ	<u>18 de marzo 2021</u>
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez MIEMBRO DEL TRIBUNAL	EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ Firmado digitalmente por EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ Fecha: 2021.07.25 21:17:22 -05'00'	<u>18 de marzo 2021</u>

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	4
1.1.	Antecedentes.....	4
1.2.	Formulación del problema.....	5
1.3.	Justificación	5
1.3.1.	Justificación teórica	5
1.3.2.	Justificación metodológica	5
1.3.3.	Justificación práctica	5
1.3.4.	Alcance	6
1.4.	Objetivos.....	6
1.4.1.	Objetivo general	6
1.4.2.	Objetivos específicos	6

CAPÍTULO II

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	7
2.1.	El compost y sus principales características	7
2.1.1.	Fases del compost	8
2.2.	Sistemas y técnicas para el compost	8
2.2.1.	Sistema abierto con pilas estáticas con aireación natural	9
2.2.2.	Sistema abierto con pilas estáticas con aireación forzada	9
2.2.3.	Sistema abierto de pilas con volteo.....	10
2.2.4.	Sistemas cerrados	11

2.3.	Tipo operaciones para el tratado de compost.....	11
2.4.	Máquina volteadora de compost.....	12
2.4.1.	Sistema oleo hidráulico	14
2.4.1.1.	Tanque hidráulico	15
2.4.1.2.	Bombas hidráulicas.....	16
2.4.1.3.	Válvula de seguridad	16
2.4.1.4.	Filtros.....	16
2.4.1.5.	Actuadores	17
2.5.	Método de elementos finitos.....	17
2.5.1.	Conceptos fundamentales	18
2.5.2.	Ventajas y limitaciones del MEF.....	20
2.6.	Metodología de diseño.....	21
2.6.1.	Diseño.....	21
2.6.2.	Diseño conceptual.....	21
2.6.3.	Metodología del diseño.....	22
2.6.4.	Ciclo básico del diseño	22
2.6.5.	Análisis	23

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	24
3.1.	Metodología de diseño de una máquina volteadora de compost.....	24
3.2.	Estudio previo del compost	25
3.3.	Diseño conceptual de la máquina volteadora de compost	26
3.3.1.	Especificaciones de la máquina volteadora de compost	26
3.3.2.	Estructura funcional de volteadora de compost auto propulsada.....	33
3.3.3.	Matriz morfológica	35
3.3.3.1.	Guiar compost.....	35
3.3.3.2.	Controlar sistema	36
3.3.3.3.	Avanzar máquina	39
3.3.3.4.	Voltear compost.....	40
3.3.3.5.	Humectar compost.....	42
3.3.4.	Matriz morfológica de alternativas para la máquina volteadora de compost.....	43
3.4.	Descripción de las alternativas de solución	45

3.4.1.	Solución 1	46
3.4.2.	Solución 2	47
3.4.3.	Solución 3	48
3.5.	Evaluación de alternativas	49
3.5.1.	Alternativa seleccionada	51
3.6.	Diseño de la máquina volteadora de compost	51
3.6.1.	Diseño a carga dinámica de la paleta	52
3.6.1.1.	Análisis de fuerzas de las paletas	56
3.6.1.2.	Análisis dinámico de las paletas	57
3.6.1.3.	Análisis por MEF para paleta	61
3.6.2.	Diseño dinámico de pernos de unión placa – paleta	63
3.6.2.1.	Cálculo de esfuerzos amplitud y medio de torsión	66
3.6.2.2.	Cálculo de esfuerzos amplitud y medio de tracción	67
3.6.2.3.	Cálculo de esfuerzos amplitud y medios equivalentes	68
3.6.3.	Diseño de soldadura placa – eje rotor	69
3.6.3.1.	Esfuerzo cortante primario	70
3.6.3.2.	Esfuerzo cortante secundario por flexión	71
3.6.3.3.	Análisis dinámico del eje rotor	72
3.6.3.4.	Diseño de fatiga del eje rotor	73
3.6.3.5.	Deformación del eje rotor	77
3.6.3.6.	Selección de cojines para el eje rotor	78
3.6.4.	Diseño de soldadura eje rotor - soporte	81
3.7.	Diseño del sistema oleohidráulico	83
3.7.1.	Motor hidráulico eje rotor	84
3.7.2.	Motor hidráulico sistema de tracción	86
3.7.3.	Selección de mangueras	90
3.7.4.	Diseño del depósito hidráulico	91
3.7.5.	Potencia de accionamiento de la bomba	93
3.7.6.	Válvula de control y seguridad	93
3.7.6.1.	Válvula de control direccional	93
3.7.6.2.	Válvula de antirretorno desbloqueable	95
3.7.6.3.	Válvula limitadora de presión	96
3.8.	Análisis de estructura principal por el MEF	96
3.9.	Diseño del sistema de avance tipo oruga	100

3.9.1.	Selección de la cadena tipo rodillos y catalinas.....	100
3.9.2.	Diseño dinámico de las zapatas	103

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	107
4.1.	Simulación del funcionamiento de la máquina volteadora de compost.....	107
4.1.1.	Preprocesamiento.....	107
4.1.2.	Condiciones de trabajo	113
4.1.3.	Post procesamiento	115
4.2.	Análisis de resultados	116
4.3.	Presupuesto.....	119
4.3.1.	Costos directos.....	119
4.3.2.	Costos indirectos.....	121
4.3.3.	Costos totales	122

CONCLUSIONES.....	123
--------------------------	------------

RECOMENDACIONES.....	124
-----------------------------	------------

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2.	Compost apilado previo al tratamiento.....	7
Figura 2-2.	Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compost.....	8
Figura 3-2.	Detalle de pilas estáticas con aireación	9
Figura 4-2.	Mecanismo de volteo.....	10
Figura 5-2.	Pila con volteo.....	10
Figura 6-2.	Forma manual de.....	11
Figura 7-2.	Forma mecánica de volteo y mezclado.....	12
Figura 8-2.	Volteadora de compost sistema	13
Figura 9-2.	Volteadora de compost.....	13
Figura 10-2.	Volteadora de compost sistema tractor	14
Figura 11-2.	Tanque hidráulico.....	15
Figura 12-2.	Curva característica caudal – presión	16
Figura 13-2.	Mallado triangular	18
Figura 14-2.	Ciclo básico del diseño.....	22
Figura 1-3.	Dimensiones de pila de compost	26
Figura 2-3.	Resultado de análisis de encuestas	27
Figura 3-3.	Casa de la calidad volteadora de compost.....	30
Figura 4-3.	Función principal volteadora de compost.....	33
Figura 5-3.	Estructura funcional	34
Figura 6-3.	Pala de acero.....	35
Figura 7-1.	Placas de acero con.....	36
Figura 8-3.	Sistema neumático.....	37
Figura 9-3.	Tractor mecánico.....	37
Figura 10-3.	Sistema oleo-hidráulico	38
Figura 11-3.	Ruedas neumáticas	39
Figura 12-3.	Sistema tipo oruga	40
Figura 13-3.	Eje rotor con paletas inclinadas	41
Figura 14-3.	Disco abrasivo para compost.....	41
Figura 15-3.	Sistema de aspersión de agua	42
Figura 16-3.	Sistema de goteo de agua.....	43
Figura 17-3.	Esquema de solución 1	46

Figura 18-3.	Esquema de solución 2	47
Figura 19-3.	Esquema de solución 3	48
Figura 20-3.	Esquema de solución 2	51
Figura 21-3.	Dimensiones de paleta de volteo	52
Figura 22-3.	Vista lateral de rotor con paleta.....	53
Figura 23-3.	Cotas de altura de nivel tierra y nivel superior.....	53
Figura 24-3.	Componentes de ancho de paleta	54
Figura 25-3.	Diagrama de paleta como viga empotrada	56
Figura 26-3.	Fuerzas y momentos resultantes sobre sección	57
Figura 27-3.	Resultados del análisis MEF de paleta	63
Figura 28-3.	Junta empernada crítica.....	63
Figura 29-3.	Fuerzas y momentos resultantes sobre junta empernada.....	64
Figura 30-3.	Fuerzas de corte primario	64
Figura 31-3.	Fuerzas tracción secundaria	66
Figura 32 -3.	Longitud del perno	69
Figura 33-3.	Diagrama de cuerpo libre de la soldadura paleta - eje motor	70
Figura 34-3.	Distribución de esfuerzo por corte primario.....	70
Figura 35-3.	Distribución de paletas en eje rotor	72
Figura 36-3.	Distribución de paletas en eje rotor	73
Figura 37-3.	Diagrama de cuerpo libre del eje rotor	74
Figura 38-3.	Fuerzas y momentos en el eje rotor.....	74
Figura 39-3.	Diagrama de momento flector resultantes de los planos x-y-x-z.....	75
Figura 40-3.	Diagrama de momento torsor resultantes	75
Figura 41-3.	Deformación total eje rotor	77
Figura 42-3.	Fuerzas de reacción sobre soporte de eje rotor.....	78
Figura 43-3.	Cordón de soldadura eje rotor - soporte	82
Figura 44-3.	Circuito oleohidráulico.....	83
Figura 45-3.	Modelo de motores hidráulicos de paletas axiales	85
Figura 46-3.	Características de válvula direccional 4WE 6G	94
Figura 47-3.	Válvula distribuidora accionamiento manual.....	94
Figura 48-3.	Características de válvula antirretorno	95
Figura 49-3.	Tipo de montaje en línea válvula antirretorno.....	95
Figura 50-3.	Límites de presión válvula reguladora de presión	96
Figura 51-3.	Estructura principal de máquina volteadora	96

Figura 52-3.	Dimensiones de la estructura principal.....	97
Figura 53-3.	Deformación total estructura sometida.....	98
Figura 54-3.	Esfuerzo equivalente de Von - Mises.....	99
Figura 55-3.	Factor de seguridad mediante la teoría.....	99
Figura 56-3.	Sistema de avance tipo oruga	100
Figura 57-3.	Factores de servicio	101
Figura 58-3.	Factores para los centros de piñones y longitud de cadena	103
Figura 59-3.	Fuerza sobre la zapata del sistema oruga	103
Figura 60-3.	Dimensiones de zapata	104
Figura 61-3.	Resultados del análisis MEF	106
Figura 1-4.	Modelo 3D máquina volteadora de compost.	107
Figura 2-4.	Diagrama de proceso de simulación volteadora de compost.....	108
Figura 3-4.	Tipo de conectores disponibles ADAM VIEW.....	109
Figura 4-4.	Componentes de máquina volteadora.....	109
Figura 5-4.	Sistema de transmisión de potencia tipo	110
Figura 6-4.	Configuración de medidas para cremalleras - eje rotor.....	111
Figura 7-4.	Configuración de medidas para cadena - eje rotor	112
Figura 8-4.	Sistema de transmisión de potencia.....	112
Figura 9-4.	Tipo de contacto fijo superficie - rueda oruga	113
Figura 10-4.	Fuerza de contacto constante.....	113
Figura 11-4.	Fuerza de contacto constante.....	114
Figura 12-4.	Motor de revolución para junta de eje rotor de paletas.....	114
Figura 13-4.	Función senoidal de.....	115
Figura 14-4.	Ejecución de simulación de la máquina volteadora.....	115
Figura 15-4.	Torque (N.mx10) vs tiempo (segundos).....	116
Figura 16-4.	Torque (N.mx10) vs tiempo (segundos).....	117
Figura 17-4.	Velocidad angular (rpm) vs tiempo (segundos)	118
Figura 18-4.	Velocidad angular (rpm) vs tiempo (segundos)	118

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1-3.	Fases del proceso de diseño	24
Tabla 2-3.	Especificaciones generales de la voz de ingeniero basadas en las del usuario.....	28
Tabla 3-3.	Máquinas volteadoras de compost autopropulsadas del mercado	29
Tabla 4-3.	Especificaciones técnicas de la volteadora de compost auto propulsadas.....	32
Tabla 5-3.	Matriz morfológica de alternativas	44
Tabla 6-3.	Evaluación de las especificaciones más relevantes.....	49
Tabla 7-3.	Evaluación de las soluciones respecto al peso de la máquina	49
Tabla 8-3.	Evaluación de las soluciones respecto al fácil manejo	49
Tabla 9-3.	Evaluación de las soluciones respecto al costo de la máquina.....	50
Tabla 10-3.	Evaluación de las soluciones respecto a la productividad.....	50
Tabla 11-3.	Evaluación de las soluciones respecto al mantenimiento.....	50
Tabla 12-3.	Evaluación de las soluciones.....	50
Tabla 13-3.	Datos de análisis por MEF para paleta.....	61
Tabla 14-3.	Datos de análisis por MEF para soporte estructural.....	97
Tabla 15-3.	Factor multiplicador de potencia.....	102
Tabla 16-3.	Análisis estático de zapata	104
Tabla 1-4.	Conexiones entre elementos de la máquina volteadora de compost	110
Tabla 2-4.	Costo de materiales	119
Tabla 3-4.	Costo de materiales	120
Tabla 4-4.	Costo de mano de obra.....	120
Tabla 5-4.	Costo de máquinas y herramientas.....	121
Tabla 6-4.	Costo total directo	121
Tabla 7-4.	Costos indirectas	122
Tabla 8-4.	Costo total de la volteadora de compost.....	122

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Encuesta realizada a usuarios.

Anexo B: Catálogo de rodamientos.

Anexo C: Catálogo de cadenas de rodillos.

Anexo D: Diagrama de funciones de la máquina volteadora de compost.

Anexo E: Planos de construcción.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se centró en el diseño y análisis de una maquina volteadora para compost controlada por un sistema oleohidráulico. La misma que generó un gran interés alrededor de su funcionamiento y aplicabilidad en la actividad de formación de compost. La metodología de diseño se fundamentó en presentar los objetivos funcionales de la máquina para su posterior representación mediante sistemas mecánicos y oleohidráulicos. Los sistemas diseñados fueron: sistema de volteo mediante un eje rotor, sistema de avance tipo oruga, estructura de soporte de elementos y el sistema oleohidráulico de potencia y control. El diseño mecánico de los distintos elementos se realizó mediante el software especializado Ansys – Structural garantizando la resistencia a los distintos tipos carga y control la deformación local. Para ello se obtuvo las cargas de diseño mediante la cuantificación de la cantidad de material de compost a voltear, la velocidad de avance de la máquina y de giro del eje rotor recomendadas para esta aplicación. El diseño del sistema oleohidráulico se basó en el control de tres motores que garantizan los movimientos generales mencionados. De manera complementaria se diseñó un sistema de humectación mediante agua que garantizó los niveles de temperatura y humedad establecidos en el Manual de Compostaje. Para el análisis de funcionamiento de la máquina con los sistemas descritos se procedió con la simulación mediante la ayuda del software ADAMS VIEW, que nos permitió visualizar el funcionamiento de cada sistema mecánico, excluyendo el sistema de control oleohidráulico. Los resultados de estabilidad de la máquina fueron satisfactorios ante la simulación simultánea de cada mecanismo, así como la comprobación del torque necesario en cada motor para realizar su función. Lo que con lleva a garantizar el diseño de la maquina volteadora autónoma ante las respectivas especificaciones establecidas bajo el control oleohidráulico de sus elementos.

Palabras clave: <EJE ROTOR>, <COMPOST>, <ESTABILIDAD>, <DISEÑO>, <ANÁLISIS>, <SOFTWARE ADAMS>, <FUNCIONAMIENTO AUTÓNOMO>, <HUMECTACIÓN>

**LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**
Firmado digitalmente por
LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS.
Número de identificación
DNI: 7.877.1002AMBA.
Correo electrónico: luis@caminosvargas.com
Fecha: 2021.07.09 14:20:00
+05:00



1347-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

The present research work focused on the design and analysis of a turning machine for compost controlled by an oleohydraulic system. The same that generated great interest around its operation and applicability in the compost formation activity. The design methodology was based on presenting the functional objectives of the machine for subsequent representation using mechanical and oleohydraulic systems. The systems designed were: a turning system by means of a rotor shaft, a caterpillar type advance system, an element support structure and the oleohydraulic power and control system. The mechanical design of the different elements was carried out using the specialized software Ansys - Structural, guaranteeing resistance to different types of load and controlling local deformation. For this, the design loads were obtained by quantifying the amount of compost material to be turned, the advance speed of the machine and the rotation of the rotor shaft recommended for this application. The design of the oleohydraulic system was based on the control of three motors that guarantee the general movements mentioned. In addition, a water moistening system was designed that guaranteed the temperature and humidity levels established in the Composting Manual. For the analysis of the operation of the machine with the systems described, it was proceeded with the simulation using the ADAMS VIEW software, which allowed to visualize the operation of each mechanical system, excluding the oleohydraulic control system. The stability results of the machine were satisfactory before the simultaneous simulation of each mechanism, as well as the verification of the torque required in each motor to perform its function. This leads to guaranteeing the design of the autonomous turning machine before the respective specifications established under the oleohydraulic control of its elements.

Keywords: <MECHANICAL DESIGN>, <ROTOR SHAFT>, <COMPOST>, <ANALYSIS>, <ADAMS (SOFTWARE)>, <AUTONOMOUS OPERATION>, <OLEOHYDRAULIC SYSTEM>

LUIS
FRANCISCO
MANTILLA
CABRERA

Firmado digitalmente por
LUIS FRANCISCO
MANTILLA CABRERA
Fecha: 2021.07.20
20:29:10 -05'00'

INTRODUCCIÓN

El método convencional para transformar los desechos orgánicos en abono para los distintos cultivos se denomina compostaje. El tipo de abono aprovecha la descomposición de microorganismos bajo ciertos parámetros de humedad y oxigenación, este método se realiza de manera manual con herramientas agrícolas. Para mantener niveles correctos de oxigenación (30%) y humedad (60%) el agricultor voltea el compost apilado mediante palas lo que infiere en un gran esfuerzo físico afectando de manera directa sobre la salud del agricultor (Román et al., 2013). Los métodos convencionales para la elaboración de compost son de gran incidencia sobre la salud de los agricultores, por este motivo en la actualidad se busca nuevas tecnologías que permitan eliminar el esfuerzo físico y cambiarnos por método sofisticados. De acuerdo al estudio del estado de arte se encuentran máquinas agrícolas que realizan esta actividad mediante elementos mecánicos accionados por fuerzas extras o sistemas autónomos.

El presente proyecto técnico detalla el proceso metodológico para determinar las características técnicas necesarias en una máquina volteadora de compost de acuerdo a las necesidades mencionadas por el sector agrícola de la provincia de Chimborazo. Para ello se recolecto datos importantes alrededor de la capacidad de volteo, necesidad de autonomía sobre la máquina, costo, entre otros. La información relevante mencionada es el punto de inicio para presentar alternativas de solución que cumpla las exigencias necesarias. Los apartados que nos llevaron al objetivo principal del diseño de una máquina volteadora de compost autopropulsada mediante un sistema oleohidráulico fue el siguiente: diagnóstico del problema, estado del arte, metodología de diseño, diseño mecánico de la máquina volteadora de compost y análisis de resultados.

El estudio de los métodos de elaboración de compost a base de residuos orgánicos y nuevas tecnologías para la elaboración de la misma fueron detallados en el capítulo I. Los componentes de las máquinas volteadoras disponibles en el mercado fue un punto de partida para estudiar cada componente y su incidencia sobre la máquina. El diseño mecánico de cada elemento se basa en el método de elementos finitos mediante el software especializado ANSYS, respecto al sistema autónomo se presentó el estudio de arte de los componentes del sistema oleohidráulico, así como sus ventajas sobre este tipo de máquinas. El diseño mecánico se rige de acuerdo a la metodología utilizada, ya que esta depende del proceso de secuencia seguida para el análisis de cada elemento. Estos aspectos fueron considerados en el apartado de fundamentos teóricos.

El capítulo II se refiere al tipo de metodología utilizada para determinar la alternativa final para las necesidades mencionadas por el cliente. La metodología fue el proceso de diseño por etapas, la cual nos permitió el estudio minucioso de cada función de la máquina volteadora. Se inició plasmando las funciones importantes y relevantes antes sobre el diseño de la máquina, entre las cuales se encuentra la capacidad de volteado [13,5–22,5] ton/día y sistema autónomo controlado por un sistema oleohidráulico. Para realizar un el análisis de funciones y tener como resultado las características finales que debe tener nuestra máquina. Las alternativas se presentaron de acuerdo a cada función importante para formar tres alternativas de máquinas volteadoras. Para seleccionar la alternativa que más se relacionada con las necesidades iniciales, se evaluó bajo criterios de costo, estabilidad, peso, mantenimiento, fácil operación y productividad.

La alternativa final obtenida del análisis se presenta en el capítulo III, con un sistema volteo por paletas, estructura metálica de forma trapezoidal, sistema de control de actuadores por medio de la oleohidráulica y sistema de avance de la máquina por un sistema tipo oruga. El diseño mecánico y selección de los componentes. El diseño la paleta es el elemento crítico debido al contacto que realiza con la cantidad de compost a voltear, se determina el peso a levantar por la paleta por medio de esto se determina la fuerza que se genera sobre estas. Se procede con el diseño del eje rotor y selección de los cojinetes de apoyo sobre la estructura principal. Para el movimiento giratorio del eje se seleccionó un motor hidráulico, así como en el avance de la maquina por el sistema tipo oruga. El análisis de la estructura principal bajo los esfuerzos de peso propio como pesos externos nos permite determinar las deformaciones totales reales que sufrirá este elemento.

El sistema de control oleohidráulico se diseñó en base a los requerimientos de truke y velocidad de giro de los motores hidráulicos, en el cual se incluye válvulas de control. El sistema oleohidráulico es un apartado posterior al diseño mecánico de los elementos. Es importante seleccionar la presión de trabajo que tendrá el sistema, para ello se toma los valores recomendados en la literata respecto a trabajos de máquinas agrícolas autónomas de 242 Bar. Para el accionamiento de la máquina se incluyó un motor de combustión interna de potencia de 45hp, la cual permite el accionamiento de la bomba del sistema de control hidráulico mediante el sistema de trasferencia de potencia por bandas.

Los resultados obtenidos de la simulación del funcionamiento de la volteadora de compost se analizaron mediante el tiempo que transcurre para alcanzar los valores de torque y velocidad angular de trabajo. La configuración de la simulación se realizó en el software ADAMS VIEW, en que nos permite ingresar valores de velocidad de giro del eje rotor y sistema de avance en un tiempo

determinado. El software nos arroja graficas de variables de torque y velocidad angular en los tres motores hidráulicos. En los que se analiza el torque necesario para vencer la inercia de la máquina y visualizar la estabilidad de la máquina en la simulación. Se constató que la máquina bajo estos parámetros no sufrirá problemas de volteo, manteniendo su estabilidad.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

En el sector agrícola el abono orgánico juega un papel importante en sus cultivos, debido al gran aporte que brinda al suelo. El abono favorece en la retención de nutrientes, permite la fijación de carbono al suelo, así como el aumento de la capacidad de absorber agua. El abono de destino orgánico se viene implementando con la finalidad de brindar un adecuado desarrollo de los cultivos, con la finalidad de aumentar la calidad de los productos. Las investigaciones realizadas en este campo detallan que mediante ciertos esquemas de manejo del abono orgánico la respuesta del cultivo puede alcanzar rendimientos hasta 10 veces en varios casos (Intagri, 2020).

El abono orgánico o compost es una mezcla de residuos biológicos, bacterias, hongos y gusanos que brindan ventajas sobre los suelos y cultivos. Una vez creado es compost se procede al arado con la finalidad de suavizarlo. El proceso de arado manual es un proceso que exige gran esfuerzo físico y toma varias horas realizarlo. En la actualidad debido a las altas cantidades elaboradas de compost, el arado manual no es práctico. Por ello se viene utilizando máquinas como tractores que faciliten este proceso, en las cuales buscan un punto de equilibrio entre el costo y beneficio. La actividad de esta maquinaria es reducir el tamaño de los elementos del compost y a su vez mezclar los mismos, obteniendo un compost de mejor calidad en mejor tiempo sin la necesidad de trabajo físico. El tractor tiene incorporado un mecanismo de tornillo sin fin que remueve, voltea y mezcla el compost.

Es decir, el mecanismo incorporado que elabora la función de arar funciona netamente con la potencia brindada por el tractor. Este es un inconveniente debido al alto costo que genera contratar el uso del tractor, el cual no brinda un beneficio económico al agricultor. Debido a las necesidades continuas y reiteradas de elaborar en grandes cantidades el compost, se ve necesario buscar una alternativa al sistema tornillo sin fin – tractor que cumpla la necesidad descrita. En el mercado se tiene maquinaria específica para el arado de compost, la cual se ve limitada por las dimensiones del compost. Existe en el mercado volteadora de compost para dimensiones considerables, pero con precios sumamente altos. Es por estos motivos estudiar alternativas a los distintos mecanismos de funcionamiento de la máquina para obtener los beneficios a un menor costo.

1.2. Formulación del problema

El proceso de voltear y mezclar los elementos orgánicos del compost en grandes cantidades para utilizar como abono y brindar un mejor desarrollo a los cultivos, han creado la necesidad de diseñar y construir una máquina que elimine el trabajo físico y disminuir el tiempo de elaboración de grandes cantidades compost. Esto ayudará a obtener una mejor calidad de compost mediante el mezclado eficiente de sus elementos constitutivos.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

El diseño de una máquina volteadora que cumpla con las funciones descritas, se centra en optimizar recursos y disminuir costos de fabricación. Los estudios e investigaciones realizadas acerca de los sistemas que constituye la máquina volteadora nos ayudan a diseñar de manera eficiente y sin generar grandes cantidades de des perdiciones en materia prima, consciente mente desperdicios económicos.

1.3.2. Justificación metodológica

El diseño de componentes mecánicos de la máquina volteadora de compost se rige a la metodología de diseño por etapas del proceso. Esto permite una correcta optimización de recursos y de manera conjunta las especificaciones de los usuarios. La metodología genera conocimientos validos alrededor de los procesos y secuencia de diseño de los elementos, debido al análisis minucioso de cada función.

1.3.3. Justificación práctica

El arado del compost con la finalidad de obtener un mejor mezclado y tamaño se afectado por el gran esfuerzo físico que incurre en mayor tiempo de elaboración. En la actualidad el abono orgánico o natural es uno de los abonos menos utilizados debido a su costo físico de elaboración. El diseño de una máquina que cubra todas estas necesidades se presentará en el siguiente trabajo, tiene la funcionalidad de elaborar grandes cantidades de compost en menor tiempo y menor costo físico. El trabajo del diseño de la maquina volteadora de compost se justifica por las siguientes razones.

- Es un proyecto que nos vincula con la comunidad, aportando así con la relación que debemos tener con la parte social.
- Establece áreas de estudio de la ingeniería mecánica que dirigen hacia el diseño mecánico de elementos de la volteadora de compost.
- Se presenta como solución a problemas ambientales y promueve el uso de abonos orgánicos.

1.3.4. Alcance

El presente trabajo de diseño y simulación de una máquina volteadora de compost beneficiara a trabajadores agrícolas de comunidades de la provincia de Chimborazo que tiene como principal fuente de nutrientes de suelos al abono el orgánico.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y simular una máquina volteadora de compost impulsado por un sistema oleo-hidráulico como parte del diseño e implementación del proyecto de producción, transformación, comercialización y promoción de consumo de la quinua y sus derivados, para obtener un producto más homogéneo.

1.4.2. Objetivos específicos

- Elaborar el estado de arte del proceso de mezcla de residuos orgánicos mediante la revisión de tesis, artículos y libros para tener un conocimiento necesario sobre la obtención de compost.
- Diseñar los elementos mecánicos que forman parte de la maquina aplicando la metodología de diseño mecánico para garantizar el funcionamiento óptimo de la máquina.
- Verificar la resistencia estructural y margen de seguridad de los componentes mediante el método de elementos finitos para asegurar su funcionamiento en las condiciones requeridas de trabajo.
- Realizar una simulación del comportamiento de la máquina bajo condiciones de trabajo para analizar las variables involucradas mediante el software Adams View.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El presente capítulo detalla el estudio bibliográfico, revisión de antecedentes de estudios respecto al diseño y simulación de la máquina volteadora de compost. En la cual se detalla todos los aspectos que embarca el tema de estudio.

2.1. El compost y sus principales características

El compost permite transformar residuos y productos orgánicos en materiales para utilizarse abonos para el suelo, eliminando el impacto ambiental aprovechando los recursos que contienen, previo al tratado del compost se apilada como muestra la figura 1-2. Su objetivo es obtener un producto terminado fácilmente manejable y almacenable, la misma de ser estabilizada y humificada, libre de presencia de compuestos tóxicos para humanos, plantas o animales. Se propicia su utilización en mejorar la fertilización de suelos e incrementar la calidad de productos agrícolas (Germán Tortosa, 2009).



Figura 1-2. Compost apilado previo al tratamiento de mezclado.

Fuente: Roman et al., 2013

Las principales ventajas del compost son la minimización de olores debido a la degradación parcial orgánica de la materia asociados a los residuos. De la misma manera una desventaja a considerar se relaciona con la utilización de varias instalaciones para admisión, tratado y acumulación del compost (Germán Tortosa, 2009).

2.1.1. Fases del compost

El proceso biológico de compost ocurre mediante la oxigenación, nivel de agua y la temperatura, transformando los residuos orgánicos de manera homogénea útil para las plantas como muestra la figura 2-2. Este proceso produce elementos como el nitrógeno y carbono para finalmente obtener biomasa (Román et al., 2013).

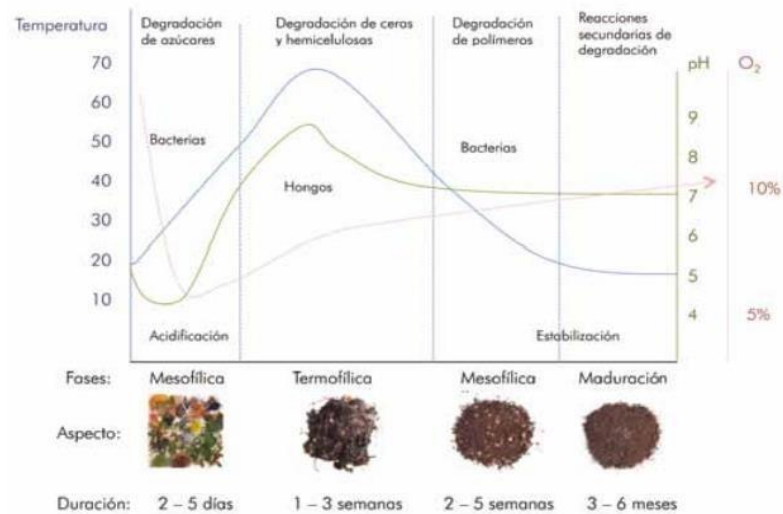


Figura 2-2. Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compost.

Fuente: Román et al., 2013

Las diferentes fases de compost se dividen de acuerdo a su temperatura:

- Fase Mesófila: Comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente en poco tiempo (horas) alcanza una temperatura de 45°.
- Fase Termófila: El material alcanza temperaturas mayores a 45°. Los microorganismos son reemplazados por bacterias.
- Fase de enfriamiento: En el compost se agota las fuentes de nitrógeno y carbono descendiendo la temperatura hasta 45° - 40° continuando la degradación de polímeros.
- Fase de maduración: Se permite la formación de ácidos húmicos mediante la reacción secundaria de condensación de compuestos carbonados.

2.2. Sistemas y técnicas para el compost

Se establece dos categorías principales para la clasificación de sistemas de compost.

- Sistemas abiertos: Pilas con volteo y pilas estáticas
- Sistemas cerrados: Reactores verticales y reactores horizontales

2.2.1. Sistema abierto con pilas estáticas con aireación natural

Es un sistema sencillo y más utilizado debido a su bajo costo de operación. Los materiales se amontonan sobre el suelo o lugar donde se volteará el compost. Siendo importante la forma y medida de la pila. En sistema abierto con pilas estáticas contienen aireación natural empleando estructuras como se observa en la figura 3-2 permitiendo un mejor flujo de aire desde la zona inferior hasta la superior (Cochachi et al., 2008).



Figura 3-2. Detalle de pilas estáticas con aireación natural.

Fuente: Cochachi et al., 2008

El sistema abierto brinda una alta calidad del compost mediante la ayuda de los parámetros descritos, continuando las operaciones durante climas críticos con la desventaja que sufre una ralentización como resultado de bajas temperaturas (Cochachi et al., 2008).

2.2.2. Sistema abierto con pilas estáticas con aireación forzada

Los sistemas con aireación forzada permiten un mayor control en la concentración de oxígeno en el intervalo de (15 – 20) % con la finalidad de favorecer la actividad metabólica de los microorganismos. El aporte del oxígeno se lleva a cabo por el control de un termostato que enciende el mecanismo de inyección de aire al llegar a una temperatura de 60°C aproximadamente (Cochachi et al., 2008).

2.2.3. Sistema abierto de pilas con volteo

El sistema con pilas con volteo se presenta como el más sencillo y económico, se caracteriza por el removimiento de la pila periódicamente para homogenizar la mezcla y su humedad con la finalidad de eliminar el exceso de calor. Mediante este proceso se logra aumentar la porosidad de la pila para mejorar su ventilación. Con este proceso la temperatura descende 5 a 10°C por cada volteado (Cochachi et al., 2008).

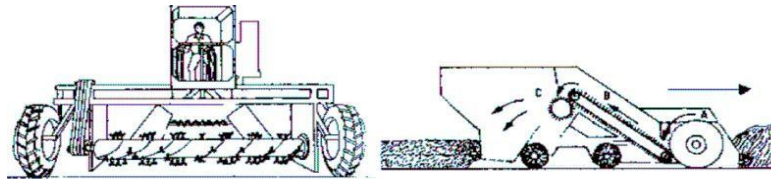


Figura 4-2. Mecanismo de volteo.

Fuente: Cochachi et al., 2008

Es usual que el proceso de volteo se lleve a cabo mediante una pala cargadora, recogiendo y soltando el material para su posterior reconstrucción de la pila. Sin embargo para este proceso existe maquinaria especificada diseñada para conseguir una máxima eficiencia en el mezclado del compost, la cual se muestra en la figura 4-2 (Cochachi et al., 2008).

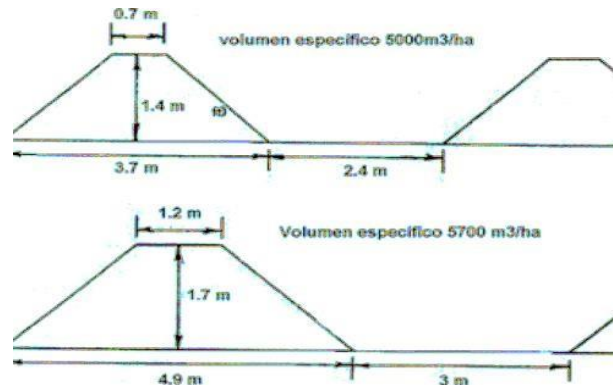


Figura 5-2. Pila con volteo.

Fuente: Cochachi et al., 2008

Es de gran importancia sea en pilas estáticas con volteo o sin volteo el tamaño de pilas, debido que relaciona el nivel de aireación y las pérdidas excesivas de calor. El control de la altura crítica de una pila teniendo en cuenta la fracción de poros rellenos de aire de un 30% se manifiesta como el destino a calcular para mantener los factores descritos en rangos recomendados (Cochachi et al., 2008).

2.2.4. *Sistemas cerrados*

El sistema cerrado tiene como ventaja respecto al anterior sobre el control de especificaciones del proceso, lo que permite minimizar el tiempo de permanencia. El compost se realiza en reactores cerrados generando un elevado costo de inversión en la instalación (Cochachi et al., 2008).

2.3. **Tipo operaciones para el tratado de compost**

El proceso de arado se define como el conjunto de actividades agrícolas como el mezclado, voleado y humectación. Las actividades permiten la manipulación manual y de manera mecánica minimizando el esfuerzo físico (Porras y Gavilanes, 2018).

- Volteo manual

La forma manual del tratado de compost describe la actividad de voltear y mezclar con el uso de herramientas como palas y azadones. Esta actividad tiene un alto costo de mano de obra y tiempo de elaboración. El volteo de compost se ve restringido para cantidades altas de pilas de compost, debido a las dificultades mencionadas (Román et al., 2013).



Figura 6-2. Forma manual de volteo y mezclado.

Fuente: Cochachi et al., 2008

- Volteo mecánico

Desde los inicios y por muchas décadas, el método más simple y adoptado para el volteo de las pilas de compostaje ha sido el de “pala y azadón”. Todavía se utilizan extensamente en sistemas de

pequeña escala en el procesamiento de residuos agrícolas y estiércol animal. En los procesos de mayor escala e industrializados, la “pala y azadón” se ha ido sustituyendo progresivamente por equipos diseñados especialmente para la aireación y/o volteo mecánico de la biomasa, en una amplia diversidad de sistemas, diseños y dimensiones. El volteo mecánico tiene la función de mezclar con mayor eficiencia el compost gracias a los mecanismos incorporados en las máquinas, aprovechando estas cualidades su alcance es mayor. Es decir, el volteo mecánico abraza dimensiones considerables de pilas de compost (García et al., 2010).



Figura 7-2. Forma mecánica de volteo y mezclado.

Fuente: Cochachi et al., 2008

2.4. Máquina volteadora de compost

La máquina volteadora de abono orgánico tiene la función de oxigenar y mantener niveles de temperatura acorde a los recomendados mediante el volteo del mismo. El tipo de máquina más utilizada gracias a su costo es la impulsada mediante una fuerza externa. Este último tiene la ventaja de prescindir de la potencia del tractor para su funcionamiento, a su vez tiene mayor rango de movimiento debido a su versatilidad (KAISER S.A. Máquina agrícola, 2020).

- Volteadora de compost sistema un tractor

La máquina volteadora está compuesta por un eje rotor que brinda un movimiento giratorio volteando el material y una estructura fija sobre el eje rotor. La cual se desplaza para abarcar la pila total de compost, también tiene la función estabilizar el movimiento general de la máquina. La forma general de la máquina está relacionada con la sección transversal del compost, de manera real esta tiene una forma trapezoidal. Por lo tanto, la forma de la volteadora se ajusta a esta sección (Montero, 2006).



Figura 8-2. Volteadora de compost sistema tractor.

Fuente: Idea gro, 2020

El rotor se ensambla sobre sus apoyos laterales de rodamientos facilitando la acción de girar y voltear. Este sistema es accionado mediante el sistema de transmisión de potencia que nos brinda el reductor de velocidad, a su vez enlazado a la fuerza extraña que brinda el tractor (Montero, 2006).

- Volteadora de compost sistema un autopropulsado

La máquina volteadora de compost contiene un sistema de propulsión autónoma de una fuerza externa. Esto gracias a la inclusión de los distintos tipos de sistemas de control más utilizados como es la neumática e hidráulica.



Figura 9-2. Volteadora de compost sistema autopropulsado.

Fuente: Idea gro, 2020

El accionamiento de los actuadores se realiza mediante cualquiera de estas energías, facilitando su manejo y convirtiéndola en una máquina autónoma. La principal fuente de energía es un motor a diésel o un compresor de acuerdo al sistema optado, también constan de válvulas que permiten una mejor compresión alrededor del manejo de la máquina (BACKHUS, 2020).

La volteadora consta de un sistema oleo hidráulico para el control de velocidad y dirección de orugas. Lo que permite el movimiento de la máquina en lugares difíciles de acceder sin perder su funcionalidad. La potencia principal para el movimiento general de la volteadora se obtiene de un motor de combustión debido a los beneficios de potencia que brinda. El costo de este tipo de máquina es superior a la antes mencionada, debido al alto costo de los componentes del sistema oleo hidráulico (Pérez, 2018).

2.4.1. Sistema oleo hidráulico

Los elementos constitutivos de este tipo de sistema son: un contenedor de aceite, el elemento que genera la energía para mover este fluido (bomba), un sistema de controladores (válvulas), elementos indicadores de variables físicas (manómetro) para los puntos de presión y regreso del aceite a su tanque; siempre con un filtro que permite el cuidado de los equipos al no someternos a impurezas en el fluido (Almandoz et al., 2007).



Figura 10-2. Volteadora de compost sistema tractor.

Fuente: Almandoz et al., 2007

Las válvulas utilizadas para el control en la actualidad se presentan incluidas de manera modular con la finalidad de minimizar el costo de tuberías y tipo de juntas, con esto permite incluir elementos de automatización como: sensores de nivel, temperatura, de flujo entre otros (Almandoz et al., 2007).

El sistema hidráulico más utilizado es el convencional en el cual se implementa elementos de control que permiten el paso del fluido al 0% - 100% el cual es más utilizado con la ayuda de circuitos auxiliares; el limitante es la posible contaminación del fluido que provoca daños sobre los elementos y su calentamiento el cual necesita de un sistema refrigerante (Almandoz et al., 2007).

2.4.1.1. *Tanque hidráulico*

El colector de fluido permite la recolección y recirculación del fluido utilizado para accionar los actuadores, como función secundaria mantiene en lo posible libre de impurezas al fluido y la disipación de calor por sus superficies constitutivas; Su estructura normalmente en acero permite el apoyo de elementos sobre su parte superior en el cual se puede observar la bomba y elementos auxiliares de control (Almandoz et al., 2007).

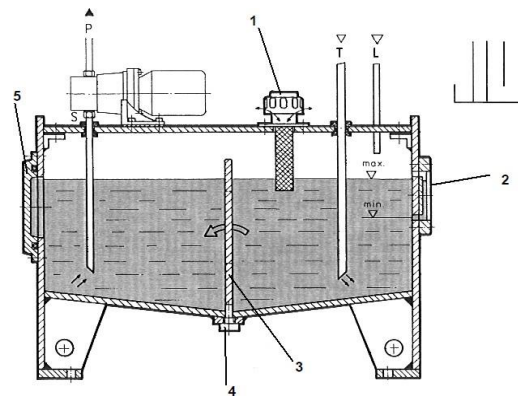


Figura 11-2. Tanque hidráulico.

Fuente: Almandoz, 2007

Los elementos principales que tienen un tanque son: Filtro de limpieza de impurezas, visores de niveles, superficies que separan la toma de retorno y aspiración y elemento de sellado (Almandoz et al., 2007).

2.4.1.2. Bombas hidráulicas

La transformación de energía mecánica en energía de cinética nos proporciona la bomba la misma que tiene como parámetros el caudal y presión, el tipo de bomba de desplazamiento positivo permite generar caudales considerables sin tener relación a su presión; el punto negativo es la pérdida excesiva debido a su elevada presión (Almandoz et al., 2007).

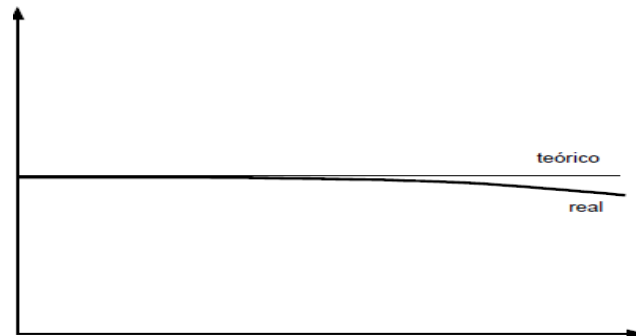


Figura 12-2. Curva característica caudal – presión de una bomba desplazamiento positivo.

Fuente: Almandoz et al., 2007

La recomendación para el cuidado de estos equipos es la protección a posibles sobre presiones, lo que incide en incluir válvulas de alivio que controlan los niveles de presión; para ello en el campo práctico se utiliza válvulas de seguridad que son pilotadas de forma manual o mediante circuitos hidráulicos (Almandoz et al., 2007).

2.4.1.3. Válvula de seguridad

El control de la presión sobre los elementos actuadores o suministradores de energía es de mucha importancia para su cuidado, para ello se recomienda el cuidado con la ayuda de válvulas de seguridad; que realizan el trabajo de mantener la presión de trabajo en el límite de diseño, en el instante que la presión supere, la válvula envía el fluido hacia el reservorio evitando sobre presiones (Almandoz et al., 2007).

2.4.1.4. Filtros

El cuidado de los elementos dentro de un sistema hidráulico es importante debido al costo de cada uno de ellos, los filtros juegan un papel importante para esta acción. Los filtros permiten la

separación de elementos contaminantes del fluido como partículas metálicas, ocasionando desgaste por abrasión sobre las paredes de la tubería y elementos; para ello se recomendada la ubicación de filtros sobre el tanque de aceite e ingreso de elementos críticos como válvulas de control y actuadores (Almandoz et al., 2007).

2.4.1.5. Actuadores

Como en el caso de la neumática se denominan actuadores a los elementos del circuito hidráulico que transforman la energía hidráulica en mecánica, se trata de actuadores rotativos hidráulicos. En el área de la hidráulico estos actuadores se los denominan motores rotativos, que permiten convertir los tipos de energía mecánica a energía cinética sobre el fluido; el tipo que menores pérdidas produce son los de pistones axiales (Almandoz et al., 2007).

- Motores lineales

El tipo de motor que permite un movimiento lineal sobre su eje de simetría son los lineales alternativos, similares en el área de la neumática diferenciado por sus parámetros operacionales respecto a presiones y caudal; la aplicación para este tipo de actuador giratorio se basa en el área de aplicaciones de movimiento lineal (Almandoz et al., 2007).

- Motores de giro

Este tipo de motores permiten trabajar en niveles de potencia altos, gracias a su giro y diferencia de presión sobre los puntos de carga y descarga de fluido; para ello los parámetros para su selección son: la presión y caudal, el primero nos garantiza el par o torque sobre el motor y el segundo la velocidad angular del actuador (Almandoz et al., 2007).

2.5. Método de elementos finitos

El Método de los Elementos Finitos es un método numérico de resolución de problemas que resulta de gran importancia por su utilidad práctica. Es una herramienta de cálculo muy potente que permite al ingeniero resolver infinidad de problemas. Sin embargo, es un método que no proporciona la solución “exacta” a un problema dado, sino que, posibilita obtener una solución

aproximada que, con el juicio ingenieril que se le supone al calculista, puede ser más que suficiente para la resolución de un problema práctico (Nápoles et al., 2020).

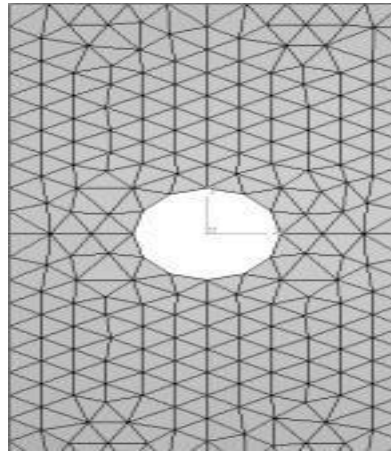


Figura 13-2. Mallado triangular.

Fuente: Napoles et al., 2020

Una modelización por elementos finitos de este problema, empleando elementos triangulares, por ejemplo, podría ser la representada en la Figura 13-2, en la que se representa la malla de un modelo que podría utilizarse para la resolución del problema. En general, en un problema a analizar por el Método de los Elementos Finitos, conoceremos las fuerzas exteriores aplicadas en algunos de sus nudos y los valores de los desplazamientos en otros (ligaduras) (Nápoles et al., 2020). La clave del método está en que, tras su aplicación, obtendremos una expresión del tipo:

$$* + , - * +$$

En la cual, $\{F\}$ es un vector columna, conocido como vector de cargas, donde están todas las fuerzas exteriores (las directamente aplicadas y las reacciones producidas por las ligaduras) que actúan sobre el sólido; en el miembro de la derecha nos encontramos al vector $\{u\}$, denominado vector de desplazamientos nodales, que representa, de manera ordenada, todos los desplazamientos que experimentan los nudos del modelo, y la matriz $[K]$, que se conoce como matriz de rigidez del sistema estructural y, cuya formación constituye el “corazón” de este método (Nápoles et al., 2020).

2.5.1. *Conceptos fundamentales*

Muchos fenómenos de ingeniería pueden ser expresados por medio de “ecuaciones que gobiernan el comportamiento del continuo (governing equation)” y “condiciones de frontera”. Estas ecuaciones de gobierno o de estado están a menudo en la forma de ecuaciones diferenciales parciales o de ecuaciones diferenciales ordinarias (Nápoles et al., 2020).

- Dominio

En Matemáticas, un dominio es el conjunto de valores de la variable independiente para la cual una función se define. En el análisis por elementos finitos, un dominio es un sistema continuo (región) sobre la cual gobiernan las leyes de la Física. En ingeniería estructural, un dominio podría ser una viga o una estructura de un edificio completo. En ingeniería mecánica, un dominio podría ser partes de una pieza de máquina o un campo térmico (Nápoles et al., 2020).

- Ecuaciones que gobiernan el comportamiento del continuo

Las ecuaciones que gobiernan un sistema son las derivadas de la física del sistema. Muchos sistemas de ingeniería pueden ser descritos por las ecuaciones que lo gobiernan, las que determinan las características del sistema y su comportamiento (Nápoles et al., 2020).

- Condiciones límites o de frontera

Son los valores de una función en los ejes del rango de algunas de sus variables. Nosotros necesitamos conocer algunas de las condiciones límites de manera de resolver un problema de ingeniería o encontrar una función desconocida (Nápoles et al., 2020).

- Elemento

Un elemento es una parte del dominio del problema y sus formas más típicas son como el triángulo o el cuadrilátero en 2D; o un tetraedro o un sólido rectangular en 3D (Nápoles et al., 2020).

- Nodo

Un nodo es un punto del dominio, y es a menudo el vértice de muchos elementos. Un nodo es llamado también un punto nodal.

- Malla (mesh ó grid)

Los elementos y nodos, juntos, forman una malla, la que es la estructura de datos central en el Análisis por Elementos Finitos.

- Generación de la malla

La mayoría de los softwares de Análisis por Elementos Finitos generan automáticamente una malla para alcanzar más exactitud en los resultados. Para el análisis complejo por elementos finitos o de problemas de gran escala, es imperativo para las computadoras generar automáticamente mallas de elementos finitos. Hay muchos diferentes algoritmos para la generación automática de la malla (Nápoles et al., 2020).

- Análisis No lineal por elementos finitos

En este se considera el material con un comportamiento no lineal y/o no linealidad geométrica de un sistema de ingeniería. El análisis no lineal geométrico es llamado también análisis de deformaciones de gran tamaño (Nápoles et al., 2020).

- Análisis lineal por elementos finitos (FEA)

Se basa en las siguientes premisas: 1) Estático; 2) Pequeños desplazamientos; 3) Los materiales son linealmente elásticos.

2.5.2. Ventajas y limitaciones del MEF

Como todo método aproximado de solución de problemas de ingeniería, el método de los elementos finitos posee ventajas y limitaciones que deben ser conocidas por los profesionales que pretenden aplicar el mismo.

- Ventajas del MEF

El MEF puede manejar elementos de geometría y restricciones complejas.

El MEF puede trabajar con solicitudes complejas de carga desde cargas puntuales, uniformemente distribuidas y dinámicas.

El MEF puede resolver varios problemas de ingeniería desde mecánica del sólido, dinámica, transferencia de calor, campos electrostáticos y problemas no lineales.

- Limitaciones del MEF

Las soluciones por el MEF a menudo son aproximadas. No obstante, a más refinamiento de la malla, mayor exactitud en las soluciones. Pueden contener errores inherentes a la computación como resultado de la acumulación de errores durante la computación numérica. DE manera similar pueden contener errores fatales como resultado de una incorrecta modelación de estructuras, cargas o de las condiciones límites (Nápoles et al., 2020).

2.6. Metodología de diseño

El proceso sistemático y secuencial para encontrar un determinado objetivo se denomina metodología. La metodología respecto al diseño de un producto o máquina contiene los siguientes parámetros: ser un proceso racional, adaptable a distintos casos similares y debe ser de fácil entendimiento para personas sin conocimientos ingenieriles (Riba, 2002).

2.6.1. *Diseño*

La acción de inicio para la elaboración de un producto o equipo es la implementación de características técnicas y necesarias en nuestro producto, por ello la actividad que engloba e inserta estos parámetros se denomina diseño; para ello se clasifica distintos tipos de diseño de acuerdo a la etapa del proceso que nos encontremos (Porras & Gavilanes, 2018).

2.6.2. *Diseño conceptual*

La fase en la cual se incluye todas las sugerencias de los usuarios y especificaciones generales que se buscan nuestro producto o equipo, también es útil este tipo de diseño para correcciones de productos existente en los cuales se busque una mejora (Porras & Gavilanes, 2018).

2.6.3. Metodología del diseño

La metodología consiste en convertir las especificaciones del usuario junto con necesidades básicas en una posible solución técnica, esto permite presentar un prototipo de solución a esta necesidad convirtiéndola de manera material (Porras & Gavilanes, 2018).

2.6.4. Ciclo básico del diseño

La secuencia de diseño se rige por el ciclo básico en el cual ingresamos el problema o problemas a solucionar que debe satisfacer nuestro producto, para su análisis y posibles soluciones. Este tipo de ciclo es muy útil para evaluar problemas de carácter técnico y la manipulación de variables técnicas sobre el producto como muestra la figura 14-2 (Porras & Gavilanes, 2018).

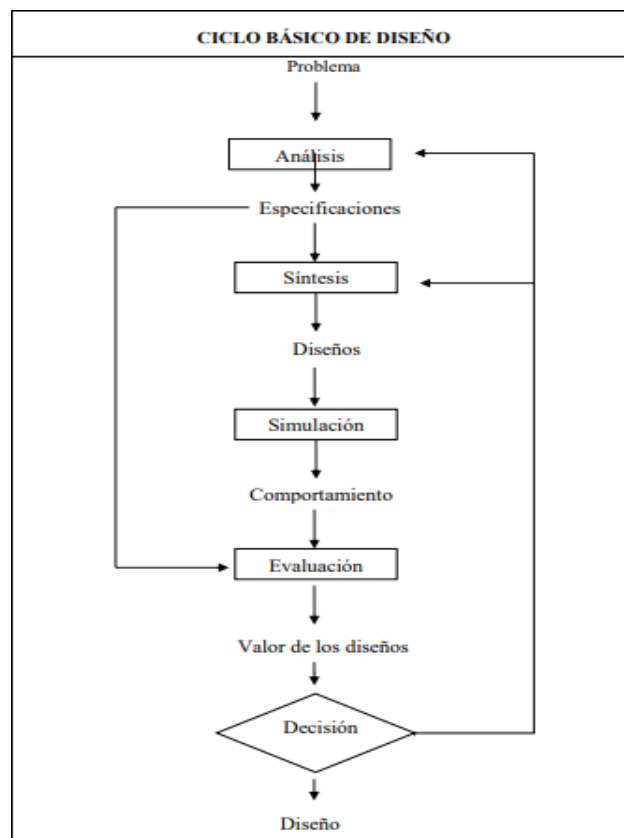


Figura 14-2. Ciclo básico del diseño.

Fuente: Riba, 2002

En el presente trabajo utilizamos el modelo de etapas del proceso de diseño. El modelo describe cuatro fases que nos ayudan a determinar posibles soluciones para su posterior análisis de mejor solución. Lo que permite la optimización de cada función y acogiéndonos a las especificaciones del usuario (Porras & Gavilanes, 2018).

2.6.5. *Análisis*

Una vez plasmado en forma de problema las especificaciones o necesidades básicas del cliente o usuario se analiza, valorando este problema mediante un análisis de etapas técnicas del proceso del ciclo básico. Entre las recomendadas son el costo, dimensiones generales y el impacto ambiental que pueda generar (Porras & Gavilanes, 2018).

Las rutas posibles a seguir para este objetivo son: Realizar simulaciones de prototipos de la posible solución y someterlos a condiciones reales de trabajo, para ello una buena herramienta son los softwares especiales para la actividad a analizar; reproducir de manera escalada un prototipo material y someterlo a ensayos (Porras & Gavilanes, 2018).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El presente capítulo la metodología para determinar las alternativas de solución a los distintos requerimientos establecidos por el cliente. Para ello se rigió a la metodología propuesta de modelos de etapas. La misma que describe proporcionar de alternativas de solución aceptables para su posterior elección más adecuada al problema (Riba, 2002).

3.1. Metodología de diseño de una máquina volteadora de compost

La metodología utilizada para el diseño de la máquina volteadora de compost se centra en el modelo de etapas del proceso de diseño. La misma que sirve para seleccionar la alternativa más adecuada.

Tabla 1-3. Fases del proceso de diseño.

Fases	Actividades	Herramientas
Estudio previo del compost	Características del compost	Forma y tamaño
Diseño conceptual de la máquina volteadora de compost	Determinar las especificaciones	Desarrollar la matriz QFD
	Desarrollar la estructura de función	Movimientos de la máquina
	Desarrollar la matriz morfológica	Buscar alternativas de solución
	Analizar soluciones	Los factores ponderados
Diseño de máquina volteadora de compost	Diseñar ejes, estructura, porta paletas, paletas, soporte sistema oleo hidráulico, elementos de transporte tipo oruga, soporte de operador, sistema de potencia oleo hidráulico	Normas de diseño de elementos mecánicos y sistemas oleo hidráulicos, Fórmulas y tablas.
	Selección cojinetes, cadenas, ruedas, válvulas, motor, tipo de aceite	Catálogos
	Modelado de piezas	Software SolidWorks
	Análisis estático y dinámico estructural	Software ANSYS
Diseño de detalle de la máquina volteadora de compost	Realizar los planos de construcción de piezas	Software AutoCAD
	Realizar los planos de ensamble	

Simulación del funcionamiento de la máquina volteadora de compost	Simulación del funcionamiento	Software MSC Adams View
---	-------------------------------	-------------------------

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

El proceso metodológico propuesta se detalla en la tabla 1-3, la misma que tiene como primera etapa el estudio previo del compost. Se especifica las dimensiones que tiene la pila de compost la cual es utilizada como inicio del diseño de cada elemento mecánico de la máquina volteadora. La misma que se obtiene de las especificaciones necesarias básicas del cliente.

Continuando como el proceso tenemos el diseño conceptual, importante en el desarrollo y procesamiento de posibles soluciones a las especificaciones mencionadas por el cliente. El diseño conceptual abarca la evaluación sistemática de cada posible solución bajo el control de ponderaciones establecidas previamente al inicio de esta etapa. El diseño de materialización de la máquina volteadora se presenta como tercera etapa del proceso, en la cual se realiza el diseño de cada elemento mecánico que interviene en la máquina. Como ejes, estructuras, juntas soldadas, entre otros. La selección de accesorios y elementos de transmisión mecánica es incluido en esta etapa.

El uso de software de elementos finitos nos garantiza un mejor desempeño en el diseño de cada elemento, disminuyendo la complejidad de sus cálculos y tiempo de análisis. Para plasmar los resultados obtenidos de la anterior etapa se elaboran planos de construcción y ensamble de la máquina, abordados en la etapa de diseño de detalle. Finalmente, para la prueba de funcionamiento de la máquina se procedió en la simulación de la maquina en el software ADAMS VIEW el cual manifiesta los posibles errores de funcionamiento e interferencia en los mecanismos de movimiento.

3.2. Estudio previo del compost

El compost como se mencionó en el capítulo anterior es un abono orgánico que contiene propiedades favorables para el desempeño de la tierra. El compost para su arado o volteo se apila en grandes cantidades en centros de acopio. La importancia que tiene la misma facilita el proceso de volteo, debido a la uniformidad de la pila. Para ello la dimensión es la siguiente.

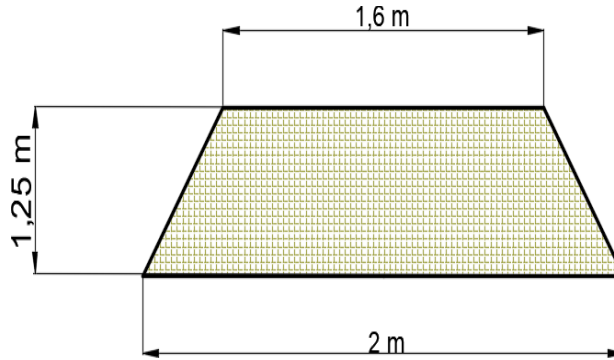


Figura 1-3. Dimensiones de pila de compost.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

La sección de la pila se aproxima a un trapecio de medidas altura , base mayor

y base menor $b = 1,6 \text{ m}$ Como bien se conoce la forma de las pilas diferente a la forma rectangular, para fines de diseño de la máquina volteadora se asume la sección mostrada en la figura 1-3.

3.3. Diseño conceptual de la máquina volteadora de compost

El diseño conceptual inicia con la recolección de las especificaciones principales de la máquina volteadora de compost, obteniendo diferentes alternativas de solución. Las que fueron seleccionadas de acuerdo al proceso de diseño.

3.3.1. Especificaciones de la máquina volteadora de compost

Las especificaciones principales de la máquina se obtuvieron de la encuesta realizada a 10 personas involucradas en la elaboración de compost. Los deseos y requerimientos del usuario son las principales especificaciones mediante las cuales parte el diseño conceptual de una máquina. Los resultados resumen de la encuesta realizada se presenta a continuación.

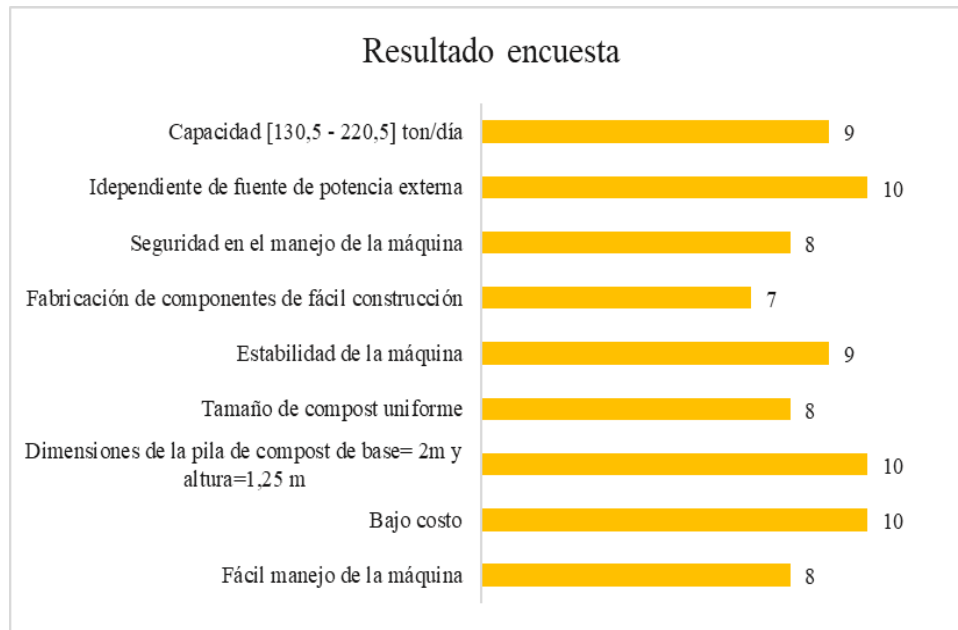


Figura 2-3. Resultado de análisis de encuestas.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

La matriz de diseño conceptual QFD detalla que los requerimientos mencionados en la encuesta se presentan desde un punto ingenieril. Cada ítem mencionado en la encuesta es representado de manera técnica para su posterior análisis en la matriz QFD.

- Voz del usuario

Las especificaciones técnicas de la máquina volteadora se detallan:

- Fácil manejo de la máquina
- Bajo costo
- Dimensiones de la pila de compost de base 2m y altura 1,25m
- Tamaño de compost uniforme
- Estabilidad de la máquina
- Fabricación de componentes de fácil construcción
- Seguridad en el manejo de la máquina
- Independiente de fuente de potencia externa
- Capacidad [130,5 – 220,5] ton/día

- Voz de ingeniero

Tabla 2-3. Especificaciones generales de la voz de ingeniero basadas en las del usuario.

Voz del usuario	Voz de ingeniero
Fácil manejo de la máquina	Control de elementos motrices
Bajo costo	Costo de la máquina
Dimensiones de la pila de compost de base= 2m y altura=1,25 m	Dimensiones generales de la máquina
Tamaño de compost uniforme	Sistema de volteo por paletas
Estabilidad de la máquina	Peso
Fabricación de componentes de fácil construcción	Intercambiabilidad de componentes
Seguridad en el manejo de la máquina	Seguridad de operación
Independiente de fuente de potencia externa	Fuerza motriz
Capacidad [130,5 - 220,5] ton/día	Capacidad óptima


Realizado por: Barragan & Merino, 2021

- Casa de la calidad

La evaluación de cada característica técnica presentado por la voz del ingeniero se basa en la matriz QFD mencionado en el libro de (RIBA Y ROMEVA, 2002). La cual menciona que las características técnicas de nuestra máquina se basan en las existentes en el mercado, con la finalidad de obtener posibles soluciones a módulos de funcionamiento. Para ello se optó por presentar dos fichas técnicas de máquinas volteadoras con especificaciones similares. La tabla 3-3 presenta las especificaciones más relevantes de máquinas volteadoras de compost.

Las comparaciones de las especificaciones junto con la distribución de cada módulo funcional, permiten establecer posibles soluciones a los componentes de la máquina volteadora de compost estudiada. La matriz QFD permite la interacción de la voz del usuario, ingeniero y competencia con la finalidad de obtener una evaluación con enfoque técnico. De esta manera obtener una solución sintetizada de toda la información establecida en las encuestas realizadas.

Tabla 3-3. Máquinas volteadoras de compost autopropulsadas del mercado.

Competencia 1		Competencia 2
BACKHUSA 75		CMC SF 200
		
Altura (m)	5,60	1,40
Ancho (m)	8,20	1,80
Diámetro rotor (m)	1,80	0,45
Longitud (m)	6,35	1,8
Ancho compost (m)	6,00	1,75
Altura compost (m)	3,20	1,00
Volteo (m ³ /h)	6500	300
Potencia del motor (Kw)	450	25
Velocidad (rpm)	1900	1800

Fuente: Bakchus, 2019

La elaboración de la casa de la calidad se puede observar en la figura 2-3. En la cual se observa todas las especificaciones establecidas de las distintas áreas de análisis. Las mismas que son utilizadas para el análisis estructural funcional de la máquina.

- Resultados de la casa de la calidad y especificaciones de la máquina

Del análisis QFD se obtiene las especificaciones más importantes con ponderaciones sobre los valores de 7 puntos. Las cuales se menciona en la fase final de la matriz, siendo la evaluación técnica la decisión final. Los ítems descartados debido a su menor importancia dentro del diseño son: láminas protectoras de elementos, peso menor a 3 ton y sistema contenedor de paletas. En la misma evaluación técnica se puede apreciar las ponderaciones con valores más altos como el costo de la máquina menor a 30 000 dólares y sistema de movimiento auto – propulsada.

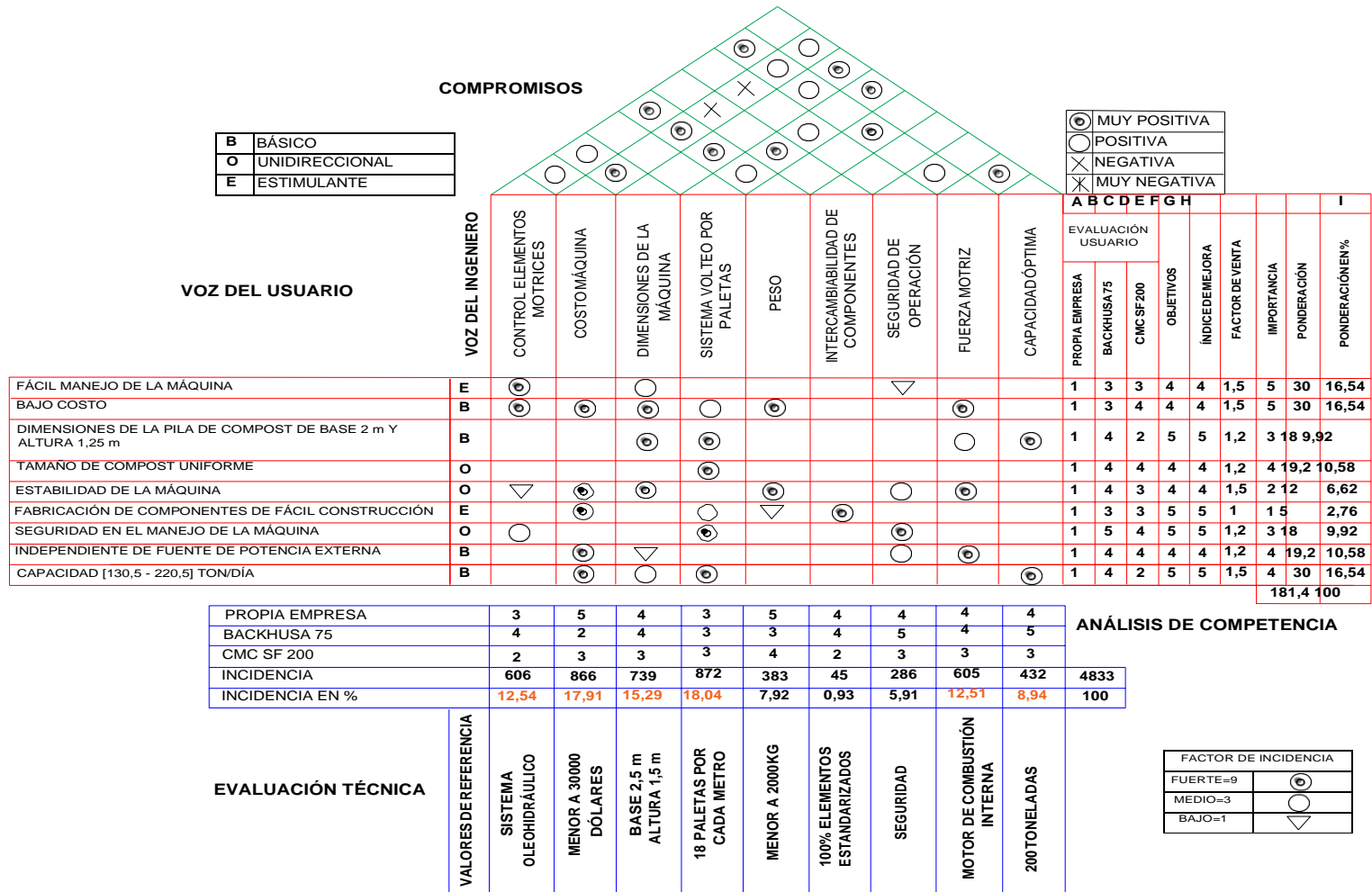


Figura 3-3. Casa de la calidad volteadora de compost.

Fuente: Barragan & Merino, 2021

Las características técnicas finales del análisis para el diseño de la máquina volteadora de compost son las siguientes:

- **Sistema de volteo por paletas:** Es un sistema indispensable para el volteo del material a compostar, ya que permite la acción simultánea de voltear y cortar.
 - **Costo de la máquina:** Es importante el diseño se centre en economizar un presupuesto menor de 30 000 dólares para ello, el diseño de cada elemento se basará en un diseño de optimización con la finalidad de reducir su peso y en consecuencia el costo de la máquina.
 - **Dimensiones de la máquina:** Las dimensiones generales de la máquina están relacionadas directamente con las dimensiones de la pila de compost, siendo la base de 2,50 metros y altura de 1,50 metros.
 - **Control de elementos motrices:** El sistema oleohidráulico es el más recomendado para máquinas móviles, debido a su alta capacidad de trabajo con grandes cargas y nivel de precisión en de los componentes.
 - **Fuerza motriz:** La energía para el funcionamiento de la máquina necesariamente es un motor de combustión interna a diésel, dado a su capacidad de trabajo con altas potencias.
 - **Capacidad óptima:** La capacidad en la cual se centra el diseño de elementos mecánicos es 200 ton/día.
- Especificaciones de una máquina volteadora de compost

La tabla 4-3 se elabora con la finalidad de distinguir entre requerimientos y deseos mencionados en las encuestas realizadas. Es importante realizar la diferencia entre estos aspectos debido que depende de la estructura funcional de la volteadora de compost, en las cuales determinan los sistemas necesarios para su correcto funcionamiento. Para ello se involucran diferentes análisis de clientes e investigadores, así como el aspecto deseo y requerimiento. Mediante los cuales son evaluados cada ítem importante mencionado en el apartado superior del presente trabajo.

Tabla 4-3. Especificaciones técnicas de la volteadora de compost auto propulsadas.

Autores: Cristian Merino Jerson Barragan	Producto: Volteadora de compost auto propulsada		Documento N°. 1
Especificaciones			
Concepto	Propone	R/D	Descripción
Función	C	R	Alinear la pila de compost Voltear la pila de compost
Capacidad	C	R	200 toneladas por día
Dimensiones	C+I	R	Dimensiones: Altura: 1,50 m Ancho: 2 m Profundidad: 1,50 m Angulo de inclinación: 60°
Movimiento	C+I	R	La máquina efectúa dos movimientos: Sistema de movimiento lineal (avance de la volteadora) y sistema de volteo mediante el eje rotor y paletas. Con un grado de libertad igual a 3.
Sistema de potencia	C	R	Sistema auto propulsado con sistema oleo hidráulico
Costos	C+I	D	Presupuesto aproximado de 30 000 dólares
Sistema de volteo	C+I	R	Sistema de paletas intercambiables, permite el volteo de compost mediante el accionamiento del eje rotor.
Plazo de entrega del diseño de la máquina	C+I	R	Fecha de entrega: 19 de marzo del 2021
C: Cliente, I: Investigadores, R: Requerimiento, D: Deseo			

Fuente: Porras & Gavilanes, 2018

3.3.2. Estructura funcional de volteadora de compost auto impulsada

La funcionalidad de la volteadora de compost se compone por dos labores: Humectación de pila y volteo de compost. Las cuales pueden o no ser actividades simultaneas. Debido a las condiciones en las cuales se presentan simultáneamente estas dos actividades se involucra la capacidad operativa de cada equipo oleo hidráulico instalado. Por ello la estructura funcional se presenta de la siguiente manera.

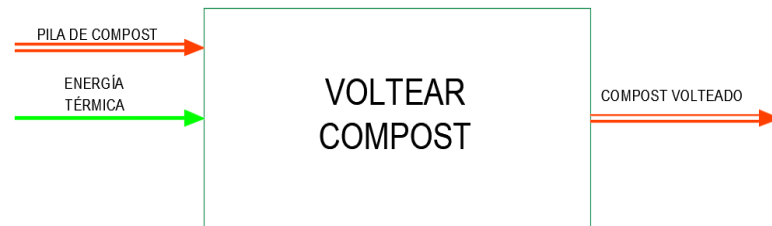


Figura 4-3. Función principal volteadora de compost.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Como resultado de la interacción de estas variables tenemos el compost volteado. Es importante el volteo con una humectación a la par, mediante el cual se facilita esta actividad y garantiza una mejor calidad de compost. Las variables involucradas en la estructura funcional de la volteadora son las siguientes:

- Materia: Pila de compost
- Energía: Energía térmica

A continuación, se presenta las funciones de la máquina volteadora de compost. La cual consta de un módulo con funciones de guiar el compost, control del sistema, avance de la máquina, volteo y humectación del compost.

MÓDULO 1

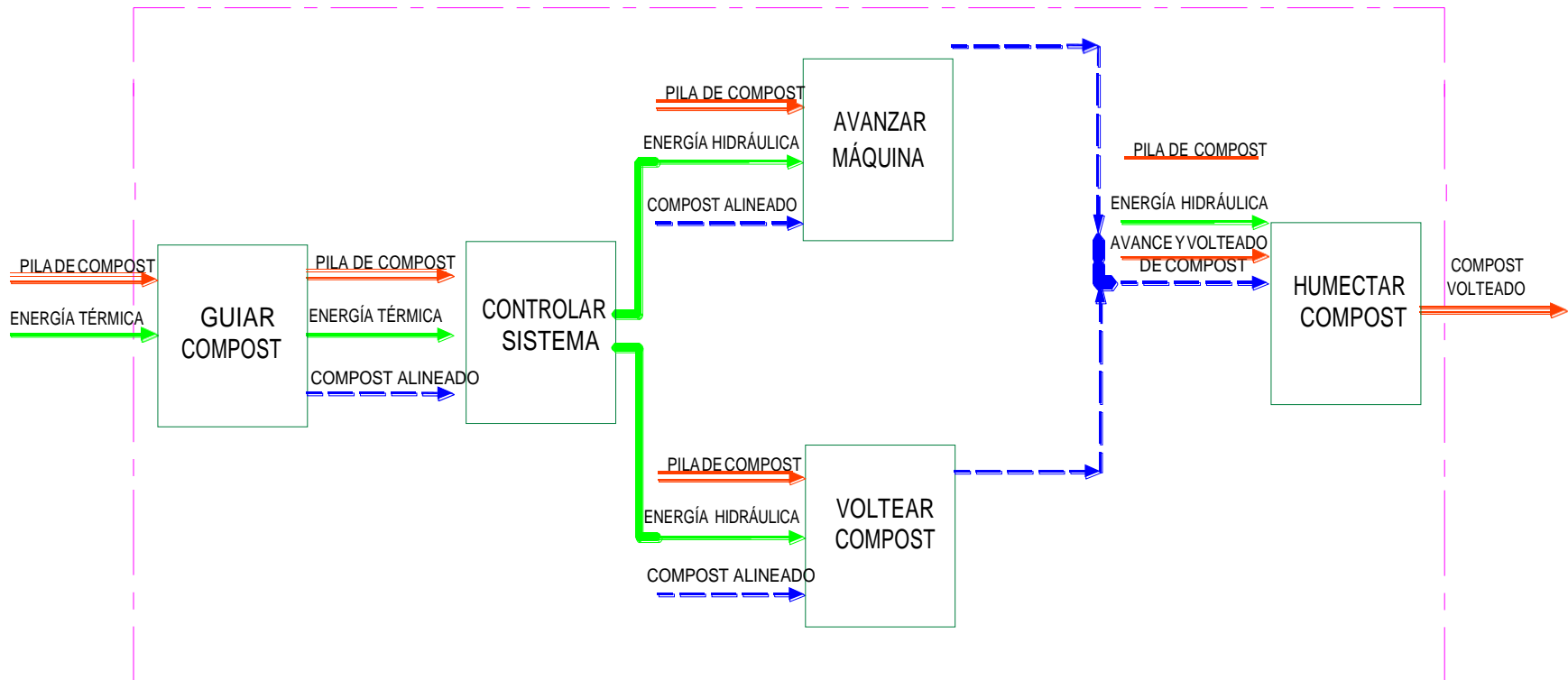


Figura 5-3. Estructura funcional.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

3.3.3. *Matriz morfológica*

Previo al detalle de la matriz morfológica se planteó la solución a cada módulo. Para ello se analizó de acuerdo a sus respectivas ventajas y desventajas de los elementos y mecanismos constitutivos de la máquina volteadora de compost.

3.3.3.1. *Guiar compost*

Permite el correcto ingreso del compost para su volteo, para ello se presentan soluciones a esta actividad. Lo que se busca es garantizar una forma de pila lo más homogénea posible al ingresar a la máquina volteadora.

- Pala



Figura 6-3. Pala de acero.

Fuente: Manual de compostaje, 2018

Ventajas

- Menor costo
- Reutilizable
- Fácil uso

Desventajas

- Alto grado de esfuerzo sobre los trabajadores
- Baja nivel de eficiencia
- Exceso de tiempo en elaborar la actividad

- Placas inclinadas



Figura 7-1. Placas de acero con inclinación a 45°.

Fuente: Manual de compostaje, 2018

Ventajas

- Mayor área de trabajo sobre la pila de compost
- Elemento acoplado a la volteadora
- Mayor resistencia mecánica

Desventajas

- Dimensiones delimitadas por la pila de compost
- Diferencia de precio mayor a la pala

3.3.3.2. *Controlar sistema*

El sistema o conjunto de elementos que nos permiten el control de los elementos motrices es fundamental para el funcionamiento de la máquina. Para ello se presenta 3 sistemas para ejecutar esta actividad.

- Neumático



Figura 8-3. Sistema neumático.

Fuente: Electronick HDMI, 2017

Ventajas

- Está disponible de manera ilimitada (aire)
- Facilidad de transporte
- Su almacenaje no genera grandes costos operativos
- Permite cierto gradiente de temperatura sin afectar su función

Desventajas

- Baja sensibilidad al manejo de actuadores
- Fuerza de trabajo limitados (20 a 30000) N
- Necesita un tratamiento previo a su utilización

- Mecánico



Figura 9-3. Tractor mecánico.

Fuente: Montero, 2006

Ventajas

- Disminución considerable sobre el costo total de la volteadora
- Fácil mantenimiento debido a la eliminación de elementos neumáticos o hidráulicos
- Bajo peso
- Permite cierto gradiente de temperatura sin afectar su función

Desventajas

- Bajo autonomía y manejo de la maquina
 - Depende de una maquina motriz para su funcionamiento
 - No autónoma
 - Alto costo de alquiler de máquina motriz
- Oleo-hidráulico



Figura 10-3. Sistema oleo-hidráulico.

Fuente: Almandoz, 2007

Ventajas

- Elevadas fuerzas de trabajo y torque
- Fluido de trabajo recuperable
- Mayor nivel de manejo y sensibilidad de actuadores
- Instalación total compacta
- Cambios rápidos de dirección y velocidad

Desventajas

- Sistema con alto costo debido a sus elementos y fluido de trabajo
- El fluido de trabajo susceptible a contaminación
- Pérdidas de carga en el sistema por el calor perdido.

3.3.3.3. Avanzar máquina

La máquina volteadora tiene como exigencia primordial su autonomía. El funcionamiento se basa en implementar un tipo de energía que garantice su transporte móvil sin restricción. Lo que lleva a la búsqueda de sistemas que tengan buena respuesta en terrenos irregulares. De acuerdo al estudio realizado se presenta dos sistemas más utilizados para este tipo de máquina.

- Ruedas neumáticas



Figura 11-3. Ruedas neumáticas.

Fuente: Barragan & Merino, 2020

Ventajas

- Fácil accesibilidad
- Pueden ser reutilizados
- Bajo costo respecto a otros sistemas de avance

Desventajas

- Sufre daños debido a las irregularidades de terrenos

- Necesita un sistema de tracción para el avance en terrenos lodosos
 - Su ergonomía consume gran volumen sobre la máquina
 - Problemas de estabilidad
- Sistema tipo oruga



Figura 12-3. Sistema tipo oruga.

Fuente: Barragan & Merino, 2020

Ventajas

- Fácil acceso en terrenos irregulares
- Mayor estabilidad por su área de contacto
- Alto grado de respuesta a vibraciones
- Algo grado de adherencia sobre la superficie

Desventajas

- Fabricación compleja
- Implementación de materiales anticorrosivos costosos
- Elementos pueden sufrir daños por estar a condiciones de corrosión

3.3.3.4. *Voltear compost*

La actividad de voltear el compost nos permite oxigenar y mantener vivos a los microorganismos que favorece la descomposición del compost. Con ello se presenta 2 alternativas para ejecutar esta actividad.

- Eje rotor por paletas

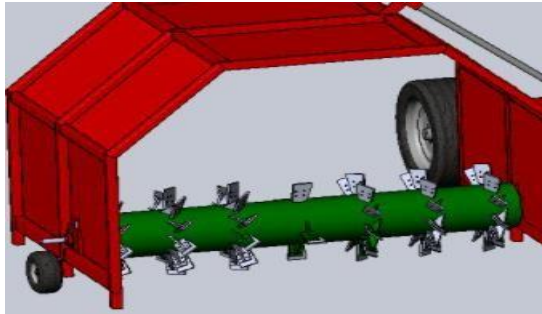


Figura 13-3. Eje rotor con paletas inclinadas.

Fuente: Almandoz, 2007

Ventajas

- Sistema autónomo
- Alta velocidad de trabajo
- Mayor nivel de fuerza para el trabajo
- Paletas sustituibles

Desventajas

- Costo de fabricación considerable
 - Debido al uso de material anticorrosivo su costo aumenta
 - Debe incluir un sistema externo para su accionamiento
- Discos de abrasión



Figura 14-3. Disco abrasivo para compost.

Fuente: Almandoz, 2007

Ventajas

- Menor costo de fabricación respecto al eje rotor de paletas inclinadas
- Menor peso
- Sistema sencillo para su montaje

Desventajas

- Solo permite esfuerzos de corte sobre el compost
- Rango de velocidad limitado
- Dificultad de acoplamiento a un sistema oleohidráulico

3.3.3.5. *Humectar compost*

De acuerdo al Manual de compostaje (2008) menciona que la humedad juega un papel importante sobre la calidad del producto final. Por ello, se manifiesta la dosificación continua de agua sobre este. En el mercado existe dos tipos de dosificación: aspersión y goteo.

- Aspersión



Figura 15-3. Sistema de aspersión de agua.

Fuente: Almandoz, 2007

Ventajas

- Ahorro del líquido
- Mayor abarcamiento de áreas de compost

- Eliminación de esfuerzo físico
- Puede ser automatizado

Desventajas

- Mayor costo respecto al tradicional
 - Mantenimiento regular sobre sus elementos
 - Necesita un depósito de agua para sistemas móviles
- Goteo



Figura 16-3. Sistema de goteo de agua.

Fuente: Almandoz, 2007

Ventajas

- Mayor de ahorro sobre el método convencional
- Nivel intermedio de control de dosificación
- Menos elementos para su implementación



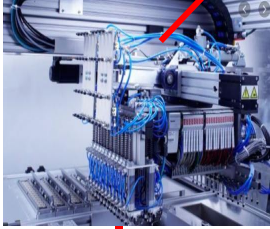




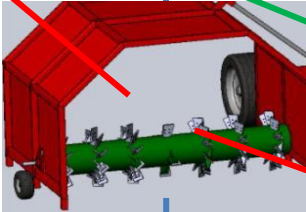

Desventajas



- Si su control es ineficiente puede surgir mayor desperdicio de agua que el convencional
- Difícil aplicabilidad sobre maquinas móviles

3.3.4. *Matriz morfológica de alternativas para la máquina volteadora de compost*

La matriz morfológica de alternativas nos permite identificar las posibles soluciones para cada módulo. La cual se basa en las especificaciones del usuario y voz ingenieril, en la cual se involucra los aspectos de dos máquinas similares existentes en el mercado mencionados en la solución anterior.

Tabla 5-3. Matriz morfológica de alternativas.

FUNCIÓN	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa
GUIAR COMPOST	 <p data-bbox="613 850 680 877">Palas</p>	 <p data-bbox="841 879 1114 907">Placas inclinadas a 45°</p>	
CONTROLAR SISTEMA	 <p data-bbox="540 1211 753 1239">Motor Neumático</p>	 <p data-bbox="846 1211 1109 1239">Impulsado por Tractor</p>	 <p data-bbox="1190 1211 1403 1239">Motor Hidráulico</p>
AVANZAR MÁQUINA	 <p data-bbox="532 1539 761 1566">Ruedas neumáticas</p>	 <p data-bbox="865 1539 1089 1566">Sistema tipo oruga</p>	
VOLTEAR COMPOST		 <p data-bbox="857 1854 1089 1881">Eje rotor con paletas</p>	 <p data-bbox="1195 1854 1403 1881">Discos de abrado</p>

<p>HUMECTAR COMPOST</p>		 <p>Aspersión</p>	 <p>Goteo</p>
<p>SOLUCIÓN 2</p>		<p>SOLUCIÓN 3</p>	<p>SOLUCIÓN 1</p>

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

La combinación entre elementos de la matriz, permiten extender las posibilidades de solución a la maquina volteadora, permitiendo su valoración posterior. Las soluciones a cada módulo se presentan con ventajas en las comparaciones realizadas. La respuesta obtenida de la matriz establece tres soluciones a nuestra maquina volteadora. Las mismas que son las más pretendidas dentro del mercado de máquinas de volteo. Se detalló los aspectos funcionales principales e importantes de la volteadora de compost, elementos complementarios se deciden dentro del de diseño de materialización. Las componentes son referenciadas de máquinas comerciales obtenidas de mercados internacionales y solicitadas dentro del país. Las posibles opciones fueron dos debido a la poca demanda de este tipo de maquinaria autopropulsada dentro del sector agrícola.

3.4. Descripción de las alternativas de solución

Las alternativas establecidas de la máquina tienen la misma función principal voltear el compost, las cuales se diferencian en sus ventajas y desventajas respecto a los elementos involucrados. La dirección de volteo depende de la ubicación de las palas, las cuales tienen una importante acción frente a la pila. Debido que estas permiten un alineamiento de la pila permitiendo una mejor eficiencia de volteo de la máquina. Como es de esperar la misma importancia tiene el sistema de movimiento, para el cual mantener un sistema tipo oruga con coronas permite un ahorro de material, dinero y espacio dentro de la máquina.

El funcionamiento de las alternativas comienza con el avance de la maquina hasta entrar en contacto las paletas con la pila de compost. En esta actividad las palas giran ejerciendo una fuerza tangencial sobre el eje motriz y dividiendo la pila en elementos de menor dimensión. En acción

paralela actúa el sistema de humectación, la cual es accionada por el operario ubicado dentro o al costado de la máquina.

3.4.1. Solución 1

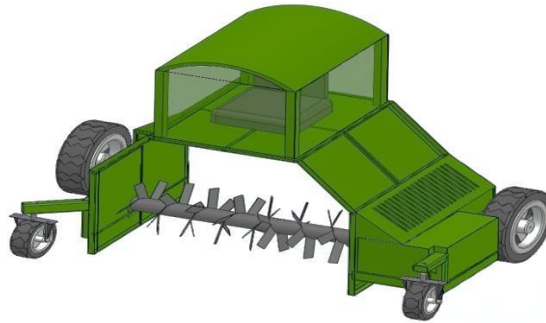


Figura 17-3. Esquema de solución 1.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

La solución 1 consta de tolva de ingreso con dos ángulos de inclinación respecto al eje vertical y horizontal, con la finalidad de direccionar y elevar cierta altura la pila de compost. Cuenta con un sistema de humectación principal de dos ductos de agua. Para ejercer la fuerza de corte de la pila de compost la dirección de sus palas tiene un mismo sentido, la cual es accionado por el operario ubicado una la cabida superior de la volteadora.

Ventajas

- Mayor seguridad del operario
- Mayor ductilidad en el manejo previo de la pila de compost
- Protección de cada elemento constitutivo de la máquina
- Disminución del costo de fabricación

Desventajas

- Aumento del peso de la máquina
- Dosificación de agua ineficiente
- Desorden en el compost volteado
- Sistema de potencia limitado

3.4.2. Solución 2

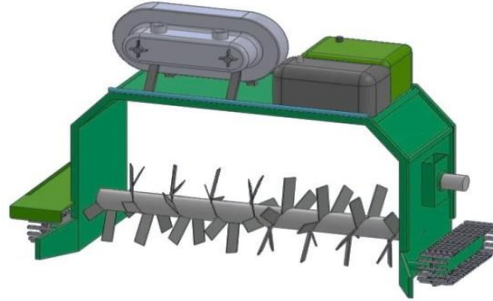


Figura 18-3. Esquema de solución 2.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

La presente solución a los componentes de la máquina mantiene un gran porcentaje de especificaciones del usuario y voz del ingeniero. La solución 2 contiene un sistema de cadena de oruga que permite el movimiento por diferentes tipos de suelos. Cuenta con un sistema de humectación por aspersión ubicado en la posición más elevada de la máquina para su mayor alcance. La tolva de entrada es simple y útil, debido que cumple la función del ingreso del compost y forma deseada del mismo. La dirección de las palas del eje motriz ayuda a la pila volteada mantener su dirección, aumentando la eficiencia de volteo.

Ventajas

- Sistema de admisión de pila uniforme
- Mayor precisión en el manejo de los elementos
- Sistema de humectación eficiente
- Rango de operación variable
- Mejor distribución de compost volteado
- Niveles de potencia alto

Desventajas

- Elementos de control sin protección
- Aumento de sistema de control de humectación
- Sistema volátil

3.4.3. Solución 3

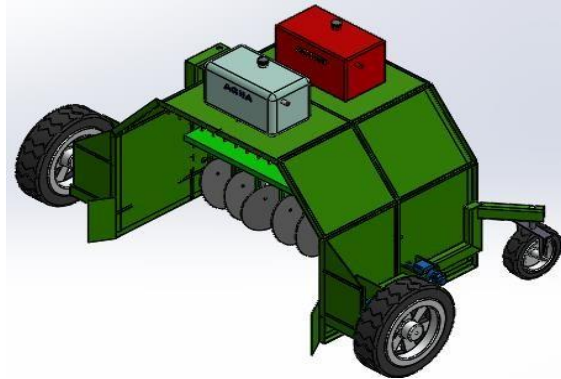


Figura 19-3. Esquema de solución 3.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

La presente solución tiene como elemento de volteo un eje rotor con palas tipo disco. Las cuales permiten una reducción de compost como producto final. Es decir, tiene mayor capacidad de corte y una nula capacidad de volteo. Este tipo de sistemas consumen menos energía, por lo que los sistemas de accionamiento y control son de dimensiones menores y de menor peso total de la máquina. El tipo de dosificación garantiza una mayor concentración de agua en el compost, pero debido a su aplicación no se puede controlar con mayor precisión.

Ventajas

- Disminución de peso de la volteadora
- Gran capacidad de corte del compost
- Mayor capacidad de humectación al compost
- Escases de repuestos sobre palas tipo disco

Desventajas

- Escasa capacidad de volteo
- Poco acceso a terrenos irregulares
- Aumento del número de operaciones debido a la actividad de dosificación de agua

3.5. Evaluación de alternativas

Las soluciones 1, 2 y 3 entran en una evaluación de cada módulo de funcionamiento, para determinar la solución final. Para ello se toma las especificaciones mencionadas en la casa de la calidad y el método de factores ponderados. La metodología se presenta a continuación.

Tabla 6-3. Evaluación de las especificaciones más relevantes.

criterio	Peso	Fácil manejo	Costo de la máquina	Productividad	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Peso		1	0,5	0	1	3,5	0.23
Fácil manejo	0		0	0	0	1	0.07
Costo de la máquina	0,5	1		0,5	1	4	0.27
Productividad	1	1	0,5		1	4,5	0.30
Mantenimiento	0	1	0	0		2	0.13
						15	1.0

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Tabla 7-3. Evaluación de las soluciones respecto al peso de la máquina.

PESO	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0.5	0	1,5	0.25
Solución 2	0,5		0	1,5	0.25
Solución 3	1	1		3	0,50
				6	1

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Tabla 8-3. Evaluación de las soluciones respecto al fácil manejo.

FÁCIL MANEJO	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0,5	2	0.33
Solución 2	0,5		0,5	2	0.33
Solución 3	0,5	0,5		2	0.33
				6	1

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Tabla 9-3. Evaluación de las soluciones respecto al costo de la máquina.

COSTO DE LA MÁQUINA	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0.50
Solución 2	0		1	2	0.33
Solución 3	0	0		1	0,17
				6	1

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Tabla 10-3. Evaluación de las soluciones respecto a la productividad.

PRODUCTIVIDAD	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0.17
Solución 2	1		1	3	0.50
Solución 3	1	0		2	0,33
				6	1

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Tabla 11-3. Evaluación de las soluciones respecto al mantenimiento.

MANTENIMIENTO	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0.17
Solución 2	1		1	3	0.50
Solución 3	1	0		2	0,33
				6	1

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Tabla 12-3. Evaluación de las soluciones.

Conclusión	Peso	Fácil manejo	Costo de la máquina	Productividad	Mantenimiento	Σ	Prioridad
Solución 1	0.23(0.25)	0.07(0.33)	0.27(0.50)	0.30(0.17)	0.13(0.17)	0.29	3
Solución 2	0.23(0.25)	0.07(0.33)	0.27(0.33)	0.30(0.50)	0.13(0.50)	0.38	1
Solución 3	0.23(0.50)	0.07(0.33)	0.27(0.17)	0.30(0.33)	0.13(0.3)	0.33	2

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

La sumatoria de total de las ponderaciones mayor es de 0,38 perteneciente a la solución dos. La cual se obtuvo al multiplicar las ponderaciones individuales de cada ítem evaluado con las ponderaciones generales de la interacción conjunta de los ítems.

3.5.1. Alternativa seleccionada

El método ponderado evaluó a las dos soluciones de cada componente de la máquina de estudio, en la cual la solución 2 obtuvo un valor mayor de la ponderación. La cual contiene un sistema de transporte tipo oruga, dirección de paletas contrarias, tolva de ingreso simple y ángulo mayor a 90°. El lugar de operación se encuentra al costado izquierdo de la máquina. El sistema de humectación se encuentra ubicado encima de la estructura de la máquina. Los demás componentes se presentan en el capítulo de materialización. Debido que son selección basado en montaje y prueba de la máquina volteadora de compost.

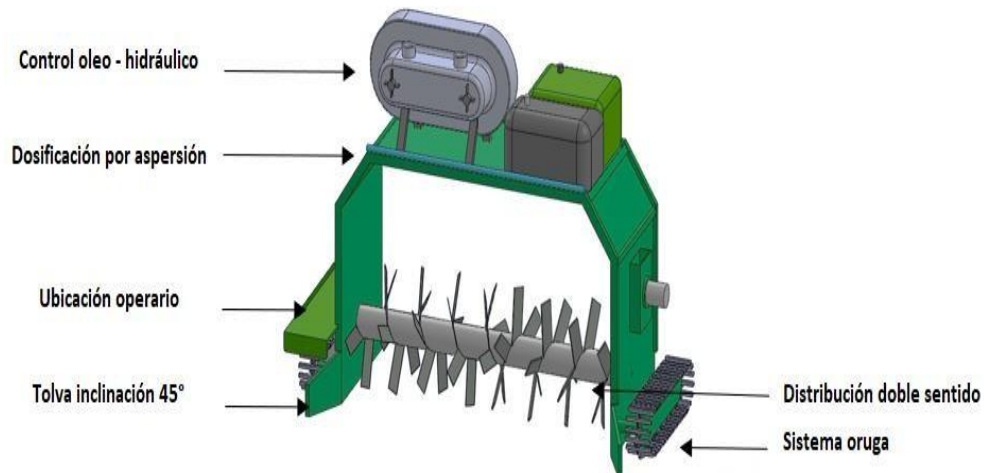


Figura 20-3. Esquema de solución 2.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

3.6. Diseño de la máquina volteadora de compost

El presente capítulo detalla el proceso de diseño de los componentes de la volteadora de compost y simulación del funcionamiento. Los elementos más importantes fueron diseñados y seleccionados de catálogos comerciales de acuerdo a la metodología mencionada. Los sistemas que forman parte de la máquina son: estructura, plancha de soportes, eje rotor, paletas de acero, sistema oleohidráulico y sistema de humectación. Para el diseño de los componentes empezamos por las

paletas siendo el elemento más crítico debido al contacto directo que éste presenta sobre la pila de compost.

3.6.1. *Diseño a carga dinámica de la paleta*

La secuencia de diseño de los elementos constitutivos de la máquina volteadora, inicia con el cálculo de la carga ejercida sobre cada paleta. Para lo cual se toma como datos de partida las dimensiones de la pila a trabajar. De acuerdo al capítulo de diseño conceptual, se menciona el requerimiento de una pila de forma trapezoidal de dimensiones (2 x 1,25) metros. Las dimensiones de la paleta son las siguientes:

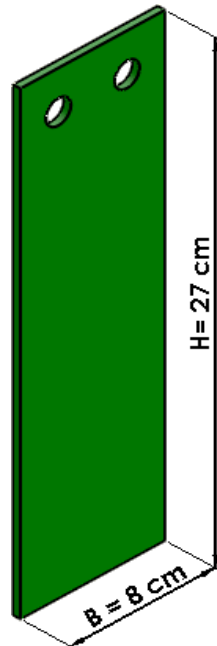


Figura 21-3. Dimensiones de paleta de volteo.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

El valor 27 cm de la altura de la paleta se establece en función de la máxima longitud de trabajo de las paletas y diámetro del rotor. La cual se mantiene restringida debido a la altura de la pila de compost de 125 cm. Como se puede observar en la figura 21-3 la longitud máxima entre vértices de trabajo de paletas es 80 cm, es decir la holgura existente es de 45 cm la cual se mantiene una holgura en la parte inferior de 10 cm con la finalidad de obtener el 100% del contacto de la superficie de la paleta.

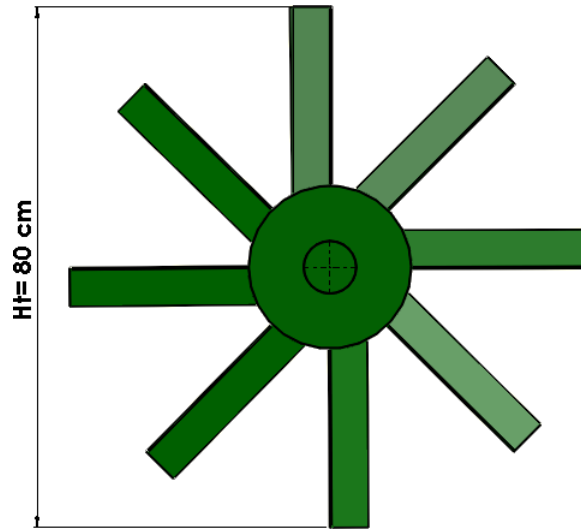


Figura 22-3. Vista lateral de rotor con paleta.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

EL valor de 8 cm ancho de la paleta se establece de acuerdo al grado de esbeltez existente en esta configuración ancho – altura. La cual tiene mayor importancia en el diseño por resistencia mecánica de la misma. Con los datos de dimensiones geométricas de la paleta, se procede con el cálculo de la carga o peso que actúa sobre cada paleta.

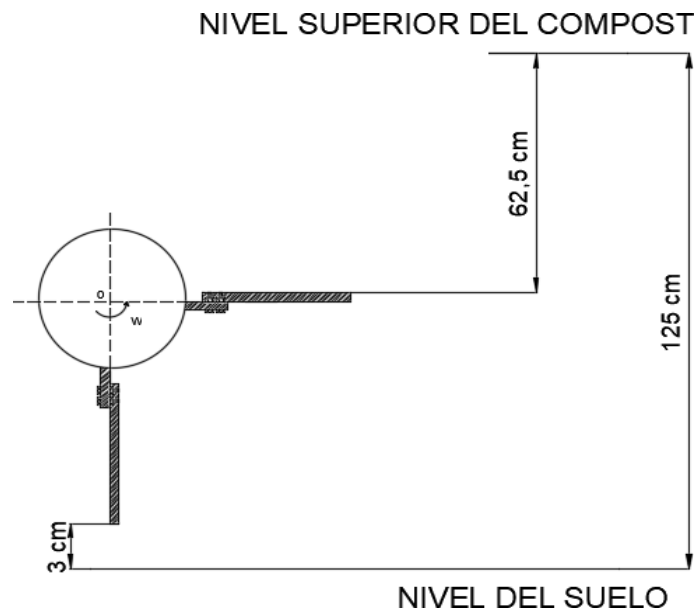


Figura 23-3. Cotas de altura de nivel tierra y nivel superior de compost.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

La ubicación de cada paleta sobre el eje rotor tiene una dirección de 45 grados con la finalidad de generar una fuerza de corte sobre el material volteado. Basándose en esta aclaración la figura 24-3, presenta la fracción valor del ancho de la paleta en contacto con el compost.

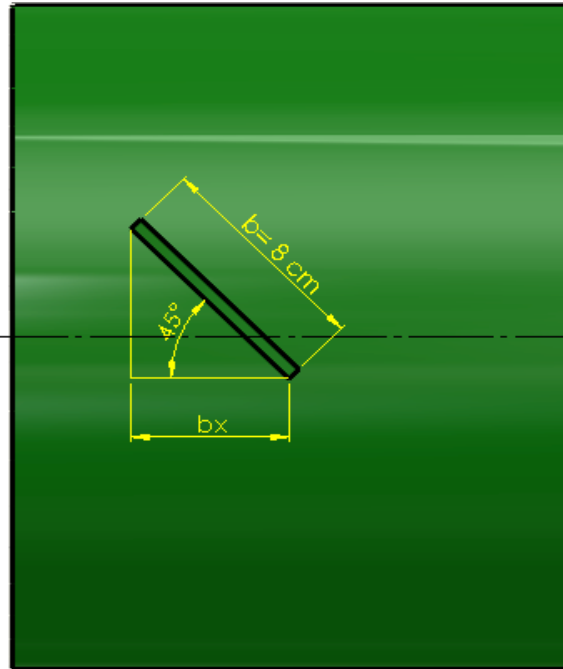


Figura 24-3. Componentes de ancho de paleta.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

()

() ()

Para el cálculo del volumen de compost que debe mover la paleta se considera la situación crítica, que se presenta con el contacto total de la longitud de la paleta. A continuación, se calcula el volumen de compost que cada paleta elevara.

Donde:

$$\begin{aligned} & () \\ & () \\ & () \\ & (\quad) (\quad) (\quad) \end{aligned}$$

La masa de compost por cada paleta se determina mediante de la fórmula de la densidad donde:

Donde:

$$\begin{aligned} & () \\ & () \text{ —} \\ & (\text{ —}) (\quad) \end{aligned}$$

La carga generada sobre cada paleta es el peso del compost, la cual es igual a:

Donde:

$$\begin{aligned} & \left(\right) \\ & \left(\right) \\ & \cdot -/ \\ & \left(\right) \cdot -/ \\ & \left(\right) \end{aligned}$$

3.6.1.1. Análisis de fuerzas de las paletas

Se determinará el espesor de la paleta mediante un análisis de resistencia mecánica para lo cual, se tomó como material acero A36. La ubicación de la paleta sobre el eje rotor tiene una configuración de viga empotrada y libre en su otro extremo. Con este modelo se procede al cálculo del espesor. El análisis efectuado es dinámico debido a una carga máxima de 112,44 N y una carga mínima de cero. Para este tipo de elementos el valor del factor de seguridad debe ser mayor o igual a 2.

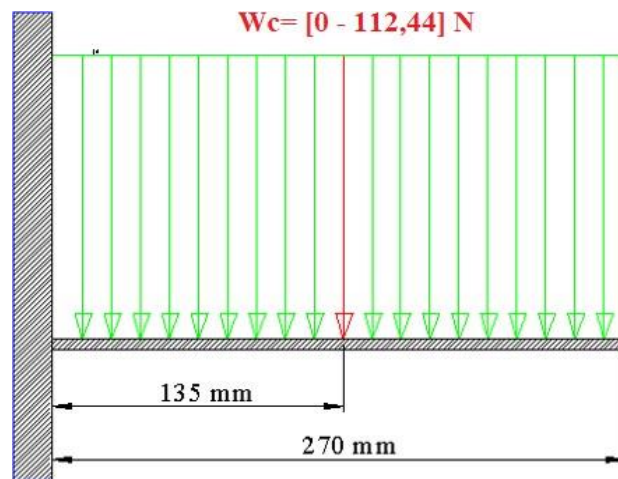


Figura 25-3. Diagrama de paleta como viga empotrada.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

En la figura 25-3 se observa la ubicación de la fuerza sobre la paleta. Para la determinar la dimensión espesor de la paleta se calcula los esfuerzos generados en el punto crítico. En el cual se genera una fuerza de corte y momento flector como se observa en la figura 26-3.

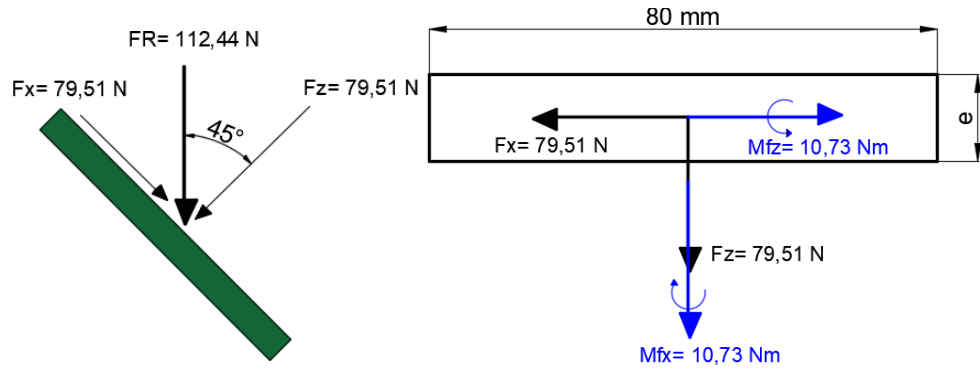


Figura 26-3. Fuerzas y momentos resultantes sobre sección.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

3.6.1.2. *Análisis dinámico de las paletas*

En la sección de análisis se tiene la fuerza y momento resultante. La fuerza produce corte y el momento flector produce tracción y compresión. Se calcula los esfuerzos generados.

- Esfuerzo de corte (τ) producido por

Donde:

()

()

()

Se calcula el esfuerzo de corte máximo con 112,44 N y mínimo con 0 N.

_____ $\sqrt{\quad}$

— (—)

(—)

- Esfuerzo de tracción () producido por y

— ()

Donde:

()

()

()

Se calcula los esfuerzos de flexión máximo y mínimo generado por el momento flector de 18,26 Nm y 0 Nm.

() (-)
—
()

—

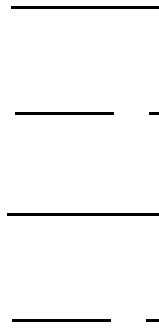
() ()
—

—

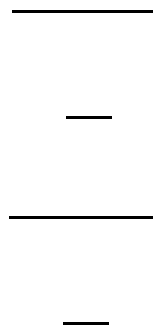
— —

0

Caracterización de esfuerzos normales



Caracterización de esfuerzos cortantes



- Esfuerzo equivalente amplitud

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{2} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{2} \right)^2}$$

Donde:

Se considera el valor de los coeficientes por concentradores de esfuerzo de flexión y torsión igual a 1,3 y 1,25 respectivamente. De acuerdo a consideraciones de diseño.

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_u} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_u} \right)^2}$$

El esfuerzo equivalente es nulo debido a esfuerzos mínimos de flexión y torsión de valor cero.

Se utiliza el criterio de falla Sodeberg para el cálculo del espesor de la paleta. Las propiedades solicitadas, se considera para un acero A36. Donde y

$$\frac{\sigma}{\sigma_u} + \frac{\tau}{\tau_u} \leq 1$$

Donde:

$$\left(\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_u} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_u} \right)^2} \leq 1$$

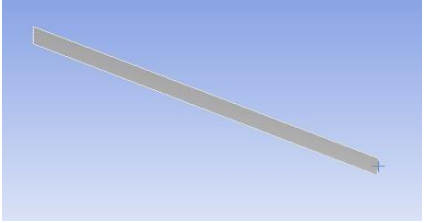
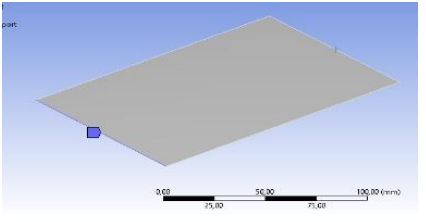
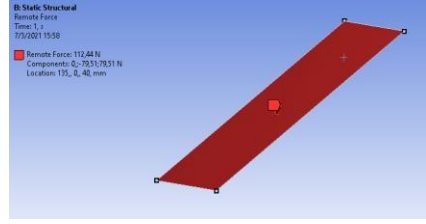
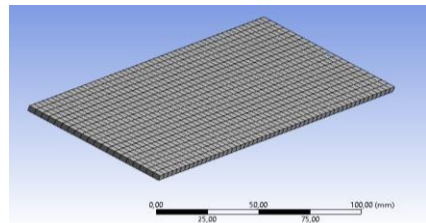
$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_u} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_u} \right)^2}$$

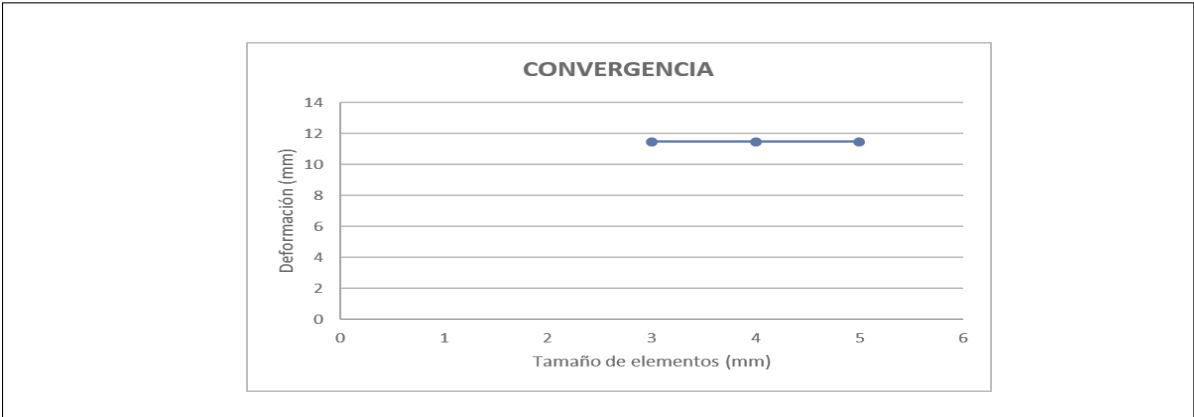
De acuerdo a dimensiones comerciales de planchas de acero A36 se opta por una plancha de espesor 4 mm.

3.6.1.3. Análisis por MEF para paleta

Para determinar el espesor de la paleta se utilizó el software ANSYS, en el cual se asignó la fuerza de 135,4 N en el extremo de la paleta debido a que con esa configuración obtenemos el máximo esfuerzo generado. El material y especificaciones dimensionales se mantienen del análisis empírico.

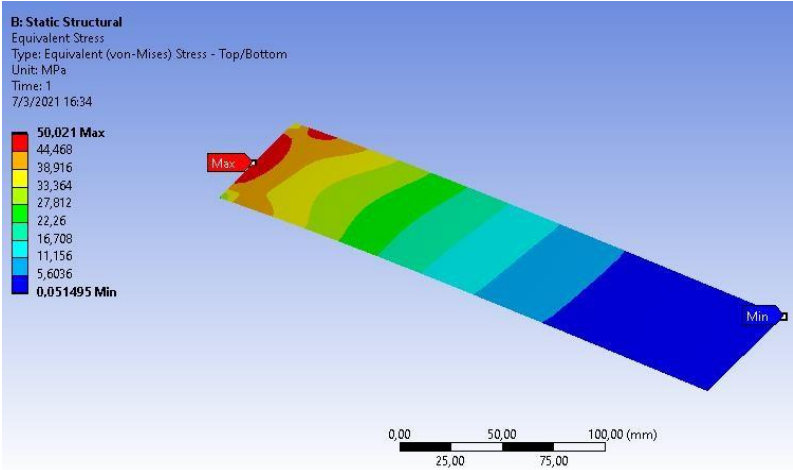
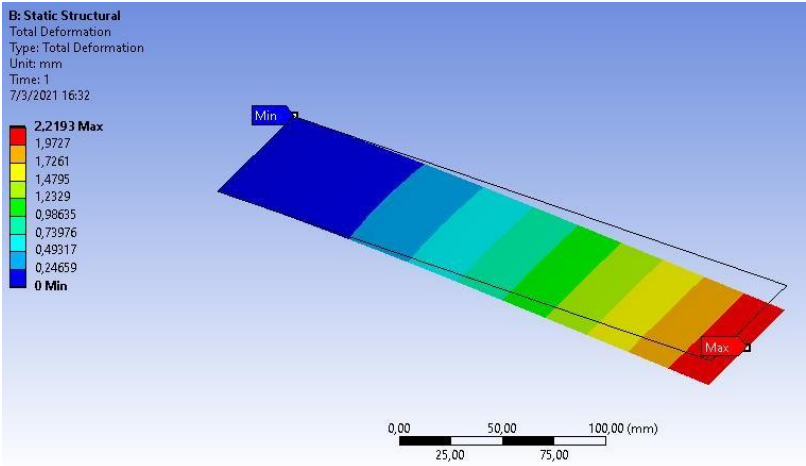
Tabla 13-3. Datos de análisis por MEF para paleta.

GEOMETRÍA	TIPO SUPERFICIE		
MATERIAL	ASTM A 36		
RESTRICCIONES	Apoyo A	Empotrado	
CARGAS	Fuerza por componentes	$F_y = -79,51 \text{ N}$ $F_z = 79,51 \text{ N}$	
MALLADO	Método	Multi zona de 4 mm	



Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Resultados del análisis MEF:



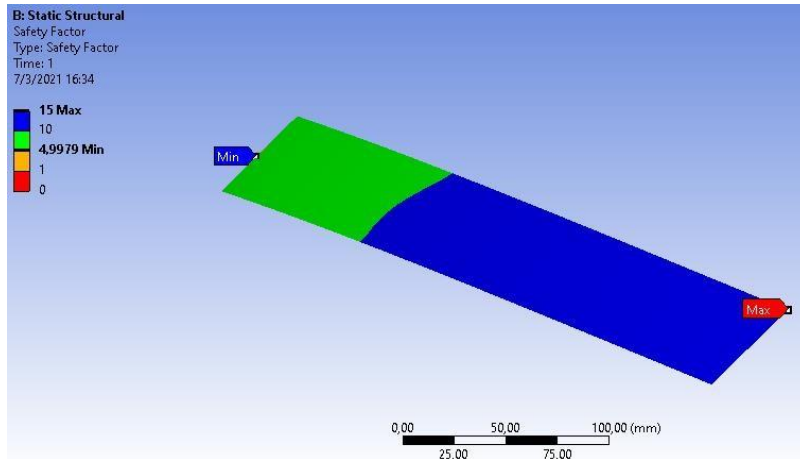


Figura 27-3. Resultados del análisis MEF de paleta.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

3.6.2. *Diseño dinámico de pernos de unión placa – paleta*

Para la unión de la paleta con el eje rotor se utilizó una junta empernada, debido a la utilidad que esta presenta. Nos permite la intercambiabilidad de la paleta en el posible escenario de ruptura. Se cambiará únicamente la paleta, evitando cambiar la junta soldada entre la placa y eje rotor.

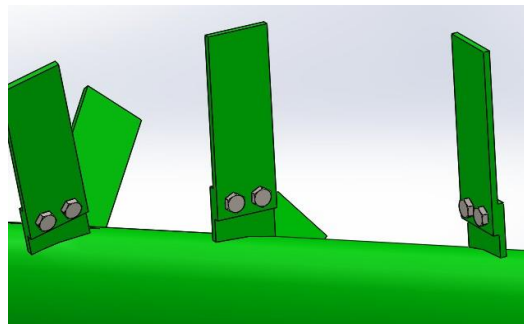


Figura 28-3. Junta empernada crítica.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Para determinar la junta crítica nos regimos a las cargas que se encuentran. Debido que en nuestro diseño se considera paletas sometidas al mismo conjunto de fuerzas y momentos, se toma una de ellas para el análisis. El diseño de la junta soldada se calcula las fuerzas que actúan sobre la misma, es decir se traslada la fuerza de la paleta sobre esta junta. La cual tiene como componentes una fuerza de corte, fuerza de tracción, momento torsor y un momento flector como se observa en la figura 29-3. Se considera dos pernos debido al espacio geométrico disponible.

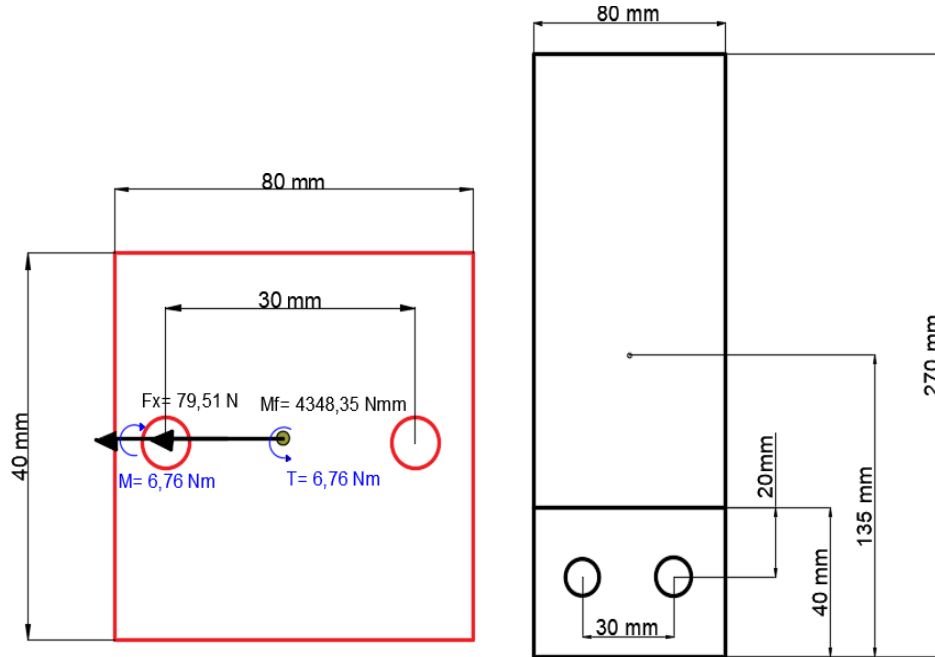


Figura 29-3. Fuerzas y momentos resultantes sobre junta empernada.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

- Cizalla primaria

La fuerza por corte se toma la fuerza del plano como cizalla primaria y el momento torsor como cizalla secundaria. Para finalmente obtener la fuerza total de corte mediante una suma algébrica. Debido a la disposición de estas en un mismo plano como se observa en la figura 30-3.

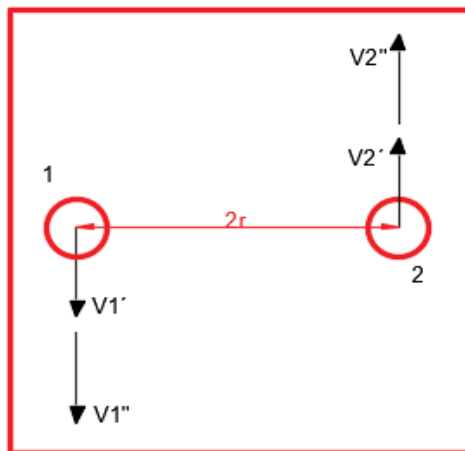


Figura 30-3. Fuerzas de corte primario y secundario.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

- Cizalla secundaria

() ()

- Tracción primaria

El segundo tipo de fuerza involucrada en el diseño de la junta soldada es la fuerza de tracción y el momento flector. El segundo tiene la particularidad de generar una fuerza de tracción secundaria por la fila involucrada, para nuestro caso se tiene una sola fila de dos pernos.

- Tracción secundaria

() ()

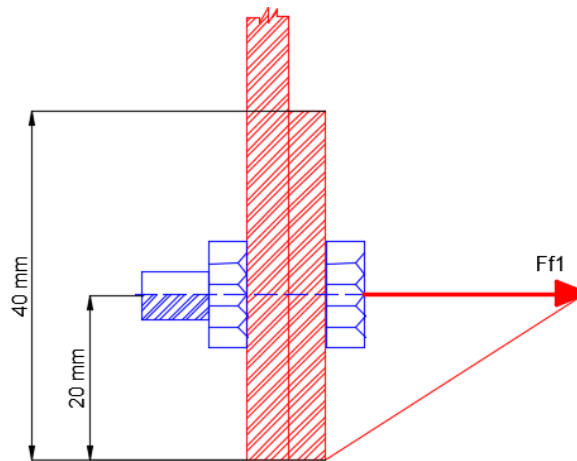


Figura 31-3. Fuerzas tracción secundaria.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Para el diseño dinámico de los pernos de unión se considera las fuerzas totales de corte y tracción, a su vez la carga mínima sometida la paleta es cero debido al ciclo de trabajo.

3.6.2.1. Cálculo de esfuerzos amplitud y medio de torsión

Donde:

()

()

_____ () () _____

3.6.2.2. Cálculo de esfuerzos amplitud y medio de tracción

Se considera una fuerza de apriete y el coeficiente de la junta $C=0,3$

Donde:

()

()

_____ () _____

$$\frac{\sigma}{\sigma_{\text{lim}}}$$

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_{\text{lim}}} \right)^2$$

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_{\text{lim}}} \right)^3$$

3.6.2.3. Cálculo de esfuerzos amplitud y medios equivalentes

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{\text{lim}}}$$

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_{\text{lim}}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_{\text{lim}}} \right)^2}$$

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{\text{lim}}}$$

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_{\text{lim}}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_{\text{lim}}} \right)^2}$$

Para el análisis a fatiga se considera el criterio conservador de Sodeberg el cual relaciona los esfuerzos equivalentes con los esfuerzos de fatiga y de fluencia.

$$\sigma_a \leq \sigma_{\text{lim}} \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_{\text{lim}}} \right)$$

Donde:

$$\sigma_a \text{ ()}$$

, -

Las especificaciones de resistencia para un grado métrico 4.6, en el cual se considera los coeficientes ; y

$$\frac{\sqrt{(-) (-)}}{(-) (-)}$$

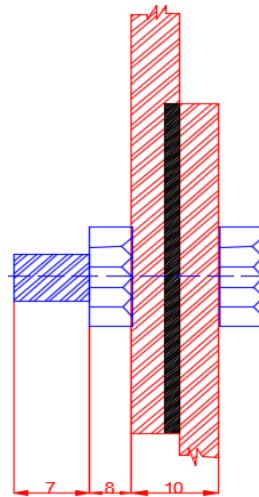


Figura 32 -3. Longitud del perno.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Las áreas estandarizadas en grado métrico de valor cercano al calculado es 58,0 con diámetro mayor nominal 10 mm. Es decir, se considera la junta empernada soporte – paleta M10x1,5 x 25.

3.6.3. *Diseño de soldadura placa – eje rotor*

La unión soldada entre la paleta y el eje rotor se realiza con penetración total y un cordón en paralelo entre ambas. Para el diseño del cordón de soldadura se determina as fuerza y momentos totales que actúan sobre este tipo de junta. Las cuales son una fuerza total de corte y un momento flector como se presenta en la figura 33-3.

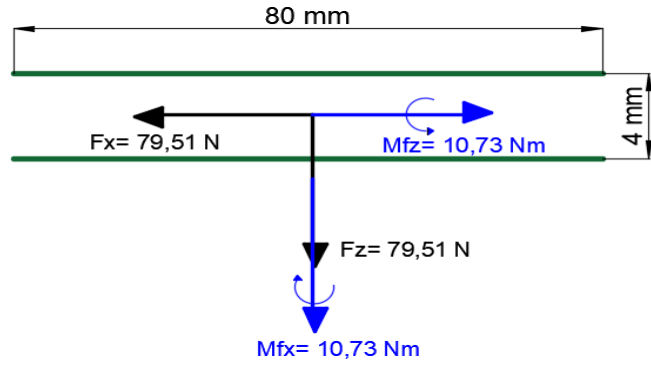
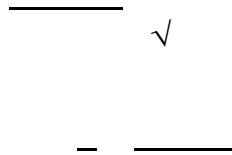


Figura 33-3. Diagrama de cuerpo libre de la soldadura paleta - eje motor.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

3.6.3.1. *Esfuerzo cortante primario*



Donde:

()

()

La fuerza produce corte primario y el momento flector corte secundario. Para ello se realiza un diagrama donde se ubica la distribución de cada esfuerzo sobre el cordón de soldadura.

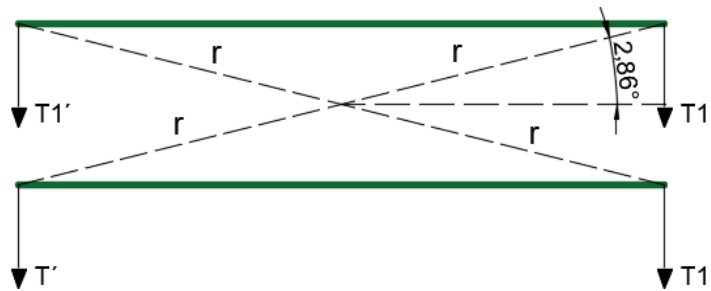


Figura 34-3. Distribución de esfuerzo por corte primario.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

3.6.3.2. *Esfuerzo cortante secundario por flexión*

Donde:

()

()

()

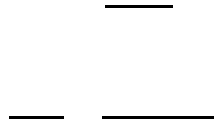
$$\frac{()}{()} \left(\leftarrow \right)$$

Debido a que los esfuerzos son de corte y se encuentran en planos perpendiculares, la suma total de ellos se realiza de manera vectorial.

$$\sqrt{\quad}$$

$$\sqrt{\left(\leftarrow \right) \left(\leftarrow \right)}$$

El material para la soldadura será con electrodo 70xx debido a su aplicabilidad en lugares cortos para realizar soldadura. La resistencia a la fluencia de este electrodo es 393 MPa. El factor de seguridad mínimo para asegurar el funcionamiento 2.



El valor de la garganta de soldadura E70xx es 4 mm con una longitud de 80 mm con penetración total.

3.6.3.3. *Análisis dinámico del eje rotor*

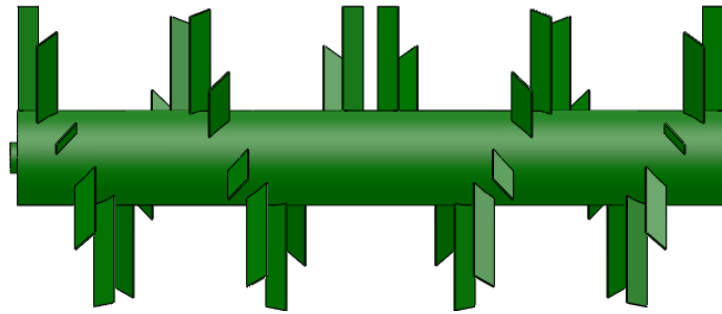


Figura 35-3. Distribución de paletas en eje rotor.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

El eje rotor se encuentra sometido a cargas dinámicas. La variación de la carga ejercida sobre las paletas se ven reflejadas sobre el eje rotor. A su vez, la carga de flexión cíclica debido al giro del mismo. Para el diseño a fatiga se considera un acero negro (A36), debido a su favorable índice costo – beneficio.

- Número de paletas

El número de paletas se determina con la división del espacio disponible entre el ancho proyectado de la paleta. Es decir:



Donde:

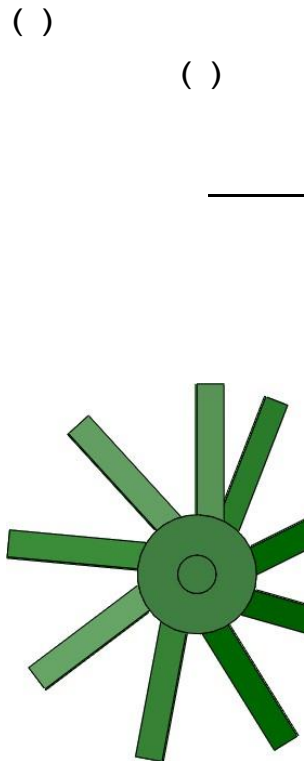


Figura 36-3. Distribución de paletas en eje rotor para una revolución.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Debido a la disponibilidad de espacio entre paletas, se determinó un número de 36 paletas. Las cuales se ubican 18 paletas con sentido horario y las otras 18 paletas en sentido antihorario. Con la finalidad de obtener alineado el compost volteado. Las 18 paletas se distribuyen en dos revoluciones de paso de rosca 460 mm como se puede observar en la figura 36-3.

3.6.3.4. *Diseño de fatiga del eje rotor*

Las propiedades de resistencia mecánica para el acero A36 son: y .

El valor del factor de seguridad para este tipo de elementos mecánicos es 3, debido a la importancia y utilidad que mantiene el mismo dentro de la máquina. Como se mencionó el apartado del número de paletas, estas se ubican de manera simétrica. Por lo tanto la fuerza contenida en el plano de la paleta entre cada par simétrico se anula, de esta manera se considera solo las fuerzas perpendiculares a la paleta que intervienen en el análisis.

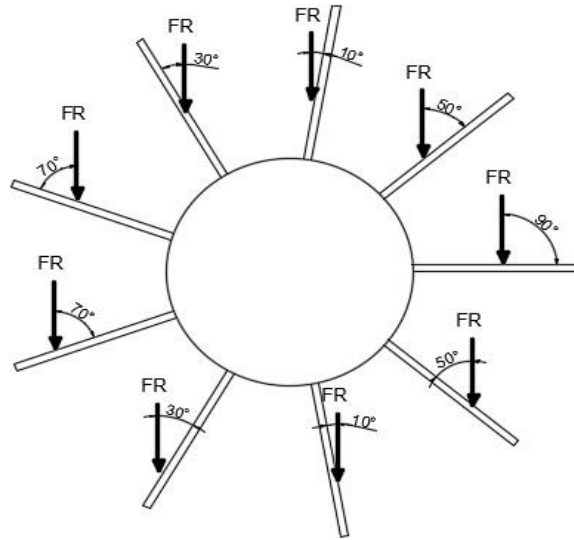


Figura 37-3. Diagrama de cuerpo libre del eje rotor.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

El número de paletas por cada revolución es 9. Con esta configuración será suficiente el cálculo de las fuerzas y momentos que actúan sobre el eje rotor, ya que las 3 configuraciones restantes serán iguales. Para determinar el momento flector y torsor máximo, se utilizó el software Ansys Workbench el paquete Static Structural. En el cual se ingresó el tipo de perfil tubular de 10 pulgadas de diámetro cedula 40, las fuerzas y momentos torsores como se puede observar en la figura.

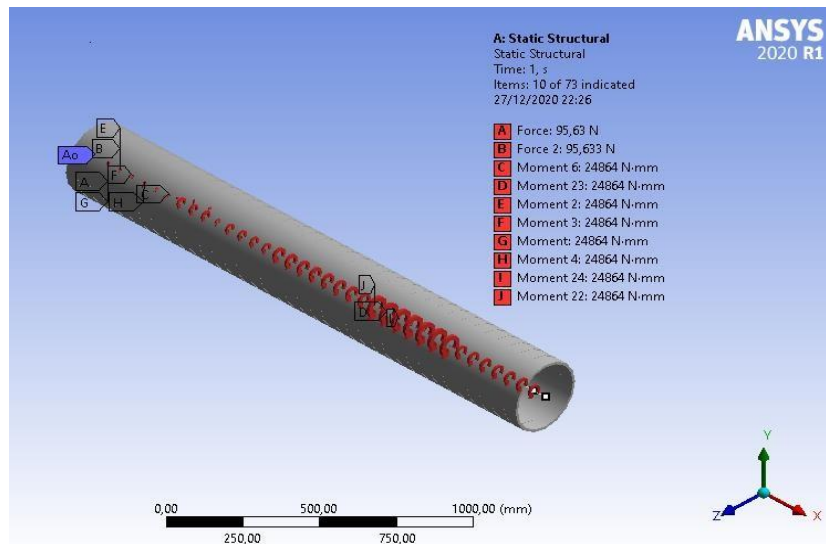


Figura 38-3 Fuerzas y momentos en el eje rotor.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

La fuerza y momento se ubicó a 56 cm entre paleta. Con estos datos se procedió al cálculo del diagrama de momentos flectores, como se presenta en la figura 39-3.

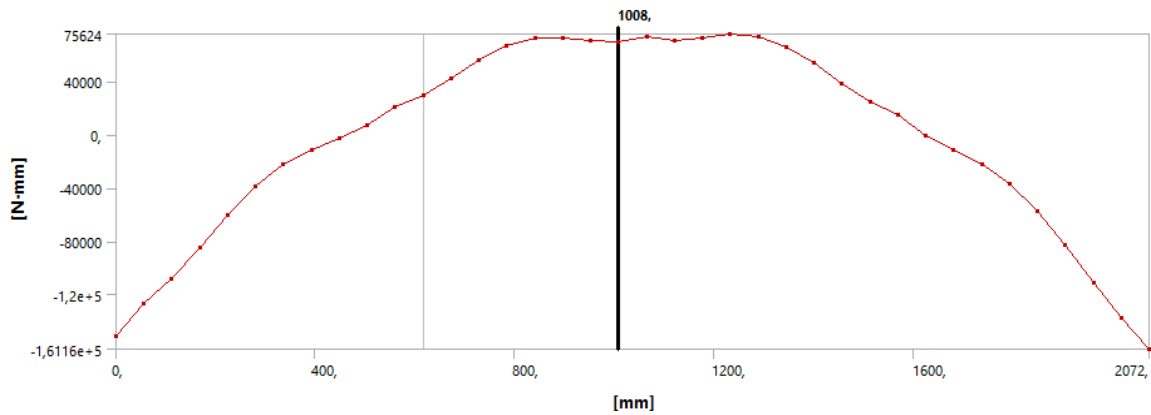


Figura 39-3. Diagrama de momento flector resultantes de los planos x-y-x-z.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

El valor del momento flector total de la suma vectorial de los planos x-y x-z es en valor absoluto Nmm.

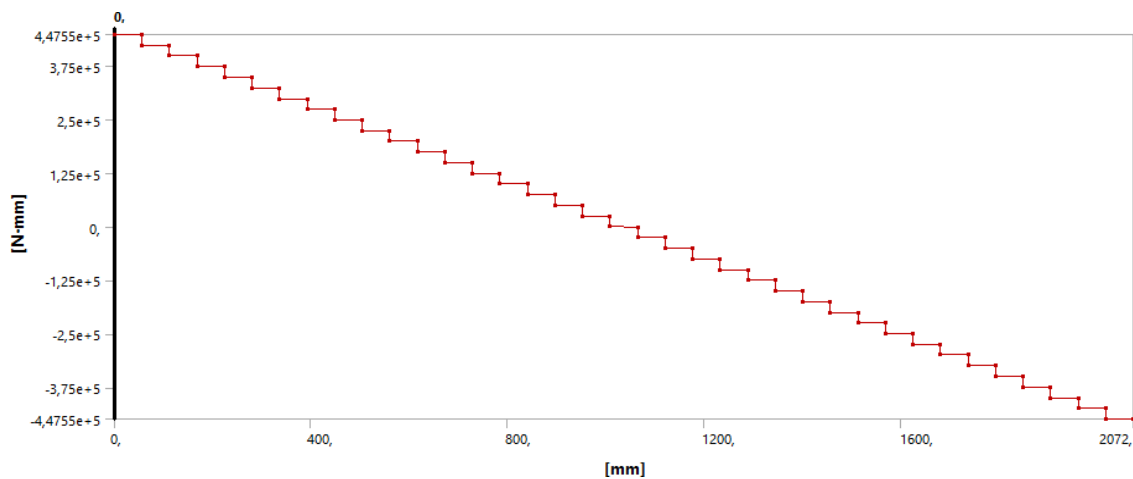


Figura 40-3. Diagrama de momento torsor resultantes.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

El diagrama del momento torsor ejercido sobre el eje se observa en la figura 40-3. En el mismo se observa el valor del momento torsor en una distancia de 1000 mm igual a N.mm, debido que en esta coordenada se produce el máximo momento flector.

- Punto crítico

Nmm.

N.mm

- Momento flector amplitud y medio

- Momento torsor amplitud y medio

N.mm

- Límite de fatiga

() ()

() ()

Aplicando la ecuación de la norma ASM B106.1M, para cedula 40 el diámetro exterior es 270 mm y espesor de 10 mm. Por lo tanto: D= 270 mm y d=250 mm

$$* \left[\left(\frac{\sigma}{S_u} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{S_{su}} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$* \left[\frac{(\quad)(\quad)}{(\quad)(\quad)} \right] +$$

El valor del factor de seguridad a fatiga del eje rotor es 3,12 superior a recomendado, en ese caso se toma las medidas preliminares del eje como 10 plg de diámetro nominal cedula 40 de espesor 10 mm. La relación recomendada de $\frac{D}{d}$, con esta se calcula el diámetro interno del soporte o cojinete

3.6.3.5. Deformación del eje rotor

La deformación máxima total del eje es 0,002 mm debido al dimensionamiento con un valor de factor de seguridad encima de 3. Por lo tanto, el eje no sufrirá problemas de deformación y de resonancia debido que el análisis de rigidez es directamente proporcional a la deformación por el peso del eje rotor.

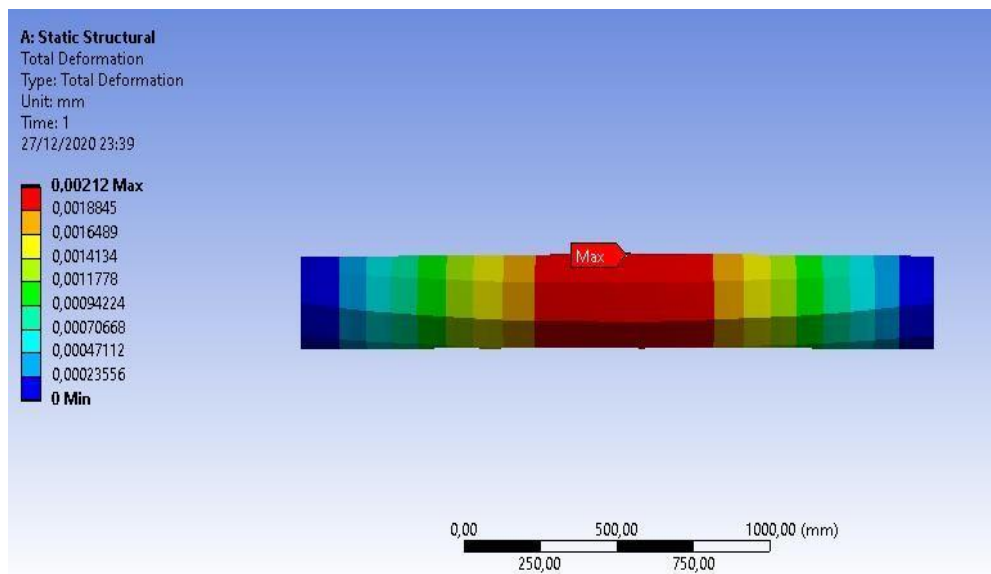
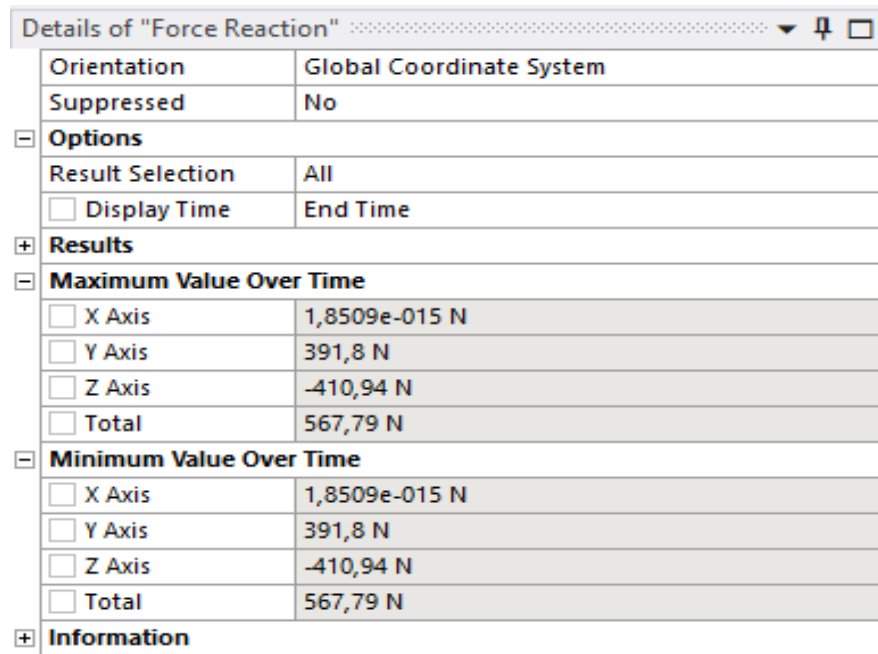


Figura 41-3. Deformación total eje rotor.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

3.6.3.6. Selección de cojines para el eje rotor.

Para seleccionar el tipo y característica del cojinete, se establece la fuerza de reacción en cada soporte. Debido que el sistema de fuerzas es simétrico las reacciones en los soportes tendrán valores de fuerzas iguales. Estos valores se obtuvieron del análisis anterior mediante el software ansys.



Details of "Force Reaction"	
Orientation	Global Coordinate System
Suppressed	No
Options	
Result Selection	All
<input type="checkbox"/> Display Time	End Time
Results	
Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	1,8509e-015 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	391,8 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	-410,94 N
<input type="checkbox"/> Total	567,79 N
Minimum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	1,8509e-015 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	391,8 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	-410,94 N
<input type="checkbox"/> Total	567,79 N
Information	

Figura 42-3. Fuerzas de reacción sobre soporte de eje rotor.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

El valor de la fuerza de reacción en el eje x tiende a 0. Por lo tanto, se tiene los valores de fuerzas.

Debido a los componentes de fuerza de reacción el catálogo NTN recomienda cojinetes de rodillos cilíndricos para ambos. Debido que, en la práctica, nos encontraremos con prácticas en las cuales se generan fuerzas axiales. Se considera para ubicar un cojinete de rodillos cilíndricos de carga netamente radial y un cojinete rígido de bolas para carga radial y axial. Para el cual se considera un 10% de la carga radial total.

- Selección de rodamiento de rodillos cilíndricos

Para seleccionar el cojinete se calcula la fuerza total radial.

$$\sqrt{(\quad) (\quad)}$$

$$\sqrt{(\quad) (\quad)}$$

Como se mencionó el diámetro del eje soporte es 4 pulgadas equivalente a 105 mm. El número de revoluciones recomendado para la actividad de volteo de compost es 250 rpm. Con estos valores se utiliza las fórmulas detalladas en el catálogo adjunto en el Anexo B.

Confiabilidad del 90%

Chequeo a carga dinámica

$$\frac{(\quad)}{(\quad)}$$

$$\frac{(\quad)}{(\quad)}$$

Capacidad

$$\frac{(\quad)}{(\quad)}$$

Con estos datos seleccionamos los disponibles en el catálogo, en el cual se tiene un diámetro de 105 y capacidad dinámica 105 KN **tipo NU1021**.

- Selección de rodamiento rígido de bolas

Confiabilidad del 90%

Chequeo a carga dinámica

(—) —

(—) —

Primera iteración $x=1$ $y=0$

() ()

— — ()

Selecciono el rodamiento rígido de bolas 6821 con las características en el catálogo NTN:

Donde

—

—

Por lo tanto, el rodamiento rígido de bolas que soportara un porcentaje de carga axial es el **tipo 6821 del** catálogo NTN. Las características dimensionales se pueden observar en el anexo B.

3.6.4. Diseño de soldadura eje rotor - soporte

La junta soldada entre el eje rotor y su soporte se encuentra sometida a las fuerzas de reacción.

Debido a las cargas externas y peso propio del eje rotor. Las fuerzas de reacción se encuentran en el plano de trabajo de la soldadura por lo tanto son fuerzas de corte. Para este caso se tiene únicamente corte por la fuerza total.

$$\sqrt{(\quad) (\quad)}$$

$$\sqrt{(\quad) (\quad)}$$

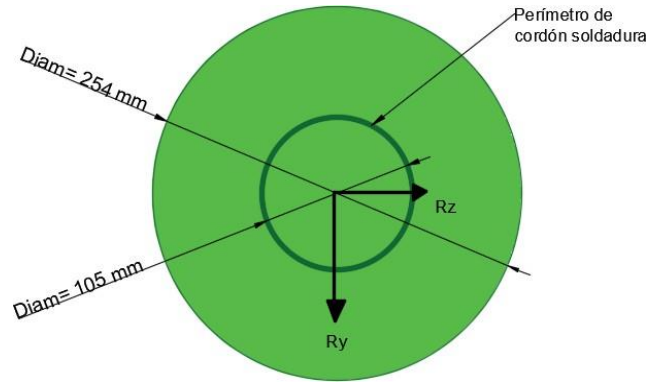


Figura 43-3. Cordón de soldadura eje rotor - soporte.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

- Esfuerzo cortante primario

— —

Donde

()

()

circular

El cordón de soldadura debido a los elementos de unión se establece circular. Por lo tanto, la longitud del cordón es , donde r es el radio del soporte 52,5 mm.

————— ()

—

El material para la soldadura será con electrodo 70xx con resistencia a la fluencia de este electrodo es 393 MPa. El factor de seguridad mínimo para asegurar el funcionamiento 2.

3.7. Diseño del sistema oleohidráulico

El diseño de los elementos hidráulicos se basa en la cantidad y tipo de actuadores necesarios para el funcionamiento de la maquina volteadora de compost. Debido que el grado de libertad de la maquina volteadora es 3 se utiliza 3 motores hidráulicos.

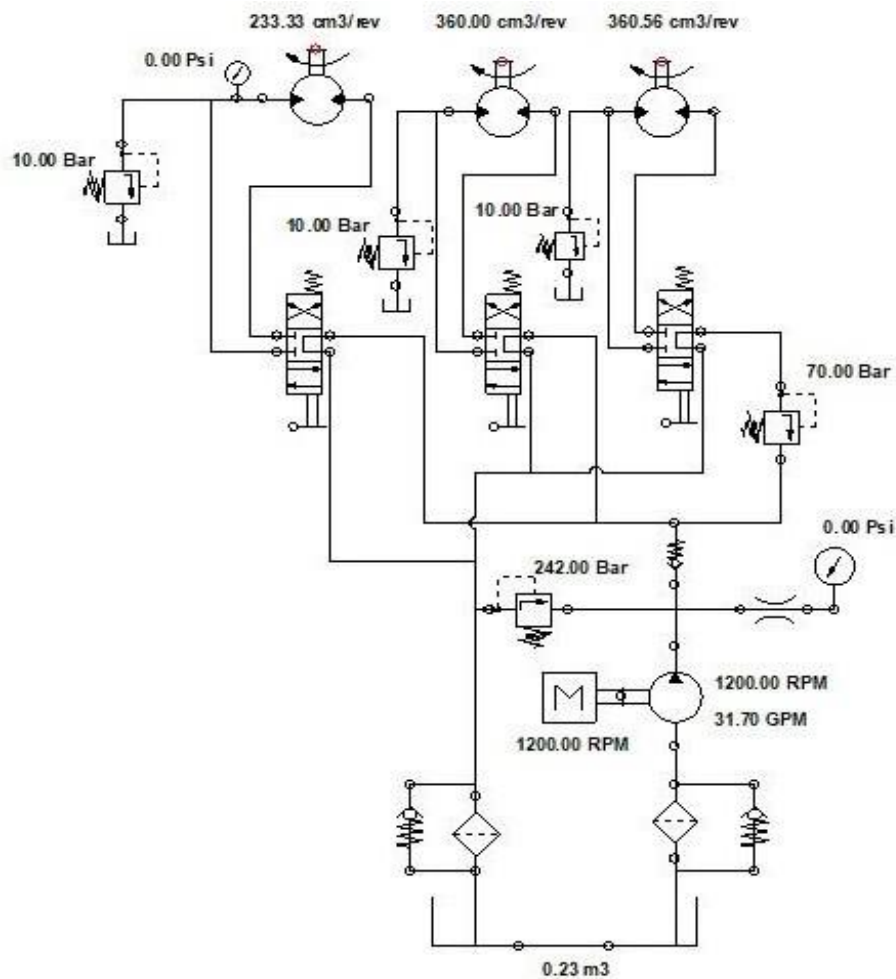


Figura 44-3. Circuito oleohidráulico.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Para el movimiento del eje rotor y dos para el desplazamiento de la máquina mediante el sistema tipo oruga. Para ello se presenta circuito oleohidráulico con sus respectivos elementos de control y actuadores.

3.7.1. Motor hidráulico eje rotor

Como se observó en el capítulo anterior, la velocidad angular recomendada para obtener un rango apropiado de oxigenación en el compost es 250 rpm. Generalmente los circuitos hidráulicos para sistemas de tracción y giro con carga se recomiendan trabajar con presiones comprendidas entre (1000 – 5000) psi; para nuestro caso se toma una presión de diseño 3500 psi recomendado para trabajos de máquinas agrícolas de arado y 1000 psi para máquinas móviles (Murillo y Palacios, 1997).

Consideraciones de diseño

- Cilindrada

$$Q = \frac{V \cdot n}{60}$$

$$Q = \frac{250 \cdot 1000}{60}$$

$$Q = 4166.67 \text{ cm}^3/\text{min}$$

- Caudal

$$Q = \frac{V \cdot n}{60}$$

$$Q = \frac{4166.67 \cdot 1000}{60}$$

$$Q = 69444.5 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Para la selección del tipo de motor hidráulico se basa en las capacidades de velocidad de giro, el tipo paletas axiales es un motor que maneja velocidades bajas hasta 100 rpm, siendo ideal para nuestra aplicación. La eficiencia de este tipo de motores es 93% útil para el cálculo real del torque generado por el motor seleccionado. El motor seleccionado con estos parámetros es el mostrado en la figura del catálogo HANSA – TMP.

El valor real del torque generado por el motor

$$\tau = \frac{P}{\omega}$$

Modelo Motor	Cilindrada cm³/n	Presión máx. Continua bar	Presión máx.* bar	Par a 210 bar daNm	Velocidad n/min.
KF 80	83	210	250	27	5 - 1000
KF 100	112	210	250	37	5 - 1000
KF 150	141	210	250	47	5 - 1000
KF 200	219	210	250	73	2 - 900
KF 300	292	210	250	97	2 - 900
KF 450	444	210	250	148	2 - 800
KF 700	679	210	250	227	2 - 700
KF 1100	1103	210	250	368	2 - 400
KF 1450	1448	210	250	484	1 - 400
KF 2000	1950	210	250	652	1 - 300
KF 2500	2470	210	250	825	1 - 250
KF 5000	4750	210	250	1558	1 - 150
KF 6200	6208	210	250	2075	1 - 150

* tiempo 0,6 seg. máx.

Figura 45-3. Modelo de motores hidráulicos de paletas axiales.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

El modelo de motor hidráulico seleccionado: KF 300. El mismo que nos permite manejar un rango de velocidad entre (2 – 900) rev/min y el torque necesario de 970 Nm.

3.7.2. *Motor hidráulico sistema de tracción*

El sistema de tracción consta de dos motores hidráulicos que generan el torque necesario para el movimiento de avance de la maquina volteadora. Para la selección de los motores se parte con el cálculo del peso total de la máquina, ya que esta será la fuerza involucrada en el torque de cada motor.

- Peso total de la máquina

El peso total de la maquina es igual a la suma del peso de la estructura de acero, eje rotor, paletas totales y sistema oleohidráulico.

Los valores se obtuvieron del modelo 3D para el peso de la estructura, eje rotor y paletas. El material utilizado para estos elementos es un acero A36. Para el valor del peso generado por el sistema hidráulico se tomó el peso del motor de combustión interna y depósito de aceite.

$$\left(\begin{array}{l} \text{Estructura de acero} \\ \text{Eje rotor} \\ \text{Paletas} \\ \text{Sistema oleohidráulico} \end{array} \right), -$$

- Torque producido

El peso se distribuye en dos sistemas de tracción para el avance de la máquina. Por la fuerza que soporta cada sistema es la mitad del peso. Siendo esta la fuerza normal ejercida entre el sistema y el suelo.

$$\frac{\text{Peso total}}{2}, -$$

Para el cálculo de la fuerza que produce el torque se toma el valor del coeficiente de fricción entre el sistema de oruga y el suelo obtenido de la tabla de valores de fricción superficial entre suelos y materiales de construcción de 0,54 (Jara & López, 2009).

La fuerza de fricción () esta da por:

$$F_f = \mu \cdot N$$

El torque (T) producido por esta fuerza es igual a:

El radio de la catalina se considera 75 mm de acuerdo a la holgura necesaria entre la paleta y el nivel del suelo, a su vez la cota entre el eje rotor y los cojinetes de los motores analizados.

$$T = F_f \cdot r$$

- Velocidad de avance

La velocidad de avance de la maquina está relacionado con la cantidad de compost a voltear. En este contexto el Manual de compostaje del agricultor (2013) menciona que mantener una velocidad de avance media garantiza una correcta oxigenación (porcentaje de humedad 60%) y granulometría del compost. La cantidad promedio de compost a trabajar por día es 20 toneladas. El área de la pila viene dada por:

$$A = \pi \cdot r^2 \cdot L$$

Se desea calcular la longitud total de la pila que produce las 200 toneladas. Con la fórmula de densidad se determina este valor. En la cual la densidad promedio de los componentes de compost es . —

$$\frac{(\quad)}{.\text{/} (\quad)}$$

Se considera la utilización de la máquina 1/2 hora seguida con la finalidad de no sobre calentar los elementos hidráulicos. Con esto la velocidad de avance es igual a:

$$\frac{(\quad)}{(\quad)}$$

, —

- Velocidad de rotación del motor

La velocidad angular del motor tiene la siguiente relación con la velocidad lineal.

$$(\quad) \frac{(\quad)}{(\quad)}$$

$$(\quad) \frac{(\quad)}{(\quad)}$$

$$(\quad) \frac{(\quad)}{(\quad)}$$

- Selección de motor

, -

- Cilindrada

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\quad}{\quad} \right) \\ & \left(\frac{\quad}{\quad} \right) \\ & , \end{aligned}$$

- Caudal

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\quad}{\quad} \right) \\ & \left(\frac{\quad}{\quad} \right) \\ & , \end{aligned}$$

Como el anterior caso se considera un motor de pistones axiales con eficiencia del 93%.

El valor real del torque generado por el motor

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\quad}{\quad} \right) \\ & \left(\frac{\quad}{\quad} \right) \\ & \left(\frac{\quad}{\quad} \right) , \end{aligned}$$

Con estos valores se selecciona el modelo KF 150 de motor de la figura 17-4. Con los siguientes datos: 470 Nm, 210 Bar y rango de velocidad (5 – 1000) rpm. Como se pudo constatar el cálculo del motor hidráulico es para uno de los dos sistemas de tracción de avance, debido que la fuerza normal es la misma en el otro sistema se considera el mismo modelo de motor para ello.

3.7.3. Selección de mangueras

Para el cálculo del diámetro de la manguera se recomienda que la velocidad de trabajo o impulsión de 6 m/s para una presión superior a 2900 psi y 4,5 m/s hasta una presión de 1450 psi. Respecto a la tubería de retorno de 2m/s. Con estos valores recomendados de velocidad de transporte se calcula el diámetro interno necesario de las mangueras que garanticen un flujo laminar.

$$\frac{\sqrt{\quad}}{\quad}$$

- Motor de eje rotor

$$\left[\frac{\quad}{\quad} \right] \quad , \frac{\quad}{\quad}$$

—

—

Diámetro interno de tramo de impulsión

$$\sqrt{\frac{(\quad)}{(\quad)}}$$

—

Diámetro interno de tramo de retorno

$$\sqrt{\frac{(\quad)}{(\quad)}}$$

- Motor de sistema de tracción

$$[\text{---}] \quad , \quad \text{---}$$

—

—

Diámetro interno de tramo de impulsión

$$\sqrt{\frac{(\quad)}{(\quad)}}$$

Diámetro interno de tramo de retorno

$$\sqrt{\frac{(\quad)}{(\quad)}}$$

3.7.4. *Diseño del depósito hidráulico*

La capacidad mínima del depósito por lo menos tres veces el caudal a suministrar. Es importante que se mantenga un 15% del volumen del aceite que ocupara el aire. Para ello se calcula el caudal total que genera cada actuador.

- Caudal mínimo

()

(())

,---

- Cantidad de aire

,---

- Capacidad del deposito

,---

- Medidas del deposito

Las dimensiones del depósito se establecen de acuerdo a la disposición de espacio en la parte superior de la volteadora. Se mantiene un espacio rectangular de (1,4 x 1,50) metros. Con esta limitación se toma como medidas (1 x 1) m como base del depósito para el valor de la altura despejamos de la fórmula del volumen.

_____ ()

Las dimensiones del depósito de acuerdo a la disponibilidad de espacio se establecen (1x1x0,23) m. Con sus respectivos accesorios de filtrado limpieza, orificios de purga y control de nivel. Para la construcción del depósito se recomienda la plancha de acero mínima de 3 mm valor optado para nuestro caso.

3.7.5. *Potencia de accionamiento de la bomba*

Para el cálculo de la potencia se establece un valor de rendimiento de 0,85 de la bomba de engranes optado. El rango de operabilidad de este tipo de bombas es 160 a 350 bar que nos permite ajustarnos a nuestra aplicación. Uno de los parámetros influyentes en el cálculo es el caudal real movido por la bomba. Este es igual a:

$$[\text{---}]$$

Con este valor se determina la potencia de la bomba

$$\frac{(\text{---})}{(\text{---})} = \text{---}$$

3.7.6. *Válvula de control y seguridad*

3.7.6.1. *Válvula de control direccional*

La válvula direccional se encarga del control de accionamiento de los actuadores (motores) mediante el paso o impedimento de flujo de aceite. El requerimiento operacional de la válvula es 242 bares de presión y caudal de 58 litros por minuto para el motor del eje rotor. Mientras las

especificaciones para la válvula de control de los motores de transporte es 68 bar de presión y 3,65 litros por minuto. De acuerdo al catálogo HYDAC se seleccionada las válvulas.

SPECIFICATIONS*	
Operating pressure	max. 350 bar
Flow rate	max. 17 l/min
Internal leakage	approx. 50 cm ³ /min at 100 bar and 32 cSt
Media operating temperature range	NBR: min. -20 °C to max. +100 °C FKM: min. -20 °C to max. +120 °C
Ambient temperature range	NBR: min. -20 °C to max. + 60 °C FKM: min. -20 °C to max. + 60 °C
Operating fluid	Hydraulic oil according to DIN 51524 Part 1, 2 and 3
Viscosity range	min. 10 mm ² /s to max. 420 mm ² /s
Filtration (to ISO 4406)	p < 210 bar: min. class 20/18/15 p > 210 bar: min. class 19/17/14
MTTFd	150 – 1200 years, measurement according to DIN EN ISO 13849-1
Installation	No orientation restrictions, take note of the direction of acceleration if necessary
Materials	Valve body: Steel Piston: Hardened and ground steel Seals: NBR (standard) FKM Back-up rings: PTFE Coil: Steel / polyamide
Cavity	FC08-4
Weight	0.68 kg

Figura 46-3. Características de válvula direccional 4WE 6G.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

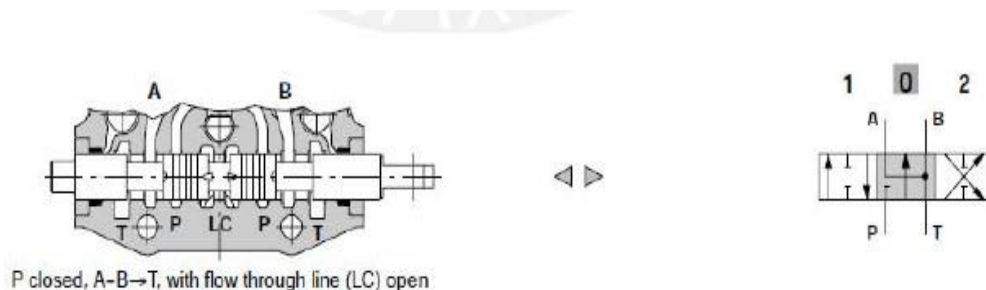


Figura 47-3. Válvula distribuidora accionamiento manual.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

El tipo 4WE 6 G con capacidad de 0 – 320 bar y caudal 0 – 17 litros minuto para el control del motor de transporte, mientras el tipo 4WE 10 G con capacidad de 0 – 350 bar y caudal 0 – 80 litros por minuto correspondiente al control del motor del eje rotor.

3.7.6.2. Válvula de antirretorno desbloqueable

Las especificaciones técnicas de la válvula seleccionada es 700 bar de presión y caudal de 10 litros por minuto para el motor de transporte. En tanto; la válvula antirretorno para el motor de eje rotor es 700 bar y presión 80 psi.

Modelo básico y tamaño	Caudal $Q_{m\acute{a}x}$ (l/min)	Presión $p_{m\acute{a}x}$ (bar)	Rosca	Presión de apertura (bar)
Rosca no métrica, reducida presión de apertura				
RK 0	10	700	G 1/8 A	0,05
RK 1	20	700	G 1/4 A	0,18
RK 2	50	700	G 3/8 A	0,2
RK 3	80	500	G 1/2 A	0,25
RK 4	120	500	G 3/4 A	0,1
RK 5	240	500	G 1 A	0,1
RK 6	400	420	G 1 1/4 A	0,1
RK 7	620	420	G 1 1/2 A	0,1

Figura 48-3. Características de válvula antirretorno.

Fuente: HAVE Hidraulik, 2019

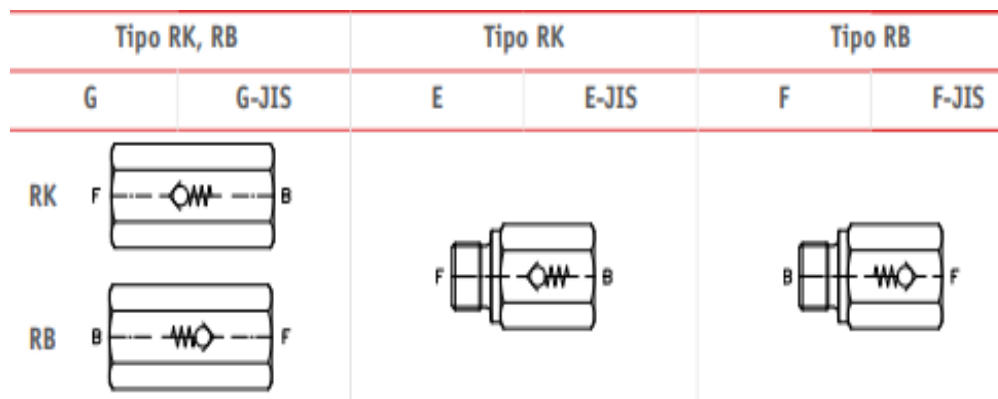


Figura 49-3. Tipo de montaje en línea válvula antirretorno.

Fuente: HAVE Hidraulik, 2019

Se seleccionó los modelos RK0 -5 -G -PYD y RK3 -5 -G -PYD los cuales cumplen con las especificaciones de presión y caudal de trabajo. Para este caso se utilizó el catálogo HAVE Hidraulik.

3.7.6.3. Válvula limitadora de presión

Código	Ajuste (bar)	Presión de apertura en circulación de bomba (bar)
N	2 ... 100	2
H	5 ... 350	5
	5 ... 420 (tipo DF)	

Figura 50-3. Límites de presión válvula reguladora de presión.

Fuente: HAVE Hidraulik, 2019

Con la finalidad de obtener valores de presión de trabajo acorde a las sugerencias de cada elemento, se incluye válvulas limitadoras de presión. Las cuales nos garantizan la presión requerida mediante su sistema de muelle de carga. Mediante el catálogo HAVE Hidraulik se seleccionó la válvula DV 3 G H R WN 1F DF. El modelo nos permite regular la presión de trabajo en un rango entre (5 a 420) bar, la cual se ajusta a las exigencias de la aplicación.

3.8. Análisis de estructura principal por el MEF

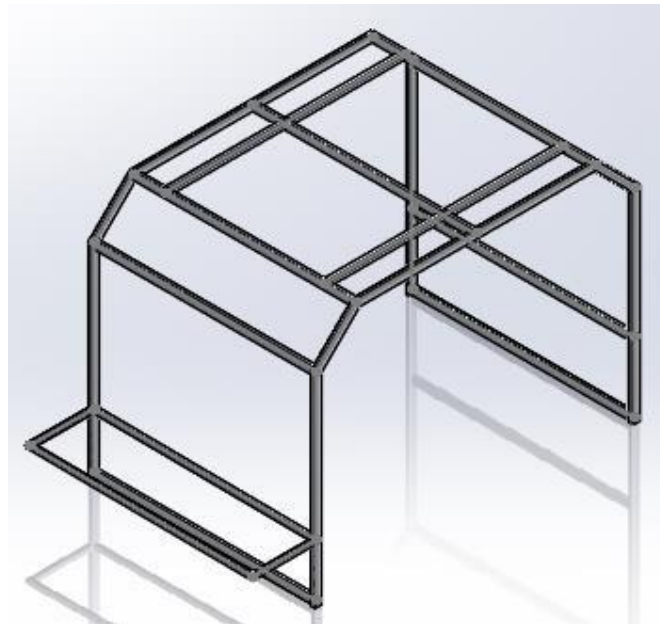


Figura 51-3. Estructura principal de máquina volteadora.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

En el presente análisis se determinará el factor de seguridad mínimo de 3 que asegure la resistencia de la estructura. Para ello se ha utilizad perfil cuadrado de 30 x 30 x 2 mm, como elementos secundarios y para elementos principales tubería rectangular 50x30x2,6 mm. Las cargas sometidas para el análisis son: Carga total del sistema oleohidráulico, peso propio de la estructura, reacción producida por los soportes del eje rotor y una carga promedio de un operario. El material de la perfilería es acero A36 con la finalidad de obtener una configuración de dimensiones que satisfagan la condición de resistencia recomendada para este tipo de elementos.

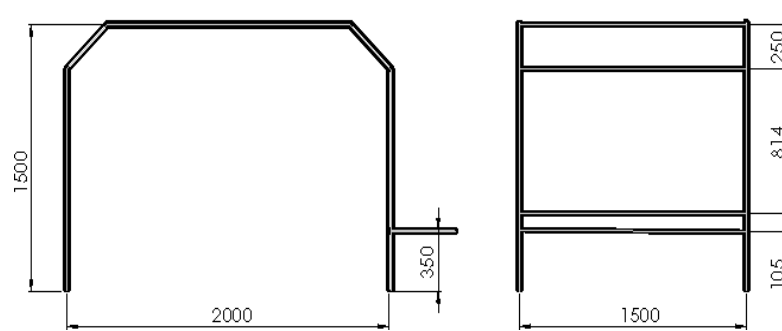
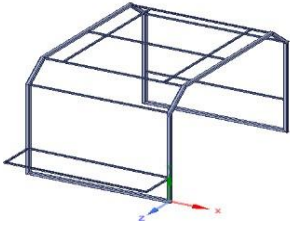
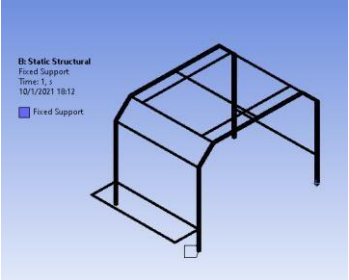
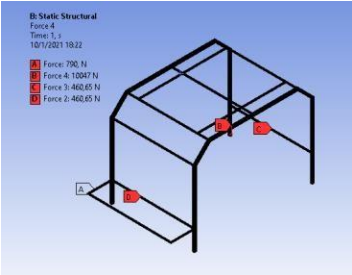
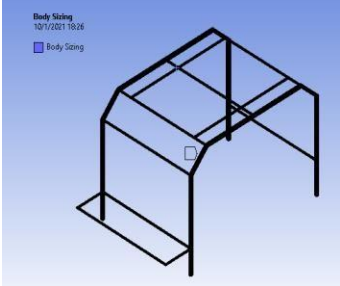
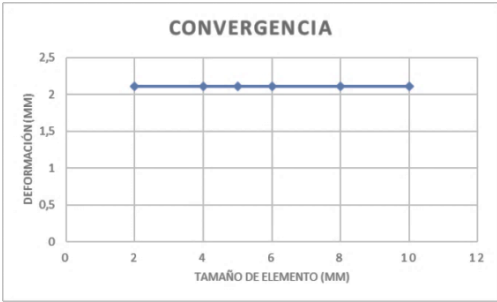


Figura 52-3. Dimensiones de la estructura principal.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Tabla 14-3. Datos de análisis por MEF para soporte estructural.

GEOMETRÍA	Línea		
MATERIAL	ASTM A 36		
RESTRICCIÓN	Apoyo A	Fixed	

CARGAS	Fuerzas puntuales y distribuidas	Fuerza A= 790 N Fuerza B= 10047 N Fuerza C= 460,65 N	
MALLADO	Body sizing Elemento: 5mm	Nodos: 362311 Elementos: 182478	
CONVERGENCIA			
			

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

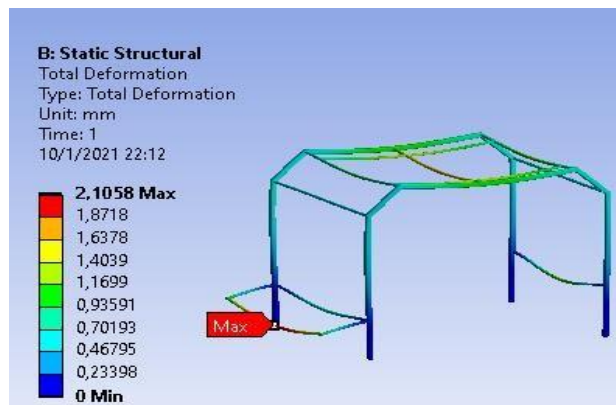


Figura 53-3. Deformación total estructura sometida a fuerzas.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

La deformación total sometida a las fuerzas generadas por el peso del sistema oleohidráulico, reacción de apoyos del eje rotor y carga promedio de operador. Se obtuvo una deformación total de 2,1 mm valor aceptable dentro de la aplicación de valor de la fuerza esperada en este elemento. Los puntos donde se apoyará el eje rotor se mantienen un con valor de deformación 0,46 mm. Si consideramos el trabajo y peso que soportara se acepta este valor. Los elementos superiores están sometidos a grandes cargas por tal motivo se utilizó un perfil rectangular de mayor capacidad mecánica.

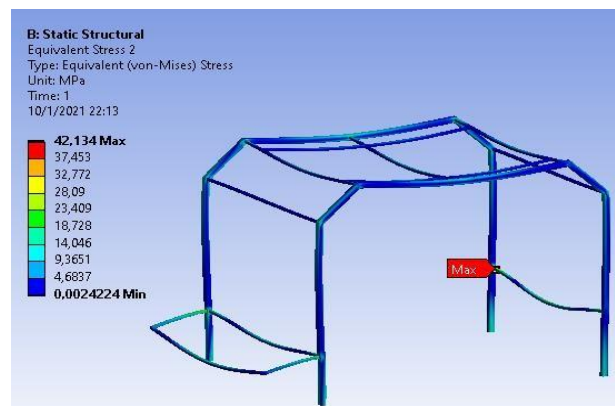


Figura 54-3. Esfuerzo equivalente de Von - Mises.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

El análisis de esfuerzos resultantes mediante la teoría de Von mises se visualiza en la figura 55-3. En la cual se obtiene un esfuerzo mayor de 42,13 MPa ubicado en la unión del elemento soporte del eje rotor.

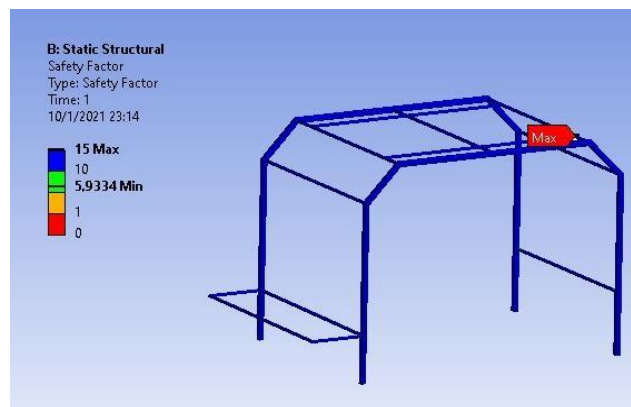


Figura 55-3. Factor de seguridad mediante la teoría de Von - Mises.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

3.9. Diseño del sistema de avance tipo oruga

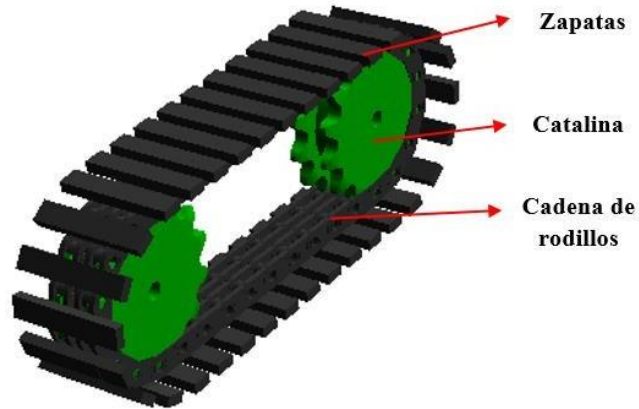


Figura 56-3. Sistema de avance tipo oruga.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

3.9.1. Selección de la cadena tipo rodillos y catalinas

- Consideraciones de diseño

El sistema tipo oruga tiene el torque calculado para la selección del motor hidráulico y la velocidad angular al cual girara.

() ()

La velocidad máxima es considera la que nos permite un avance idóneo para la movilización de la volteadora sin efectuar el trabajo de voltear. La selección de la cadena junto con su par de catalinas se llevó a cabo mediante las indicaciones del catálogo REXNORD.

- Potencia de diseño

El factor de servicio para el caso es 1,2 de acuerdo a la figura 57 -3. En nuestro caso el sistema de accionamiento es por un motor de combustión interna con control hidráulico.

Driven equipment	Service factors		
	Input power		
	Internal combustion engine with hydraulic drive	Electric motor or turbine	Internal combustion engine with mechanical drive
Agitators, liquid stock	1.0	1.0	1.2
Beaters	1.2	1.3	1.4
Blowers, centrifugal	1.0	1.0	1.2
Boat propellers	1.4	1.5	1.7
Compressors			
centrifugal	1.2	1.3	1.4
reciprocating, 3 or more cylinders	1.2	1.3	1.4
reciprocating, singular, 2 cylinders	1.4	1.5	1.7
Conveyors			
uniformly loaded or fed	1.0	1.0	1.2
not uniformly loaded or fed	1.2	1.3	1.4
reciprocating	1.4	1.5	1.7

Figura 57-3. Factores de servicio.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

() ()

- Modelo de la cadena

Para seleccionar el tipo de cadena se considera dos hileras con potencia de 6,6 hp y velocidad angular de 100 rpm. Con estos valores ingresamos al diagrama senderos de cadenas de rodillos ubicado en el Anexo c, el cual nos arroja un modelo 80.

- Número de dientes de cremalleras

El número de dientes de las cremalleras se baja en el factor multiplicador de acuerdo al número de hileras seleccionadas. Se muestra en la tabla 15-3 el valor de 1,7.

Tabla 15-3. Factor multiplicador de potencia.

Número de hileras	Factor multiplicador
2	1.7
3	2.5
4	3.3
5	4.1
6	5.0
7 o mas	Consultar al fabricante

Fuente: Rexnord, 2020

Obteniendo un número de dientes de 13 para la catalina conductora, como no es coherente reducir a la velocidad en la catalina contraria se mantiene con una relación de velocidad de 1. Con esto las características de las catalinas serán idénticas, el valor del diámetro primitiva es de 4,18 plg como se observa en la tabla de dimensiones – Anexo C.

- Longitud de la cadena

$$(\quad \longrightarrow \quad) \quad (\quad)$$

- Número de eslabones para la cadena (N)

Los valores de B, C y D se escogen recuerdo al valor A, para nuestro caso nuestra relación de transmisión es 1 por lo tanto el valor de A es cero con esto tenemos:

A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
.00000	2.0000	.5000	.5000	.19937	1.9598	.4361	.5639	.39073	1.8410	.3722	.6278	.56641	1.6483	.3083	.6917
.00436	2.0000	.4986	.5014	.20364	1.9581	.4347	.5653	.39474	1.8376	.3708	.6292	.57000	1.6433	.3069	.6931
.00873	1.9999	.4972	.5028	.20791	1.9563	.4333	.5667	.39875	1.8341	.3694	.6306	.57358	1.6383	.3056	.6944
.01309	1.9998	.4958	.5042	.21218	1.9545	.4319	.5681	.40275	1.8306	.3681	.6319	.57715	1.6333	.3042	.6958
.01745	1.9997	.4944	.5056	.21644	1.9526	.4306	.5694	.40674	1.8271	.3667	.6333	.58070	1.6282	.3028	.6972
.02181	1.9995	.4931	.5069	.22070	1.9507	.4292	.5708	.41072	1.8235	.3653	.6347	.58425	1.6231	.3014	.6986
.02618	1.9993	.4917	.5083	.22495	1.9487	.4278	.5722	.41469	1.8199	.3639	.6361	.58779	1.6180	.3000	.7000
.03054	1.9991	.4903	.5097	.22920	1.9468	.4264	.5736	.41866	1.8163	.3625	.6375	.59131	1.6129	.2986	.7014
.03490	1.9988	.4889	.5111	.23345	1.9447	.4250	.5750	.42262	1.8126	.3611	.6389	.59482	1.6077	.2972	.7028
.03926	1.9985	.4875	.5125	.23769	1.9427	.4236	.5764	.42657	1.8089	.3597	.6403	.59832	1.6025	.2958	.7042
.04362	1.9981	.4861	.5139	.24192	1.9406	.4222	.5778	.43051	1.8052	.3583	.6417	.60182	1.5973	.2944	.7056
.04798	1.9977	.4847	.5153	.24615	1.9385	.4208	.5792	.43445	1.8014	.3569	.6431	.60529	1.5920	.2931	.7069
.05234	1.9973	.4833	.5167	.25038	1.9363	.4194	.5806	.43837	1.7976	.3556	.6444	.60876	1.5867	.2917	.7083

Figura 58-3. Factores para los centros de piñones y longitud de cadena.

Fuente: Rextnord, 2021

$$\frac{() ()}{()} () () () ()$$

3.9.2. *Diseño dinámico de las zapatas*

El diseño de la zapata del sistema oruga está sometido a las fuerzas de reacción debido al peso de la máquina, como se presentó en el cálculo del torque para el motor hidráulico de avance, el valor de la reacción sobre las dos catalinas es 9768,19 N. En este caso la fuerza a la que está sometida la zapata es la mitad debido a los dos apoyos del sistema.

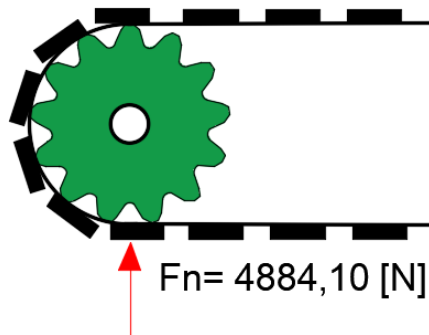


Figura 59-3. Fuerza sobre la zapata del sistema oruga.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

El contacto entre las zapatas y la superficie de gran incidencia sobre el desgaste por abrasión debido al tipo de suelo en el cual se trabajará, para ello, se utilizó el tipo de acero más idóneo para este tipo de

aplicación. El acero hardox 450 es el más utilizado y comercial, el cual tiene una resistencia a la abrasión de 450 HBW (dureza Brinell) o 48 HRC (dureza Rockwell).

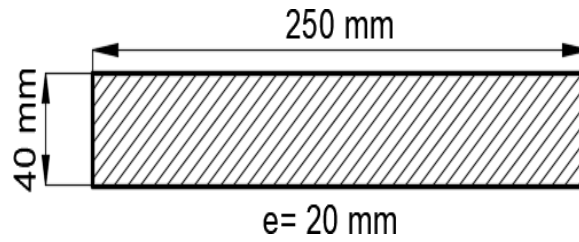


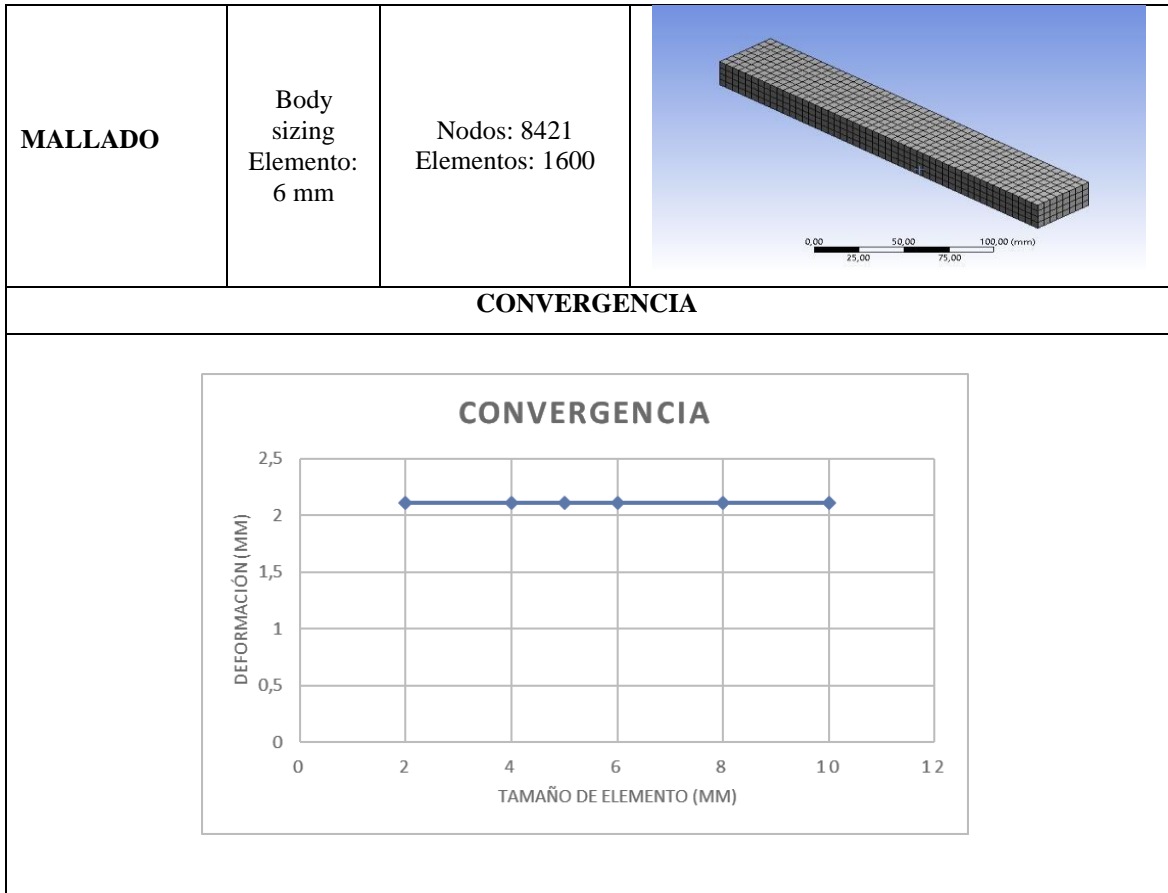
Figura 60-3. Dimensiones de zapata.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Se comprueba la deformación sufrida bajo la fuerza externa mediante el análisis de elementos finitos, a su vez, el factor de seguridad bajo el modelo de Von – misses.

Tabla 16-3. Análisis estático de zapata.

GEOMETRÍA	Superficie		<p>3D model of the plate geometry in ANSYS 2020 R1. The plate is shown in a perspective view with a coordinate system (X, Y, Z) and a scale bar from 0.00 to 100.00 mm.</p>
MATERIAL	HARDOX 450		
RESTRICCIÓN	Apoyo A	Fixed	<p>3D model showing a fixed support at the bottom left corner. The software interface shows "A: Static Structural", "Fixed Support", "Time: 1 s", "15/3/2021 11:31", and "Fixed Support". A scale bar from 0.00 to 100.00 mm is also present.</p>
CARGAS	Fuerza puntual	Fuerza = 8448,10 N	<p>3D model showing a point force applied to the top surface. The software interface shows "A: Static Structural", "Force", "Time: 1 s", "15/3/2021 11:34", and "Force: 4884,1 N", "Components: 0, -4884,1, 0, N". A scale bar from 0.00 to 100.00 mm is also present.</p>



Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Los resultados respecto a la deformación de la zapata bajo la carga es cero, por lo tanto, no se encuentra sometido a esfuerzos considerable. Las dimensiones propuestas se basan en la disponibilidad del lugar de instalación y el contacto de la superficie con el terreno de trabajo, con la finalidad de minimizar el desgaste.

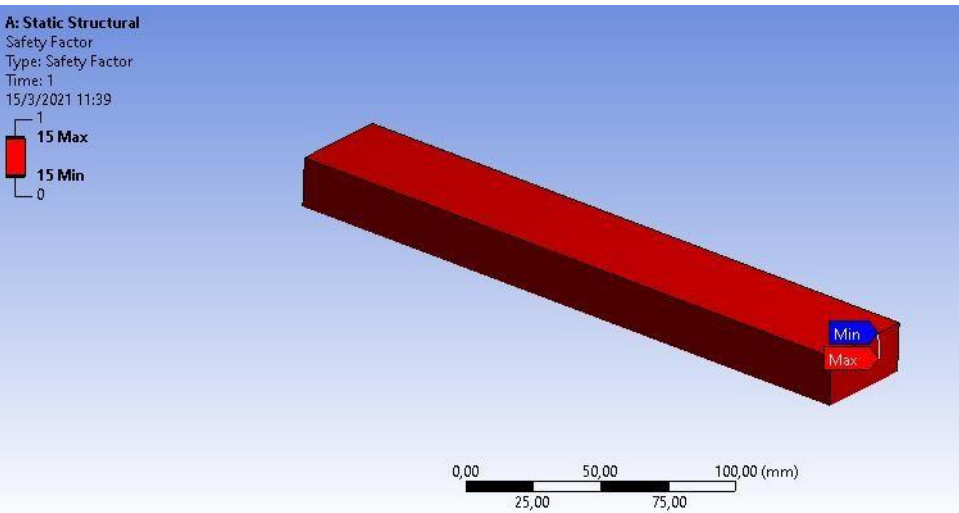
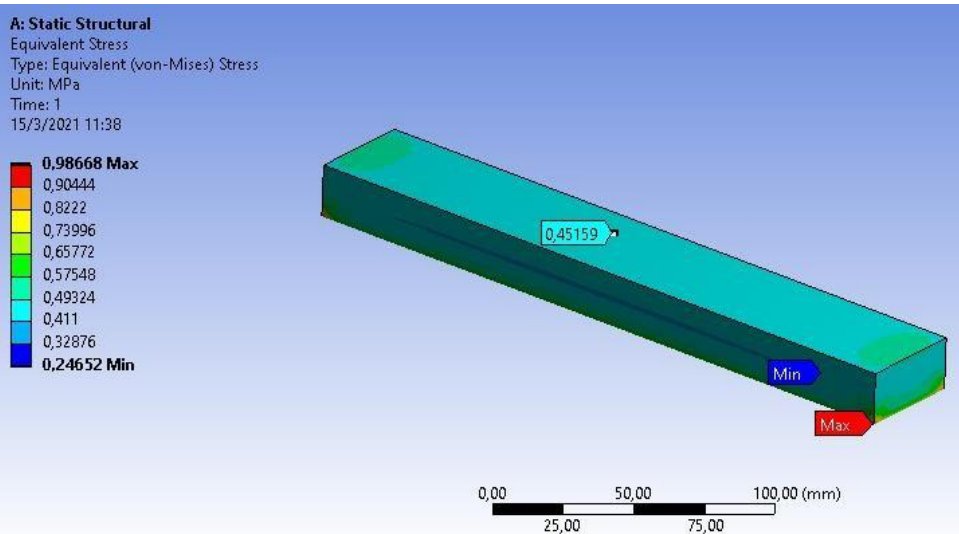
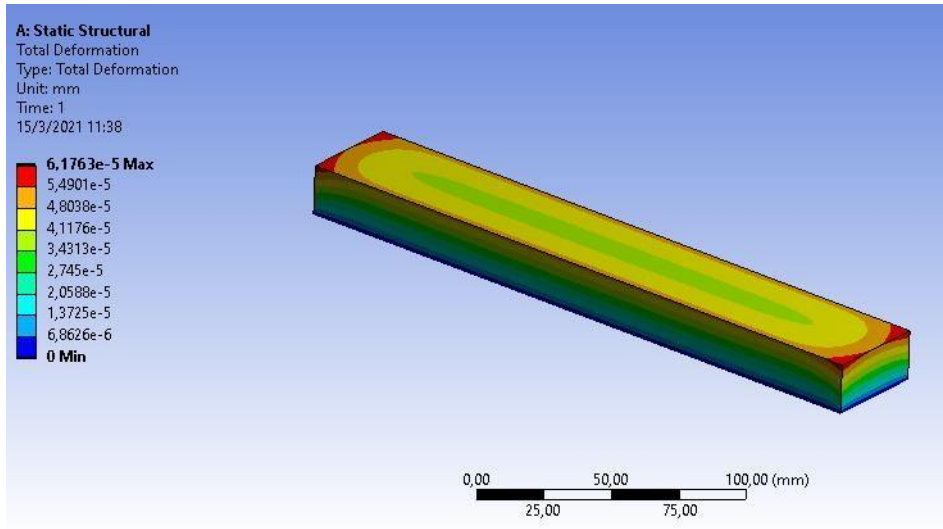


Figura 61-3. Resultados del análisis MEF.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

Los resultados del proyecto se centran en los obtenidos mediante la simulación del funcionamiento de la máquina volteadora de compost. Para ello fue necesario el previo diseño mecánico y selección de cada componente, como se presente en el capítulo anterior. Los resultados presentados mediante graficas del torque y velocidad angular en función del tiempo de simulación. De manera similar la comprobación de estabilidad mediante la simulación ante los parámetros de trabajo.

4.1. Simulación del funcionamiento de la máquina volteadora de compost

En el presente apartado se presenta el análisis individual de los sistemas que permiten el movimiento de la máquina volteadora de compost. Para ello se utiliza el software especializado para mecanismos ADAMS VIEW. Es un software que permite visualizar el funcionamiento individual y general de los distintos mecanismos utilizados para dotar de movimiento a máquinas mecánicas.

4.1.1. *Preprocesamiento*

El diseño 3D de la máquina volteadora se llevó a cabo mediante el software SolidWorks, el mismo que permite el ensamblaje de cada componente. Con la finalidad de obtener un diseño real de la máquina, con detalles significativos de la misma. Se presenta el diseño CAD de la volteadora en el software ADAMS VIEW.

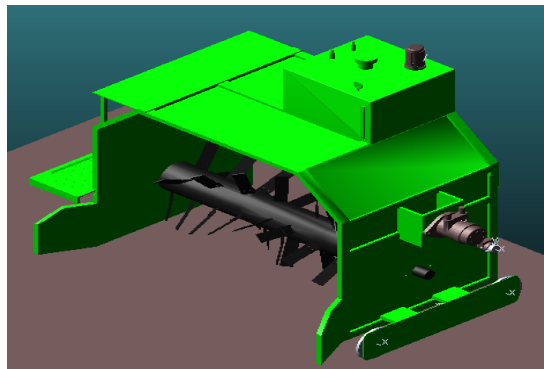


Figura 1-4. Modelo 3D máquina volteadora.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

A continuación, se detalla las etapas del proceso utilizado para la obtención de resultados generados de la máquina volteadora. Para el modelado 3D se utilizó el software CAD SolidWorks que nos permite un ensamble acorde a la necesidad de funcionamiento de la máquina. Lo que se refiere a la no inclusión del sistema de transición de potencia por cadenas. Debido que este sistema es más eficiente al momento de insertarle desde el software de simulación ADAMS View.

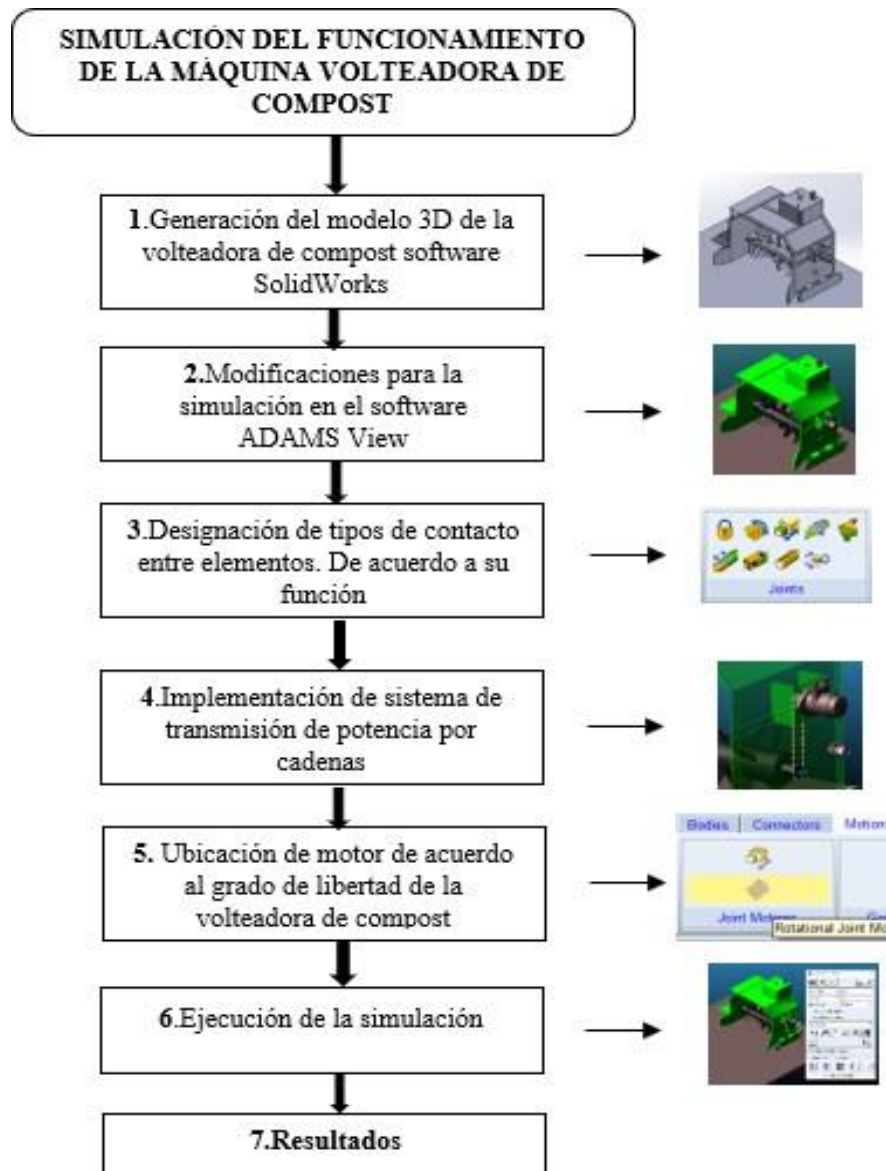


Figura 2-4. Diagrama de proceso de simulación volteadora de compost.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Los movimientos principales de la máquina los controla los dos sistemas tipo oruga para el avance y el movimiento rotacional del eje rotor que permite el volteo del compost por medio de las paletas. Es decir; para nuestro análisis se insertó conectores de traslación y rotación para los distintos, disponibles en el software ADAMS como se puede observar en la figura 3-4.



Figura 3-4. Tipo de conectores disponibles ADAM VIEW.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

- Conexiones

Para las conexiones de elementos que no influyen (sistema oleohidráulico) directamente en el movimiento de la máquina se insertó de tipo fijo. Con la finalidad de incluir su peso en el cálculo del torque necesario para el avance de la máquina. La presente tabla 1-4 en lista el tipo de conexiones utilizadas en el análisis. La misma que sirve para la relación de movimientos entre sistemas de avance y rotación del eje rotor.

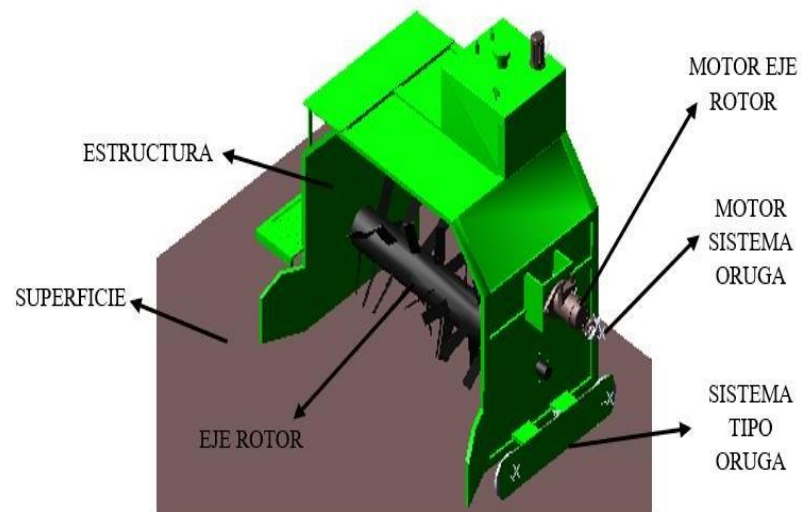


Figura 4-4. Componentes de máquina volteadora.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Se presenta los elementos constitutivos de la maquina volteadora en la figura. Los utilizados para definir sus respectivas conexiones de acuerdo al tipo de movimiento. Para la conexión de la máquina con el sistema de Adams se representa por GROUND. Es importante su conexión ya que esta permite un anclaje a tierra.

Tabla 1-4. Conexiones entre elementos de la máquina volteadora de compost.

ELEMENTOS	TIPO CONEXIÓN	SISTEMA
Superficie - ground	fija	Avance
Rueda tipo oruga – Superficie	Revolución	Avance
Estructura – Rueda oruga	Revolución	Avance
Motores - Estructura	Fijo	Avance y rotación
Eje rotor - estructura	Revolución	Rotación
Eje motor - motor	Revolución	Rotación
Protector de rueda oruga	Fijo	Avance

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

- Sistema de transmisión de potencia tipo cadenas

El sistema que transmite el movimiento y potencia a los elementos tipo oruga de avance y eje rotor se realiza mediante la inclusión de sistemas de cadenas. Los cuales se obtienen del software Adams, el cual facilita su inserción y relación entre elementos (cremallera – cadena).

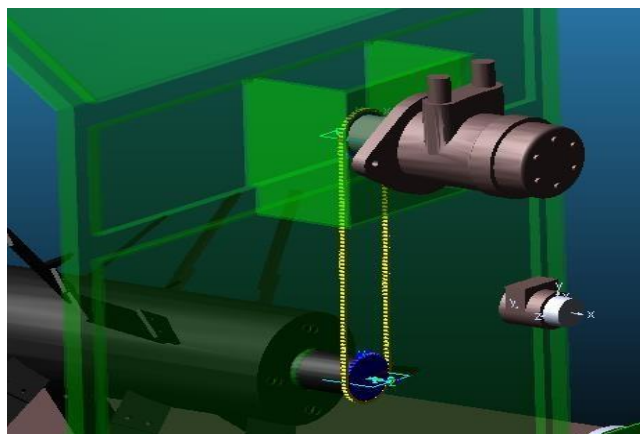


Figura 5-4. Sistema de transmisión de potencia tipo cadena eje motor.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Se considera las dimensiones de cremalleras idénticas debido que no es necesario el cambio de velocidad de los motores hidráulicos hacia los actuadores (eje rotor – sistema tipo oruga) permitiendo transferir su potencia. El control de la velocidad angular se realiza con la ayuda de válvulas controladores de caudal para el sistema oleohidráulico.

La configuración de las especificaciones dimensionales de las cremalleras son las que se observan en la figura 26-4. Las dimensiones se obtienen de un estudio iterativo de convergencia de resultado para el movimiento rotacional del eje rotor.

Modify Sprockets
Step 3 of 10

Method **Geometry-Sprocket** Material and Contact-Sprocket

Number of sprockets: 2 Axis of Rotation: Global X 90.0,90.0,270.0

1 | 2 |

sprocket Name: R_1_EJE

Center Location: 1226.87489718

Geometry

Sprocket Width: 8.0 Number of Teeth: 40

Profile: Parameters

Pitch Diameter: 115.9840 Root Diameter: 109.4840 Seat Radius: 3.346885

Tip Diameter: 118.2200

Left Tooth

Radius: 62.66 Roll Seat Angle: 63.875

Right Tooth

Radius: 62.66 Roll Seat Angle: 63.875 In/Out Chain: In Out

Figura 6-4. Configuración de medidas para cremalleras - eje rotor.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

El análisis de resistencia mecánica de las cremalleras presenta un ancho de 8 mm para cada par utilizado en los sistemas transmisores de potencia en la maquina volteadora. Debido que el software no realiza el análisis de resistencia mecánica, utiliza únicamente la densidad del material. Para ello se consideró el material A 36 para los elementos de acero. De esta manera se ahorra recursos computacionales. En base a la creación de las cremalleras descritas, se genera la cadena. Se tomó elementos 3D para esta configuración, la misma que tiene relación con nuestro modelado y fines prácticos en la simulación.

Step 4 of 8

Compliance **Geometry** Mass

Chain Name: chain_4
 Axis of Rotation: Global X 90.0,90.0,270.0 Reference Location: 1226.8748971835,1

Geometry Total Links: 0
 Link Type: uniform
 Chain Pitch: 9 Chain Width: 10 Pitch to Back: 3.4 Roller Diameter: 6.5

Link Connection

Translational

Stiffness	X	1.0E+05	Y	1.0E+05	Z	1.0E+05
Damping	X	1000.0	Y	1000	Z	1000

Rotational

Stiffness	X	1.0E+04	Y	1.0E+04	Z	0.0
Damping	X	100.0	Y	100	Z	0.0

Geometry Settings

Chain Link: Detailed Force Graphics: Enable Link to Guide: Connection

Figura 7-4. Configuración de medidas para cadena - eje rotor.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

De manera similar se configura los sistemas de potencia para las ruedas tipo oruga. Para ello se consideró dimensiones similares para cremalleras y cadenas. Debido que es el sistema de avance de la máquina y debe garantizar un movimiento uniforme.

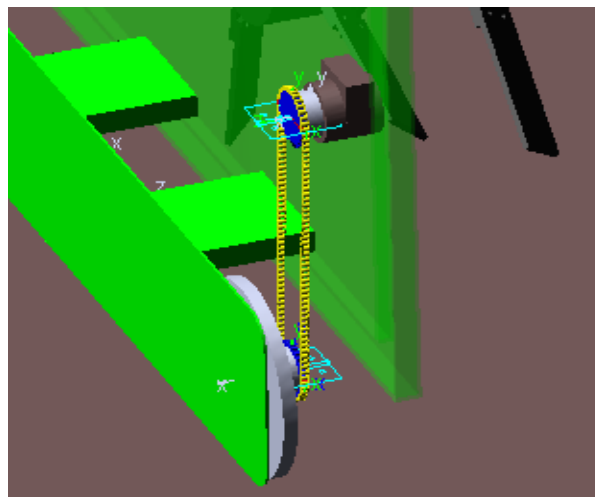


Figura 8-4. Sistema de transmisión de potencia rueda tipo oruga izquierda.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

4.1.2. Condiciones de trabajo

Para garantizar un contacto continuo entre las ruedas tipo oruga y la superficie en la cual se desplace la máquina. Se utilizó el contacto tipo fuerza en el cual se ingresó valores de rugosidad y datos necesarios para crear un contacto real como se observa en la figura 9-4.

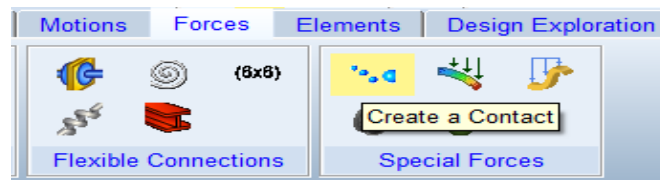


Figura 9-4. Tipo de contacto fijo superficie - rueda oruga.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Con la inserción de este tipo de contacto se configura sus respectivos parámetros. El proceso es repetitivo para las ruedas restantes para las ruedas motrices y conducidas del sistema oruga.

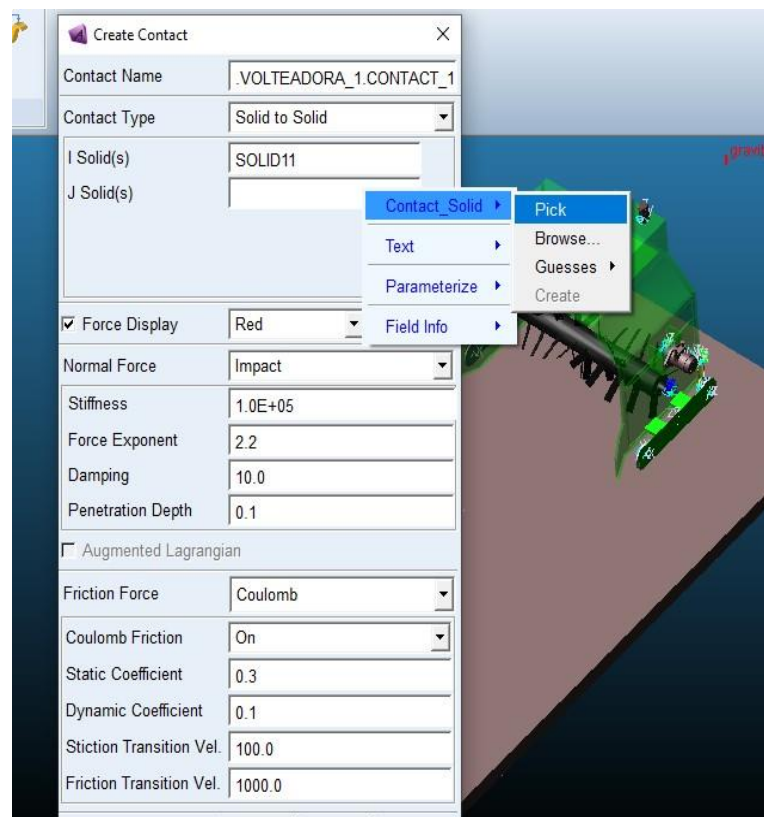


Figura 10-4. Fuerza de contacto constante.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

- Motores de revolución

Se utilizó tres motores tipo revolución para el accionamiento de los sistemas tipo oruga y eje rotor. Para ello mediante el software se insertó los motores con sus respectivas velocidades angular, las mismas que se encuentran en función de la velocidad de avance lineal de la máquina y velocidad de rotación del eje rotor. Se puede observar el icono utilizado para la implementación de los motores. Los cuales se presentan como juntas de revolución y translación. Para nuestro análisis obviaremos el motor de traslación. Centrándonos en la configuración de motor de revolución.

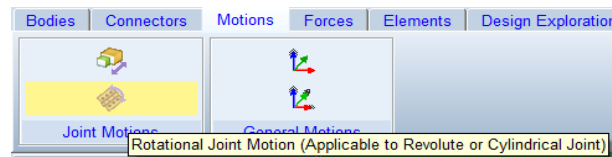


Figura 11-4. Fuerza de contacto constante.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

En la junta generada por el sistema cremallera – cadena se ubica el motor con el valor de 250 rev/min de eje rotor que necesita. Para el tiempo que se necesita simular se modifica la opción de desplazamiento angular en la opción de datos.

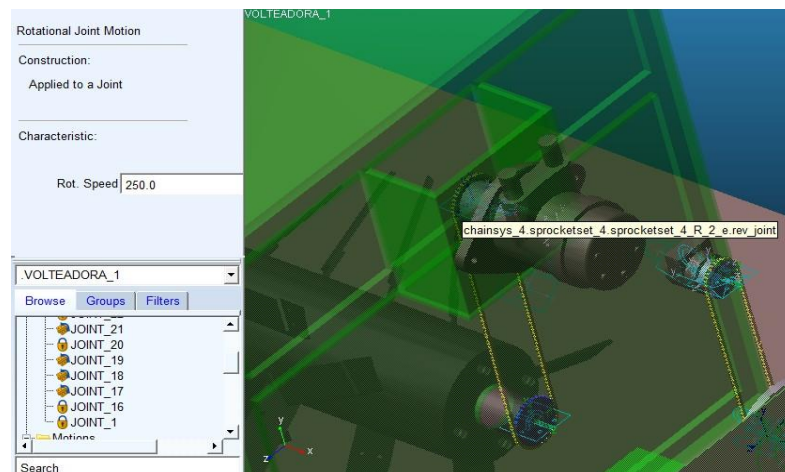


Figura 12-4. Motor de revolución para junta de eje rotor de paletas.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Se utilizó una función senoidal de acuerdo a la descripción física que detalla un motor. Con la variable de tiempo de solución que definimos acorde a nuestra necesidad y el diámetro de la cremallera. Lo mencionado se observa en la figura 13-4.

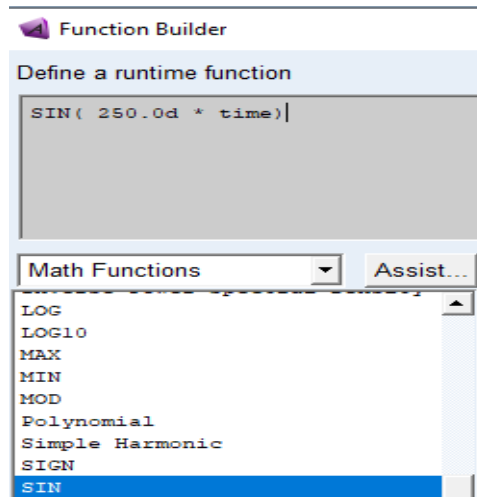


Figura 13-4. Función senoidal de comportamiento del motor.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Las configuraciones siguientes de los motores faltantes se realizan de manera similar con los datos de entrada disponibles. En los casos se utilizó únicamente la velocidad de giro de los motores ya que son los únicos datos que disponemos.

4.1.3. *Post procesamiento*

La simulación se ejecutó para un tiempo de 20 segundos obteniendo una mejor calidad en la simulación y tiempo suficiente para observar el comportamiento de cada sistema de movimiento.

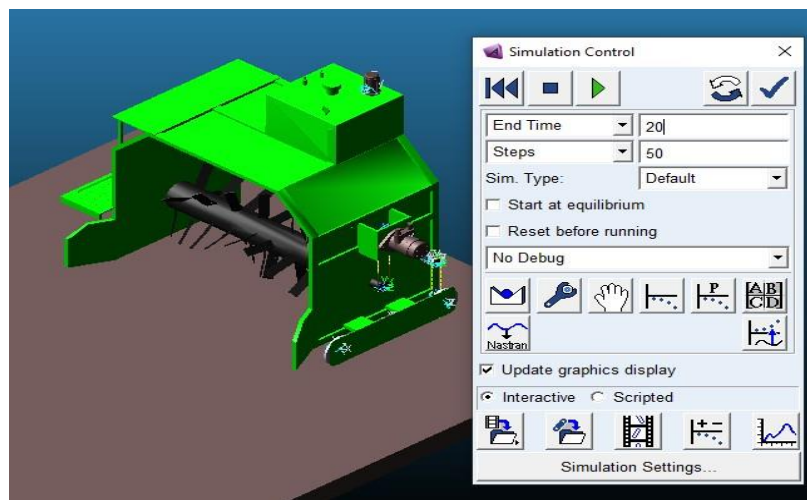


Figura 14-4. Ejecución de simulación de la máquina volteadora.

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

4.2. Análisis de resultados

La simulación presenta resultados satisfactorios respecto a la estabilidad de la maquina bajo su propio peso en el avance y el giro del eje rotor. Se simulo con varias alternativas de giro, debido que en la práctica se variara los datos de velocidad angular de los motores hidráulicos ajustándose a las necesidades de los operarios.

- Torque del motor de avance lineal

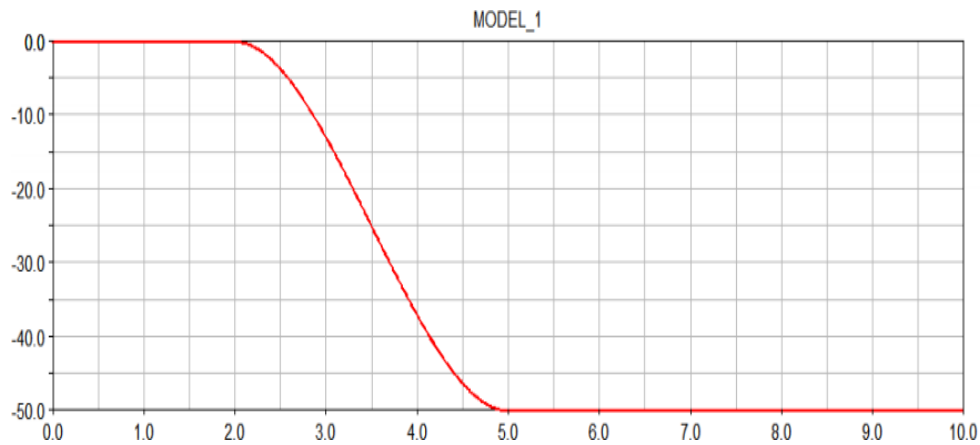


Figura 15-4. Torque (N.mx10) vs tiempo (segundos).

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

De acuerdo al cálculo del torque teórico basándonos en el peso estimado total de la máquina junto con la velocidad angular exigente para mantener una velocidad lineal recomendada, analizamos nuestros resultados obtenidos mediante la simulación del funcionamiento a condiciones de trabajo. El valor fue de 395,6 Nm con una velocidad angular de 10,11 rpm. Como se puede observar en la figura 15-4 presenta la gráfica del torque en función del tiempo de simulación. El tiempo de simulación fue de 10 segundos que nos permite visualizar el tiempo de estabilización del torque.

El valor del torque de acuerdo a las especificaciones de trabajo fue de 500 Nm en el tiempo de 5 segundos logramos que este se estabilice como valor constante. Este valor nos permite seleccionar nuestro motor hidráulico, también nos permite comprar con el valor calculado de 395,6 Nm. Teniendo como error de estimación del 20% debido al peso total estimado que depende la fuerza de fricción. El valor mostrado en la figura es el torque de oposición del sistema de transmisión y el cual debe vencer el torque del motor.

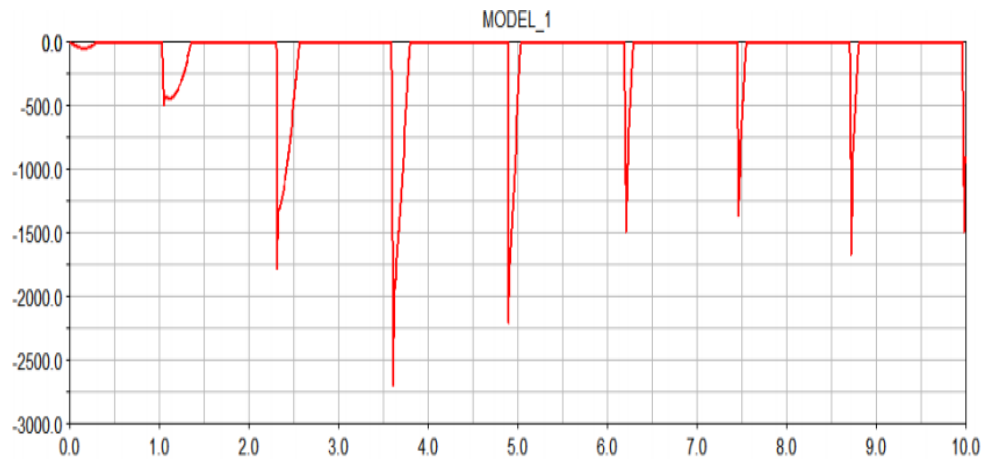


Figura 16-4. Torque (N.mx10) vs tiempo (segundos).

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

El análisis descrito en el apartado anterior se realizó con la inclusión de una fuerza de contacto permanente lo que manifiestas un contacto constante entre el sistema de avance y la superficie. Para un análisis real en el cual no siempre se mantiene en contacto las superficies se utiliza un tipo de contacto simple.

Con esta idea se obtiene la figura 16-4 que explica como en valores de tiempos de cada segundo las ruedas giran libremente sin oposición con valores ceros de torque y los picos nos indican cuando se realiza la transmisión del torque. Esta idea es importante para futuras optimizaciones de valores de torque mediante el estudio de tiempos muertos.

- Velocidad angular generada

La simulación de manera paralela nos arroja graficas con los valores de velocidad angular, en la cual se observa el tiempo de estabilización de este valor. Para ello se insertó un motor con una función senoidal que permite una mayor estabilidad de este valor en tiempos acortados como se aprecia en la figura 17-4. De manera similar se comprueba el valor de velocidad angular de funcionamiento mediante la gráfica. Es decir, el valor de estabilidad de la velocidad angular es 250 rpm. El tiempo que el sistema tarde en estabilizar la función senoidal de la velocidad está entre 4 a 5 segundos.

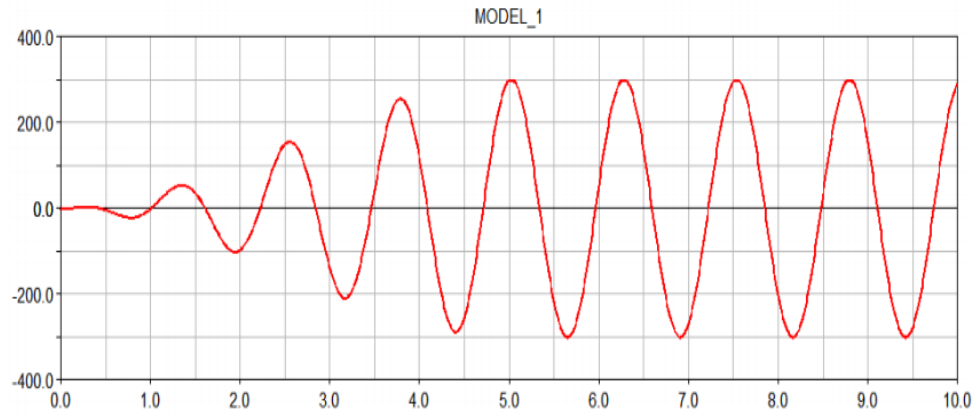


Figura 17-4. Velocidad angular (rpm) vs tiempo (segundos).

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

A partir de los 5 segundos se mantiene la velocidad solicitada. Es de mucha importancia esta estabilidad debida que puede provocar grandes diferencias de velocidades angulares entre tramos de tiempo que producirá vibraciones sobre el motor hidráulico.

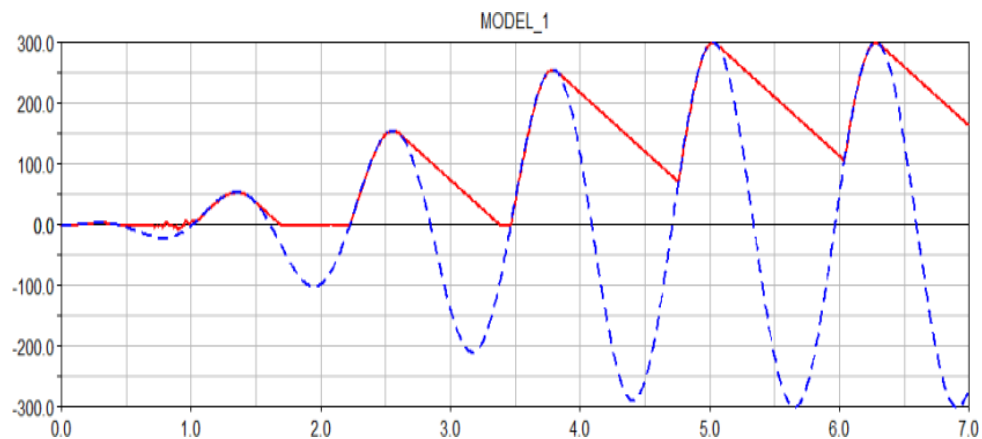


Figura 18-4. Velocidad angular (rpm) vs tiempo (segundos).

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

La figura 18-4 muestra dos graficas de velocidad angular en función del tiempo. La grafica azul representa el giro del motor sin restricción de contacto constante entre superficies, que genera un aumento en la velocidad angular. Este valor se acoge al fenómeno debido que se pierde un porcentaje de oposición debido a la fricción entre superficies. Mientras que la gráfica roja la velocidad angular del motor al forzar el movimiento a 300 rpm, como se observa la estabilidad de velocidad no se produce. Esto debido que la velocidad de resonancia calculada (800 rpm) supera la velocidad de trabajo (250 rpm).

4.3. Presupuesto

Para determinar el costo que genera la fabricación del proyecto técnico se realiza un análisis de costos. Los mismos que comprenden la cuantificación de los costos directos, indirectos y costo de ingeniería.

4.3.1. Costos directos

Los costos que influyen de manera directa en la fabricación embarcan los costos por materiales, máquinas y herramientas, mano de obra y transporte. El detalle de cada rubro de costos se rige al análisis de precios unitarios que nos permite cambios en los mismos de manera independiente. Lo que con lleva el cálculo de costos total de manera real, es decir actualizar datos como mano de obra o materiales a valores actuales.

Tabla 2-4. Costo de materiales.

CNTD	DESCRIPCIÓN	V. UNTARIO USD	V. SUBTOTAL USD
10	Lámina acero A36 1220x3000x4 mm	104,76	1047,60
8	Lámina acero A36 1200x2440x2 mm	33,75	270,00
8	Perfil rectangular A36 100x50x3 mm	41,38	331,04
2	Perfil cuadrado A36 40x40x3 mm	15,32	30,64
1	Perfil macizo circular AISI 38x660 mm	24,56	24,56
3	Cadenas Número 40	17,50	52,5
2	Catalina 17 dientes	25,00	50,00
4	Catalina 13 dientes	15,00	60,00
12	Cojinetes rígidos de bolas 6128	4,55	54,60
4	Cojinetes rodillos cilíndricos NU1021	5,45	21,8
2	Chumaceras cuadradas UCF206	42,50	85,00
12	Manguera flexible 38x1200 mm	14,35	172,20
120	Pernos y tuercas M10x1,5x50 mm	0,28	33,60
16	Pernos y tuercas UNC 1/2x1 in	0,34	5,44

1	Tanque oleohidráulico con accesorios	1255,00	1255,00
1	Motor diésel 50 hp	5500,00	5500,00
1	Bomba oleohidráulico 45 hp	3460,00	3460,00
3	Válvulas oleohidráulicos tándem 4x3	355,70	1067,1
1	Sistema manteamiento hidráulico	450,00	450,00

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Tabla 3-4. Costo de materiales.

CNTD	DESCRIPCIÓN	V. UNTARIO USD	V. SUBTOTAL USD
1	Bomba de agua ½ hp	95,00	95,00
2	Juego de avance tipo oruga	620,00	1240,00
1	Válvula reguladora de presión hidráulica	375,00	375,00
4	Manómetros hidráulicos	220,20	880,80
4	Paquete de electrodo E7018	7,8	31,20
SUB TOTAL			\$ 22010,93

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

Para el costo de mano de obra hacemos referencia a la tabla de la Contraloría general del estado. La cual nos permite una mejor estimación del costo de mano de obra para los distintos frentes de trabajo para la construcción de la máquina volteadora.

Tabla 4-4. Costo de mano de obra.

PERSONAL	HORAS DE TRABAJO	SALARIO/HORA DÓLARES	V. SUBTOTAL DÓLARES
Tornero	30	3,50	195,00
Fresador	16	3,20	51,20
Soldador	120	4,75	570,00
Ayudante	300	3,40	1020,00
SUB TOTAL			\$ 1836,20

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

El costo de máquinas y herramientas se estimó de trabajos similares en costo por hora. En la tabla 5-4 describe las máquinas utilizadas para los procesos de construcción de elementos no disponibles en el mercado, así como el rolado de la plancha de 4 mm para el eje rotor.

Tabla 5-4. Costo de máquinas y herramientas.

DESCRIPCIÓN	HORAS DE EQUIPO	SALARIO/HORA USD	V. SUBTOTAL USD
Soldadora convencional	80	1,50	120,00
Torno convencional	30	1,50	45,00
Fresadoras	12	2,00	24,00
Dobladora mecánica	8	10,00	80,00
Taladro de pedestal	20	1,25	25,00
Montacargas	4	50,00	200,00
Amoladora	40	0,50	20,00
Compresor	20	2,00	40,00
Herramientas menores	300	0,25	75,00
SUB TOTAL			629,00

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

En la tabla 6-4 se determina el costo total directo mediante la suma de los costos anteriores en el cual se incluye el costo de transporte de la máquina al sitio de trabajo.

Tabla 6-4. Costo total directo.

C. DIRECTOS	TOTAL DÓLARES
Materiales	22010,93
Mano de obra	1826,30
Equipos y herramientas	629,00
Transporte	120,00
TOTAL	24586,23

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

4.3.2. Costos indirectos

Los rubros considerados en los costos directos fueron: Diseño, análisis y ensayo no destructivo de soldadura. Los cuales influyen de manera indirecta en el proyecto. De manera conjunta en el rubro diseño incluye el estudio de campo para obtener los de datos iniciales.

Tabla 7-4. Costos indirectas.

RUBRO	TIEMPO H	V. UNITARIO DÓLARES	V. SUBTOTAL DÓLARES
Diseño mecánico	230	5,00	1150,00
Análisis	160	5,00	800,00
Ensayo no destructivo para soldadura	-	250,00	250
Imprevistos	-	740,00	740,00
TOTAL			3040,00

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

El costo por ensayos no destructivos (tintas penetrantes) nos garantiza la calidad de soldadura, y evitar fallos por fractura de soldadura. Se aplica en la unión de miembros principales de la estructura y en la unión del eje rotor previamente rolado. Se considera un 3% del costo total de directos para imprevistos, debido al gran costo que implica la construcción de la misma.

4.3.3. Costos totales

El costo total que genera la fabricación de la máquina volteadora de compost se determina mediante la suma de los costos directos más los indirectos.

Tabla 8-4. Costo total de la volteadora de compost.

COSTO VOLETADORA	V.TOTAL USD
Directos	\$ 24586,23
Indirectos	\$ 3040,00
TOTAL	\$ 27623,23

Realizado por: Barragan & Merino, 2021

El resultado del análisis de precios unitarios para la construcción de la volteadora tiene como valor total 27 623, 23 dólares, el cual es un valor menor al precio de una máquina en el mercado con similares características.

CONCLUSIONES

- El proceso de volteo de compost para la elaboración de abono orgánico sirve para la correcta oxigenación y humedad. Es con la finalidad de ayudar al proceso de descomposición y evitar daños en el ecosistema.
- Se diseñó 2 sistemas de transmisión de potencia por cadenas que genera el avance de la volteadora. Los mismos que constan de dos motores hidráulicos con un par real 470 Nm, presión de trabajo de 210 Bar y rango de velocidad (5 – 1000) rpm. En cuanto al sistema de transmisión de potencia por cadenas para el giro del eje rotor consta de un motor hidráulico con un par real 970 N.m, una presión de trabajo 210 psi y un rango de velocidad angular (2 – 900) rev/min.
- De acuerdo a los requerimientos el sistema oleohidráulico de control de los motores se obtuvo un caudal total 76,12 litros por minuto con una presión de trabajo de 3500 psi. Los cuales permitieron el dimensionamiento de la bomba y tanque hidráulico. La potencia de accionamiento de la bomba es 45 hp, el cual trabaja a 76,12 litros por minuto. En el mismo sentido las dimensiones del tanque rectangular fueron (1x1x0,23) metros en una plancha de 3 mm de espesor.
- El control de la maquina volteadora mediante el sistema oleohidráulico exige maniobras de giro y paro de la misma en ciertos tiempos, es así que la inclusión de una válvula tándem que permite el uso de neutro cubriendo este importante requerimiento.
- Debido que el sistema es autónomo el equipo que proporcionara la potencia necesaria es un motor diésel de 50 hp, valor necesario para activar la bomba hidráulica y así el sistema de control por válvulas. El motor trasmite la potencia mediante un sistema de bandas tipo v, debido que la distancia entre los equipos no es considerable.
- El sistema de avance de la maquina volteadora es tipo oruga que permite mayor estabilidad para máquinas con peso considerable. Este supuesto fue verificado mediante la simulación en el software ADAMS VIEW. El mismo software nos permitió la corroboración del torque necesario para los motores hidráulicos, así como los posibles problemas de resonancia en el eje rotor.
- El análisis de precios unitarios nos arrojó como resultado el valor total de la máquina, permitiéndonos un análisis minucioso de cada rubro. El valor es de total 27 623, 23 dólares el cual consta de los costos de material, mano de obra, uso de máquinas y herramientas, costos indirectos de diseño e imprevistos.

RECOMENDACIONES

- El análisis para la obtención de las cargas de diseño se recomienda estimar mediante un proceso práctico, con la finalidad de minimizar el error del mismo. Es decir, fabricar un prototipo de la volteadora y realizar pruebas en el entorno especificado.
- Para el diseño por resistencia de las paletas se recomienda la eliminación de cargas axiales, las mismas no influyen de manera considerable en el diseño. Debido que la bibliografía recomienda para esta actividad cargas únicamente puntuales que provocan flexión en el elemento.
- Se recomienda un análisis de vibraciones sobre la máquina, debido al alto grado de vibración del motor diésel, así como la superficie donde la misma se desplaza. Para ello el software ADAMS VIEW es de gran utilizada, pero en este proyecto se obvió debido al gran costo computacional que este genera.
- La implementación de un fondo anticorrosivo previo a la capa de pintura será un gran beneficio debido al ambiente en el cual la maquina pretende trabajar. El proceso de implementación se recomienda mediante un sistema de aspersion de pintura (pistola de aire comprimido) que permite una mejor dispersion sobre las superficies.
- Para el análisis mediante elementos finitos apoyados en un software CAE se recomienda el respectivo control de los valores de las métricas en los cuales se pretende evaluar la calidad de la malla. De manera similar e importante la convergencia de los resultados que darán confiabilidad a nuestro análisis.
- Para garantizar la calidad de soldadura en elementos principales con esfuerzos considerables pruebas de tintas penetrantes. Las mismas que permiten mediante aceptar o rechazar la soldadura. El proceso es de mucha importancia debido que la falla en un elemento estructural ocasionara grandes costos.

BIBLIOGRAFÍA

INTAGRI. *Los abonos orgánicos, beneficios, tipos y contenidos nutrimentales.* [blog]. México: Fertilab, 2020. [Consulta: 26 julio 2020]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/los-abonos-organicos-beneficios-tipos-y-contenidos-nutrimentales>

GERMÁN, TORTOSA. “Compostaje como método para obtener abonos orgánicos”. Compostando ciencia lab [en línea], 2009, (España). [Consulta: 26 de julio 2020]. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2009/11/compostaje-como-metodo-para-obtener-html/>

ROMÁN, Pilar; MARTÍNEZ, María; & PANTOJA, Alberto. “Manual de compostaje del agricultor experiencias en América Latina”. FAO [en línea], 2013, (Chile), pp. 25-60. [Consulta: 28 julio 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

COCHACHI VELIZ, Edwin, & VARGAS MACHUCA AGUIRRE, Martha Yackeline. Determinación del efecto de la relación C/N y la humedad en la calidad del compost obtenido a partir del tratamiento de residuos sólidos orgánicos del distrito de San Pedro de Saño mediante el proceso de degradación aerobia a nivel laboratorio (Trabajo de titulación). (Tercer grado) Universidad del Centro de Perú, Facultad de Ingeniería Química. Perú. 2008. pp. 15-26. [Consulta: 30 julio 2020]. Disponible en: http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/228/T08_9.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MONTERO AVENDAÑO, Jorge Ernesto. Diseño de máquina volteadora de compost (trabajo de titulación). (Tercer grado) Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencia de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica. Chile. 2006. pp. 18 – 22. [Consulta: 01 agosto 2020]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfcm778d/doc/bmfcm778d.pdf>

ALMANDOZ BERRONDO, Javier; MONGELOS OQUÍÑENA, Belén & PELLEJERO SALABERRIA, Idoia. Sistemas neumáticos y oleohidráulicos (Trabajo de titulación). (Tercer grado) Escuela Universitaria Politécnica San Sebastián, Escuela Ingeniería Técnica industrial. España. 2007. pp. 30 – 55. [Consulta: 17 agosto 2020]. Disponible en: <https://makrodidactica.files.wordpress.com/2014/08/oleohidraulica.pdf>

NÁPOLES PADRÓN, Elsa; GONZÁLES CARBONELL, Raide & OLIVARES DÍAS, Edenio. *Una introducción análisis por elementos finitos: Aplicaciones y ejemplos* [En línea]. Conceptos básicos del método de los elementos finitos. Fundamentos teóricos y matemáticos de MEF. 2020. [Consulta: 27 agosto del 2020]. Disponible en:
https://www.researchgate.net/profile/Raide_GonzalezCarbonell/publication/283151622_Una_introduccion_al_Analisis_por_Elementos_Finitos_aplicaciones_y_ejemplos/links/595a83e145851511773d2b04/Una-introduccion-al-Analisis-por-Elementos-Finitos-aplicaciones-y-ejemplos.pdf

RIBA ROMEVA, Carles. *Diseño concurrente. UPC.* [En línea]. pp. 60- 78. [Consulta: 28 agosto 2020]. Disponible en:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36754/9788498800746.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

POLANCO PUERTA, Manuel Francisco. *Maquinaria y mecanizado agrícola* [En línea]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. 2007. Pp. 37 – 40. [Consulta: 17 agosto 2020]. Disponible en:
http://www.latanqueraweb.com.ar/web/archivos/menu/MAQUINARIA_Y_MECANIZACION_AGRICOLA.pdf

GARCÍA HERNÁNDEZ, José Luis; SALAZAR SOSA, Enrique; ORONA CASTILLO, Ignacio; FORTIS HERNÁNDEZ, Manuel, & TREJO ESCAREÑO, Héctor Idilio. *Agricultura orgánica* [En línea]. Durango – México. 2010. ISBN: 978-607-00-3411-4. Pp. 240 – 255. [Consulta: 11 de septiembre del 2020]. Disponible en:
<https://doczz.es/doc/19458/agricultura-org%C3%A1nica-tercera-parte---faz-ujed>

KAISER S.A. Máquina agrícola. *Volteadoras* [En línea]. 2020. Costa Rica. Descripción. [Consulta: 28 noviembre del 2020]. Disponible en:
<https://www.kaisercr.com/index.php/equipo-agricola/volteadoras/volteadora-de-compost>

BACKHUS. *Volteadora BACKHUS A 30* [En línea]. 2020. Alemania. [Consulta: 11 de noviembre del 2020]. Disponible en:
<https://www.eggersmann-recyclingtechnology.com/es/maquinas-de-reciclaje/volteadores-de-backhus/productos/volteadora-backhus-a-30/>

PÉREZ PUPO, Rafael. *Sistemas hidráulicos en la maquinaria agrícola* [En línea]. Riobamba – Ecuador: Dirección de publicaciones Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2018. pp. 11 – 15. [Consulta: 23 de octubre del 2020]. Disponible en:
<http://cimogsys.espoch.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2019-09-19-151331-83%20Sistemas%20hidraulicos.pdf>

HMD Project Managers. *Costos directos, indirectos y variables del Proyecto* [En línea]. 2017. [Consulta: 08 de enero del 2019]. Disponible en:
<https://uv-mdap.com/blog/determinar-la-dimension-economica-proyecto-2/>

CÁMARA DE CONSTRUCCIÓN DE QUITO. Lista de precios y materiales de construcción [En línea]. Ecuador. 2019. [Consulta: 09 de enero del 2018]. Disponible en:
<http://www.camicon.ec/documentacion/>

BUDYNAS, Richard, & KEITH, Nisbett. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* [En línea]. Nueva York – USA: Mc GRraw Hill, 2008. Pp. 204 – 591. [Consulta: 09 de diciembre del 2020]. Disponible en:
<https://termoaplicadaunefm.files.wordpress.com/2015/03/disec3b1o-en-ingenierc3ada-mecc3a1nica-de-shigley-8-edicic3b3n-budynas.pdf>

SRN. *Catálogo general de industria* [En línea]. Canadá: Rodamientos. 2008. [Consulta: 11 diciembre del 2020]. Disponible en:
https://www.ntn-snr.com/sites/default/files/2017-05/snr_general_catalogue_es.pdf

ANEXOS

Anexo A: Encuesta realizada a usuarios.

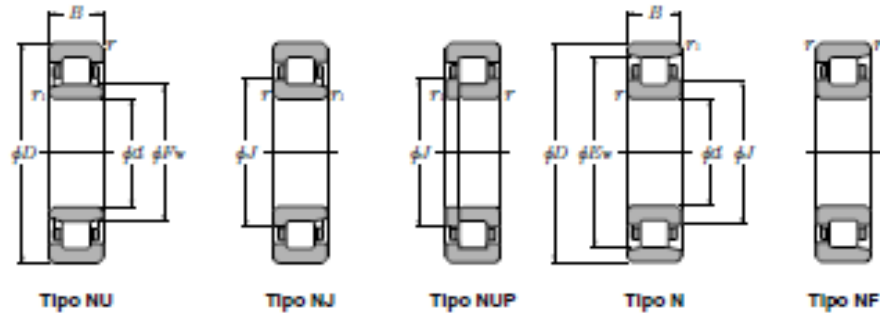
ENCUESTA PARA DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS DE UNA MÁQUINA VOLTEADORA DE COMPOST

Por favor, dedique unos minutos a rellenar esta encuesta. Su opinión es muy importante

- 1. ¿Cuál es la cantidad total generada de compost en el día?**
 Menos de 100 sacos (100 – 300) sacos (300 a 500) sacos Más de 500 sacos
- 2. ¿De acuerdo a sus necesidades que tipo de máquina volteadora estaría dispuesto adquirir?**
 Dependiente de un tractor agrícola Independiente de un tractor agrícola Me es indiferente
- 3. El clima en el cual usted realiza el volteo de compost es:**
 Cálido Templado Frío
- 4. ¿Cuál es el terreno donde se acopia del compost?**
 Regular Irregular
- 5. ¿Existen más de un centro de acopio de compost en su comunidad?**
 Si No
- 6. ¿Cuántas veces en el mes realizan el volteo de compost?**
 3 a 5 5 a 7 más de 7
- 7. ¿Cuál de las siguientes actividades previas utilizan para facilitar el volteo de compost utiliza?**
 Suavizar la pila mediante la inclusión de agua Un tractor Otros
- 8. Especifique la base y altura de la pila de compost aproximada que usted voltea**
Base = _____ metros Ancho = _____ metros
- 9. ¿Cuál de los siguientes aspectos cree usted que debe tener la máquina volteadora?**
 Bajo costo Buena estética Capacidad de volteo de pilas mayores a las especificadas
- 10. ¿Cuál es el nivel de experiencia en el manejo de máquinas agrícolas?**
 Básico Medio Experto Ninguna

Anexo B: Catálogo de rodamientos.

● Rodamientos de Rodillos Cilíndricos



d 95 ~ 120mm

d	Dimensiones principales				Capacidad básica de carga				Velocidades límites ¹⁾		Números de rodamientos ²⁾			
	D	B	$r_{max}^{2)$	$r_{min}^{2)$	C_r	C_{or}	C_r	C_{or}	grasa	aceite	tipo NU	tipo NJ	tipo NUP	tipo N
95	170	43	2.1	2.1	230	298	23 500	30 500	3 600	4 300	NU2219	NJ	NUP	N
	170	43	2.1	2.1	286	370	29 200	38 000	3 300	3 800	NU2219E	NJ	NUP	—
	200	45	3	3	259	285	26 400	29 500	3 400	4 000	NU319	NJ	NUP	N
	200	45	3	3	335	385	34 000	39 500	3 100	3 600	NU319E	NJ	NUP	—
	200	67	3	3	370	460	38 000	47 000	3 000	3 500	NU2319	NJ	NUP	N
	200	67	3	3	460	585	47 000	59 500	2 700	3 200	NU2319E	NJ	NUP	—
100	150	24	1.5	1.1	93.0	126	9 500	12 800	4 600	5 400	NU1020	NJ	NUP	N
	180	34	2.1	2.1	183	217	18 600	22 200	3 800	4 500	NU220	NJ	NUP	N
	180	34	2.1	2.1	249	305	25 400	31 000	3 500	4 100	NU220E	NJ	NUP	—
	180	46	2.1	2.1	258	340	26 300	34 500	3 500	4 100	NU2220	NJ	NUP	N
	180	46	2.1	2.1	335	445	34 000	45 500	3 100	3 600	NU2220E	NJ	NUP	—
	215	47	3	3	299	335	30 500	34 500	3 300	3 800	NU320	NJ	NUP	N
	215	47	3	3	380	425	38 500	43 500	2 900	3 500	NU320E	NJ	NUP	—
	215	73	3	3	410	505	42 000	51 500	2 900	3 400	NU2320	NJ	NUP	N
215	73	3	3	570	715	58 000	73 000	2 600	3 100	NU2320E	NJ	NUP	—	
105	160	26	2	1.1	105	142	10 700	14 500	4 300	5 100	NU1021	NJ	NUP	N
	190	36	2.1	2.1	201	241	20 500	24 600	3 600	4 300	NU221	NJ	NUP	N
	225	49	3	3	320	360	32 500	36 500	3 100	3 700	NU321	NJ	NUP	N
110	170	28	2	1.1	131	174	13 400	17 700	4 100	4 800	NU1022	NJ	NUP	N
	200	38	2.1	2.1	240	290	24 500	29 500	3 400	4 000	NU222	NJ	NUP	N
	200	38	2.1	2.1	293	365	29 800	37 000	3 100	3 700	NU222E	NJ	NUP	—
	200	53	2.1	2.1	320	415	32 500	42 000	3 100	3 700	NU2222	NJ	NUP	N
	200	53	2.1	2.1	385	515	39 000	52 500	2 800	3 300	NU2222E	NJ	NUP	—
	240	50	3	3	360	400	36 500	41 000	3 000	3 500	NU322	NJ	NUP	N
	240	50	3	3	450	525	46 000	53 500	2 700	3 100	NU322E	NJ	NUP	—
	240	80	3	3	605	790	61 500	80 500	2 600	3 100	NU2322	NJ	NUP	N
	240	80	3	3	675	880	69 000	89 500	2 400	2 800	NU2322E	NJ	NUP	—

Anexo C: Catálogo de cadenas de rodillos.

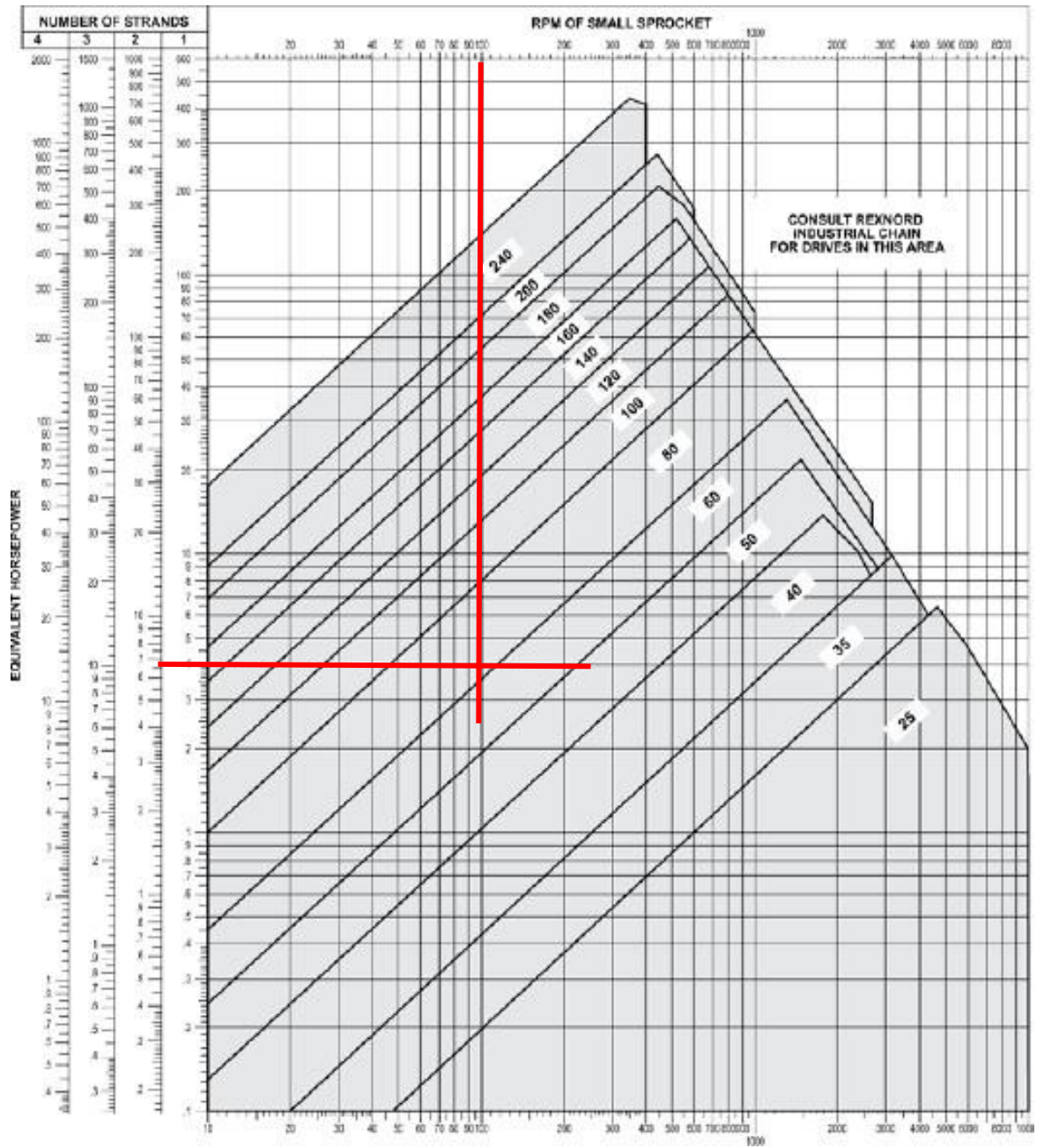


Figura: Valores de senderos de cadenas de rodillos.

Fuente: REXNORD, 2020

Number of teeth, in small sprocket	Maximum bore inches	Horsepower for single strand chain ▲																											
		RPM of small sprocket																											
		25	50	100	200	300	400	500	700	900	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2700	3000	3400								
11	1.625	0.97	1.80	3.36	6.28	9.04	11.7	14.3	19.4	23.0	19.6	14.9	11.8	9.69	8.12	6.93	6.01	5.27	4.42	3.77	1.70								
12	1.750	1.06	1.98	3.69	6.89	9.93	12.9	15.7	21.3	26.2	22.3	17.0	13.5	11.0	9.25	7.90	6.85	6.01	5.04	4.30	0								
13	2.000	1.16	2.16	4.03	7.52	10.8	14.0	17.1	23.2	29.1	25.2	19.2	15.2	12.5	10.4	8.91	7.72	6.78	5.68	4.85	0								
14	2.250	1.25	2.34	4.38	8.14	11.7	15.2	18.6	25.1	31.5	28.2	21.4	17.0	13.9	11.7	9.96	8.63	7.57	6.35	5.42	0								
15	2.563	1.35	2.52	4.70	8.77	12.6	16.4	20.0	27.1	34.0	31.2	23.8	18.9	15.4	12.9	11.0	9.57	8.40	7.04	6.01	0								
16	2.875	1.45	2.70	5.04	9.41	13.5	17.6	21.5	29.0	36.4	34.4	26.2	20.8	17.0	14.2	12.2	10.5	9.25	7.76	6.62	0								
17	3.125	1.55	2.88	5.38	10.0	14.5	18.7	22.9	31.0	38.9	37.7	28.7	22.7	18.6	15.6	13.3	11.5	10.1	8.49	7.25	0								
18	3.375	1.64	3.07	5.72	10.7	15.4	19.9	24.4	33.0	41.4	41.1	31.2	24.8	20.3	17.0	14.5	12.6	11.0	9.25	7.90	0								
19	3.688	1.74	3.25	6.07	11.3	16.3	21.1	25.8	35.0	43.8	44.5	33.9	26.9	22.0	18.4	15.7	13.6	12.0	10.0	8.57	0								
20	3.813	1.84	3.44	6.41	12.0	17.2	22.3	27.3	37.0	46.3	48.1	36.6	29.0	23.8	19.9	17.0	14.7	12.9	10.8	0	-								
21	4.125	1.94	3.62	6.76	12.6	18.2	23.5	28.8	39.0	48.9	51.7	39.4	31.2	25.6	21.4	18.3	15.9	13.9	11.7	0	-								
22	4.438	2.04	3.81	7.11	13.3	19.1	24.8	30.3	41.0	51.4	55.5	42.2	33.5	27.4	23.0	19.6	17.0	14.9	12.5	0	-								
23	4.625	2.14	4.00	7.46	13.9	20.1	26.0	31.8	43.0	53.9	59.3	45.1	35.8	29.3	24.6	21.0	18.2	15.9	13.4	0	-								
24	4.688	2.24	4.19	7.81	14.6	21.0	27.2	33.2	45.0	56.4	62.0	48.1	38.2	31.2	26.2	22.3	19.4	17.0	14.2	0	-								
25	4.750	2.34	4.37	8.16	15.2	21.9	28.4	34.7	47.0	59.0	64.8	51.1	40.6	33.2	27.8	23.8	20.6	18.1	15.1	0	-								
28	5.375	2.65	4.94	9.23	17.2	24.8	32.1	39.3	53.2	66.7	73.3	60.6	48.1	39.4	33.0	28.2	24.4	21.4	0	-	-								
30	5.750	2.85	5.33	9.94	18.5	26.7	34.6	42.3	57.3	71.8	78.9	67.2	53.3	43.6	36.6	31.2	27.1	23.8	0	-	-								
32	6.313	3.06	5.71	10.7	19.9	28.6	37.1	45.4	61.4	77.0	84.6	74.0	58.7	48.1	40.3	34.4	29.8	26.2	0	-	-								
35	7.750	3.37	6.29	11.7	21.9	31.6	40.9	50.0	67.6	84.8	93.3	84.7	67.2	55.0	46.1	39.4	34.1	0	-	-	-								
40	9.375	3.89	7.27	13.6	25.3	36.4	47.2	57.7	78.1	99.01	108	103	82.1	67.2	56.3	48.1	20.0	0	-	-	-								
Lubrication type ■	A	B							C																				

Figura: Potencia para cadenas de una hilera.

Fuente: REXNORD, 2020

Dimensions							Type A	Type B	Type C	Multiple Width				
Number of teeth	Pitch diameter, inches	Root diameter, inches	Outside diameter, inches Δ	Maximum hub and groove diameter, inches	Maximum bore with standard keyseat, inches ▲	S max., inches	Number of teeth	Pitch diameter, inches	Root diameter, inches	Outside diameter, inches Δ	Number of teeth	Pitch diameter, inches	Root diameter, inches	Outside diameter, inches Δ
8	2.613	1.988	3.014	1.38	.875	.563	46	14.654	14.029	15.219	84	26.744	26.119	27.326
9	2.924	2.299	3.347	1.72	1.188	.719	47	14.972	14.347	15.538	85	27.063	26.437	27.644
10	3.236	2.611	3.678	2.05	1.313	.813	48	15.290	14.665	15.857	86	27.381	26.756	27.962
11	3.549	2.924	4.006	2.38	1.625	1.000	49	15.608	14.983	16.176	87	27.699	27.074	28.281
12	3.864	3.239	4.332	2.70	1.750	1.063	50	15.926	15.301	16.495	88	28.017	27.392	28.599
13	4.179	3.554	4.657	3.02	2.000	1.250	51	16.244	15.619	16.813	89	28.335	27.710	28.918
14	4.494	3.869	4.982	3.34	2.250	1.375	52	16.562	15.937	17.132	90	28.654	28.029	29.236
15	4.810	4.185	5.305	3.67	2.563	1.594	53	16.880	16.255	17.451	91	28.972	28.347	29.554
16	5.126	4.501	5.627	3.98	2.875	1.813	54	17.198	16.573	17.769	92	29.290	28.665	29.873
17	5.442	4.817	5.950	4.31	3.125	1.938	55	17.517	16.892	18.088	93	29.608	28.983	30.191
18	5.759	5.134	6.271	4.54	3.375	2.125	56	17.836	17.210	18.406	94	29.926	29.301	30.510
19	6.076	5.451	6.593	4.95	3.688	2.281	57	18.153	17.528	18.725	95	30.245	29.620	30.828

Figura: Dimensiones de catalinas modelo 80.

Fuente: REXNORD, 2020

Anexo D: Diagrama de funciones de la máquina volteadora de compost.

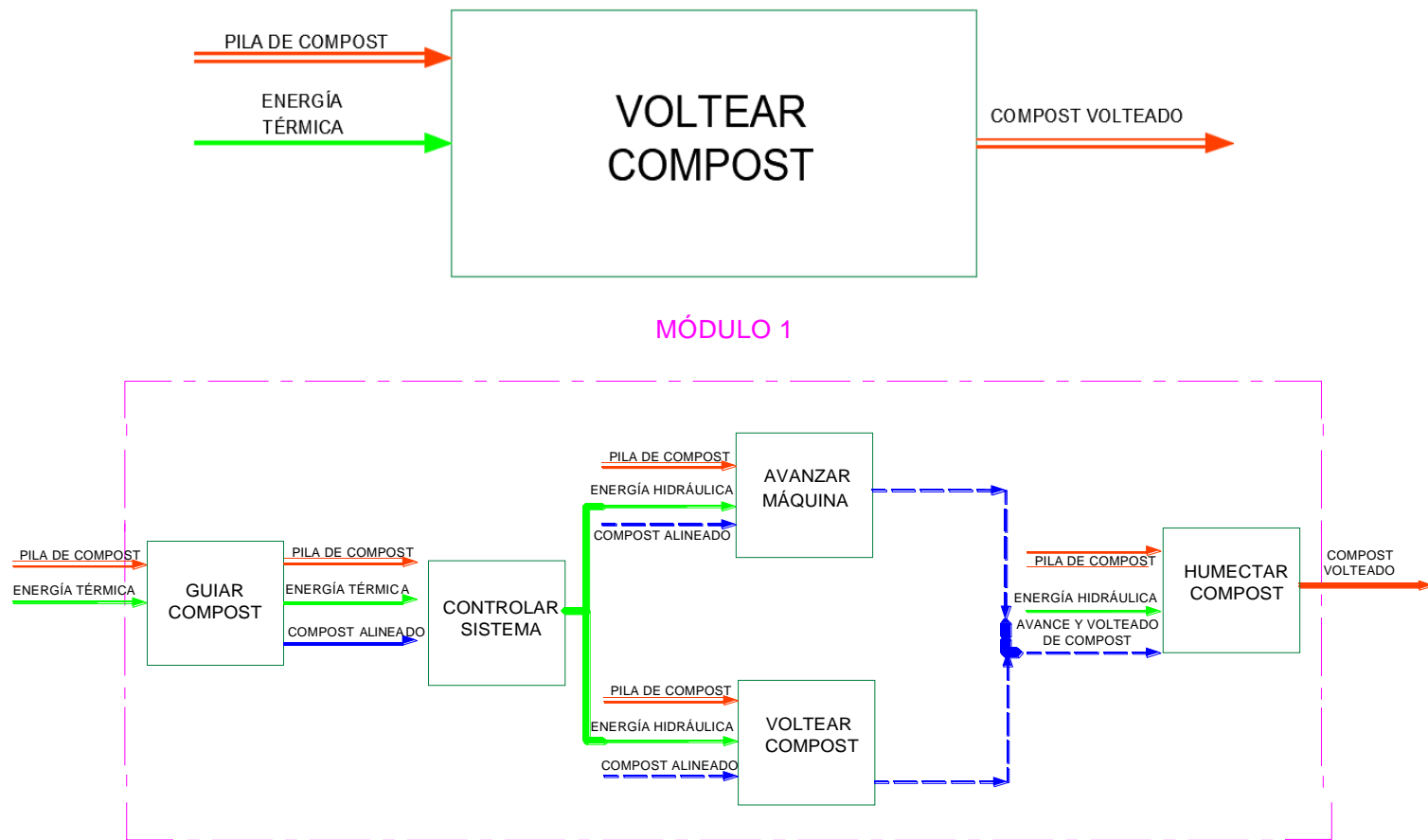
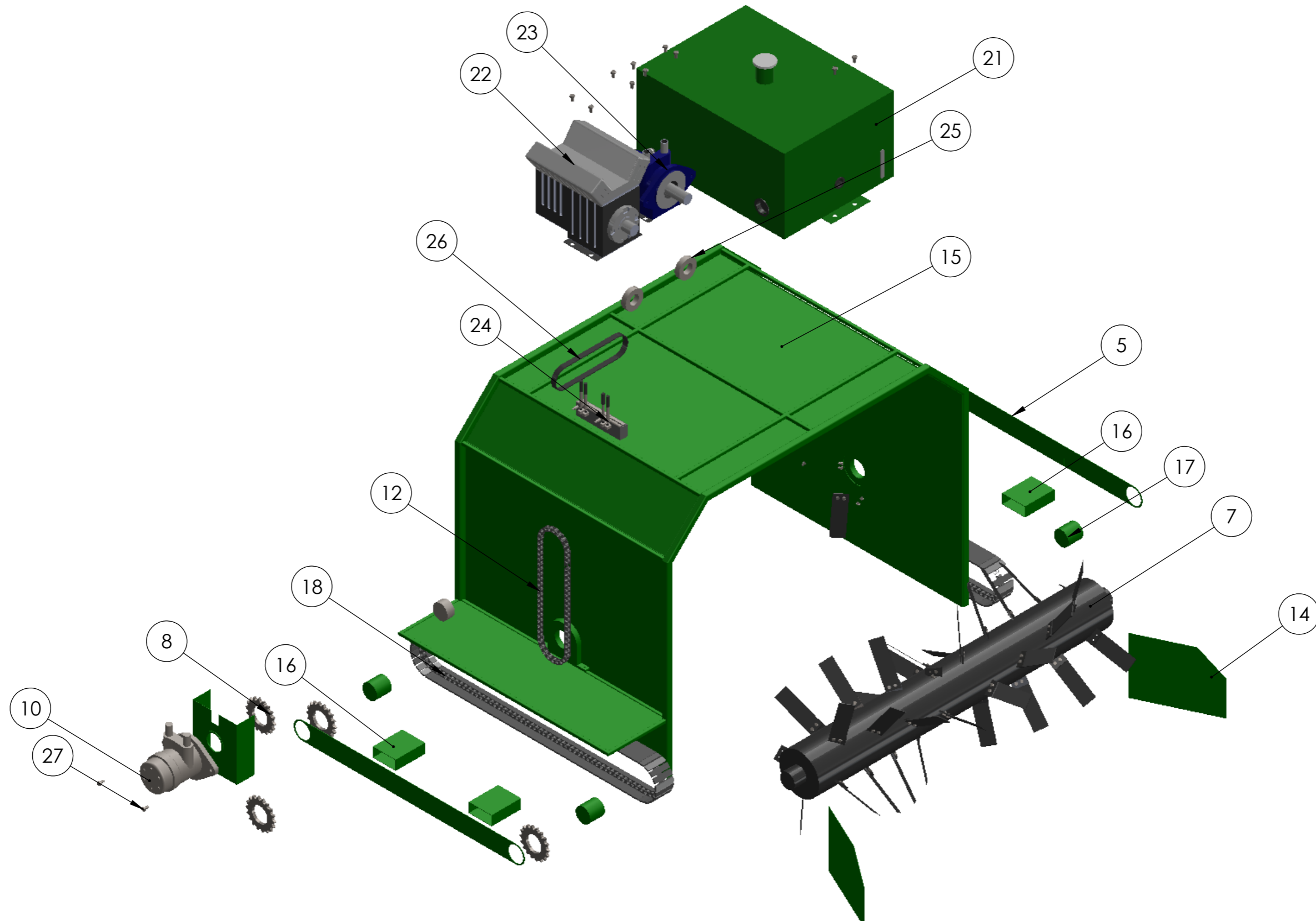


Figura: Estructura funcional.

Fuente: Barragan & Merino, 2021

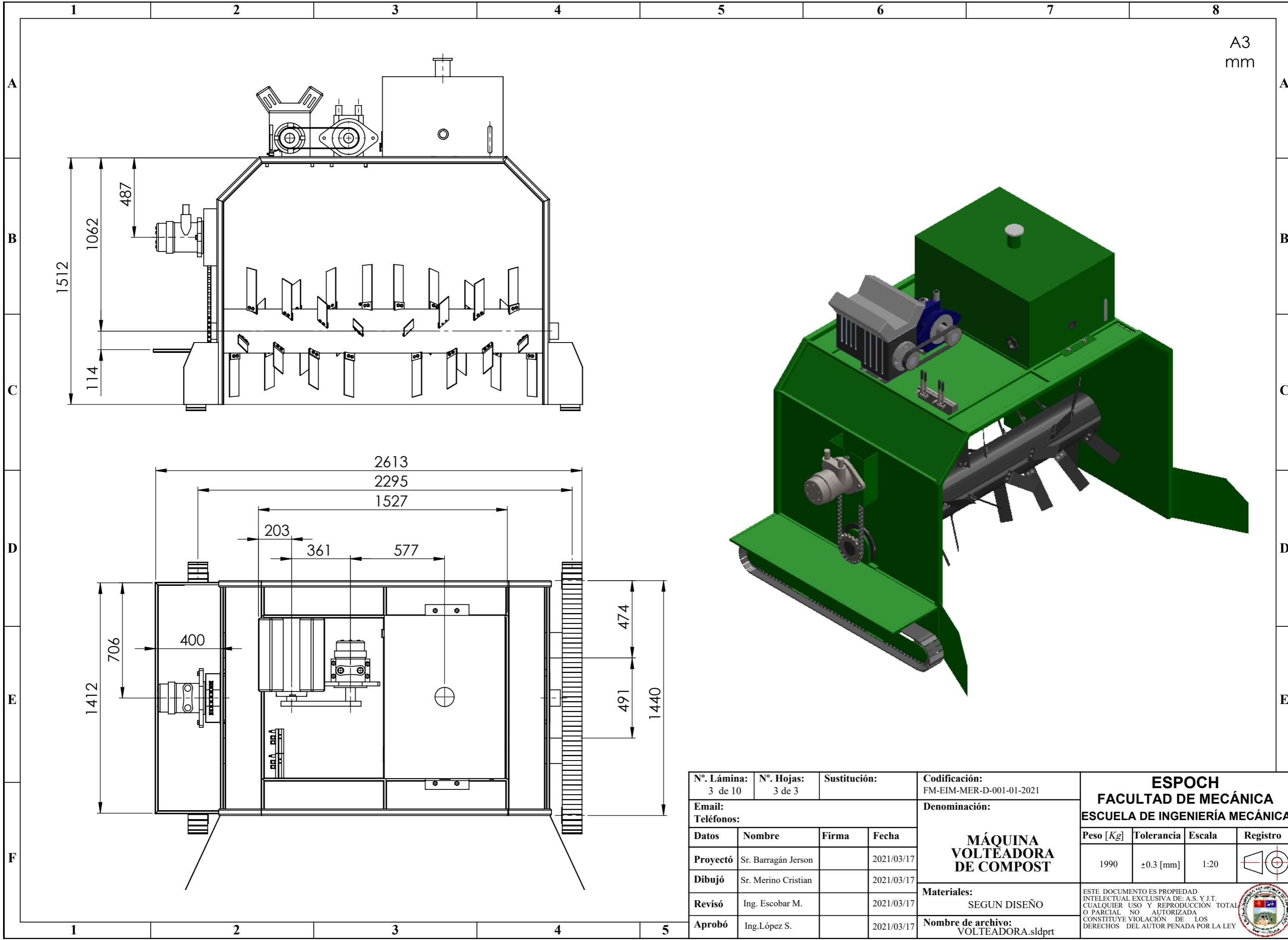


N°. Lámina: 1 de 10		N°. Hojas: 1 de 3		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2021		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email: Teléfonos:				Denominación: MÁQUINA VOLTEADORA DE COMPOST											
Datos		Nombre		Firma		Fecha		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Proyectó		Sr. Barragán Jerson				2021/03/17		1990		±0.3 [mm]		1:20			
Dibujó		Sr. Merino Cristian				2021/03/17									
Revisó		Ing. Escobar M.				2021/03/17									
Aprobó		Ing. López S.				2021/03/17									
Materiales: SEGUN DISEÑO								ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY							
Nombre de archivo: VOLTEADORA.sldprt															

	1	2	3	4
A				
	A4 mm			
B				

C	126	Perno hexagonal			27	M10x1,5	28	Catálogo
	1	Banda tipo V		Caucho	26	Long= 1300 , ancho = 40 mm, e= 4 mm	4	Catálogo
	2	Polea		Fundición	25	D.int= 40 mm y D.ext= 70mm	30	Catálogo
	3	Válvula direccional		AISI 304	24	4WE 10G	67,50	catálogo
	1	Bomba hidráulica		Fundición	23	400x350x200	75	Catálogo
D	1	Motor de combustion interna		Fundición	22	1100x800x500	244	Catálogo
	1	Tanque de aceite		ASTM A36	21	1000x1000x340	110	Corte y Doblado
	2	Zapata de oruga		Hardox 450	18	Placa 125x30x10	230	Corte
	4	Eje oruga		AISI 4340	17	Diámetro 4 plg	48	Torneado
	1	Estructura metálica		ASTM A36	15	Plancha de 3 mm	557	Corte
	2	Placa alineamiento		ASTM A36	14	Plancha 3 mm	28,75	Corte
	3	Cadena de rodillos		ASTM A36	12	110 eslabones	96,60	Catálogo
	3	Motor hidráulico		KF 300	10	(2-900)rev/min 970 Nm	378	Catálogo
	6	Catalinas	AGMA	Fundición	8	Numero 80	120	Catálogo
	1	Eje rotor		ASTM A36	7	Plancha 12 mm	749	Corte-Rolado
E	2	Protección sistema oruga	CPE INEN 003	ASTM A36	5	Plancha de 3 mm	59	Corte
	N° de pieza	Denominación	N° de norma/dibujo	Material	N° de orden	N° del modelo/semiproducto	Peso Kg/pieza	Observaciones

N°. Lámina: 2 de 10	N°. Hojas: 2 de 3	Sustitución:	Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2015	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
Email: Teléfonos:			Denominación: LISTA MATERIALES		Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro	
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ASTM A36		1990	±0.3 [mm]	1:10	
Proyectó	Sr. Barragán J.		2021/03/16	Nombre de archivo: LISTA_MATERIALES.sldprt		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Dibujó	Sr. Merino C.		2021/03/16						
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/03/16						
Aprobó	Ing. López S.		2021/03/16						

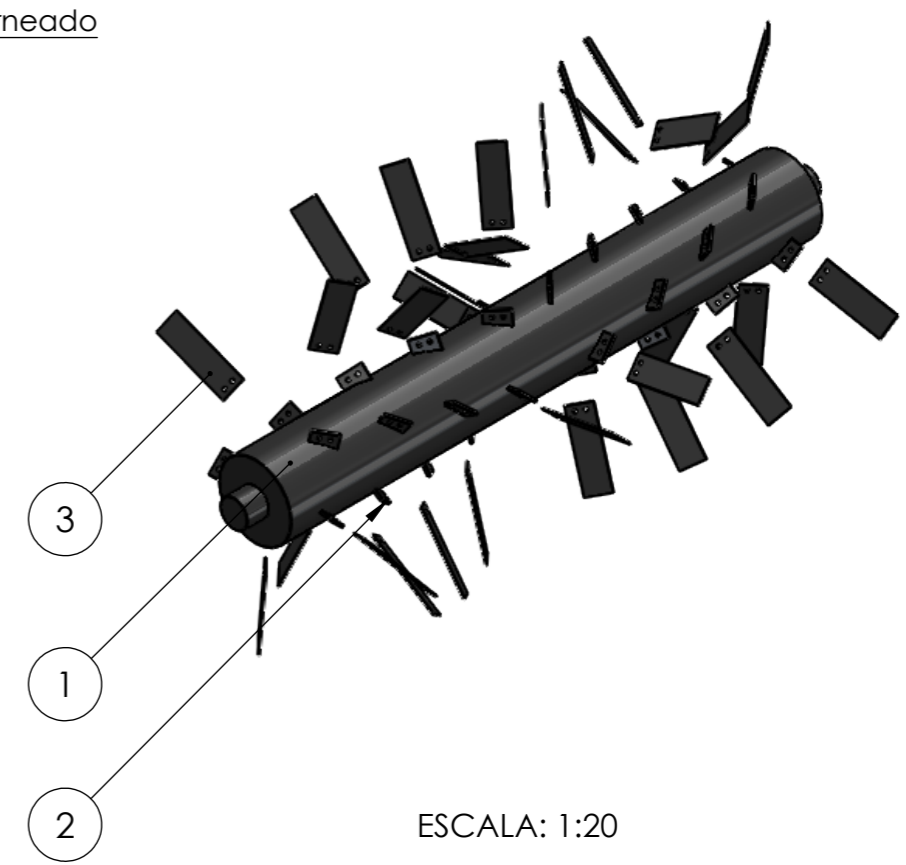
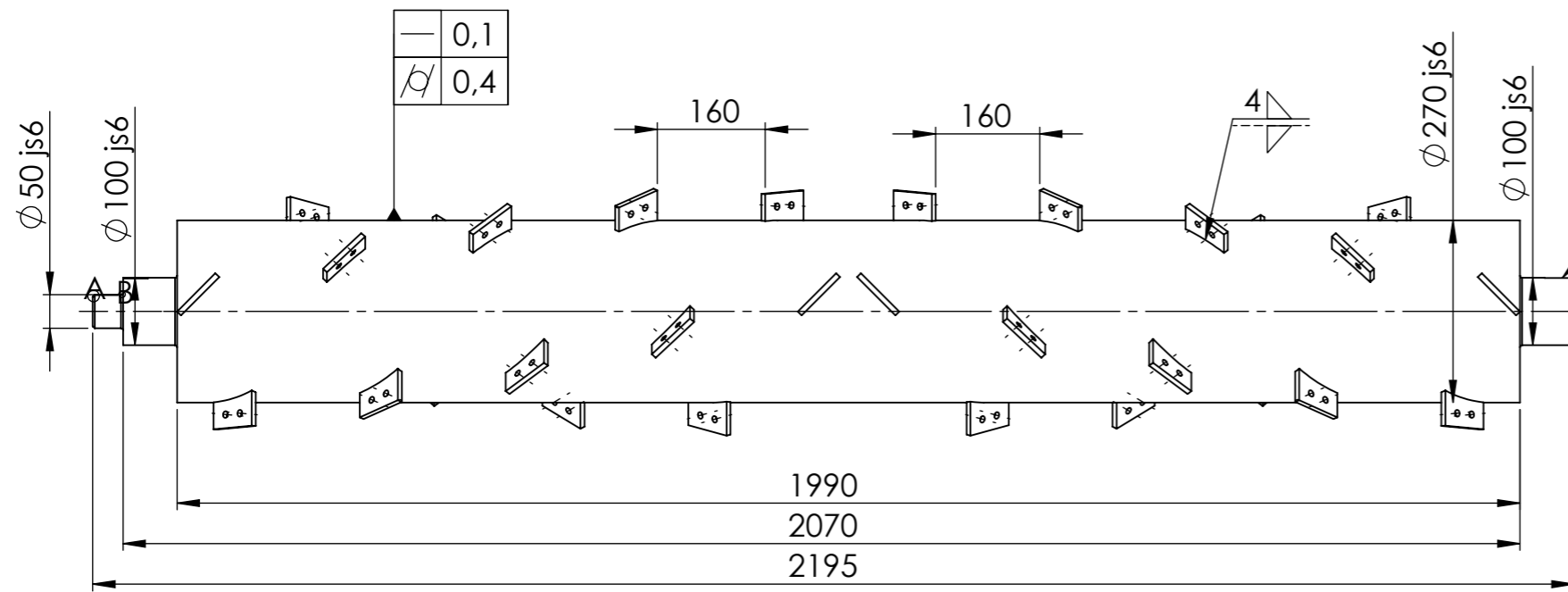


A3
mm

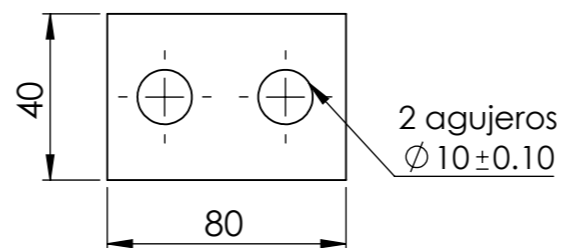
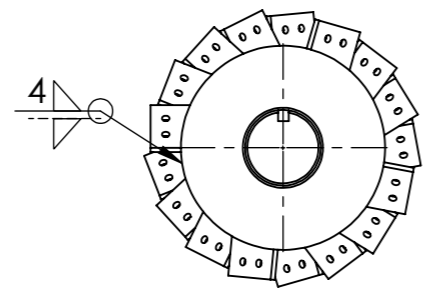
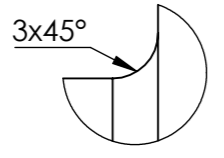
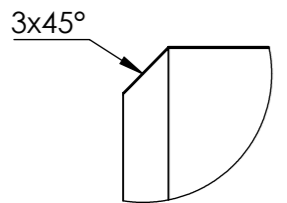
Nº. Lámina: 3 de 10		Nº. Hojas: 3 de 3		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2021		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email: Teléfonos:				Denominación: MÁQUINA VOLTEADORA DE COMPOST								Peso [Kg]		Tolerancia	
Proyectó		Sr. Barragán Jerson		Firma		Fecha		1990		±0.3 [mm]		1:20			
Dibujó		Sr. Merino Cristian		Firma		Fecha		1990		±0.3 [mm]		1:20			
Revisó		Ing. Escobar M.		Firma		Fecha		1990		±0.3 [mm]		1:20			
Aprobó		Ing. López S.		Firma		Fecha		1990		±0.3 [mm]		1:20			
Materiales: SEGUN DISEÑO								ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY							
Nombre de archivo: VOLTEADORA.sldprt															

1. EJE ROTOR (1 unidad)

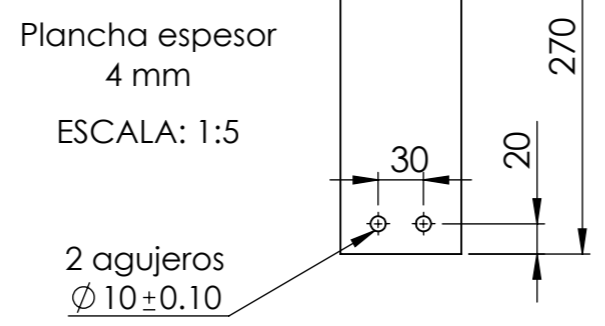
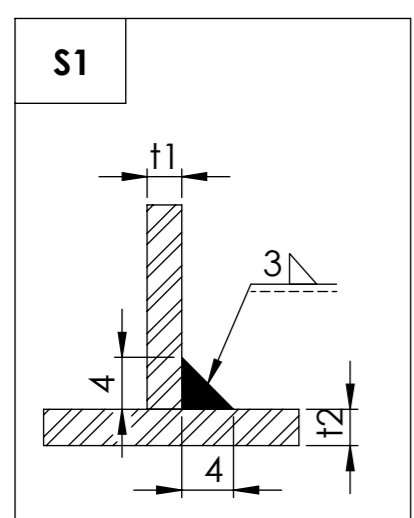
A3 mm



2. PLACA SOPORTE (36 unidades)



3. PALETA (36 unidades)



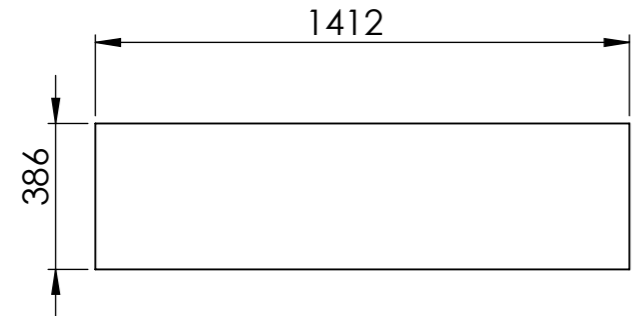
Nota:

Diámetro	Simbología	Valor máximo	Valor mínimo
50	js6	50,01	49,99
100	js6	100,01	99,99
270	js6	270,01	269,99

Helice distribución de paletas : paso rosca= 230 mm y 8 revoluciones sentido horario.

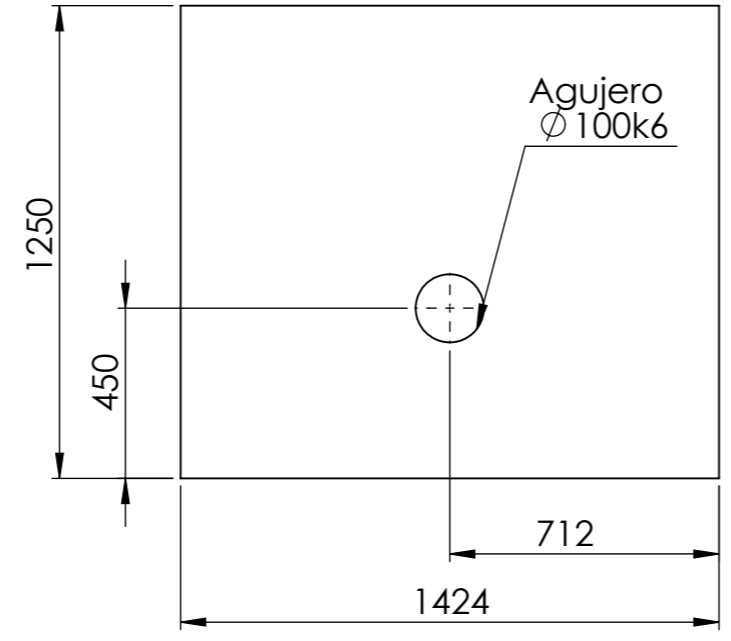
Nº. Lámina: 4 de 10	Nº. Hojas: 1 de 1	Sustitución:	Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2021	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Email: Teléfonos:			Denominación: EJE ROTOR					Peso [Kg]
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ASTM A 36 Nombre de archivo: EJE_ROTOR.sldprt				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY
Proyectó	Sr. Barragán Jerson		2021/03/17					
Dibujó	Sr. Merino Cristian		2021/03/17					
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/03/17					
Aprobó	Ing. López S.		2021/03/17					





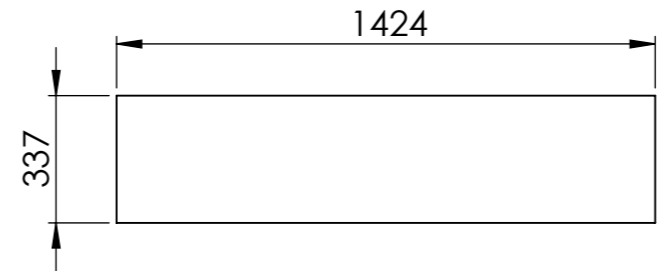
2.PLACA OPERADOR
(1 unidad)

Plancha espesor
3 mm
ESCALA: 1:20



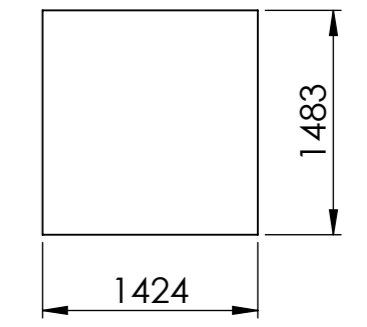
3.PLACA LATERAL
(2 unidad)

Plancha espesor
3 mm
ESCALA: 1:20



4. PLACA CUBIERTA
(2 unidad)

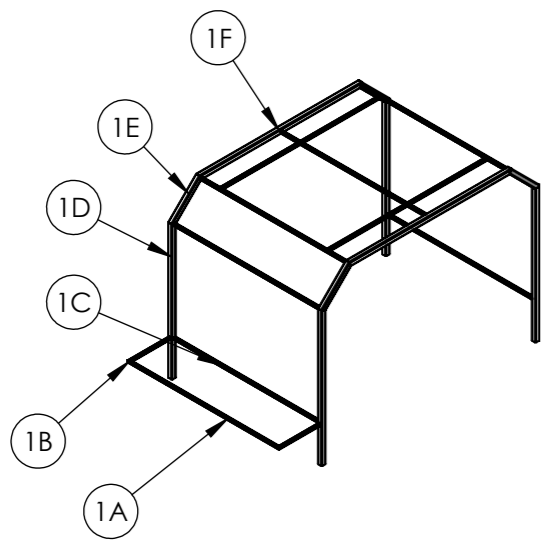
Plancha espesor
3 mm
ESCALA: 1:20



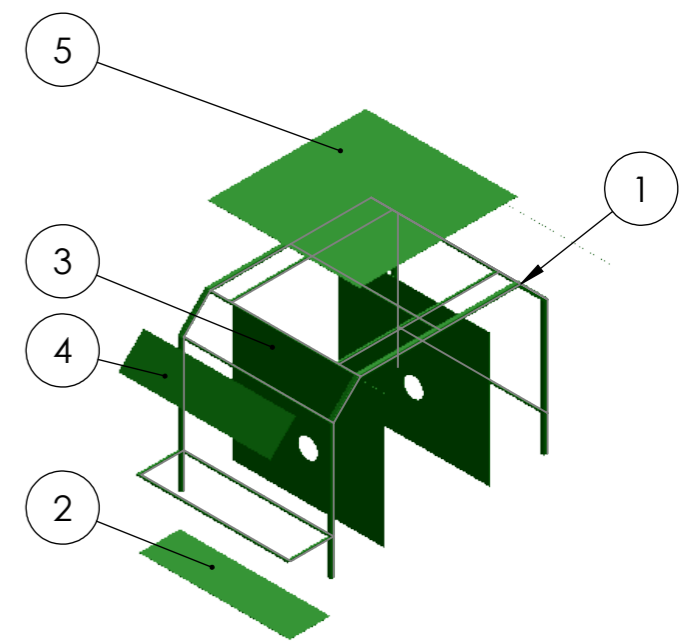
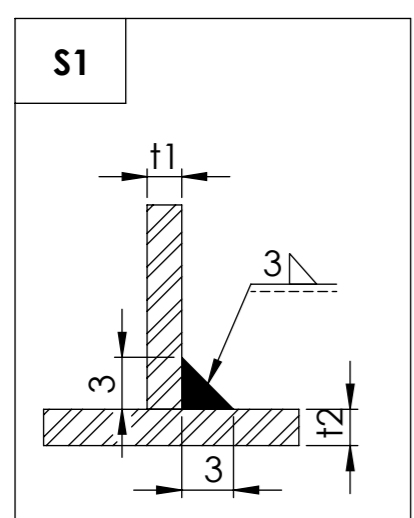
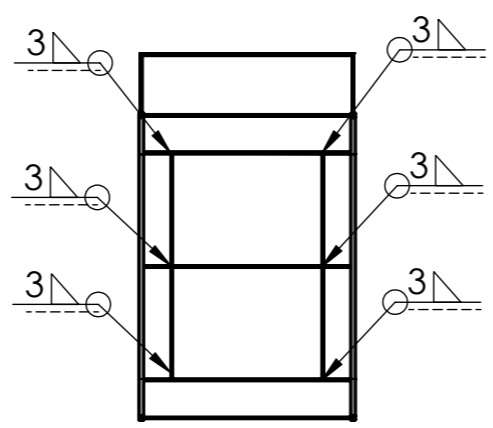
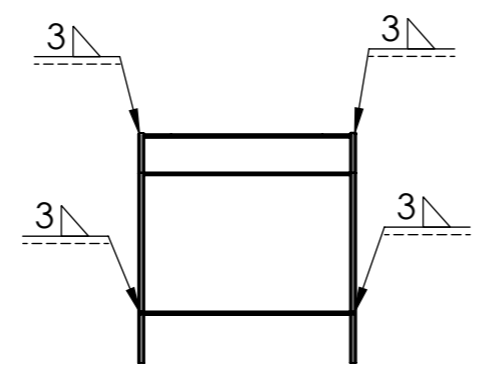
5.PLACA SUPERIOR
(1unidad)

Plancha espesor
3 mm
ESCALA: 1:50

1. ESTRUCTURA PRINCIPAL
(1 unidad)



ESCALA: 1:50

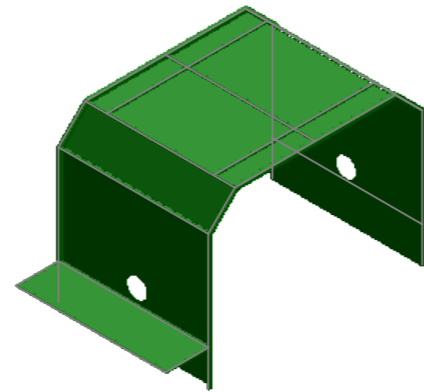
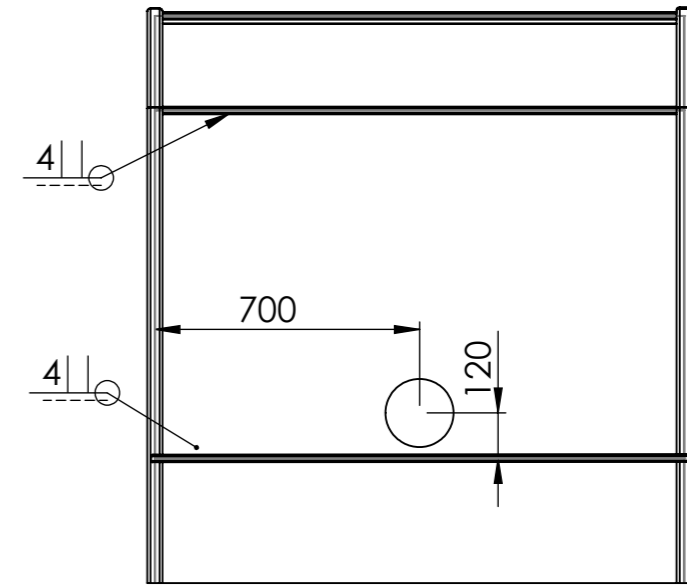
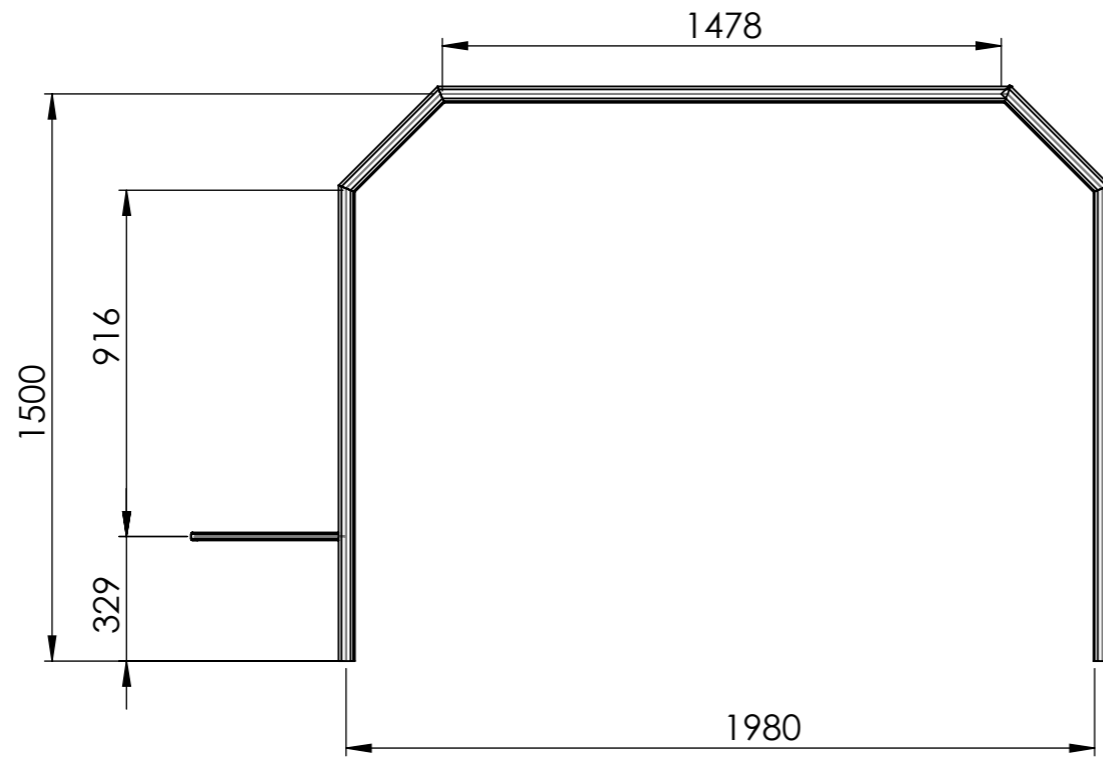


Escala: 1:50

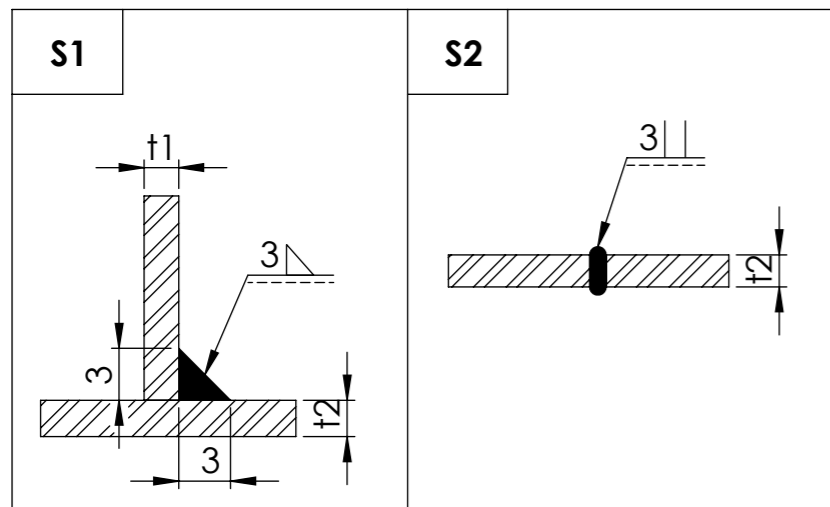
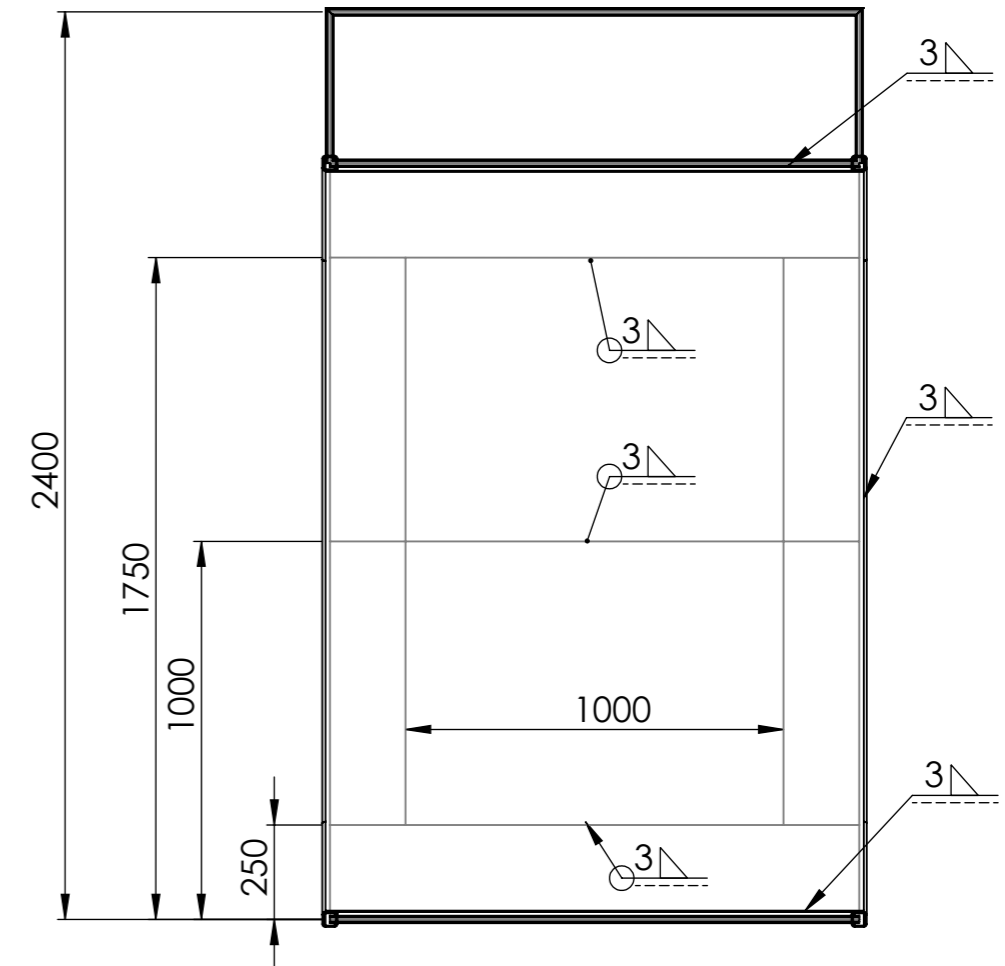
ID	Perfil Estructural	Cantidad	Longitud
1A	40X40X2	6	1400
1B	40X40X2	2	400
1C	C 100X50X1,5	4	1400
1D	C 100X50X1,5	4	1250
1E	C 100X50X1,5	4	250
1F	C 100X50X1,5	2	1500

Nº. Lámina: 5 de 10		Nº. Hojas: 1 de 2		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2021		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:				Denominación: ESTRUCTURA METÁLICA							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ASTM A 36				425	±0.3 [mm]	1:20	
Proyectó	Sr. Barragán Jerson		2021/03/17								
Dibujó	Sr. Merino Cristian		2021/03/17								
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/03/17								
Aprobó	Ing. López S.		2021/03/17	Nombre de archivo: ESTRUCTURA.sldprt				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			





Escala: 1:20



Nº. Lámina: 6 de 10		Nº. Hojas: 2 de 2		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2021		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:				Denominación: ESTRUCTURA METÁLICA							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ASTM A 36 Nombre de archivo: ESTRUCTURA.sldprt				425	±0.3 [mm]	1:20	
Proyectó	Sr. Barragán Jerson		2021/03/17								
Dibujó	Sr. Merino Cristian		2021/03/17								
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/03/17								
Aprobó	Ing. López S.		2021/03/17					ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			



1

2

3

4

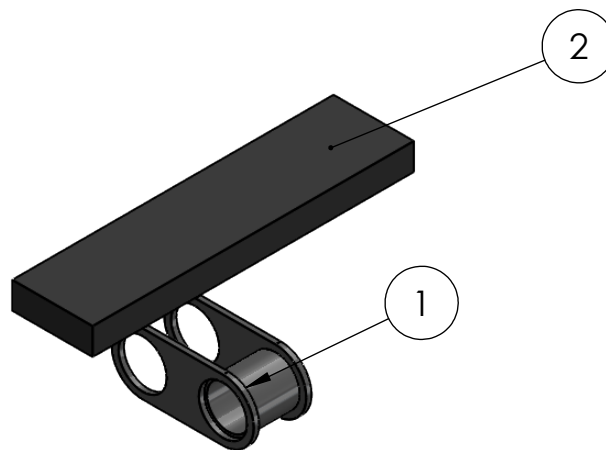
A

B

C

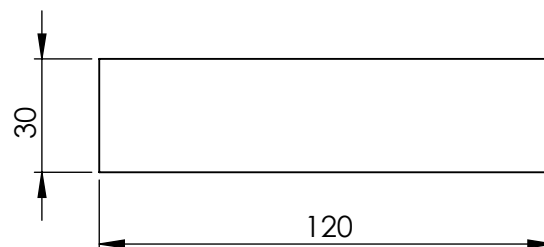
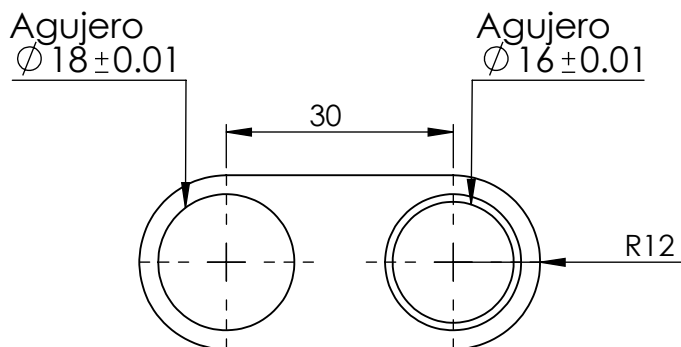
D

E



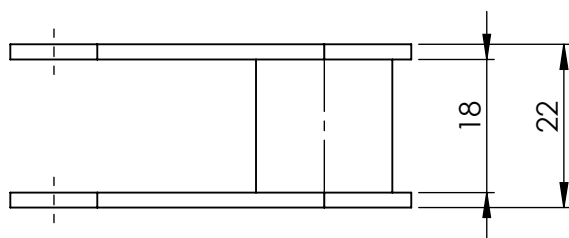
**1.ESLABÓN
(110 unidades)**

**2.ZAPATA
(110 unidades)**



Espesor de placa 10 mm

Escala:1:2



Escala:1:1

N°. Lámina: 7 de 10		N°. Hojas: 1 de 2		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2015		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:						Denominación: ESLABÓN TIPO ZAPATA					
Datos	Nombre	Firma	Fecha			Materiales: ASTM A36		42,9	±0.3 [mm]	1:2	
Proyectó	Sr. Barragán J.		2021/03/16			Nombre de archivo: ESLABON_ORGUA.sldprt		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Dibujó	Sr. Merino C.		2021/03/16								
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/03/16								
Aprobó	Ing. López S.		2021/03/16								

1

2

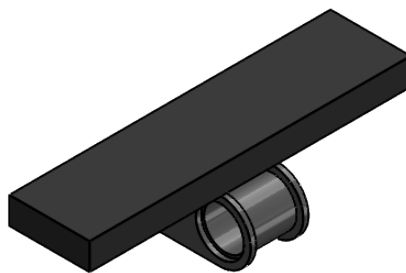
3

4

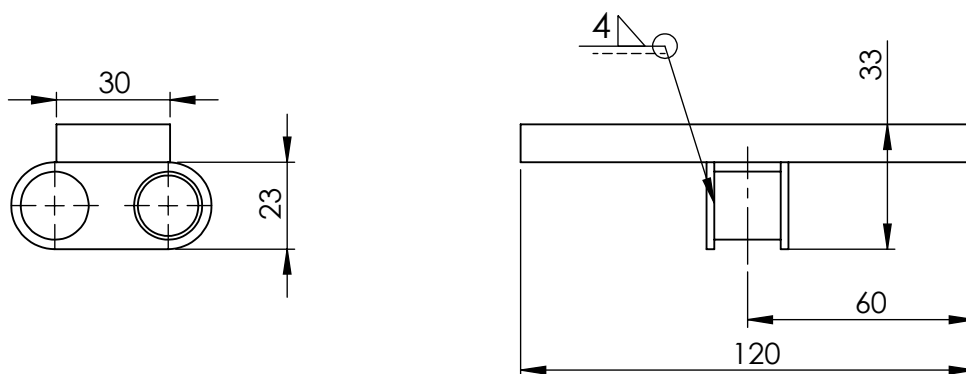
A4
mm

A

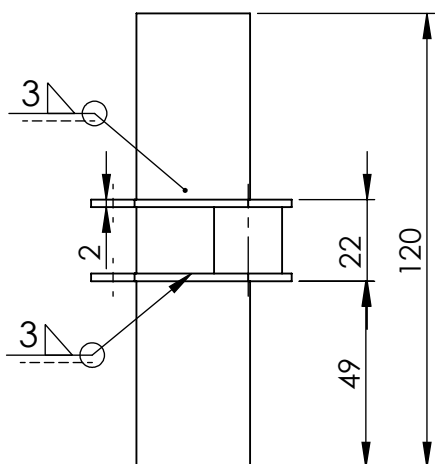
B



C



D



E

N°. Lámina: 8 de 10		N°. Hojas: 2 de 2		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2015		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email: Teléfonos:						ESLABÓN TIPO ZAPATA									
Datos		Nombre		Firma								Fecha		Peso [Kg]	
Proyectó		Sr. Barragán J.				2021/03/16		42,9		±0.3 [mm]		1:2			
Dibujó		Sr. Merino C.				2021/03/16									
Revisó		Ing. Escobar M.				2021/03/16		Materiales: ASTM A36		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Aprobó		Ing. López S.				2021/03/16		Nombre de archivo: ESLABON_ORGUA.sldprt							

1

2

3

4

A4
mm

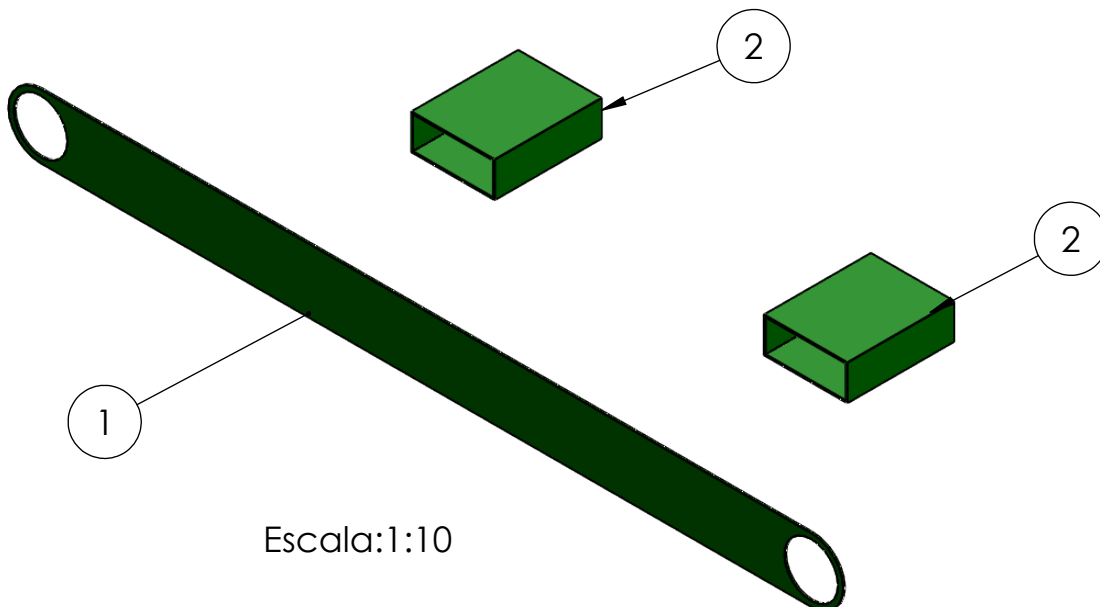
A

B

C

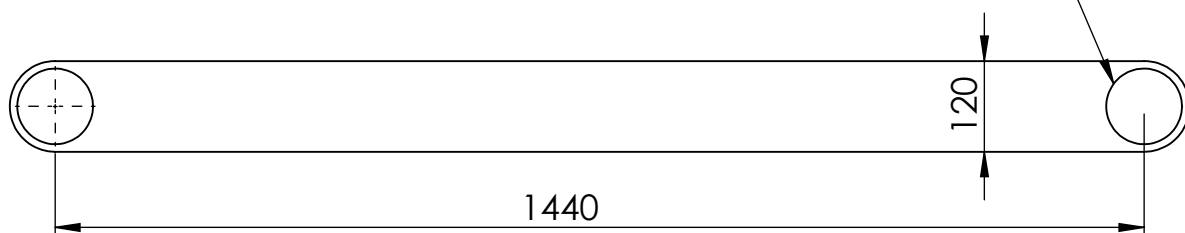
D

E



Escala:1:10

1. BARRA PROTECTORA (1 unidad)

2 Agujeros
 $\phi 50 \pm 0.02$ 

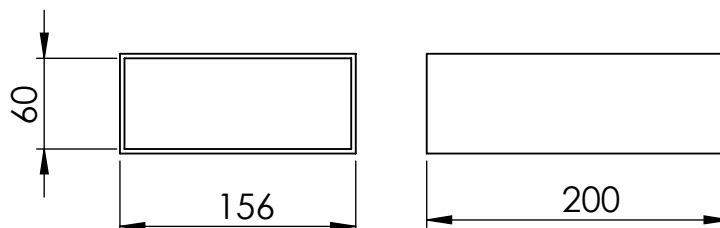
1440

120

Espesor de placa 3 mm

Escala:1:10

2. PERFIL DE UNIÓN (2 unidades)



Espesor 2 mm

Escala:1:5

N°. Lámina: 9 de 10		N°. Hojas: 1 de 2		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2015		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:						Denominación: PROTECCIÓN DE SISTEMA ORUGA					
Datos	Nombre	Firma	Fecha					76,50	± 0.3 [mm]	1:2	
Proyectó	Sr. Barragán J.		2021/03/16								
Dibujó	Sr. Merino C.		2021/03/16								
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/03/16			Materiales: ASTM A36		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Aprobó	Ing. López S.		2021/03/16			Nombre de archivo: PROTECCION_ORUGA.sldprt					

1

2

3

4

A4
mm

A

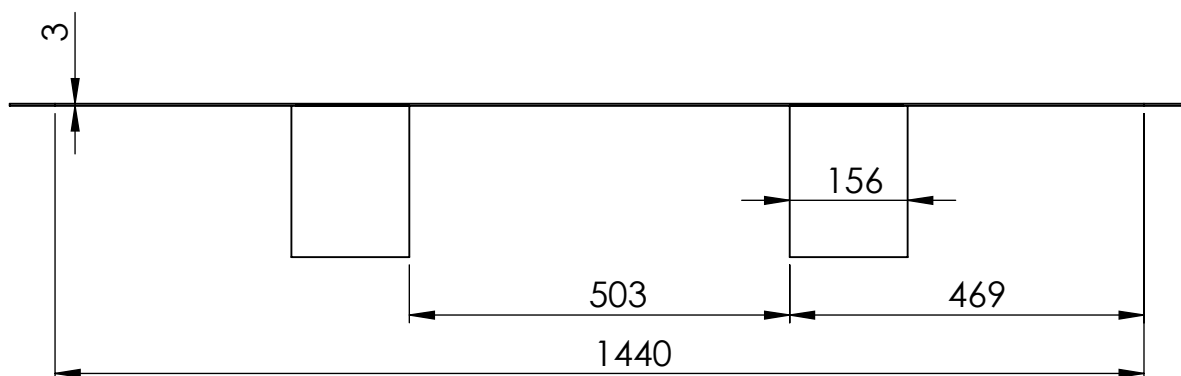
B

Escala:1:10

C

D

E



N°. Lámina: 10 de 10		N°. Hojas: 2 de 2		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2015		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:						Denominación: PROTECCIÓN DE SISTEMA ORUGA					
Datos	Nombre	Firma	Fecha					76,50	±0.3 [mm]	1:10	
Proyectó	Sr. Barragán J.		2021/03/16								
Dibujó	Sr. Merino C.		2021/03/16								
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/03/16			Materiales: ASTM A36		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Aprobó	Ing. López S.		2021/03/16			Nombre de archivo: PROTECCION_ORUGA.sldprt					



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 27 / 07 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Jerson Alexander Barragán Andrade Cristian Paúl Merino Nogales</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Mecánica</i>
Carrera: <i>Ingeniería Mecánica</i>
Título a optar: <i>Ingeniera Mecánica</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.</i>

**LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**

Firmado digitalmente por
LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Nombre de reconocimiento
(DN): c=EC, l=BOBAMBA,
serialNumber=0602768374,
cn=LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS
Fecha: 2021.07.27 18:15:03
-05'00'



1362-DBRA-UTP-2021