

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA HOMOGENEIZADORA DE SUELOS PARA EL
LABORATORIO DE SUELOS DEL PROGRAMA DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA.**



ROBINSON DANIEL RIVERA SÁNCHEZ

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

MONTERÍA – CÓRDOBA

2020

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA HOMOGENEIZADORA DE SUELOS PARA
EL LABORATORIO DE SUELOS DEL PROGRAMA DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA.**

ROBINSON DANIEL RIVERA SÁNCHEZ

**Trabajo de grado presentado en la modalidad de trabajo de investigación y
extensión como requisito para optar por el título de Ingeniero Mecánico.**

Director de proyecto

Ing. VALERY JOSÉ LANCHEROS SUÁREZ, MSc

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

MONTERÍA – CÓRDOBA

2020

LA RESPONSABILIDAD ÉTICA, LEGAL Y CIENTÍFICA DE LAS IDEAS,
CONCEPTOS Y RESULTADOS DEL PRESENTE PROYECTO SERÁN
RESPONSABILIDAD DE LOS AUTORES.

Artículo 61, acuerdo N° 093 del 26 de noviembre de 2002 del consejo superior.

Nota de aceptación:

M.Sc. VALÉRY JOSÉ LANCHEROS SUÁREZ

Director

M.Sc. DEMÓSTENES JOSÉ DURANGO ÁLVAREZ

Jurado

Ph.D. JORGE MARIO MENDOZA FANDIÑO

Jurado

Montería, 2020

Dedicado en memoria a José David Moreno Martínez por ser un compañero excelente, en todos los aspectos. Lo seguiremos extrañando. (8-11-19)

Robinson D. Rivera S.

Doy gracias a todos los ingenieros del programa de ingeniería mecánica, a todos esos educadores que me formaron, en voluntad y vocación. En la persona que soy hoy y el profesional que me he convertido, gracias al apoyo de mi familia y a todas esas personas que en el transcurso de mis estudios en la universidad siempre estuvieron ahí para mí, para darme la mano cuando lo necesitaba.

Robinson D. Rivera S.

CONTENIDO

1	GENERALIDADES.....	1
1.1.	RESUMEN.	1
1.2.	ABSTRACT.....	2
1.3.	INTRODUCCIÓN.....	3
1.4.	OBJETIVOS.....	5
1.4.1.	<i>Objetivo General.</i>	5
1.4.2.	<i>Objetivos Específicos.</i>	5
2	REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	6
2.1.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.1.	HOMOGENEIZACIÓN	6
2.1.1.1	TÉCNICAS DE HOMOGENEIZACIÓN	6
2.1.1.2	MÉTODOS QUÍMICOS Y BIOQUÍMICOS	6
2.1.2.	HOMOGENEIZADOR.....	7
2.1.2.1	CLASIFICACIÓN.....	7
2.1.2.1.1	MÉTODOS MANUALES.....	7
2.1.2.1.2	HOMOGENEIZADORES ULTRASÓNICOS	8
2.1.2.1.3	HOMOGENEIZADORES DE ROTOR Y ESTATOR	8
2.1.2.1.4	HOMOGENEIZADORES DE ALTA PRESIÓN	9
2.1.2.1.5	HOMOGENEIZADORES BEAD MILL.....	10
2.2	ESTADO DEL ARTE	10
2.3	MARCO CONCEPTUAL.....	12
2.3.1	EJE	12
2.3.2	RODAMIENTO O COJINETES.....	12
2.3.3	MOTOR ELÉCTRICO.....	12
2.3.4	CADENA Y PIÑONES	13

3. MATERIALES Y MÉTODOS.	13
3.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES.	13
3.2 <i>Alternativas de diseño.</i>	14
3.2.1 <i>Homogeneizador de tornillo sin fin en tanque horizontal.</i>	14
3.2.1.1 <i>Ventajas.</i>	14
3.2.2 <i>Homogeneizador rotativo en V.</i>	15
3.2.2.1 <i>Ventajas.</i>	15
3.2.2.2 <i>Desventajas.</i>	15
3.2.3 <i>Homogeneizador rotativo en V.</i>	15
3.2.3.1 <i>Ventajas.</i>	15
3.2.3.2 <i>Desventajas.</i>	15
3.3 <i>Evolución de diseño.</i>	15
3.4 <i>Alternativa final.</i>	19
3.5 COMPONENTES DEL DISPOSITIVO.	22
3.5.1 <i>Recipiente.</i>	22
3.5.1.1. <i>Dimensionamiento del recipiente.</i>	22
3.5.1.2. <i>Análisis del espesor del recipiente.</i>	24
3.5.2. <i>Sistema de mezclado.</i>	29
3.5.2.1 <i>Dimensionamiento de la paleta.</i>	29
3.5.2.2 <i>Análisis de cargas sobre la paleta.</i>	30

3.5.2.3 Punto crítico de la paleta.....	33
3.5.2.4 Análisis estático de la paleta.....	34
3.5.2.5 Análisis de fatiga de la paleta.	35
3.5.2.6 Límite de resistencia a la fatiga de la paleta.....	37
3.5.2.7 Factor de seguridad para el análisis de fatiga de la Paleta	40
3.5.3. Análisis del eje de la paleta.....	42
3.5.3.1 Análisis de cargas del eje de la paleta.	42
3.5.3.2 Punto crítico del eje de la paleta.	46
3.5.3.3 Análisis estático del eje de la paleta.	46
3.5.3.4 Análisis de fatiga del eje de la paleta.....	47
3.5.3.5 Límite de resistencia a la fatiga del eje de la paleta.	49
3.5.3.6 Factor de seguridad para el análisis de fatiga del eje de la Paleta.....	52
3.5.4. Selección del motor.	54
3.5.4.1 Factores para la selección del motor.....	54
3.5.4.2 Cálculo de la potencia del motor.....	54
3.5.4.3 Consumo eléctrico del motor.	54
3.5.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE REDUCCIÓN DE VELOCIDADES.	55
3.5.5.1 cajas de Reducción.	55
3.5.5.2 Sistemas de Reducción: piñón y cadena.....	56
3.5.6. DISEÑO DEL EJE CENTRAL.	57
3.5.6.1 Factores de dimensionamiento del eje central	57
3.5.6.2 análisis de carga eje central.....	57
3.5.6.3 Análisis estático del eje central	60
3.5.6.4 Análisis de fatiga del eje central	62
3.5.6.5 Límite de resistencia a la fatiga del eje central.....	64
3.5.6.6 Factor de seguridad para el análisis de fatiga del eje central.....	68
3.5.6. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA.	69
3.5.7. SOLDADURA.....	70

4. PRESUPUESTO	72
5. CONCLUSIONES	73
6. BIBLIOGRAFÍA	74
7. ANEXOS	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mortero Estándar de porcelana	7
Figura 2. Homogeneizador de Rotor	9
Figura 3. Diseño final del prototipo	14
Figura 4. Homogeneizador de tornillo sin fin en tanque horizontal.....	15
Figura 5. Homogeneizador rotativo en V	16
Figura 6. Homogeneizador horizontal con paletas planas	17
Figura 7. Primera alternativa: homogeneizador horizontal.....	18
Figura 8. Segunda alternativa: homogeneizador horizontal	19
Figura 9. Máquina homogeneizadora de suelos.....	19
Figura 10. Máquina homogeneizadora de suelos y sus componentes	21
Figura 11. Recipiente	23
Figura 12. Diagrama de media sección del recipiente.....	25
Figura 13. Diagrama con reacciones sobre el recipiente	27
Figura 14. Diagrama de la sección transversal del recipiente donde actúan las fuerzas y momento.....	27
Figura 15. Sistema de mezclado	29
Figura 16. Diagrama de la paleta del sistema de mezclado	30
Figura 17. Dimensionamiento de la paleta de mezclado	31
Figura 18. Mitad de la paleta de mezclado	31
Figura 19. Sección cuadrada de la paleta.....	31
Figura 20. Sección elíptica de la paleta	32
Figura 21. Diagrama de fuerzas, diagrama cortante y momento flector en la paleta	33
Figura 22. Punto crítico de la paleta	34
Figura 23. Diagrama de esfuerzos distribuidos sobre la paleta	34
Figura 24. Esfuerzos repetitivos que actúan sobre el sistema de mezclado	35
Figura 25. Diagrama de la línea de Goodman modificada	41

Figura 26. Diagrama de las fuerzas ejercidas sobre el eje de la paleta.....	42
Figura 27. Diagrama de fuerzas en la paleta y ángulo de inclinación.	42
Figura 28. Diagrama de cuerpo libre de la paleta en voladizo con respecto el eje x.....	43
Figura 29. Diagrama de cuerpo libre de la paleta en voladizo con respecto el eje z.....	43
Figura 30. Diagrama de fuerzas, diagrama cortante y momento flector en el eje de la paleta en x.....	45
Figura 31. Diagrama de fuerzas, diagrama cortante y momento flector en el eje de la paleta en z.....	45
Figura 32. Diagrama de esfuerzos distribuidos sobre el eje de la paleta.....	46
Figura 33. Esfuerzos repetitivos que actúan sobre el eje de la paleta.....	47
Figura 34. Diagrama de fuerzas que actúan sobre el eje central.....	56
Figura 35. Diagrama de momentos que actúan sobre el eje central producto de cada paleta.....	57
Figura 36. Diagrama de fuerzas, diagrama cortante y momento flector en el eje central en y.....	58
Figura 37. Diagrama de fuerzas, diagrama cortante y momento flector en el eje central en z.....	59
Figura 38. Esfuerzos repetitivos que actúan sobre el eje central.....	61
Figura 39. Estructura o soporte metálico.....	67
Figura 40. Simulación de esfuerzos de la estructura.....	68
Figura 41. Estructura o soporte metálico.....	69
Figura 42. Cordones de soldadura de filete.....	69
Figura 43. Circulo de mohr.....	62

1 GENERALIDADES.

1.1. RESUMEN.

En respuesta a la solicitud del Laboratorio de Suelos de la Universidad de Córdoba, de aumentar la capacidad de procesamiento de muestras de suelos, se diseñó una máquina homogeneizadora de suelos siguiendo los parámetros y requerimientos dados a conocer por el laboratorio. Para lo cual se tuvo en cuenta alternativas en el mercado, que finalmente ayudaron a la selección del dispositivo homogeneizador con paletas planas, luego se analizaron los elementos que lo componen a través de estudios mecánicos, cálculos de esfuerzos y la aplicación de varios conceptos afines a la Ingeniería Mecánica, definiendo de esta forma dimensiones, materiales y la disposición o ubicación de los elementos que la conforman, todo estos componentes se plasmaron en planos para el dispositivo en general. La construcción tuvo en cuenta la mejor disposición, luego de muchas alternativas, teniendo en cuenta los procesos de manufactura conformando así la máquina homogeneizadora de suelos.

Palabras claves: procesamiento, homogeneizador, manufactura

1.2.ABSTRACT.

In response to the request of the Soil Laboratory of the University of Córdoba, to increase the capacity for processing soil samples, a soil homogenizing machine was designed following the parameters and requirements disclosed by the laboratory. For this, there were many alternatives on the market, which finally helped the selection of the homogenizing device with flat blades, then the elements that compose it were analyzed through mechanical studies, stress calculations and the application of various concepts related to the Mechanical Engineering, defining in this way dimensions, materials and the arrangement or location of the elements that make it up, all these components were reflected in plans for the device in general. The construction took into account the best disposition, after many alternatives, taking into account the manufacturing processes, thus forming the soil homogenizing machine.

1.3.INTRODUCCIÓN.

En el laboratorio de suelos del programa de Agronomía de la Universidad de Córdoba se realizan análisis de los suelos, que son una parte esencial en las actividades que lleva a cabo un programa de manejo agronómico en una producción agrícola. Entre los aspectos que se manejan se encuentran la fertilidad del suelo, disponibilidad de los nutrientes y generación de un diagnóstico ante un problema nutricional que presenta el cultivo (Duggan, 2016).

Sin un correcto análisis de suelo se está a ciegas ante la toma de decisiones en el abonado y uso de fertilizantes, la eficacia de los análisis de suelos dependerá en gran medida de la representatividad del mismo (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Corpoica, 2018). Por tal motivo, son necesarias pruebas analíticas del suelo, el laboratorio de suelos del programa de Agronomía de la Universidad de Córdoba recomienda tomar mínimo de un kg de muestra del lugar, haciendo diferentes agujeros cilíndricos a una profundidad de 200 mm en diferentes partes del terreno.

El laboratorio de suelos de la Universidad de Córdoba es uno de los pocos laboratorios del departamento de Córdoba que presta el servicio de análisis del suelo, para ello utiliza una muestra de suelo del terreno tomada en campo el proceso consta inicialmente del secado por varios días, posteriormente se hace una molienda de toda la muestra, un tamizado, una homogeneización y finalmente se analizan los diferentes parámetros, de acuerdo a lo establecido en la Norma Técnica Colombiana (INCONTEC), NTC-ISO 11464, de CALIDAD DEL SUELO. PRETRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE SUELO PARA ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.

La homogeneización de la muestra de suelo es directamente proporcional al resultado, es decir, que con una muy buena uniformidad se obtienen resultados más confiables al momento de diagnosticar el terreno; (Duggan, 2016) en el laboratorio actualmente este proceso es manual, mezclando con una espátula, pequeñas cantidades de suelo lo que dificulta la similitud de las muestras y por ende no se obtienen resultados parejos en general, dando así resultados menos confiables en los porcentajes de los parámetros presentes, el laboratorio requiere de una máquina que realice dicho proceso para asegurar la uniformidad en las muestras y así tener mayor certeza de los valores obtenidos en los análisis.

Atendiendo a esta necesidad, se plantea una mejora tecnológica en el proceso de mezclas de muestras de suelos, para que permitan el correcto desarrollo de los análisis realizados, debido a que en el mercado colombiano las máquinas diseñadas para mezclado de muestras de polvos o gránulos, también llamadas agitadores homogeneizadores, poseen un alto precio económico. La empresa “EQUIPOS Y SUMINISTROS DE LABORATORIOS KASALAB S.A.S” es proveedora del “AGITADOR HOMOGEINIZADOR EN V” con capacidad de 15 litros, cuyo valor comercial es de 21’100.000 (COP) pesos colombianos. Por tal motivo es necesario el diseño de una máquina de bajo costo que tecnifique el proceso de homogeneización en el laboratorio. Con esto se da solución al problema de muestras desiguales que se obtenían con el homogeneizado manual. Además, los estudiantes del programa de Agronomía se verán beneficiados, puesto que, podrán fortalecer sus procesos de investigación y extensión en el análisis de muestras de suelos.

1.4.OBJETIVOS.

1.4.1. Objetivo General.

- Diseñar una máquina homogeneizadora de muestras de suelo aplicando criterios de diseño mecánico para el laboratorio de suelos de la Universidad de Córdoba.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Determinar los parámetros y sistemas requeridos para la máquina homogeneizadora de suelo, a partir del estudio de modelos similares utilizados en esta aplicación.
- Diseñar, una máquina homogeneizadora bajo parámetros, sistemas y condiciones de diseño mecánico.
- Realizar un manual que contenga los procedimientos de utilización y mantenimiento de la homogeneizadora, de modo que se garantice su buen funcionamiento y la seguridad del personal que opere la máquina.

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA.

2.1. MARCO TEÓRICO.

2.1.1. Homogeneización

El término homogeneización se emplea en campos tales como la química, las ciencias agrícolas, la tecnología de los alimentos, la sociología y la biología celular, y hace referencia a un proceso por el que se hace que una mezcla presente las mismas propiedades en toda la sustancia, porque así lo muestra la regla general en la tecnología de los alimentos, y se entiende que se realiza una mejora en calidad final del producto. (Mairata, 2003)

La homogeneización es un paso muy común en la preparación de muestras biológicas antes del análisis de ácidos nucleicos y proteínas, o del estudio de células, metabolismo, agentes patógenos y otros muchos objetivos. (Mairata, 2003)

2.1.1.1 Técnicas de homogeneización

El proceso de rotura celular se puede producir por tres mecanismos:

- Fuerzas de cizalladura producidas por líquidos.
- Fuerzas de cizalladura producidas por sólidos.
- Fuerzas producidas por un mecanismo de cavitación gaseosa.

2.1.1.2. Métodos químicos y bioquímicos

- Empleo de un medio hipotónico.
- Hidrólisis enzimática.

2.1.2. Homogeneizador

Un homogeneizador es un elemento del equipamiento de laboratorio utilizado para la mezcla de distintos tipos de materiales, tales como tejidos, plantas, alimentos, suelo, y muchos otros. En Biología y Bioquímica, los homogeneizadores tratan de disgregar los tejidos y romper las células, con el menor daño a la membrana plasmática. (Mairata, 2003)

2.1.2.1. Clasificación

2.1.2.1.1. Métodos Manuales

Los métodos manuales de mezclado utilizan la fuerza mecánica aplicada por la mano con el fin de aplastar el tejido y las células. La forma más común de estos son morteros, en los que se presiona un objeto contundente duro (la mano del mortero) contra el recipiente que contiene la muestra (el mortero). Los morteros de plástico son muy baratos, sin embargo, toda la mezcla se realiza a mano, el error humano es alto, la reproducibilidad es baja, la eficacia de la mezcla es muy pobre, la repetitividad se vuelve muy tediosa y lenta. (Bellido, 2008)



Figura 1. Mortero Estándar de porcelana

Tomado de: <https://homogeneizadores.com/conoce-las-aplicaciones-de-los-homogeneizadores-de-laboratorio/>, 2020

2.1.2.1.2 Homogeneizadores Ultrasónicos

Los homogeneizadores ultrasónicos utilizan un generador electrónico para enviar ondas de energía mecánica de alta frecuencia a través de un transductor a un "cuerno", que entonces vibra rápidamente. Esta vibración crea una rápida formación y el colapso de pequeñas burbujas dentro del sistema, un proceso conocido como cavitación. Similar a Rotor-estatores, la mayoría de estos están diseñados para uniformar una muestra a la vez, y están disponibles en una amplia gama de potencias y tamaños para diferentes muestras de tamaño. (Mairata, 2003)

2.1.2.1.3 Homogeneizadores de Rotor y Estator

También conocido como homogeneizadores de cizallamiento mecánicos, estas unidades utilizan la fuerza de cizallamiento, por lo general producido por las cuchillas giratorias, para mezclar las muestras. Son mezcladores de laboratorio que son similares en diseño a las licuadoras que uno tendría en su cocina, estos últimos no son prácticos para la mayoría de las aplicaciones y representan una pequeña minoría de máquinas de rotor y estator. (Mairata, 2003)

La gran mayoría de estas máquina de rotor-estator son instrumentos de estilo sonda que contienen cuchillas accionadas por motor más pequeñas (el "cuchillo") en el extremo de un eje del rotor. Entra líquido en el rotor-estator y el cuchillo crea una fuerza de cizallamiento para interrumpir las muestras. Estos tipos de instrumentos son mucho más poderosos que la uniformidad manual, y se pueden utilizar con células en suspensión. Varios modelos de variación de tamaño de la sonda y la potencia están diseñados para manejar diferentes tamaños y dureza de las muestras (Bellido, 2008).

2.1.2.1.4 Homogeneizadores de Alta Presión

Homogeneización a alta presión, donde se utiliza una prensa para lisar las células, es un método antiguo aplicado principalmente a unicelulares, microorganismos no filamentosos.

En estos dispositivos, tales como la vez popular pero discontinuada célula de presión francesa ("French Press"), las suspensiones de células se ven forzados a través de pequeños canales bajo alta presión. Esto crea una gran caída de presión y fuerzas de cizallamiento fuertes para lisar las células. La lisis se efectúa por la presión, velocidad de flujo, y la temperatura del sistema, y un flujo de reciclaje a menudo se implementa para someter la suspensión a la caída de presión y fuerza de corte varias veces (Mairata, 2003).

Esta máquina genera una cantidad significativa de calor, que normalmente requiere pre-enfriamiento de la máquina y la muestra de mitigar. La mayoría de los sistemas también han sido frecuentemente criticados por ser incómodo de usar, y todos requieren una limpieza a fondo después de su uso tanto para mantener la unidad estéril y para evitar la contaminación cruzada (Bellido, 2008).



Figura 2. Homogeneizador de Rotor

Tomado de: <https://www.directindustry.es/> 2020

2.1.2.1.5 Homogeneizadores Bead Mill

Homogeneizadores molinos de perlas utilizan la rápida agitación de perlas para rasgar a través de las células del tejido y lisan. Estas rasgan a través del tejido para disociar y chocan para crear áreas de alta energía que las células se lisan. Muchos sistemas de molino de bolas son de alto rendimiento y pueden manejar tejido duro sobre, así como un rotor-estator. Sistemas de molino de bolas son de manos libres y automatizadas, y la mayoría pueden uniformar una gran cantidad de muestras en unos pocos minutos o menos (Bellido, 2008).

Una clara ventaja de un sistema de molino de bolas es producida por el uso de diferentes tamaños de granos. Las perlas más grandes son menos eficientes en la interrupción de partículas pequeñas, mientras que los granos más pequeños son muy eficientes. Variando el tamaño del grano y la rigurosidad de la mezcla (a través de la alteración de la configuración de velocidad y tiempo), se puede mezclar células pequeñas, los núcleos y otros orgánulos sub celulares, y otras pequeñas partículas, o salir de los orgánulos o células enteras incluso intacto (Mairata, 2003).

2.2 ESTADO DEL ARTE

En el área de agronomía correspondiente a instrumentos de laboratorio específicamente laboratorios de suelos, no se cuenta con máquinas que realicen la función de homogeneizar muestras de suelos, esto debido en gran medida a la variabilidad de las características de los suelos, por esta razón actualmente el proceso se realiza de forma manual.

A nivel de laboratorio las máquinas de mezclas están diseñadas para sustancias en su gran mayoría líquidas, en este campo también se conocen como agitadores y se caracterizan

por realizar el proceso de mezclado haciendo uso de vibraciones o fuerzas centrifugas (sevilla, 2003).

Dejando a un lado el área de laboratorios y observando tecnologías que permitan realizar la homogenización nos encontramos con mezcladoras de concreto, que son capaces de mezclar cemento, granito y agua para crear el concreto. El concreto es un material de construcción muy resistente es el producto de mezclar cemento con agregados (arena y piedra) y la cantidad adecuada de agua; de tal manera que se forme una mezcla homogénea que sea fácil de trabajar. (swift & crosswell, 2007)

El uso de maquinaria ha permitido producir concreto por un método más confiable que a mano, además disminuye tiempos del proceso. Las mezcladoras se han desarrollado a lo largo del tiempo acorde al avance tecnológico de materiales, sistemas de trasmisiones de potencia y sistemas de control (ferrarys, 2001) (iso, 2004).

Una mezcladora de concreto es una máquina que por medio movimiento rotatorio puede mezclar concreto. El mezclado puede ser llevado a cabo por medio de un árbol para transmisión con aletas o por medio de un balde con aletas a su alrededor, esto dependerá de la cantidad que se desee mezclar como también de las características del material (turley, 1913).

De acuerdo a su tipo de producción son: tipo batch o tipo continua. Las de tipo batch, producen concreto de manera discreta, mientras que las de tipos continua producen un flujo constante de concreto. Su descarga de concreto, tanto en las de tipo batch como en las continuas, puede ser por gravedad o forzada (swift & crosswell, 2007).

De las tecnologías de mezclado estudiadas se encuentran las mezcladoras basculantes, estas cuentan con una sola abertura tanto para la carga de compuestos como la descarga de concreto. Presenta dos grados de libertad ya que puede rotar en un eje perpendicular al piso y también puede girar formando diferentes ángulos con el piso (Turley, 1913).

2.3 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Eje

Elemento rotatorio que por lo general es de sección transversal circular se emplea para transmitir potencia o movimiento (Budynas & Nisbett, 2012).

2.3.2. Rodamiento o cojinetes

Elemento al cual se transfiere la carga principal mediante elementos que experimentan contacto rodante en vez de contacto deslizante; estos elementos están diseñados para soportar cargas radiales puras, cargas de empuje puras o una combinación de ellas. Los cojinetes se componen de cuatro partes esenciales: anillo exterior, anillo interior, las bolas o elementos rodantes y el separador (Budynas & Nisbett, 2012).

2.3.3. Motor eléctrico

Los motores eléctricos son dispositivos que transforman energía eléctrica en energía mecánica. El medio de esta transformación de energía en los motores eléctricos es el campo magnético. Existen diferentes tipos de motores eléctricos y cada tipo tiene distintos componentes cuya estructura determina la interacción de los flujos eléctricos y magnéticos que originan la fuerza o par de torsión del motor (Fitzgerald & Kingsley, 2003)

2.3.4. Cadena y piñones

La cadena tiene la capacidad para impulsar varios ejes a partir de una sola fuente de potencia. Su funcionamiento es similar al mecanismo de polea correa, con la gran diferencia, que en este si se pueden transmitir fuerzas relativamente altas, debido a que el encaje de los dientes del piñón dentro de los eslabones de la cadena no permite que esta se resbale o se suelte fácilmente del mecanismo (Budynas & Nisbett, 2012).

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Definición de variables.

Para el diseño de la máquina homogeneizadora se inició principalmente por los requerimientos establecidos por el laboratorio de suelos de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Córdoba, estos parámetros fueron por medio de una encuesta a los trabajadores y usuarios activos del laboratorio en cuestión, así obtener la información de primera mano de velocidad, carga máxima y tipo de materiales a utilizar.

Los materiales fueron escogidos por el comportamiento al entrar en contacto con la muestra de suelo, esto para evitar la contaminación de las muestras así ocasionar errores en los análisis, estos materiales son comerciales para facilitar su obtención, la presentación de estos son en perfiles de tubo cuadrado para el chasis, en lamina delgada para el recipiente y barra circular para el eje que conforma la parte móvil de la máquina.

Por consideración del diseño el prototipo de la máquina homogeneizadora se dividió en cinco partes fundamentales, siendo estas: recipiente, el sistema de mezclado, los acoplamientos, el sistema transmisión de potencia y la descarga del recipiente según se puede apreciar en la figura (3).

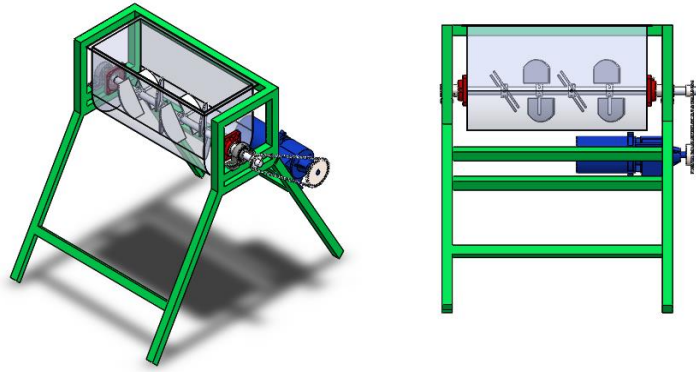


Figura 3. Diseño final del prototipo

Fuente: Autores, (2020). Imagen obtenida de Solidworks 2019.

La información requerida para el diseño de la máquina homogeneizadora se obtuvo de fuentes variadas, principalmente de fuentes primarias en conversación directa con el director y otros encargados del Laboratorio de Suelos de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Córdoba, como también de análisis de datos proporcionado por ellos.

3.2 Alternativas de diseño.

El equipo a diseñar fue analizado y seleccionado de toda una serie de opciones de homogeneizadores que se utilizan para mezclar alimentos y fluidos. Tales como homogeneizadores de tornillo sin fin en tanque horizontal, homogeneizadores rotativos en V y homogeneizador horizontal con paletas planas.

3.2.1 Homogeneizador de tornillo sin fin en tanque horizontal.

Este mezclador trabaja con un tornillo sin fin que realiza la homogeneización, transportando el producto de forma horizontalmente y a su vez que la mezcla gire

alrededor de él, como se muestra en la figura y el recipiente es de forma cilíndrica.



Figura 4. Homogeneizador de tornillo sin fin en tanque horizontal

Fuente: <https://isimsan.com.tr/>.

3.2.1.1 Ventajas

- Fácil fabricación
- Mezclado continuo

3.2.1.2 Desventajas

- Muy costoso
- Difícil mantenimiento

3.2.2 Homogeneizador rotativo en V

Este dispositivo está formado de un recipiente cilíndrico o cónico que está montado sobre un eje horizontal y gira con este como se muestra en la figura

3.2.2.1 Ventajas

- Costo de fabricación bajo
- Fácil fabricación
- Fácil mantenimiento

3.2.2.2 Desventajas

- No es apto para cantidades necesarias de suelo
- No se puede tener un proceso continuo en el mezclado



Figura 5. Homogeneizador rotativo en V

Fuente: <http://inmecolsa.com/>

3.2.3 Homogeneizador horizontal con paletas planas

Este mezclador está formado por paletas unidas al eje que gira axialmente dentro de un recipiente que tiene forma de U como se muestra en la figura, es uno de los equipos más usados en la industria alimenticia.

3.2.3.1 Ventajas

- Costo de construcción bajo.
- Su mantenimiento es más fácil
- Alta homogeneidad en las mezclas.
- Alta eficiencia para mezclar productos de alta viscosidad.

3.2.3.2 Desventajas

- Tiempo de mezclado es moderado.
- El montaje se puede complicar por el tamaño.



Figura 6. Homogeneizador horizontal con paletas planas

Fuente: <http://inmecolsa.com/>

3.3 Evolución de diseño.

Para el diseño de la homogeneizadora se tuvo en cuenta varios parámetros como lo es:

- **Costo de fabricación**

Este es un factor importante al momento de escoger una alternativa de la máquina a construir, tener un excelente funcionamiento utilizando los mínimos recursos posibles, se desea es que el sistema sea rentable a corto plazo.

- **Construcción**

Las piezas de la máquina deber tener un diseño que no complique su construcción y que sea factible construirlas con las herramientas que se tienen a disposición en el taller donde se van a construir, de lo contrario esto encarecería aún más el diseño.

- **Mantenimiento**

El mantenimiento y limpieza de las partes de la máquina no debe presentar dificultad y debe utilizar una mínima cantidad de repuestos e insumos. El tiempo de mantenimiento y cambio de repuestos deber mínimos.

- **Primera alternativa.**

Inicialmente el diseño constaba de una mesa como soporte, un cilindro (tambor), un motor eléctrico, también contaba con un eje horizontal en voladizo con un rodamiento fijada en un extremo y está sujeto con un perno, alrededor del eje después del rodamiento hasta la punta tiene unas hélices en forma de espiral, todo esto para que cuando el eje gire se lleve a cabo la homogenización.

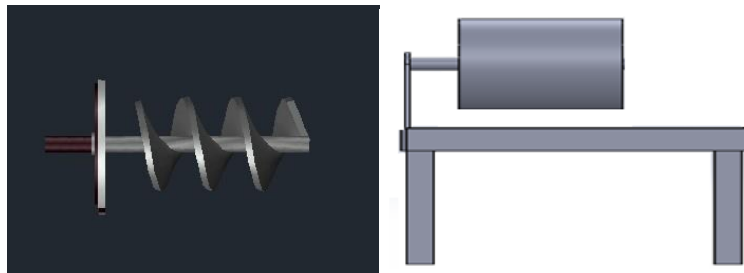


Figura 7. Primera alternativa: homogeneizador horizontal

Fuente: Autores, (2020). Imagen obtenida de Solidworks 2019.

Este diseño fue descartado por que presento inconvenientes tales como, principalmente, el llenado del cilindro, su mantenimiento, su limpieza, además no, nos garantizaba que el suelo que sería introducido saldría en su totalidad, entre otros.

- **Segunda alternativa:**

Luego se pensó, en que solucionaría ese tipo de problemas, en el cual este diseño cuenta con la mesa, un motor eléctrico, el tambor o cilindro giratorio y dentro el eje, en este caso

el eje no era hélice sino que había aspas en las paredes del cilindro, además que el mecanismo de trasmisión de potencia se tenía pensado fuera con poleas.

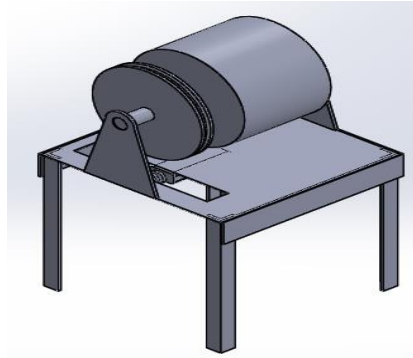


Figura 8. Segunda alternativa: homogeneizador horizontal.

Fuente: Autores, (2020). Imagen obtenida de Solidworks 2019.

En este diseño se presentó el problema de que la polea seria demasiada grande para cumplir con el requerimiento, se pensó en un dispositivo para inclinar el cilindro para que el suelo pudiera salir, todo estos diseños nos llevó al que actualmente presentamos, en este diseño se solucionó esos inconveniente presentados anteriormente.

3.4 Alternativa final.

La máquina finalmente se diseñó de acuerdo a las características y parámetros de un homogeneizador horizontal con paletas planas como se muestra en la figura 9.

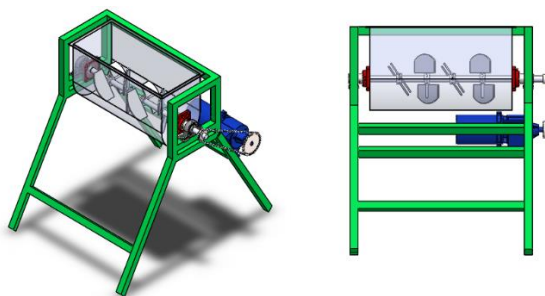
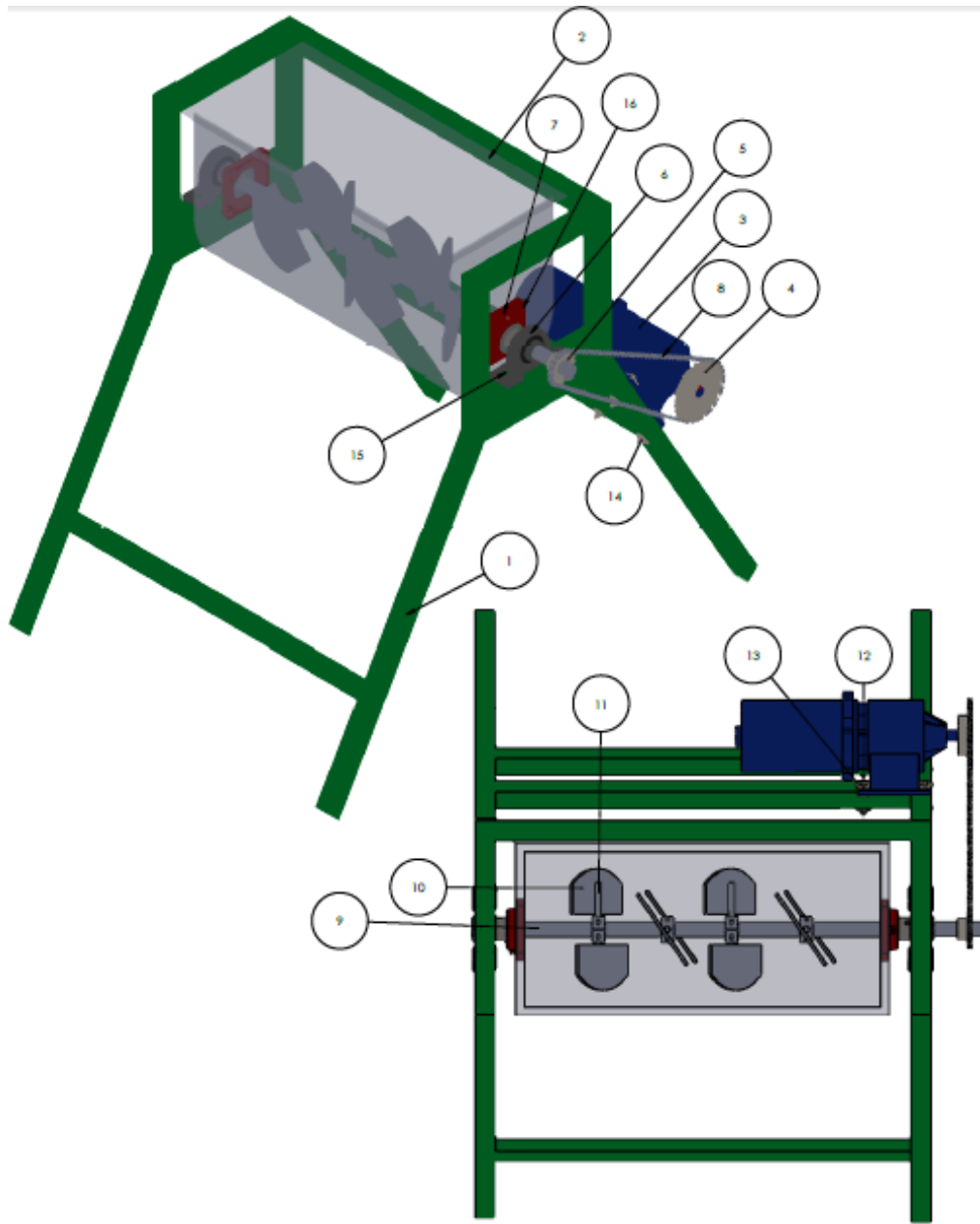


Figura 9. Máquina homogeneizadora de suelos

Fuente: Autores, (2020). Imagen obtenida de Solidworks 2019.

El recipiente tiene un dimensionamiento adecuado para una capacidad de 25kg de suelo en la parte baja con la forma de semicilindro, y a su vez, tiene el sistema de mezclado que está constituido por las paletas y el eje macizo, este se monta sobre dos rodamientos de carga lineal, que sirven de apoyo y permiten el giro del mismo, el recipiente y el eje están unidos con chumaceras a ambos lados. La potencia del dispositivo homogeneizador será suministrado por un motor eléctrico monofásico que gira a una velocidad nominal de 1750 rpm y un torque de 1 Hp .Esta velocidad es disminuida por una caja reductora 90:1, cuenta con un sistema de trasmisión a través de un sistema piñón-cadena para llegar a la velocidad de funcionamiento, todos estos elementos son montados en la estructura que sostendrá el recipiente, el motor eléctrico. Finalmente cuenta con un sistema de descarga, su funcionalidad es dar un giro controlado al recipiente y así garantizar el vaciado del suelo después de la uniformidad.

Los componentes que confirman el dispositivo homogeneizador se muestran en la figura (10), ya diseñado en solidworks 2019



Fuente: Autores, (2020). Imagen obtenida de Solidworks 2019.

No	PIEZA	No	PIEZA	No	PIEZA
1	ESTRUCTURA	7	CHUMACERA UCF207-20	13	ARANDELAS
2	RECIPIENTE	8	CADENA DE TRASMISION	14	TUERCAS
3	MOTOR ELÉCTRICO	9	EJE MACISO CENTRAL 1 1/4''	15	TORNILLO HEXAGONAL 3/8''
4	PIÑÓN 40B32	10	PORTE SUPERIOR DE LA PALETA	16	TORNILLO HEXAGONAL INOX 3/8''
5	CORONA 40B16	11	EJE DE LA PALETA 1/2 ''		
6	RODAMIENTO UCF207-20	12	TORNILLO HEXAGONAL 5/16''		

Figura 10. Máquina homogeneizadora de suelos y sus componentes.

3.5 COMPONENTES DEL DISPOSITIVO.

A continuación se muestra el estudio de cada una de las piezas que componen la máquina homogeneizadora desde el punto de vista del diseño mecánico.

3.5.1 Recipiente.

El recipiente de la máquina se basa en un tanque en forma de U que se encarga de contener el suelo hasta que la mezcla este homogeneizada para luego descargar a través de un sistema manual que gira el recipiente alrededor del eje central.

3.5.1.1. Dimensionamiento del recipiente.

El dimensionamiento del recipiente homogeneizador dependerá de los siguientes factores:

- el primer factor es la cantidad total de suelo, de esta dependen las dimensiones finales que tendrá la máquina. La mezcla será de 25 kg en Unidades de masa.
- el segundo factor a considerar es la densidad de la mezcla. esta densidad es de 1310 kg/m^3 .
- El tercer factor es el nivel de llenado. Este nivel será hasta, aproximadamente, el semicilindro que tiene la parte inferior del recipiente.
- El cuarto factor que vamos a considerar es el número de paletas, y la inclinación de las mismas. Para que el mezclado sea homogéneo, tendremos 8 paletas a lo largo del eje motriz, las mismas que estarán dispuestas en cuatro pares. La inclinación de cada paleta será de 35 grados.

Tabla 1. Factores de dimensionamiento

FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO			
1	CANTIDAD (m)	25	kg
2	DENSIDAD (ρ)	1310	kg/m^3
3	NIVEL DE LLENADO (V)	SEMICÍRCULO DEL RECIPIENTE	m^3
4	NÚMERO DE PALETAS	8	---

Fuente: Autores (2020)

Teniendo en cuenta los datos suministrados en la Tabla 1, se establece el volumen a homogeneizar.

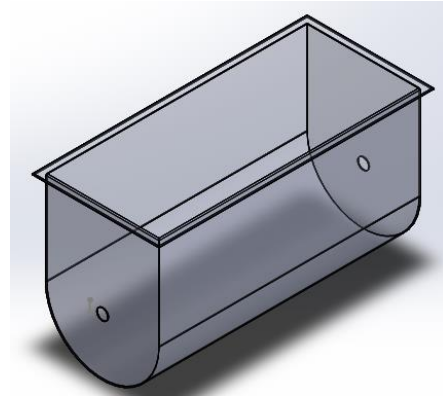
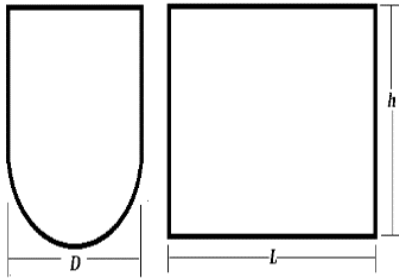


Figura 11. Recipiente

Fuente: Imagen obtenida de Solidworks 2019.

$$V_h = \frac{m}{\rho} \quad (1)$$

Donde:

V_h = volumen a homogeneizar (m^3)

m = masa de suelo (kg)

ρ = densidad del suelo (kg/m^3)

Dado que el nivel de llenado es hasta el semicírculo de la parte inferior del recipiente, el volumen a homogeneizar se puede definir como:

$$V_h = \frac{\pi * D^2}{8} * L \quad (2)$$

Donde:

D = diámetro del recipiente (m)

L = longitud del recipiente (m)

h = altura del recipiente (m)

Debido a que L y h , conservan las relaciones de $2,5D$ y $1,4D$ respectivamente, a partir de las ecuaciones (1) y (2) se determina el diámetro mínimo con el cual se dimensiona el recipiente. Así:

$$\frac{m}{\rho} = \frac{\pi * D^2}{8} * (2,5D)$$

Despejando D , se tiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{8*m}{2,5*\pi*\rho}} \quad (3)$$

Sustituyendo:

$$D = \sqrt[3]{\frac{8 * (25 \text{ kg})}{2,5 * \pi * \left(1310 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}} = 0,269 \text{ m}$$

De esta manera la longitud y la altura corresponden a $0,672 \text{ m}$ y $0,37 \text{ m}$ respectivamente, llevando a medidas que se puedan conseguir en el mercado se trabajara con las siguientes dimensiones: $D = 0,30 \text{ m}$, $L = 0,70 \text{ m}$ y $h = 0,40 \text{ m}$.

3.5.1.2. Análisis del espesor del recipiente.

El espesor del recipiente se determina por medio de análisis estático al calcular la fuerza resultante que actúa sobre las paredes del semicírculo inferior (Robert L. Mott, 2006). Como se trata de una superficie curva y esta es simétrica, se realiza el análisis como se muestra en la figura (12),

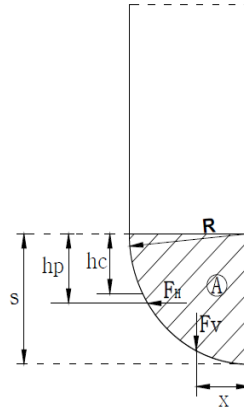


Figura 12. Diagrama de media sección del recipiente

Fuente: Autores

Las siguientes ecuaciones hacen parte del análisis de fuerzas para el esquema presentado:

$$F_v = \gamma_s * A_1 * L; \quad \text{con: } \gamma_s = m.g \text{ y } A_1 = \frac{\pi}{16} D^2 \quad (4)$$

Donde:

F_v = fuerza vertical (N)

γ_s = peso específico del suelo (N/m^3)

A_1 = área transversal, correspondiente a un cuarto de circunferencia (m^2)

La ubicación de la F_v esta determinada por \bar{x} , que se calcula como se presenta a continuación:

$$\bar{x} = \frac{4*r}{3*\pi} = \frac{4*\left(\frac{D}{2}\right)}{3*\pi} \implies \bar{x} = \frac{2*D}{3*\pi} \quad (5)$$

La fuerza horizontal se calcula como sigue:

$$F_h = \gamma_s * S * L * h_c; \quad \text{con: } S = D, h_c = \frac{D}{4} \quad (6)$$

Donde:

F_h = fuerza horizontal (N)

γ_s = peso específico del suelo (N/m³)

S = altura de proyección de la fuerza horizontal (m)

La profundidad línea de acción, h_p (m), de la fuerza horizontal

$$h_p = h_c + \frac{S^2}{12 \cdot h_c} \quad (7)$$

La fuerza resultante, F_R (N),

$$F_R = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} \quad (8)$$

El ángulo de inclinación de la fuerza resultante:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{F_v}{F_h} \right) \quad (9)$$

Tabla 2. Resultados de análisis de fuerzas

γ_s (N/m ³)	A_1 (m ²)	F_v (N)	\bar{x} (m)	F_h (N)	h_p (m)	F_R (N)	θ (°)
12851,000	0,018	158,970	0,064	101,200	0,100	188,450	57,500

Fuente: Autores (2020)

Para calcular el espesor del recipiente se determina el esfuerzo debido al momento que se genera en el punto A, estableciendo un factor de seguridad de 2,5.

Mediante la figura (13) se puede determinar las reacciones que hay sobre el recipiente, realizando el análisis de momentos en el punto A.

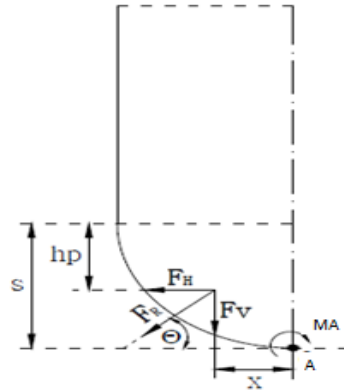


Figura 13. Diagrama con reacciones sobre el recipiente

Fuente: Autores

$$\sum M_A = 0 : M_A = F_v * \bar{x} + F_h * (s - h_p) \quad (10)$$

$$M_A = M_{max} \quad (11)$$

La sección transversal del recipiente donde actúa la fuerza resultante y el momento máximo A están representados en la figura (14)

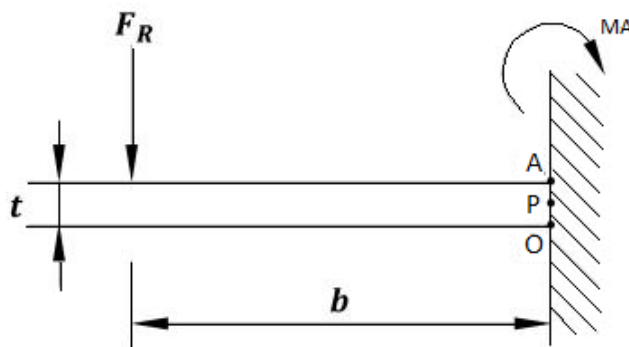


Figura 14. Diagrama de la sección trasversal del recipiente donde actúan las fuerzas y momento

Fuente: Autores

El cálculo está centrado en el punto crítico de A, para esto consideramos el esfuerzo a flexión que se calcula como sigue:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} * c}{I} = \frac{M_{max}}{I/c} \quad (12)$$

Donde:

σ_{max} = Esfuerzo máximo a flexión

M_{max} = Momento máximo flector

I/c = Módulo de sección crítica

Módulo de sección crítica de una sección rectangular:

$$I/c = \frac{b * t^2}{6} \quad (13)$$

Donde:

b = largo del recipiente

t = Espesor del recipiente

Remplazando la ecuación (13) en la ecuación (12), obtenemos lo siguiente:

$$\sigma_{max} = \frac{6 * M_{max}}{b * t^2} \quad (14)$$

Podemos encontrar el factor de seguridad estático:

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_{max}} \quad (15)$$

El valor de la resistencia a la fluencia del acero A304 es $S_y = 276$ [MPa]. (Budynas & Nisbett, 2012)

$$\begin{aligned} n_s &= 2,50 \\ \sigma_{max} &= 110,40 \text{ MPa} \\ t &= 1,08 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabla 3. Resultados de análisis de espesor del recipiente

M_{max} (N.m)	b (mm)	t (mm)	σ_{max} (MPa)	S_y (MPa)	n_s
15,18	700,00	1,25	83,94	276,00	3,29

Fuente: Autores (2020)

De la tabla (3) vemos que como este factor de seguridad es confiable, por lo tanto podemos construir el recipiente con láminas de acero A304 calibre número 18.

3.5.2. Sistema de mezclado.

El sistema de mezclado es el que se encarga de mover el suelo para que la mezcla esté homogeneizada. Este sistema consiste en 4 pares de paletas unidas a través de un eje al eje motriz como se muestra en la figura (15)

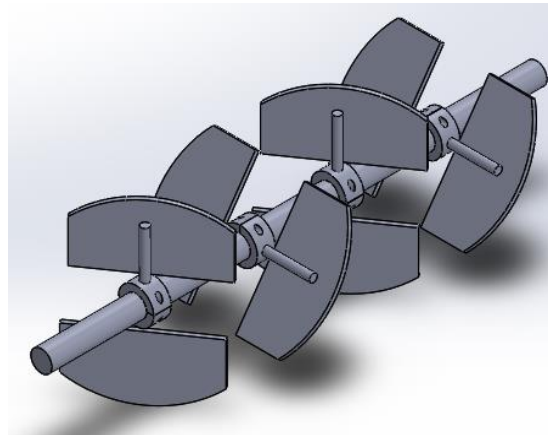


Figura 15. Sistema de mezclado

Fuente: Imagen obtenida de Solidworks 2019

3.5.2.1 Dimensionamiento de la paleta.

Tenemos que considerar que cada paleta tendrá una inclinación de 35 grados para homogeneizar el suelo con respecto el eje motriz, también está separada una distancia de

140 mm uno con otro y están en una disposición de 90 grados un eje a otro eje de las paletas.

3.5.2.2 Análisis de cargas sobre la paleta.

La máxima fuerza que ejerce la mezcla de suelo en las paletas es la fuerza resultante (ver tabla 2).

$$F_R = 188,45 \text{ N}$$

Consideraremos que la paleta se encuentra empotrada a un eje en la mitad de la misma, y como la paleta es simétrica solo tomaremos la mitad de la paleta para el análisis como se muestra en la figura (16)

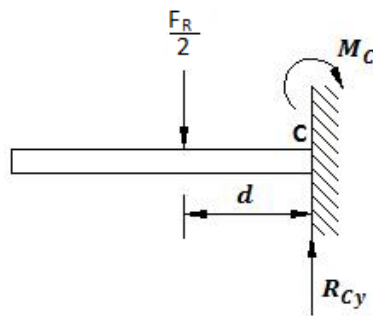


Figura 16. Diagrama de la paleta del sistema de mezclado plano x-y

Fuente: Autores

$$\sum M_C = 0 : \quad M_C = d * \frac{F_R}{2} \quad (16)$$

$$\sum F_Y = 0 : \quad R_{Cy} = \frac{F_R}{2} \quad (17)$$

El centroide d lo encontraremos aplicando la teoría de áreas compuestas. Donde d , es la distancia entre el centroide medido desde el eje de la mitad de la paleta hasta el punto donde actúa la fuerza

$$d = \frac{A_1 * X_1 + A_2 * X_2}{A_1 + A_2} \quad (18)$$

En la figura (17) se muestra las dimensiones de la paleta

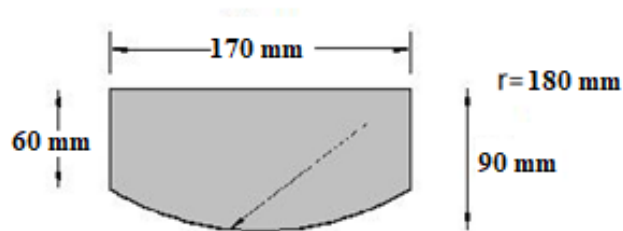


Figura 17. Dimensionamiento de la paleta de mezclador

Fuente: Imagen obtenida de Solidworks 2019

Tomamos solo la mitad de la paleta, como se muestra en la figura (18), para encontrar el centroide.

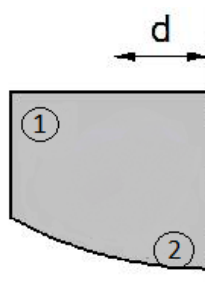


Figura 18. Mitad de la paleta de mezclador

Fuente: Imagen obtenida de Solidworks 2019

Obtenemos las siguientes dos secciones del diagrama anterior

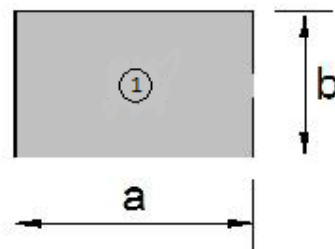


Figura 19. Sección cuadrada de la paleta

Fuente: Imagen obtenida de Solidworks 2019

En la sección (1) Tenemos:

$$\bar{X}_1 = \frac{a}{2} \quad (19)$$

$$A_1 = a * b \quad (20)$$

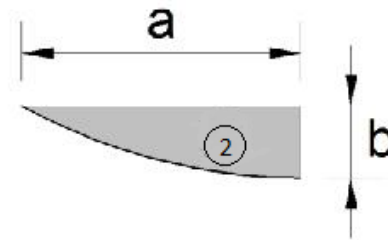


Figura 20. Sección elíptica de la paleta

Fuente: Imagen obtenida de Solidworks 2019

En la sección (2) Tenemos:

$$\bar{X}_2 = \frac{4 * a}{3 * \pi} \quad (21)$$

$$A_2 = \frac{\pi * a * b}{4} \quad (22)$$

El área total es:

$$A_T = A_1 + A_2 \quad (23)$$

Remplazamos todos estos valores en la ecuación (18)

$$d = \frac{A_1 * X_1 + A_2 * X_2}{A_1 + A_2}$$

Remplazamos el valor de d en la ecuación (16)

$$M_c = d * \frac{F_R}{2}$$

Tabla 4. Resultados de análisis de cargas sobre la paleta

F_R (N)	R_{Cy} (N)	\bar{X}_1 (mm)	A_1 (mm ²)	\bar{X}_2 (mm)	A_2 (mm ²)	A_T (mm ²)	d (mm)	M_c (N.m)
188,50	94,20	42,50	5100,00	36,00	2002,00	7102,00	40,70	3,83

Fuente: Autores (2020)

Con estos datos de la tabla (4) procedemos a realizar el diagrama de fuerza cortante y momento flector.

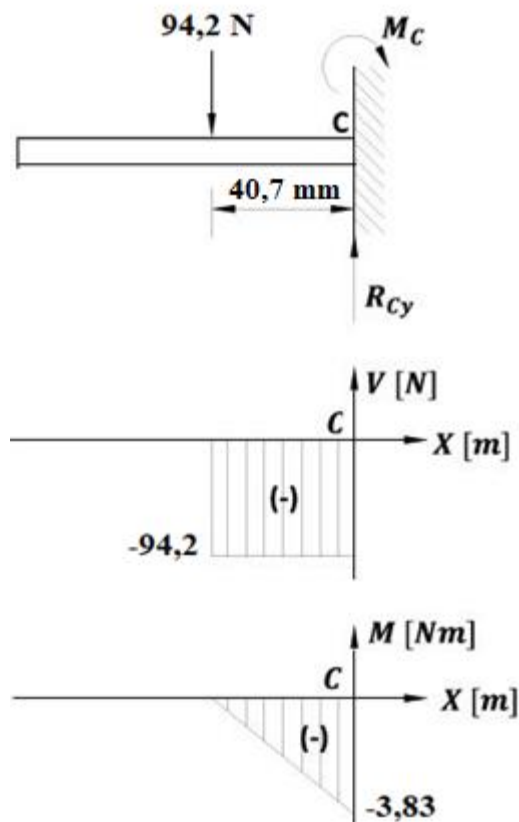


Figura 21. Diagrama de fuerzas, diagrama cortante y momento flector en la paleta

Fuente: Autores

3.5.2.3 Punto crítico de la paleta.

En la figura (22) vemos que el punto crítico de la paleta se encuentra en el punto C.

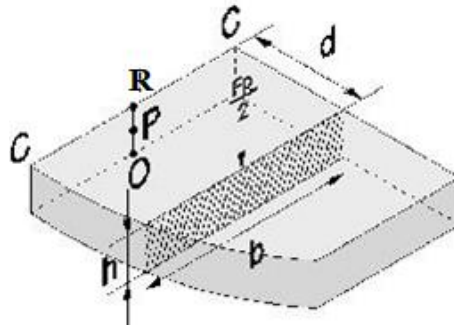


Figura 22. Punto crítico de la paleta

Fuente: Autores

En la figura (23) se muestran las dimensiones que utilizaremos para determinar el momento de inercia del área transversal donde actúa la fuerza. Tenemos la distribución de fuerzas en el punto C, donde el punto R se encuentra sometido a tensión, el punto P a corte y el punto O se encuentra a compresión.

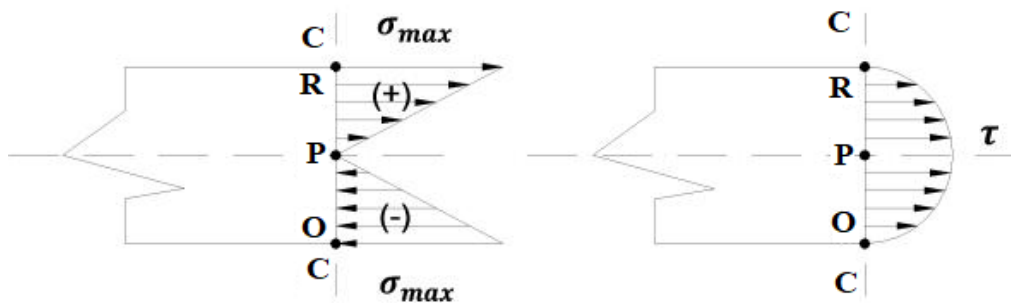


Figura 23. Diagrama de esfuerzos distribuidos sobre la paleta

Fuente: Autores

3.5.2.4 Análisis estático de la paleta.

Utilizamos la ecuación (14) donde $M_{max} = M_C$ y t es el espesor de la lamina de la paleta. Para el diseño de las paletas utilizaremos planchas de acero inoxidable AISI 304 de 2,76 mm de espesor.

Remplazamos valores en la ecuación (14)

$$\sigma_{max} = \frac{6 * M_{max}}{b * t^2}$$

Podemos encontrar el factor de seguridad estático con la ecuación (15)

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

El valor de la resistencia a la fluencia del acero A304 es $S_y = 276$ [MPa]. (Budynas & Nisbett, 2012)

Tabla 5. Resultados de análisis estático de la paleta

M_{max} (N.m)	b (mm)	t (mm)	σ_{max} (MPa)	S_y (MPa)	n_s
3,83	82,00	2,77	36,59	276,00	7,54

Fuente: Autores (2020)

De la tabla (5) vemos que como este factor de seguridad es confiable, por lo tanto podemos construir la paleta con láminas de acero A304 calibre número 12.

3.5.2.5 Análisis de fatiga de la paleta.

El esfuerzo que actúa sobre el sistema de mezclado es un esfuerzo repetitivo, de manera que todos los elementos relacionados con el mezclado tendrán este comportamiento. Se puede representar mediante la siguiente figura (24).

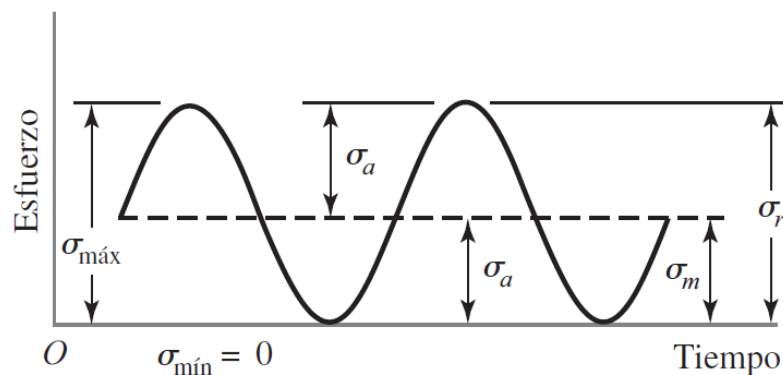


Figura 24. Esfuerzos repetitivos que actúan sobre el sistema de mezclado

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

De la figura (24) se obtienen las siguientes ecuaciones:

El esfuerzo normal amplitud:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (24)$$

El esfuerzo normal medio:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (25)$$

El esfuerzo cortante amplitud:

$$\tau_a = 0 \quad (26)$$

Esfuerzo cortante medio:

$$\tau_m = \frac{3 * V}{2 * A} \quad (27)$$

Donde:

V = Fuerza cortante sobre la sección

A = Área de la sección

Esfuerzo de Von Mises alternante:

$$\sigma'_a = \sqrt{(\sigma_a)^2 + 3 * (\tau_a)^2} \quad (28)$$

Esfuerzo de Von Mises medio:

$$\sigma'_m = \sqrt{(\sigma_m)^2 + 3 * (\tau_m)^2} \quad (29)$$

Tabla 6. Resultados del análisis de fatiga de la paleta

σ_{max} (MPa)	σ_{min} (MPa)	σ_a (MPa)	σ_m (MPa)	τ_a (MPa)	τ_m (MPa)	σ'_a (MPa)	σ'_m (MPa)
36,587	0	18,293	18,293	0	0,622	18,293	18,325

Fuente: Autores (2020)

3.5.2.6 Límite de resistencia a la fatiga de la paleta.

El límite de resistencia a la fatiga se puede encontrar con la siguiente ecuación:

$$s_e = s'_e * k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f \quad (30)$$

Donde:

s_e = Límite de resistencia a la fatiga de la paleta

s'_e = Límite de resistencia a la fatiga de la probeta

k_a = Factor de modificación de la condición superficial

k_b = Factor de modificación del tamaño

k_c = Factor de modificación por la carga

k_d = Factor de modificación por temperatura

k_e = Factor de modificación por confiabilidad

k_f = Factor de modificación por efectos varios.

- El límite de resistencia a la fatiga de la probeta (s'_e), depende de la resistencia última (s_{ut}) del material que se va a utilizar. Entonces, para un acero inoxidable A304, tenemos: $S_{ut} = 568 \text{ MPa}$ (Budynas & Nisbett, 2012)

$$s'_e = 0,5 * S_{ut} \leftrightarrow S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1400 MPa)} \quad (31)$$

- Factor de modificación de la condición superficial k_a . Este factor depende de la calidad del acabado y de la resistencia a la tensión.

$$k_a = a * S_{ut}^b \quad (32)$$

Donde;

s_{ut} = es la resistencia mínima a la tensión.

Los factores a y b se hallan en la tabla (7)

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

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

De la tabla (7) tomamos el valor de (a) para el cual es maquinado o laminado en frío ($a = 4,51$) y el exponente (b) correspondiente ($b = -0,265$)

- Factor de modificación del tamaño k_b .

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

Fuente: Factor de tamaño k_b (Budynas & Nisbett, 2012)

Debido a que la sección de la paleta no es circular tenemos que encontrar un diámetro equivalente a la sección de la paleta. Tenemos:

$$d_e = 0,808 * \sqrt{h * d} \quad (33)$$

Donde:

h= Es el largo de la paleta

d = Es el espeso de la paleta

Remplazamos este valor d_e de la ecuación (33) en la ecuación (34)

$$k_b = 1.24 * d^{-0,107} \quad 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \quad (34)$$

- Factor de modificación por la carga k_c

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

Fuente: Factor por la carga k_c (Budynas & Nisbett, 2012)

- Factor de modificación por temperatura k_d

La mezcladora realizará su trabajo en una temperatura menor a 450 °C (840 °F)

- factor de confiabilidad k_e

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

Fuente: Factor de confiabilidad k_e (Budynas & Nisbett, 2012)

Para el análisis de las paletas se tomó una confiabilidad del 90%

- Factor de modificación por efectos varios k_f

Debido a que la paleta será construida con láminas de acero inoxidable AISI 304, no será afectada por materiales corrosivos

Con todos los factores de modificación se calcula el límite de resistencia a la fatiga mediante la ecuación (30)

$$s_e = s'_e * k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f$$

Tabla 7. Resultados del análisis límite de resistencia a la fatiga de la paleta

S_{ut} (MPa)	s'_e (MPa)	a	b	k_a	d_e (mm)	k_b	k_c	k_d	k_e	k_f	s_e (MPa)
568,000	284,000	4,510	-0,265	0,840	12,180	0,950	1	1	0,897	1	203,5

Fuente: Autores (2020)

3.5.2.7 Factor de seguridad para el análisis de fatiga de la Paleta

Para determinar este factor utilizamos el diagrama de la línea de Goodman modificada, que se muestra en la Figura (25)

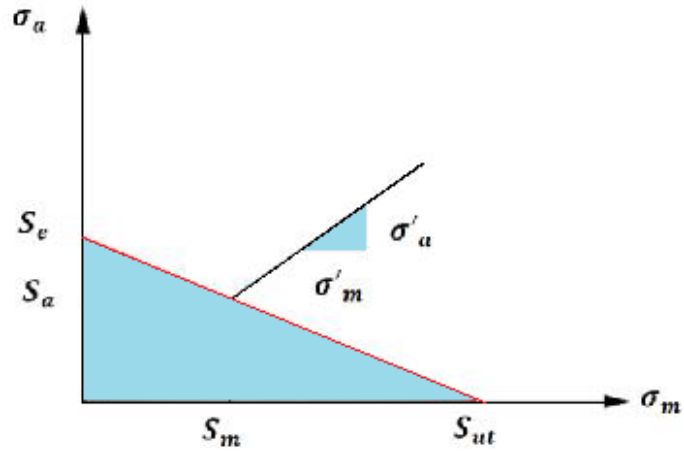


Figura 25. Diagrama de la línea de Goodman modificada

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

La recta de Goodman modificada (Budynas & Nisbett, 2012), se transforma en:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (35)$$

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$$

$$n_f = \frac{1}{\frac{18,29}{203,5} + \frac{18,29}{568}} = 8,19$$

Fluencia estática de Langer (Budynas & Nisbett, 2012):

$$\sigma_a + \sigma_m = \frac{S_y}{n} \quad (36)$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_a + \sigma_m}$$

$$n_y = \frac{276}{18,29 + 18,29} = 7,54$$

Comparando estos factores de seguridad vemos que el material a utilizar es adecuado para el diseño de la paleta considerando las cargas a la que está sometida.

3.5.3. Análisis del eje de la paleta.

En el diseño del eje de la paleta hay que considerar la fuerza ejercida por la mezcla sobre la paleta y el ángulo de inclinación de la paleta con respecto al eje, la figura (26) muestra las fuerzas que actúan tomando la distancia al centroide $d_c = 75 \text{ mm} = 0,075 \text{ m}$

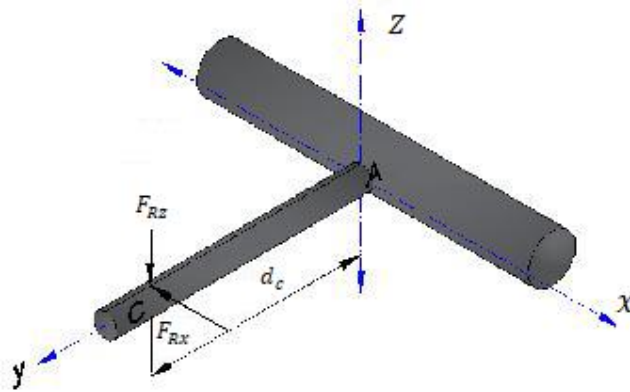


Figura 26. Diagrama de las fuerzas ejercidas sobre el eje de la paleta

Fuente: Autores

3.5.3.1 Análisis de cargas del eje de la paleta.

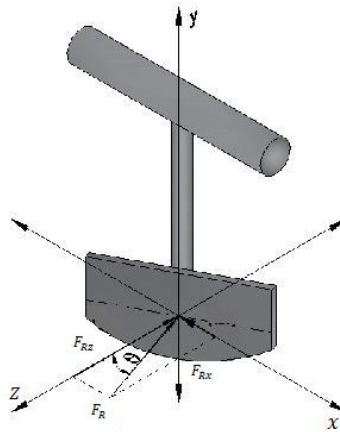


Figura 27. Diagrama de fuerzas en la paleta y ángulo de inclinación

Fuente: Autores

Inicialmente se hizo un estudio previo, variando los ángulos de $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ con respecto al eje xz, que son lo que hacen el movimiento y desplazamiento del suelo sobre el recipiente. Los valores proporcionaron diferentes potencias, de los cuales los más recomendados eran 30° y 40° , así que se optó por tomar el valor medio entre ellos 35° . (ver anexos)

Considerando que la paleta tendrá una inclinación de $\theta = 35^\circ$

Con el dato de $d_c = 75 \text{ mm}$ procedemos a realizar el diagrama de cuerpo libre de la paleta representado en las figura (28) y (29) con respecto a los ejes x, z.

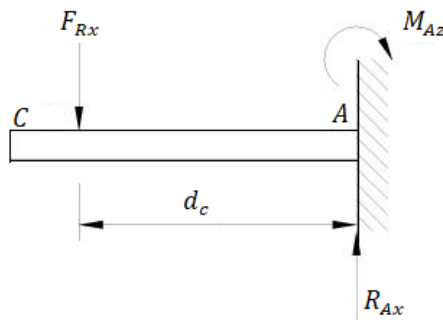


Figura 28. Diagrama de cuerpo libre de la paleta en voladizo con respecto al plano xy

Fuente: Autores

Se calculó la fuerza resultante en la paleta F_{Rx} con la siguiente ecuación:

$$F_{Rx} = F_R * \text{sen}(\theta) \quad (37)$$

Aplicamos sumatoria de fuerzas en el eje x:

$$\sum F_x = 0 : F_{Rx} = R_{Ax} \quad (38)$$

Aplicamos sumatoria de momentos:

$$\sum M_z = 0 : M_{Az} = d_c * F_{Rx} \quad (39)$$

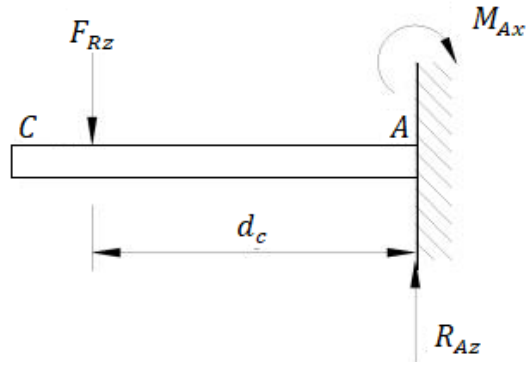


Figura 29. Diagrama de cuerpo libre de la paleta en voladizo con respecto el plano yz

Fuente: Autores

Se calculó la fuerza resultante en la paleta F_{Rz} con la siguiente ecuación:

$$F_{Rz} = F_R * \cos(\theta) \quad (40)$$

Aplicamos sumatoria de fuerzas en el eje z:

$$\sum F_x = 0 : F_{Rz} = R_{Az} \quad (41)$$

Aplicamos sumatoria de momentos:

$$\sum M_x = 0 : M_{Ax} = d_c * F_{Rz} \quad (42)$$

Hallamos el valor de la fuerza resultante en la reacción A con la ecuación (37) y el momento con la ecuación (39)

$$R_A = \sqrt{(R_{Az}^2) + (R_{Ax}^2)} \quad (43)$$

$$M_A = \sqrt{(M_{Az}^2) + (M_{Ax}^2)} \quad (44)$$

Tabla 8. Resultados del análisis de cargas del eje de la paleta

F_R (N)	F_{Rx} (N)	R_{Ax} (N)	d_c (m)	M_{Az} (N.m)	F_{Rz} (N)	R_{Az} (N)	M_{Ax} (N.m)	R_A (N)	M_A (N.m)
-----------	--------------	--------------	-----------	----------------	--------------	--------------	----------------	-----------	-------------

188,500	108,090	108,090	0,075	8,110	154,370	154,370	11,580	188,500	14,130
---------	---------	---------	-------	-------	---------	---------	--------	---------	--------

Fuente: Autores (2020)

Con estos datos de la tabla (8) procedemos a realizar el diagrama de fuerza cortante y momento flector para la figura (30).

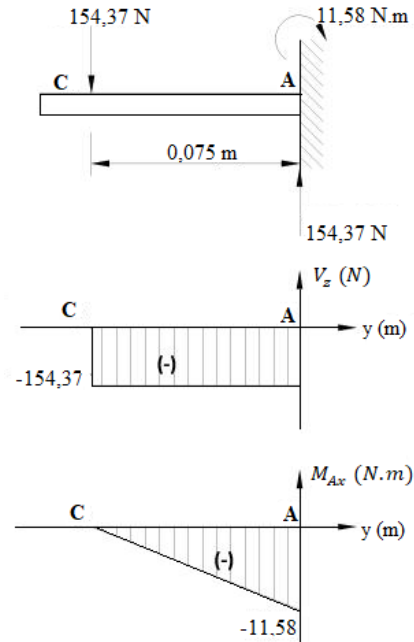


Figura 30. Diagrama de fuerzas, diagrama cortante y momento flector en el eje de la paleta en xy

Fuente: Autores

Con los datos de la tabla (8) procedemos a realizar el diagrama de fuerza cortante y momento flector para la figura (31).

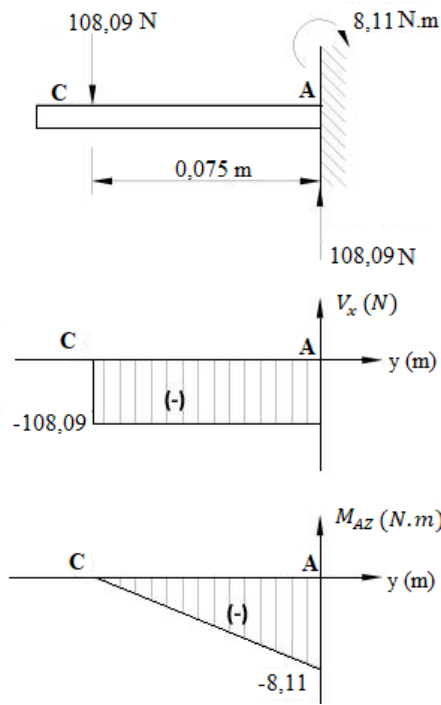


Figura 31. Diagrama de fuerzas, diagrama cortante y momento flector en el eje de la paleta en yz

Fuente: Autores

3.5.3.2 Punto crítico del eje de la paleta.

El punto crítico del eje de la paleta se encuentra en el punto A, donde el punto R se encuentra sometido a tensión, el punto P a corte y el punto O se encuentra a compresión.

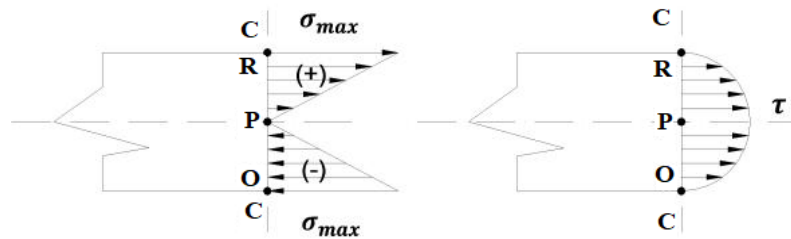


Figura 32. Diagrama de esfuerzos distribuidos sobre el eje de la paleta

Fuente: Autores

3.5.3.3 Análisis estático del eje de la paleta.

El módulo de sección crítica de una sección transversal circular está dado por:

$$\frac{I}{c} = \frac{\pi\theta^3}{32} \quad (45)$$

Donde:

θ = es el diámetro del eje de la paleta

Remplazamos la ecuación (45) en la ecuación (12) y obtenemos:

$$\sigma_{max} = \frac{32 * M_{max}}{b * \theta^3} \quad (46)$$

Donde $M_{max} = M_A$, para el diseño de este eje utilizaremos ejes macizos de acero inoxidable AISI 304 de diámetro $\theta = \frac{1}{2}in = 0,0127m$

Podemos encontrar el factor de seguridad estático con la ecuación (15)

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

El valor de la resistencia a la fluencia del acero A304 es $S_y = 276$ [MPa]. (Budynas & Nisbett, 2012)

Tabla 9. Resultados de análisis estático del eje de la paleta

θ (m)	I/c (m ³)	M_A (N.m)	σ_{max} (MPa)	S_y (MPa)	n_s
0,0127	0,0000002	14,1300	70,3000	276,0000	2,5

Fuente: Autores (2020)

De la tabla (9) vemos que como este factor de seguridad es confiable, por lo tanto podemos construir el eje de la paleta con un eje macizo de acero A304 con estas medidas.

3.5.3.4 Análisis de fatiga del eje de la paleta.

El esfuerzo que está sobre el eje de las paletas es un esfuerzo repetitivo, por lo tanto utilizamos las mismas ecuaciones que con el cálculo de fatiga de las paletas.

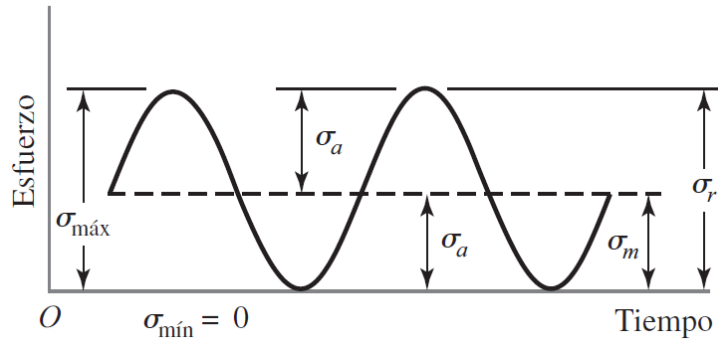


Figura 33. Esfuerzos repetitivos que actúan sobre el eje de la paleta

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

De la figura (33) se obtienen las siguientes ecuaciones:

El esfuerzo normal amplitud con la ecuación (24):

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

El esfuerzo normal medio con la ecuación (25):

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

El esfuerzo cortante amplitud con la ecuación (26):

$$\tau_a = 0$$

Esfuerzo cortante medio con la ecuación (27):

$$\tau_m = \frac{3 * V}{2 * A}$$

Donde:

V = Fuerza cortante sobre la sección

A = Área de la sección

Esfuerzo de Von Mises alternante con la ecuación (28):

$$\sigma'_a = \sqrt{(\sigma_a)^2 + 3 * (\tau_a)^2}$$

Esfuerzo de Von Mises medio con la ecuación (29):

$$\sigma'_m = \sqrt{(\sigma_m)^2 + 3 * (\tau_m)^2}$$

Tabla 10. Resultados del análisis de fatiga del eje de la paleta

σ_{max} (MPa)	σ_{min} (MPa)	σ_a (MPa)	σ_m (MPa)	τ_a (MPa)	τ_m (MPa)	σ'_a (MPa)	σ'_m (MPa)
70,30	0	35,14	35,14	0	2,23	35,14	35,14

Fuente: Autores (2020)

3.5.3.5 Límite de resistencia a la fatiga del eje de la paleta.

El límite de resistencia a la fatiga se puede encontrar con la ecuación (30):

$$s_e = s'_e * k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f$$

Donde:

s_e = Límite de resistencia a la fatiga del eje de la paleta

s'_e = Límite de resistencia a la fatiga de la probeta

k_a = Factor de modificación de la condición superficial

k_b = Factor de modificación del tamaño

k_c = Factor de modificación por la carga

k_d = Factor de modificación por temperatura

k_e =Factor de modificación por confiabilidad

k_f =Factor de modificación por efectos varios.

- El límite de resistencia a la fatiga de la probeta (s'_e), depende de la resistencia última (s_{ut}) del material que se va a utilizar. Entonces, para un acero inoxidable A304, tenemos: $S_{ut} = 568 \text{ MPa}$ (Budynas & Nisbett, 2012)

El límite de resistencia a la fatiga con la ecuación (31):

$$s'_e = 0,5 * S_{ut} \leftrightarrow S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1400 MPa)}$$

- Factor de modificación de la condición superficial k_a . Este factor depende de la calidad del acabado y de la resistencia a la tensión, usando la ecuación (32):

$$k_a = a * S_{ut}^b$$

Donde;

S_{ut} = es la resistencia mínima a la tensión.

Los factores a y b se hallan en la tabla (7)

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

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

De la tabla (7) tomamos el valor de (a) para el cual es maquinado o laminado en frío ($a = 4,51$) y el exponente (b) correspondiente ($b = -0,265$)

- Factor de modificación del tamaño k_b .

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

Fuente: Factor de tamaño k_b (Budynas & Nisbett, 2012)

Remplazamos este valor d en la ecuación (34)

$$k_b = 1.24 * d^{-0,107} \quad 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$$

- Factor de modificación por la carga k_c

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

Fuente: Factor por la carga k_c (Budynas & Nisbett, 2012)

- Factor de modificación por temperatura k_d

La mezcladora realizará su trabajo en una temperatura menor a 450 °C (840 °F)

- factor de confiabilidad k_e

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

Fuente: Factor de confiabilidad k_e (Budynas & Nisbett, 2012)

Para el análisis de las paletas se tomó una confiabilidad del 90%

- Factor de modificación por efectos varios k_f

Debido a que el eje de la paleta será construida con ejes macizos de acero inoxidable AISI 304, no será afectada por materiales corrosivos

Con todos los factores de modificación se calcula el límite de resistencia a la fatiga mediante la ecuación (30)

$$s_e = s'_e * k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f$$

Tabla 11. Resultados del análisis límite de resistencia a la fatiga del eje de la paleta.

S_{ut} (MPa)	s'_e (MPa)	a	b	k_a	d (mm)	k_b	k_c	k_d	k_e	k_f	s_e (MPa)
568,000	284,000	4,510	-0,265	0,840	12,700	0,950	1	1	0,897	1	202,600

Fuente: Autores (2020)

3.5.3.6 Factor de seguridad para el análisis de fatiga del eje de la Paleta

Para determinar este factor utilizamos el diagrama de la línea de Goodman modificada, que se muestra en la Figura (25)

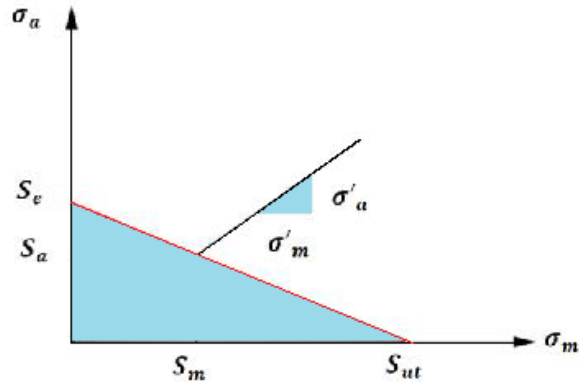


Figura 25. Diagrama de la línea de Goodman modificada

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

La recta de Goodman modificada (Budynas & Nisbett, 2012), usando la ecuación

(35):

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$$

$$n_f = \frac{1}{\frac{35,14}{202,6} + \frac{35,14}{568}} = 4,2$$

ED-Goodman (Budynas & Nisbett, 2012), usando la ecuación (47):

$$M_m = T_a = 0$$

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4 (M_a)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} [3 (T_m)^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$n = 2,5$$

$$n = 2,75$$

$$d = 12,3 \text{ mm}$$

$$d = 12,7 \text{ mm}$$

Comparando estos factores de seguridad vemos que el material a utilizar es adecuado para el diseño del eje de la paleta considerando las cargas a la que está sometida.

3.5.4. Selección del motor.

3.5.4.1 Factores para la selección del motor.

Para la selección del motor se tienen en cuantos algunos factores como lo es la propiedad de la mezcla, la potencia requerida en el eje; ya que tiene una relación directa con la velocidad y torque.

Las fuerzas axiales en el eje x se cancelan entre sí debido a las paletas y su respectiva inclinación, las fuerzas que actúan para el cálculo de la potencia son las que actúan en el eje z.

3.5.4.2 Cálculo de la potencia del motor.

Para encontrar la potencia requerida utilizamos la ecuación (48) (Budynas & Nisbett, 2012).

$$H = \frac{T * n}{63025} \quad (48)$$

Donde:

H = potencia requerida del motor (Hp)

T = Torque requerido para mover 8 paletas en el sistema de mezclado ($lbf.in$)

n = velocidad de rotación del eje del homogeneizador (rpm)

Para el cálculo del torque usamos la ecuación (49):

$$T = 8 * M_{Ax} \quad (49)$$

Donde:

M_{Ax} = momento por las fuerzas que actúan en el eje Z, del eje de la paleta. Valor que se encuentra en la tabla (8).

$$T = 8 * 11,58 N.m$$

$$T = 92,62 N.m = 819,653 lbf.in$$

Remplazamos este valor de T y n que es equivalente a 40 rpm, en la ecuación (48):

$$H = \frac{819,653 * 40}{63025} = 0,52 Hp$$

Considerando las pérdidas que se producirán en el sistema de reducción y por la incertidumbre, utilizaremos un motor de 1 Hp que tiene una velocidad de 1725 rpm que funciona a 110v, una eficiencia de 80% y cuenta con un interruptor.

3.5.4.3 Consumo eléctrico del motor.

Motor de 1 Hp que tiene una velocidad de 1725 rpm que funciona a 110v tiene una medida de 11A, cuando está en la máxima carga.

$$w = V * I = 110V * 11A = 1210w$$

Consumo de trabajo durante 8h diarias en el laboratorio de suelos durante 1 mes.

$$Consumo\ total = 1210\ w/h * (8h/dia) * 30\ dias = 290400w$$

$$Consumo\ total = 290,4\ Kw$$

3.5.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE REDUCCIÓN DE VELOCIDADES.

3.5.5.1 cajas de Reducción.

La velocidad nominal del motor utilizado es de 1725 rpm, para disminuir esta velocidad se emplea una caja de reducción con relación 90:1, otorgando una velocidad en el eje de

salida igual a 20 rpm. La referencia utilizada es STM 80 / 1P de la marca STM WMI Posee una eficiencia de transmisión de potencia $\eta = 0,7$. El eje del motor y el eje de salida en el motor reductor están en serie.

Para unirse al motor la caja reductora cuenta soporte de seis (6) tornillos de cabeza hexagonal de 12 mm rosca ordinaria siendo así el eje del motor y el motor reductor en serie, en la parte inferior de su carcasa la caja de reducción tiene cuatro ranuras que se utilizan para fijarla al soporte de motor en el chasis, para esto se utilizan tornillos de cabeza hexagonal de 10mm rosca ordinaria.

3.5.5.2 Sistemas de Reducción: piñón y cadena.

Para la trasmisión de la potencia desde la caja de reducción 90:1 hasta el eje central, se requiere de un sistema que consta de dos piñones de ½ pulgada de paso, el piñón que está en el motor es de 32 dientes (40B32) y la Catarina que impulsara el eje central es de 16 dientes (40B16), la cadena también tiene ½ pulgada de paso con numero ANSI 40

La relación de trasmisión está dada mediante la ecuación

$$N_1 n_1 = N_2 n_2 \quad (50)$$

N_1 = Número de dientes en el piñón

n_1 = Velocidad del piñón, rpm

N_2 = Número de dientes en la Catarina

n_2 = Velocidad de la Catarina, rpm

$$n_2 = \frac{N_1}{N_2} n_1 = \frac{32}{16} (20 \text{ rpm}) = 40 \text{ rpm}$$

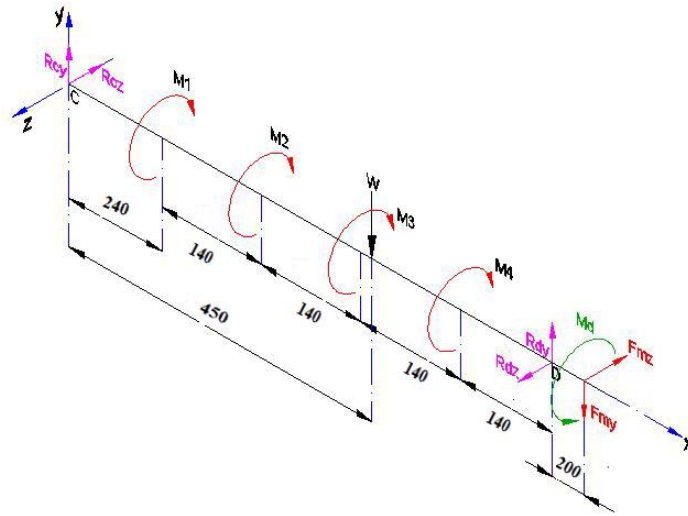


Figura 35. Diagrama de momentos que actúan sobre el eje central producto de cada paleta

Fuente: Autores

Donde:

R_{Cy} y R_{Cz} = Reacción en el rodamiento en C

R_{Dy} y R_{Dz} = Reacción en el rodamiento en D

M_1, M_2, M_3, M_4 = Momentos producto de las paletas

F_{Cy} y F_{Cz} = Fuerza producto de la Catarina

Calculamos el momento con respecto X

$$\sum M_X = 0: \quad M_d = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 \quad (51)$$

$$M_d = T \quad (51)$$

Calculamos el momento con respecto Y

$$\sum M_y = 0: \quad F_{Cz} * 1m = 0,9m * R_{Dz} = 0 \quad (52)$$

Calculamos el momento con respecto Z

$$\sum M_z = 0: \quad R_{Dy} * 0,9 m = W * 0,45 m + F_{Cy} * 1 m \quad (53)$$

Realizamos la suma de fuerzas en el eje Y

$$\sum F_y = 0: R_{Cy} + R_{Dy} = W + F_{Cy} \quad (54)$$

Realizamos la suma de fuerzas en el eje Z

$$\sum F_z = 0: R_{Cz} + F_{Cz} = R_{Dz} \quad (55)$$

Tabla 12. Resultados del análisis de carga sobre el eje central

L (m)	F_{Cy} (N)	F_{Cz} (N)	W (N)	R_{Dz} (N)	R_{Dy} (N)	R_{Cy} (N)	R_{Cz} (N)
1,0	1535,7	1035,8	392,4	1150,9	1902,5	25,6	115,1

Fuente: Autores (2020)

Estos datos se representan en los siguientes diagramas de cuerpo libre, de fuerza cortante y momento flector.

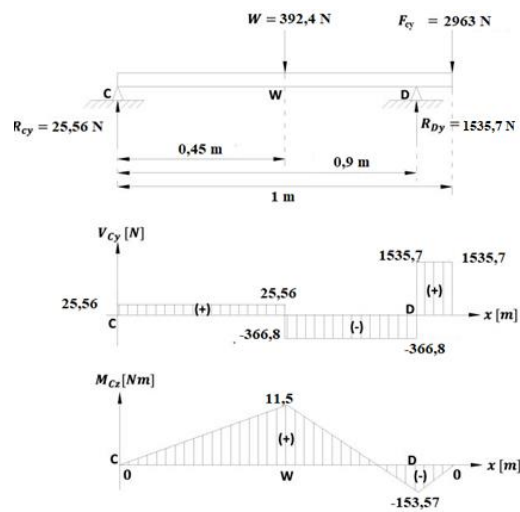


Figura 36. Diagrama de fuerzas, diagrama cortante y momento flector en el eje central en el plano xy

Fuente: Autores

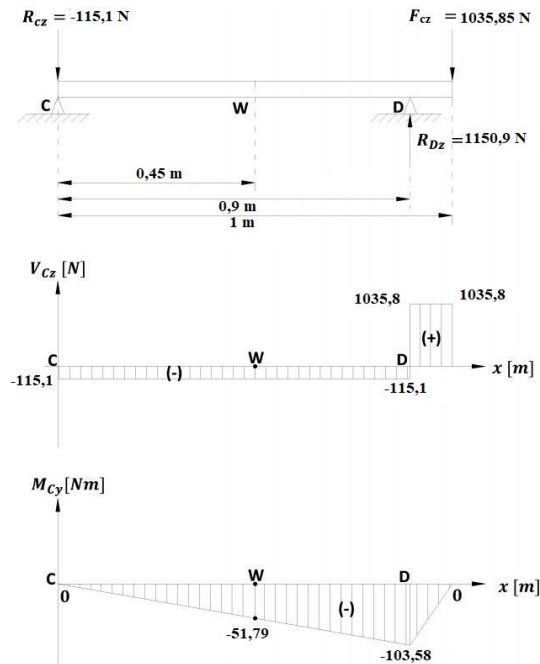


Figura 37. Diagrama de fuerzas, diagrama cortante y momento flector en el eje central en el plano xz

Fuente: Autores

Se calcula el momento producido por el peso W en el plano xy

$$M_W = \sqrt{M_{Wy}^2 + M_{Wz}^2} \quad (56)$$

El otro momento que tenemos es el que se produce en el rodamiento en D.

$$M_D = \sqrt{M_{Dxy}^2 + M_{Dxz}^2} \quad (57)$$

El momento máximo es el momento mayor y está ubicado en el rodamiento en D

$$M_D = M_{max} \quad (58)$$

3.5.6.3 Análisis estático del eje central

Este análisis es muy similar al ya hecho para el eje de la paleta, en este se tiene en cuenta el esfuerzo a flexión en el eje central, para el diseño de este eje utilizamos un eje

macizo de acero inoxidable AISI 304 de diámetro $\phi = 1 \frac{1}{4} \text{ in} = 0,0318 \text{ m}$

Tenemos que $M_{max} = 185,24 N.m$, para calcular el esfuerzo máximo usamos la ecuación (47)

$$\sigma_{max} = \frac{32 * M_{max}}{b * \phi^3} \quad (47)$$

Para encontrar el esfuerzo torsional utilizamos la siguiente ecuación:

$$\tau_{max} = \frac{T_{max}}{J/c} \quad (59)$$

Donde:

T_{max} = Momento torsor máximo

$$\tau_{max} = \frac{16 * T_{max}}{\pi * \phi^3} \quad (60)$$

Teniendo en cuenta la teoría de la energía de distorsión para calcular el esfuerzo σ'

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3 * \tau_{max}^2} \quad (61)$$

Podemos encontrar el factor de seguridad estático con la ecuación (62) El valor de la resistencia a la fluencia del acero A304 es $S_y = 276$ [MPa]. (Budynas & Nisbett, 2012)

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (62)$$

Tabla 13. Resultados del análisis estático del eje central

$M_{wy}(N.m)$	$M_{wz}(N.m)$	$M_{Dxy}(N.m)$	$M_{Dxz}(N.m)$	$M_{max}(N.m)$	$\sigma_{max}(MPa)$	$T_{max}(N)$	$\tau_{max}(MPa)$	$\sigma'(MPa)$	n_s
-51,79	11,50	-153,57	-103,58	185,24	59,00	25,56	14,74	64,24	4,30

Fuente: Autores (2020)

De la tabla (13) vemos que como este factor de seguridad es confiable, por lo tanto podemos construir eje macizo de acero inoxidable AISI 304 con las medidas establecidas.

Aplicando el criterio del esfuerzo cortante máximo para calcular un factor de seguridad teniendo en cuenta el esfuerzo cortante máximo, y los esfuerzos sobre el eje.

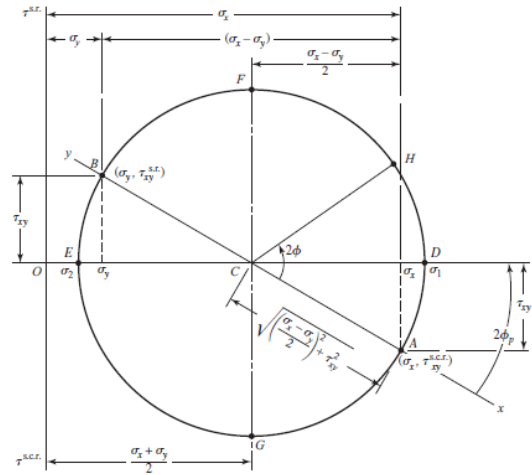


Figura 43. Círculo de Mohr

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

$$\sigma_y = 59 \text{ MPa} \quad \tau_{xy} = 14,74 \text{ MPa}$$

$$\tau_m = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} = 32,977 \text{ MPa}$$

$$F.S = \frac{S_y}{2 * \tau_m} = 4,18$$

3.5.6.4 Análisis de fatiga del eje central

El esfuerzo que actúa sobre el eje central es un esfuerzo repetitivo, de manera que todos los elementos relacionados al mismo, tendrán este comportamiento. Se puede representar mediante la siguiente figura (38).

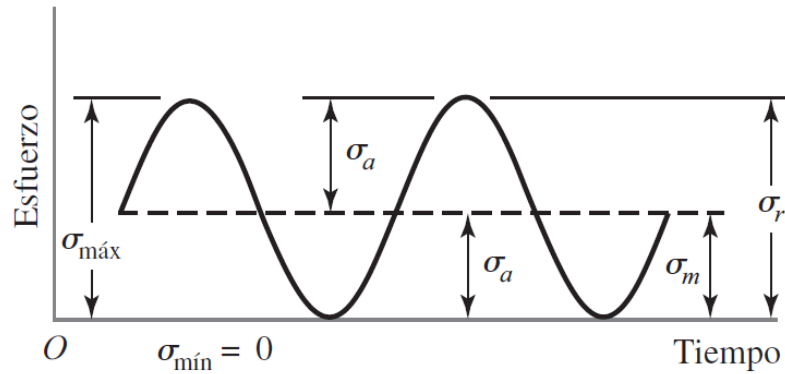


Figura 38. Esfuerzos repetitivos que actúan sobre el eje central

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

De la figura (38) se obtienen las siguientes ecuaciones:

El esfuerzo normal amplitud:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (24)$$

El esfuerzo normal medio:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (25)$$

El esfuerzo cortante amplitud:

$$\tau_a = 0 \quad (26)$$

Esfuerzo cortante medio:

$$\tau_m = \frac{3 * V}{2 * A} \quad (27)$$

Donde:

V = Fuerza cortante sobre la sección

A = Área de la sección

Esfuerzo de Von Mises alternante:

$$\sigma'_a = \sqrt{(\sigma_a)^2 + 3 * (\tau_a)^2} \quad (28)$$

Esfuerzo de Von Mises medio:

$$\sigma'_m = \sqrt{(\sigma_m)^2 + 3 * (\tau_m)^2} \quad (29)$$

Tabla 14. Resultados del análisis de fatiga del eje central

σ_{max} (MPa)	σ_{min} (MPa)	σ_a (MPa)	σ_m (MPa)	τ_a (MPa)	τ_m (MPa)	σ'_a (MPa)	σ'_m (MPa)
59,00	-86,00	72,45	-13,50	0,00	14,74	72,45	28,88

Fuente: Autores (2020)

3.5.6.5 Límite de resistencia a la fatiga del eje central.

El límite de resistencia a la fatiga se puede encontrar con la siguiente ecuación:

$$s_e = s'_e * k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f \quad (30)$$

Donde:

s_e = Límite de resistencia a la fatiga del eje central

s'_e = Límite de resistencia a la fatiga de la probeta

k_a = Factor de modificación de la condición superficial

k_b = Factor de modificación del tamaño

k_c = Factor de modificación por la carga

k_d = Factor de modificación por temperatura

k_e =Factor de modificación por confiabilidad

k_f =Factor de modificación por efectos varios.

- El límite de resistencia a la fatiga de la probeta (s'_e), depende de la resistencia última (s_{ut}) del material que se va a utilizar. Entonces, para un acero inoxidable A304, tenemos: $S_{ut} = 568 \text{ MPa}$ (Budynas & Nisbett, 2012)

$$s'_e = 0,5 * S_{ut} \leftrightarrow S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1400 MPa)} \quad (31)$$

- Factor de modificación de la condición superficial k_a . Este factor depende de la calidad del acabado y de la resistencia a la tensión.

$$k_a = a * S_{ut}^b \quad (32)$$

Donde;

s_{ut} = es la resistencia mínima a la tensión.

Los factores a y b se hallan en la tabla (7)

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

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

De la tabla (7) tomamos el valor de (a) para el cual es maquinado o laminado en frío ($a = 4,51$) y el exponente (b) correspondiente ($b = -0,265$)

- Factor de modificación del tamaño k_b .

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

Fuente: Factor de tamaño k_b (Budynas & Nisbett, 2012)

Reemplazamos este valor d_e de la ecuación (33) en la ecuación (34)

$$k_b = 1.24 * d^{-0,107} \quad 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \quad (34)$$

- Factor de modificación por la carga k_c

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

Fuente: Factor por la carga k_c (Budynas & Nisbett, 2012)

- Factor de modificación por temperatura k_d

La mezcladora realizará su trabajo en una temperatura menor a 450 °C (840 °F)

- factor de confiabilidad k_e

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

Fuente: Factor de confiabilidad k_e (Budynas & Nisbett, 2012)

Para el análisis de las paletas se tomó una confiabilidad del 90%

- Factor de modificación por efectos varios k_f

Debido a que la paleta será construida con láminas de acero inoxidable AISI 304, no será afectada por materiales corrosivos

Con todos los factores de modificación se calcula el límite de resistencia a la fatiga mediante la ecuación (30)

$$s_e = s'_e * k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f$$

Tabla 7. Resultados del análisis límite de resistencia a la fatiga del eje central.

S_{ut} (MPa)	s'_e (MPa)	a	b	k_a	d_e (mm)	k_b	k_c	k_d	k_e	k_f	s_e (MPa)
568,00	284,00	4,51	-0,265	0,84	31,75	0,86	1,00	1,00	0,89	1,00	183,70

Fuente: Autores (2020)

3.5.6.6 Factor de seguridad para el análisis de fatiga del eje central.

Para determinar este factor utilizamos el diagrama de la línea de Goodman modificada, que se muestra en la Figura (25)

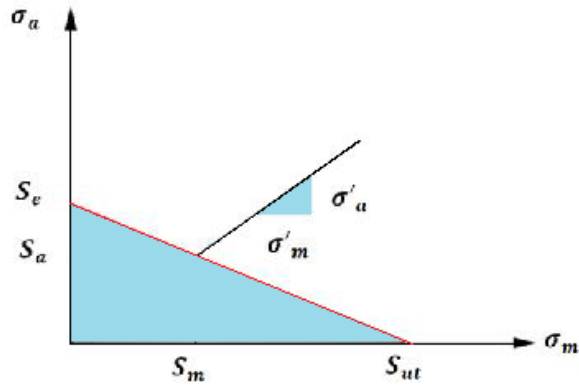


Figura 25. Diagrama de la línea de Goodman modificada

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

La recta de Goodman modificada (Budynas & Nisbett, 2012), se transforma en:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$$

$$n_f = \frac{1}{\frac{72,45}{183,7} + \frac{-13,5}{568}} = 2,7$$

ED-Goodman (Budynas & Nisbett, 2012), usando la ecuación (47):

$$M_m = T_a = 0$$

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4 (M_a)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} [3 (T_m)^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$n = 2,5$$

$$n = 3,08$$

$$d = 29,72 \text{ mm}$$

$$d = 31,8 \text{ mm}$$

Este factor de seguridad garantiza que en el comportamiento dinámico de este eje central no presentara problemas al trabajar bajo cargas repetitivas.

3.5.6. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA.

El análisis de la estructura es realizado en el programa Solidworks 2019. La representación de la estructura se presenta a continuación en la figura (39).



Figura 39. Estructura o soporte metálico

Fuente: Imagen obtenida de Solidworks 2019

Para la construcción de la estructura se utilizara tubos estructurales rectangulares de 40x40 mm ASTM A36 de 2mm de espesor cuyas propiedades mecánicas son:

$$S_y = 250 \text{ MPa} \text{ y } S_{ult} = 400 \text{ MPa}$$

Las fuerzas que soporta la estructura es el peso de la muestra dentro del recipiente, a lo largo del eje central

$$F = \frac{W}{2} = \frac{392,4 \text{ N}}{2} = 196,2 \text{ N} \downarrow \quad (63)$$

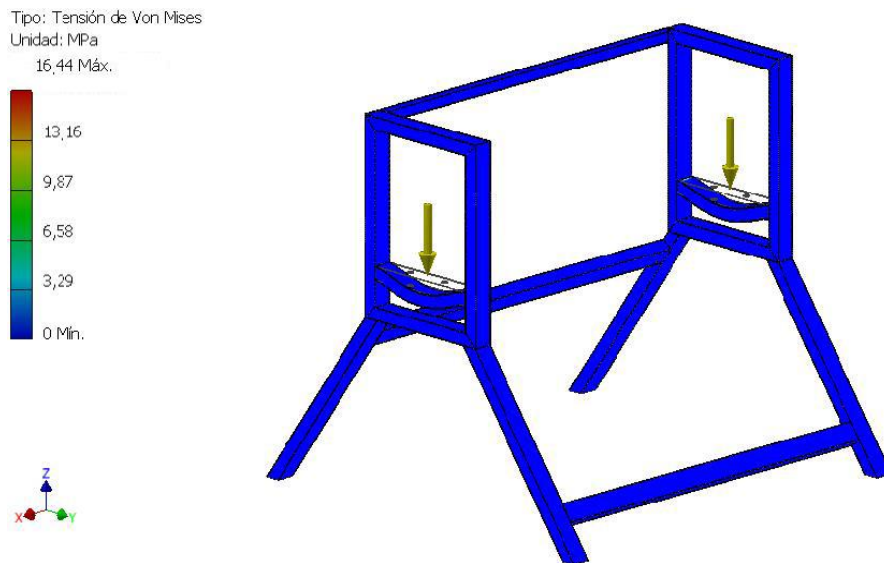


Figura 40. Simulación de esfuerzos de la estructura

Fuente: Imagen obtenida de Solidworks 2019

Del cual podemos observar que el $\sigma_{max} = 16,44 \text{ MPa}$ del cual podemos aplicar el factor de seguridad con la ecuación (62) $n_s = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{250 \text{ MPa}}{16,44 \text{ MPa}} = 15,2$. Con este valor de factor de seguridad se comprueba que la estructura se puede construir con las medidas y materiales seleccionados.

3.5.7. SOLDADURA.

La parte más crítica es la parte que sostiene el recipiente mostrada en la figura 41, que soporta el peso dado en la ecuación (63) $196,2 \text{ N} \downarrow$

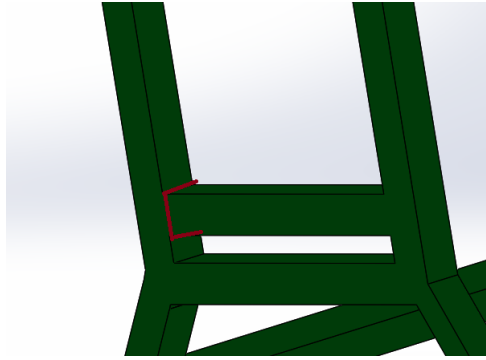


Figura 41. Estructura o soporte metálico

Fuente: Imagen obtenida de Solidworks 2019

$$M = 196,2 \text{ N} * 0,15 \text{ m} = 29,43 \text{ N.m} \quad (64)$$

Para la unión del soporte a la estructura, se aplican cuatro cordones de soldadura de filete alrededor como se muestra en la Figura 42.

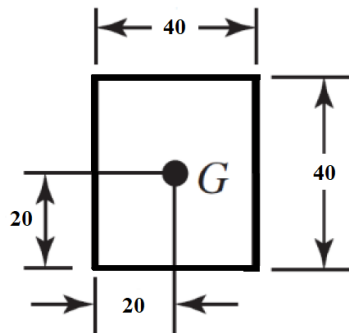


Figura 42. Cordones de soldadura de filete

El área de la soldadura se determina por la Ecuación 64, se estudiara una garganta $h = 3$ mm.

$$A = 1,414 h d = 1,414 * (3 \text{ mm}) * (40 \text{ mm}) = 169,68 \text{ mm}^2 \quad (65)$$

Se calcula el momento de inercia

$$I = 0,707 * h \left(\frac{(bd)^2}{2} \right) = 0,707 * (3 \text{ mm}) * \left(\frac{(40 \text{ mm} * 40 \text{ mm})^2}{2} \right) = 2714880 \text{ mm}^4$$

Finalmente se calculan los esfuerzos

$$\tau' = \frac{Mc}{I} = \frac{(29,43 \text{ N.m} * 20 \text{ mm})}{2714880 \text{ mm}^4} = 216,8 \text{ MPa}$$

El esfuerzo encontrado es menor a 345 MPa por tanto una soldadura E60xx tendrá una resistencia suficiente, con una garganta de 3 mm se aplica también a los demás componentes

4. PRESUPUESTO.

En la siguiente tabla (14) se muestra de manera detallada del presupuesto de la Máquina Homogeneizadora de Suelos.

Tabla 14. Presupuesto de construcción de la maquina homogeneizadora de suelos.

ELEMENTO	VALOR (COP)	CANTIDAD	TOTAL (COP)
MOTOR ELECTRICO 1725 RPM 1 HP	\$200.000,00	1	\$200.000,00
REDUCTOR 90:1	\$160.000,00	1	\$160.000,00
RECIPIENTE ACERO INOXIDABLE	\$400.000,00	1	\$400.000,00
EJE MACIZO DE ACERO INOX 1 ¼ ''	\$140.000,00	1	\$140.000,00
EJE MACIZO DE ACERO INOX ½ ''	\$33.000,00	1	\$35.000,00
CHUMACERAS 1 1/4 ''	\$170.000,00	4	\$170.000,00
TORNILLERIA ACERO INOX	\$20.000,00	8	\$20.000,00
TORNILLERIA	\$10.000,00	4	\$10.000,00
LAMINA ACERO INOX CALIBRE 12	\$80.000,00	1	\$80.000,00
PIÑON 40B16	\$55.000,00	1	\$55.000,00
PIÑON 40B32	\$110.000,00	1	\$110.000,00
CADENA N° 40	\$80.000,00	1	\$80.000,00
TUBO CUADRADO 40X40	\$120.000,00	12	\$120.000,00
SOPORTE DE DESCARGA	\$200.000,00	1	\$200.000,00
PINTURA	\$100.000,00	1	\$100.000,00
MANO DE OBRA	\$500.000,00	1	\$500.000,00
		TOTAL	\$2'380.000,00

5. CONCLUSIONES.

Principalmente se analizaron los requerimientos dados a conocer por el personal activo del laboratorio de suelos de la Universidad de Córdoba, del cual se plantó unos objetivos con sus respectivas actividades, todo esto para identificar la capacidad del dispositivo, velocidad de funcionamiento, el tiempo de homogeneización, el tipo de muestras a analizar posteriormente, todo esto para definir los parámetros de diseño , como el tamaño de la máquina , el volumen a procesar , el tipo de transmisión de potencia que se utilizaría después de identificar todos los requerimientos previstos para el dispositivo, se procedió a investigación de documentación para luego diseñar, dimensiones, materiales, teniendo en cuenta los procesos de manufactura; ya teniendo un diseño mecánico se analizaron los componentes empleando conceptos de diseño de ingeniería para piezas mecánicas por individual, también haciendo uso del software SolidWorks 2019 del cual se plasmó esquemas y alternativas previstas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AGQ Colombia. (17 de febrero de 2017). LA IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE SUELOS AGRÍCOLAS. *AGQ Labs*.
- Bellido, A. C. (2008). *Diccionario de términos cerámicos y de alfarería*. Cádiz: Agrija Ediciones.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Corpoica. (2018). El análisis de suelo marca diferencias en la agricultura. *ambientalex*.
- Duggan, M. T. (2016). Análisis de suelos: una herramienta clave para el diagnóstico de fertilidad de suelos y la fertilización de cultivos. *Tecnoagro S.R.L.*
- Ferrarys. (2001). Concrete Mixing Methods and Concrete Mixers; State of the. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 391-399.
- ISO. (2004). Building Construction Machinery and Equipment-Concrete Mixers. *Switzerland: IHS*.
- Mairata, F. B. (2003). *Homogeneización de tejidos y células*. Universidad de las Islas Baleares: Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico.
- sevilla. (2003). *manual del auxiliar de laboratorio*. MAD.

- Swift, & Crosswell. (2007). Concrete Structures: Level 2. Cape Town.: *Pearson Education South Africa*.
- Turley, R. (1913). Concrete Mixers. Illinois. *University of Illinois*.
- Shigley, J. (2012). Diseno en Ingenieria Mecanica. McGraw-Hill.
- Mott, R. (2006). Mecanica de Fluidos. Pearson Educacion.

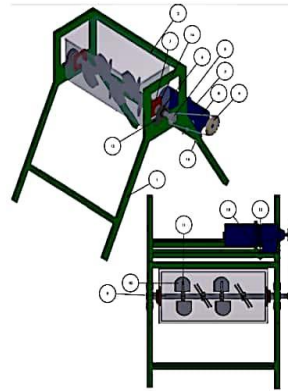
7. ANEXOS

MÁQUINA HOMOGENEIZADORA DE SUELOS

MANUAL DE USUARIO Y MANTENIMIENTO

ROBINSON DANIEL RIVERA SÁNCHEZ

1 PARTES DE LA MÁQUINA



No	PIEZA	No	PIEZA	No	PIEZA
1	ESTRUCTURA	7	CHUMACERA UCF207-20	13	ARANDELAS
2	RECIPIENTE	8	CADENA DE TRASMISION	14	TUERCAS
3	MOTOR ELECTRICO	9	EJE MACISO CENTRAL 1 1/4"	15	TORNILLO HEXAGONAL 3/8"
4	PIÑÓN 40B32	10	PORTE SUPERIOR DE LA PALETA	16	TORNILLO HEXAGONAL INOX 3/8"
5	CORONA 40B16	11	EJE DE LA PALETA 1/2 "		
6	RODAMIENTO UCF207-20	12	TORNILLO HEXAGONAL 5/16"		

2 MATENIMIENTO DEL DISPOSITIVO

Para el correcto funcionamiento de la máquina homogeneizadora de suelos y prolongar su vida útil se recomienda seguir las recomendaciones.

2.1 LIMPIEZA

Los componentes en contacto con la muestra de suelo, fueron pensados en materiales apropiados para lo cual no la contamine de modo alguno, se debe tener certeza de que el recipiente este limpio, en caso contrario se gira con tal que las impurezas solidas caigan, en el caso de tener impurezas adheridas a él, se limpia con una tela .

2.2 LUBRICACIÓN

Algunos elementos de la máquina deben ser lubricados para un correcto funcionamiento y prolongar su vida útil.

- CADENA DE TRASMISIÓN

La potencia es transmitida por la cadena, este debe ser lubricado periódicamente para un correcto funcionamiento y evitar desgastes y posteriormente fallas. Este se da a través de aceites lubricantes según el trabajo a realizar.

La recomendación que se hace es que por ninguna circunstancia, los piñones, catarina ni cadena sufran modificaciones de posición según lo plasmado en el diseño.

- CAJA REDUCTORA

Está en su interior contiene un lubricante especial, el cual es el apropiado para la correcta prolongación de vida útil, ya que dentro tiene un sistema de piñones, en caso de calentamiento excesivo, ruidos, salida del lubricante , se debe drenar , limpiar y posteriormente lubricada por un equipo (persona) calificado.

3 MODO DE USO

Para iniciar el proceso de homogeneización en la muestra, se debe tener en cuenta principalmente la parte del mantenimiento del dispositivo.

3.1 ABRIR TAPA DEL RECIPIENTE

Inicialmente se procede al levantamiento de la tapa ubicada encima del recipiente

3.2 INGRESAR LA MUESTRA DE SUELO

Una vez seleccionada la cantidad en masa de la muestra a homogeneizar, es introducida en el recipiente del dispositivo teniendo en cuenta su tope máximo estipulado, distribuyéndola longitudinalmente a través de él.

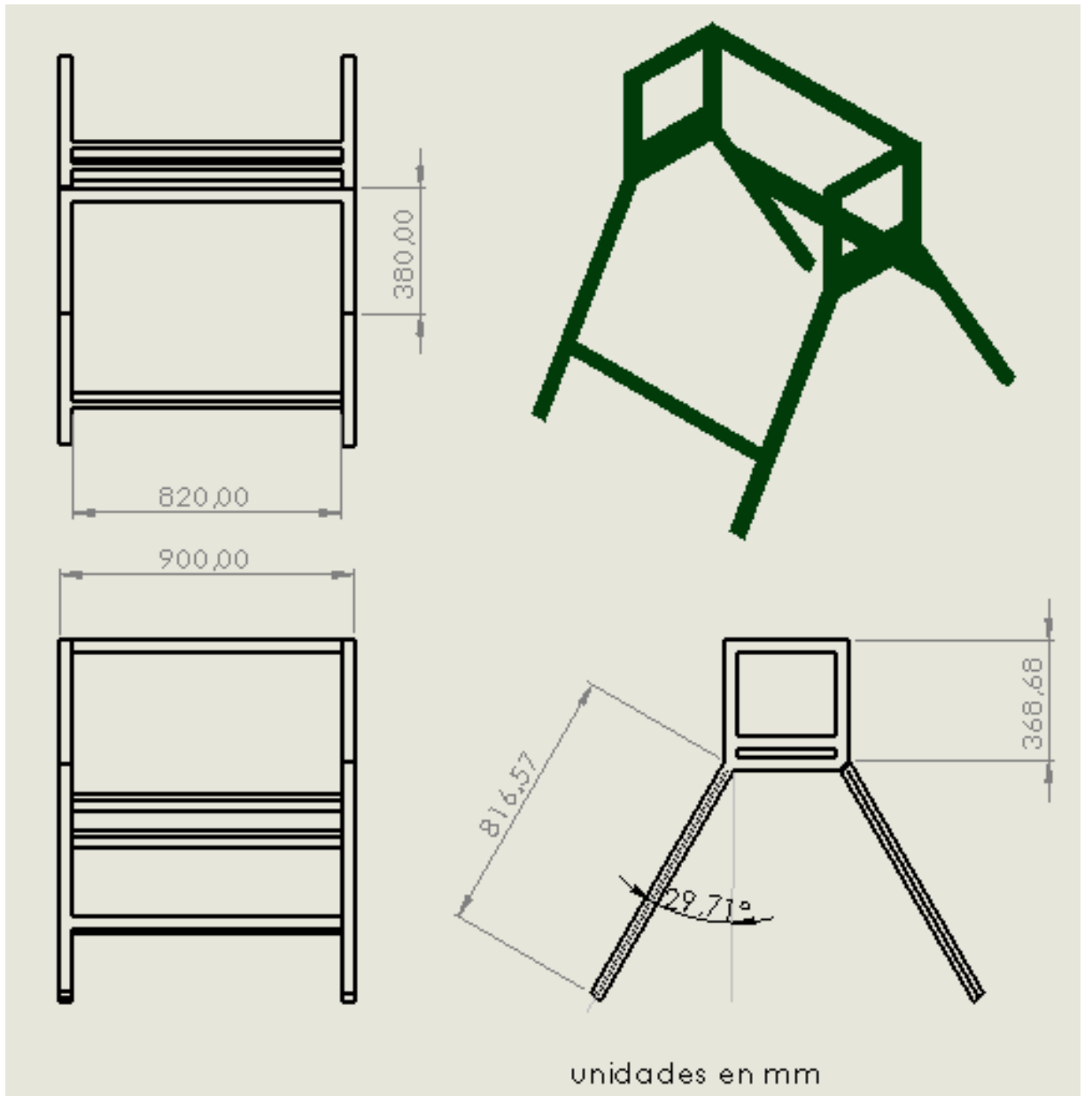
3.3 CERRAR LA TAPA DEL RECIPIENTE

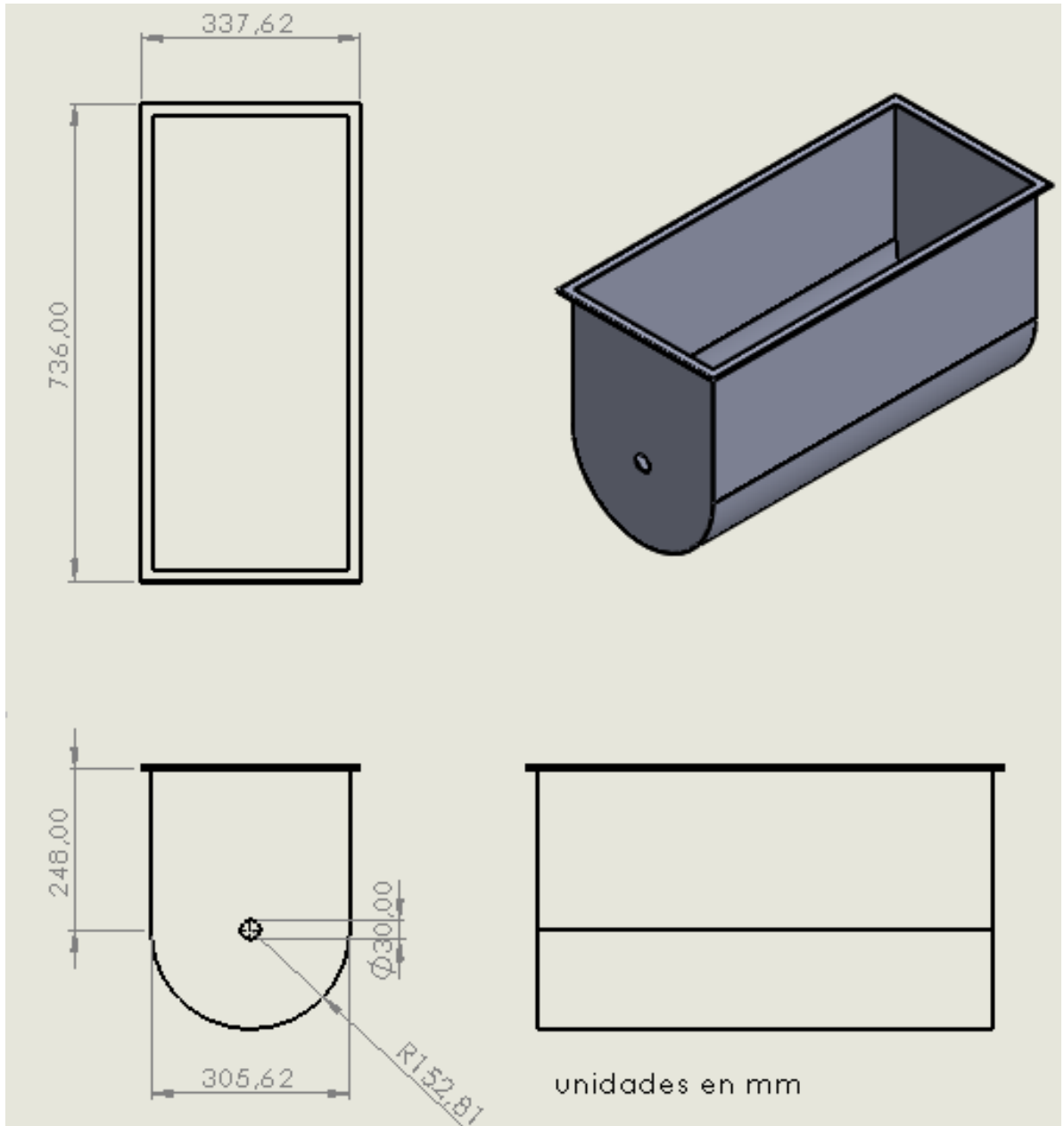
Se procede al cerrado de la tapa y aseguramiento del mismo

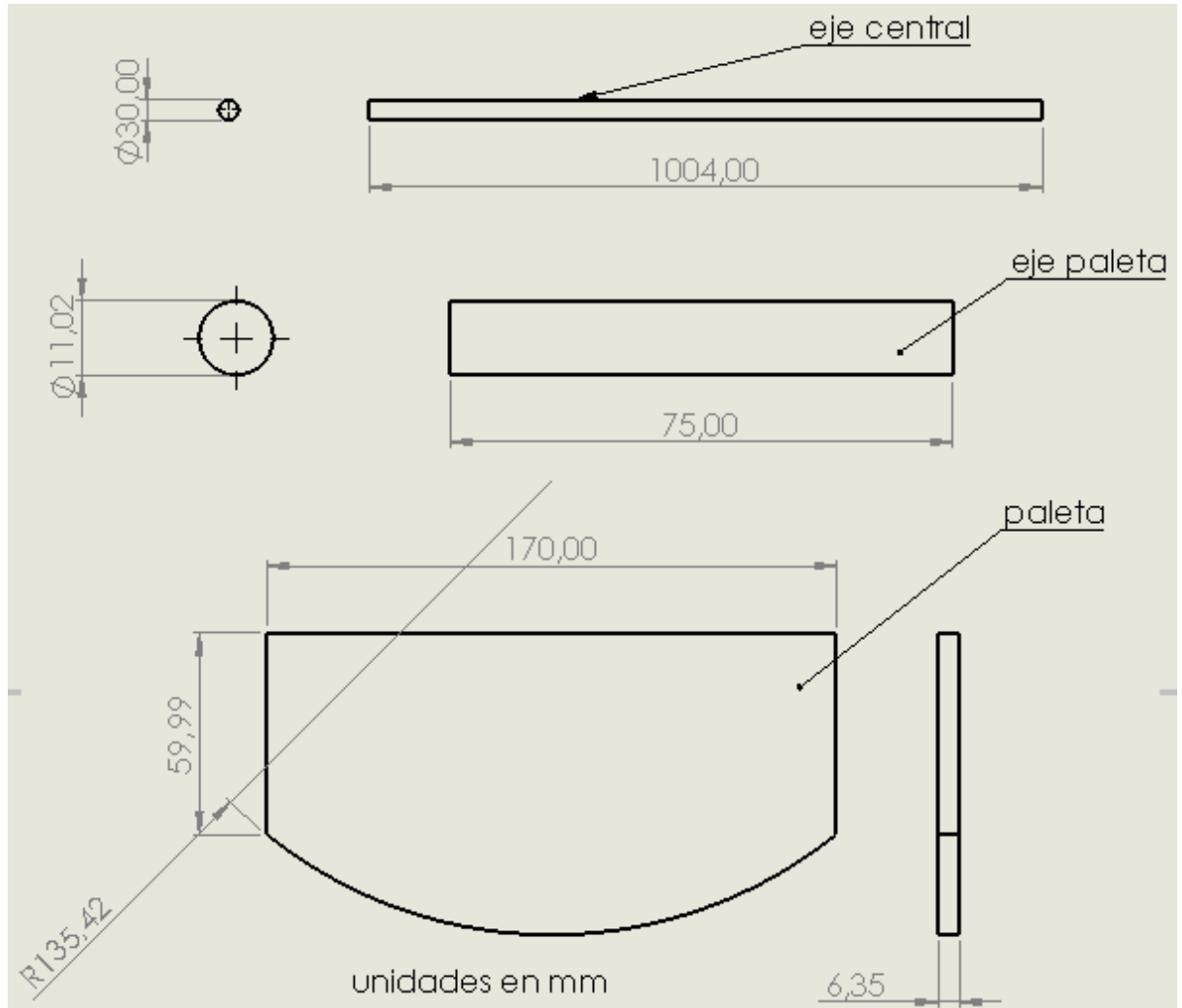
3.4 CONEXIÓN Y ENCENDIDO DEL DISPOSITIVO

El dispositivo se alimentara de una toma corriente que proporcione 110 v, el motor tendrá un interruptor que será el encargado del accionamiento del motor.

La homogeneización no puede ser controlada por el dispositivo, se recomienda usar un temporizador eléctrico o en su efecto, apagar el dispositivo con el interruptor manualmente.







VARIACION DEL ANGULO DE INCLINACION DE LA PALETA CON RESPECTO LA POTENCIA REQUERIDA

