



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE DESGASTE ABRASIVO  
A TRES CUERPOS SEGÚN NORMA  
ASTM G65**

Víctor Alfonso Neisa 10451823575

Jhon Edison Londoño 10451819988

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica

Ciudad, Bogotá DC

Colombia

Año 2023

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE DESGASTE ABRASIVO A TRES  
CUERPOS SEGÚN NORMA DISEÑO Y ASTM G65

Autores

Víctor Alfonso Neisa 10451823575

Jhon Edison Londoño 10451819988

Proyecto de grado presentado como requisito para

optar al título de **Ingeniero Mecánico**

Director del proyecto

Ph.D Hernando Jiménez

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica

Bogotá, Colombia

Año 2023

“Pon todo lo que hagas en manos del  
Señor, y tus planes tendrán éxito”

Proverbios 16:3

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es dedicado, con mi amor, a Dios y quien permitió cumplir esta meta, a mi amada esposa Ximena Chacón por todo el apoyo moral, económico e incondicional para cumplir este sueño de graduarme como profesional en INGENIERÍA MECÁNICA en tan distinguida universidad y al profesor Hernando Jiménez, quien apoyó en todo este proceso, para lograr la meta de realizar este proyecto.

Agradezco enormemente a:

A mis padres, hermana y demás amigos por su paciencia y apoyo incondicional.

Al profesor Hernando Jiménez por su constante guía.

## RESUMEN

En el presente proyecto se construyó y diseño una máquina para ensayos de desgaste abrasivo de acuerdo con la norma ASTM G-65, el diseño se realizó con el programa SolidWorks, el cual consta de una cabina sellada, un sistema de control de extracción de material particulado con un filtro colector tipo cyclone, cuya función es recoger el polvo al terminar el ensayo.

La máquina cuenta con un tablero de control eléctrico, programado con los parámetros especificados según la norma ASTM G65 (revoluciones, tiempo y tipo de ensayo), y de esta manera se garantiza realizar de forma segura y práctica los ensayos de desgaste abrasivo a tres cuerpos.

Obteniendo como resultado una máquina de ensayos de desgaste abrasivo a tres cuerpos, que cumple con los estándares establecidos bajo la norma ASTM G-65. De acuerdo con los resultados de los ensayos experimentales y las huellas de desgaste abrasivo obtenidas en las muestras, se realiza una comparación teórica con los resultados de la Tesis Doctorado Hernando Jiménez Forero [6], donde el coeficiente desgaste  $k$  es de  $2,702 \times 10^{-3}$ , y en comparación hay similitud en los resultados obtenidos durante pruebas realizadas con la maquina cuyo coeficiente de desgaste  $k$  es  $2,7 \times 10^{-3}$  garantizando el adecuado funcionamiento de la máquina.

**PALABRAS CLAVE: Diseño, desgaste, abrasión, tribología, Maquina.**

## ABSTRAC

In this project, a machine for abrasive wear testing was built and designed in accordance with the ASTM G-65 standard, the design was carried out with the SolidWorks program, which consists of a sealed cabin, a material extraction control system particulate with a cyclone type collector filter, whose function is to collect the dust at the end of the test.

The machine has an electrical control board, programmed with the parameters specified according to the ASTM G65 standard (revolutions, time and type of test), and in this way it is guaranteed to carry out the three-body abrasive wear test safety and practically.

Obtaining as a result a three-body abrasive wear testing machine, that meets the standards established under ASTM G-65. According to the results of the experimental tests and the abrasive wear traces obtained in the samples, a theoretical comparison is made with the results of the Doctoral Thesis Hernando Jimenez Forero [6], where the wear coefficient  $k$  is  $2,702 \times 10^{-3}$ , and in comparison there is similarity in the results obtained during tests carried out with the machine whose wear coefficient  $k$  is  $2,7 \times 10^{-3}$  guaranteeing the proper functioning of the machine.

**KEYWORDS:** Design, wear, abrasion, tribology, Machine.

## Contenido

1.	Introducción.....	12
2.	Objetivos.....	14
2.1	objetivo general .....	14
2.2	Objetivos Específicos .....	14
3.	Alcance	15
4.	Marco teórico.....	16
4.1	Tribología	16
4.2	Desgaste	16
	-Desgaste adhesivo .....	19
4.2.1	Mecanismos de desgaste.....	22
4.3	Norma astm g 65-16 (2021).....	23
4.4	Procedimiento.....	25
4.5	Cálculo de desgaste abrasivo .....	29
4.6	Alistamiento de la probeta .....	30
4.7	Funcionamiento del equipo .....	32
4.8	Control eléctrico .....	33
4.9	Sistema de control particulado.....	33
5.	Diseño y construcción .....	34
5.1	Diseño Estructura .....	34
5.2	Análisis estructural .....	34
5.3	Diseño de Tolva.....	37
5.3.1	cálculos de capacidad de la tolva en v .....	37
5.4	Diseño de componentes de cabina de ensayo .....	38
5.4.1	Diseño de brazo porta probeta .....	38
5.4.2	Ecuaciones de brazo .....	39
5.4.3	Geometría de la boquilla .....	41
5.4.4	Diseño Eje y cálculos .....	41
5.4.5	Análisis de cargas .....	44
5.4.6	Diseño de disco.....	45
5.4.7	Diseño de tolva inferior .....	46
5.4.8	Cálculos de área extraer material particulado.....	47
6.	Construcción de estructura .....	49
6.1	Selección de material.....	49
6.1.1	Aplicación de anticorrosivo y pintura.....	50
6.1.2	Selección de material para tolva.....	50
6.1.3	Selección de material.....	51
6.1.4	Fabricación de brazo.....	52
6.1.5	Selección de material para eje .....	54
6.1.6	Selección de material para la boquilla y fabricación .....	55
6.1.7	Filtro colector de polvo Cyclone .....	56
7	Ensamble de maquina .....	57
7.1	Ensamble de probeta y manguera .....	58
7.2	Se completa el ensamble mecánico de la cabina de ensayo a tres cuerpos.....	59
7.3	Ensamblaje de eje a motor.....	59

7.4	Ensamble de sistema de control de material particulado .....	60
8	Diseño y construcción eléctrico.....	60
8.1	Selección de materiales eléctricos .....	61
8.1.1	Cableado .....	62
8.1.2	Motor.....	63
8.1.3	Temporizador .....	63
8.1.4	Sistema de extracción .....	65
8.1.5	Construcción de tablero eléctrico para .....	66
9	Ensayo de desgaste abrasivo.....	67
9.1	Análisis .....	70
10	Conclusión.....	71
11	Bibliografía.....	72



## Tabla de figuras

Figura 1 Desgaste abrasivo a dos cuerpos y tres cuerpos (6).....	19
Figura 2 Tipos de abrasión (6).....	20
Figura 3 Desgaste adhesivo [3].....	21
Figura 4 Desgaste inquietante [2].....	22
Figura 5 Desgaste por corrosión [4].....	23
Figura 6 Tipos de ensayos estandarizados por la norma ASTM G65 [3].....	24
Figura 7 Detalle de ensayo de análisis de desgaste.....	25
Figura 8 Tipos de procedimiento en los ensayos ASTM G65 [3].....	25
Figura 9 Esquema general MÁQUINA DE ENSAYO SEGÚN LA NORMA ASTM G-65.....	26
Figura 10 Boquilla dosificadora de arena [4].....	27
Figura 11 Disco recubierto de caucho ASTM G65[4].	28
Figura 12 Abrasivo de arena sílice de granulometría AFS 50/70.[4].....	28
Figura 13 Brazo porta probetas [4].....	29
Figura 14 Dimensiones de probeta.....	30
Figura 15 ASTMG65.....	31
Figura 16 Esquema de maquina a realizar pruebas de desgaste abrasivo .....	32
Figura 17 Diseño de estructura.....	34
Figura 18 Análisis estructural .....	35
Figura 19 Análisis estructural de soporte motor .....	36
Figura 20 Análisis estructural soporte de tolva.....	36
Figura 21 Diseño de tolva .....	37
Figura 22 Cálculo de capacidad tolva v .....	37
Figura 23 Diseño de brazo .....	38
Figura 24 Fuerza a calcular sobre la probeta.....	39
Figura 25 Análisis estructural de brazo.....	40
Figura 26 Análisis estructural de brazo.....	40
Figura 27 Diseño de boquilla .....	41
Figura 28 Diagrama de cuerpo libre.....	42
Figura 29 análisis de eje Y - Z .....	42
Figura 30 Diagrama de cortante en el eje y.....	43
Figura 31 Diagrama en momento Y .....	43
Figura 32 Diseño de eje" archivo personal" .....	44
Figura 33 Análisis de eje.....	44
Figura 34 Diseño de disco.....	45
Figura 35 Diseño de disco.....	45
Figura 36 Diseño de tolva inferior .....	46
Figura 37 Diseño de tolva inferior .....	46
Figura 38 Máquina de sandblasting con colector de polvo cyclone.....	48
Figura 39 Contruccion de estrutura.....	49
Figura 40 Ficha técnica tubo cuadrado estructural.....	49
Figura 41 Anticorrosivo "archivo personal".....	50
Figura 42 Fabricación de tolva.....	51
Figura 43 Tolva fabricada y con válvula de paso.....	51
Figura 44 Brazo porta probeta.....	52
Figura 45 Construcción de brazo y porta probeta .....	52
Figura 46 Construcción de disco.....	53

Figura 47 Vulcanización de disco .....	53
Figura 48 Eje construido .....	54
Figura 49 Chumacera de para eje .....	54
Figura 50 Contrición de boquilla .....	55
Figura 51 Boquilla terminada.....	55
Figura 52 Colector de polvo cyclone .....	56
Figura 53 Motor de extracción de polvo .....	56
Figura 54 Ensamble de disco, eje y chumacera.....	57
Figura 55 Ensamble de brazo mecánico y boquilla.....	57
Figura 56 Ensamble de manguera de boquilla .....	58
Figura 57 Ensamble completo de maquina .....	59
Figura 58 Ensamble de motor con al eje .....	59
Figura 59 Ensambls de filtro colector al motor .....	60
Figura 60 Diseño eléctrico .....	61
Figura 61 Variador yaskawa J1000.....	62
Figura 62 Motor de disco .....	64
Figura 63 Temporizador.....	65
Figura 64 Contactor chint.....	66
Figura 65 Sistema de extracción de material particulado.....	67
Figura 66 Tablero de control.....	68
Figura 67 Control eléctrico y conexiones terminada .....	68
Figura 69 Bascula de presión laboratorio.....	69
Figura 70 Huella de probetas de ensayo.....	71
Figura 71 Huellas de desgaste abrasivo del sustrato de fundición gris [6] .....	72

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tabla 1 Rangos para las diferentes pruebas de desgaste abrasivo astm g65 [6,5] .....	26
Tabla 2	Tabla 2 Requerimiento de técnicos de la norma astm g-65[13].....	27
Tabla 3	Selección interruptora .....	63
Tabla 4	Procedimiento B. NORMA ASTM G-65.....	70
Tabla 5	Resultados a partir de los ensayos de desgasté abrasivo .....	70
Tabla 6	Parámetros de desgaste adhesivo sustrato de fundición gris.....	73

## TABLA ECUACIONES

Ecuación 1.....	29
Ecuación 2.....	30
Ecuación 3.....	37
Ecuación 4.....	37
Ecuación 5.....	39
Ecuación 6.....	39
Ecuación 7.....	43
Ecuación 8.....	43
Ecuación 9.....	43
Ecuación 10.....	47
Ecuación 11.....	47
Ecuación 12.....	48

## 1. Introducción

Con el avance de la industria y la tecnología metalmeccánica, la cual está íntimamente ligada al estudio de la ciencia de materiales en las ingenierías es fundamental realizar estudios tribológicos; entendiendo la tribología como la ciencia que estudia la fricción, el desgaste y la lubricación; enfatizando en comprender la interacción de las superficies en movimiento relativo, en sistemas naturales y artificiales. Los análisis tribológicos son fundamentales en los diseños de cojinetes y su lubricación, así como en otros componentes mecánicos. El desgaste abrasivo es muy común, se origina por partículas duras que se introducen entre dos superficies, ya sea que estén dentro de uno de los cuerpos en contacto (desgaste abrasivo a dos cuerpos) o que se encuentren entre dos componentes (desgaste abrasivo a tres cuerpos). Las normas técnicas principales que han estandarizado los ensayos de desgaste han sido desarrolladas por la ASTM, DIN, ISO, entre otras, logrando con esto unificar las condiciones de funcionamiento de las máquinas de ensayo abrasivo, sus dimensiones y los parámetros de operación durante la realización de los ensayos [1].

El ensayo de desgaste abrasivo a tres cuerpos “DSRW” (Dry Sand Rubber Wheel) normatizado bajo la ASTM G65 se fundamenta en tres partes: una rueda de superficie de goma, una muestra de análisis y una boquilla que provee un flujo constante como lubricante [2]. [La rueda gira a una velocidad angular determinada por la norma, en contacto con la muestra bajo la acción de la arena que fluye entre ellas actuando como lubricante, manteniendo la muestra una carga igualmente normatizada, y la cual depende del tipo de ensayo de la norma ASTM G65 que se realiza (A, B, C, D).

En la actualidad las normas ASTM han estandarizado los ensayos para el desgaste por abrasión: desgaste abrasivo a dos cuerpos que usa una rueda con recubrimiento en caucho, arena y se realiza en seco; el método ASTM G105 consiste en y una rueda con recubrimiento en caucho húmedo [1,2]. Por otro lado, la norma ASTM G65 es una prueba que permite determinar la resistencia de los

materiales metálicos a la degradación superficial por fricción mediante una prueba con abrasivo con lubricante de arena y un disco de goma. [ 1,2]

Autores como J. Marulanda y A. zapata reportan que la construcción y puesta en funcionamiento, para la obtención de resultados a partir de ensayos realizados con la máquina DSRW, mostrando un análisis estadístico de los datos obtenidos de pruebas realizadas. Este trabajo se enfoca en las características de diseño estructural y las cargas a las cuales se encontrarán sometidas las probetas analizadas [1,2,3]

Los análisis tribológicos son fundamentales en la formación de estudiantes de ingenierías como mecánica y mecatrónica, de ahí la relevancia de contar con un equipo de este tipo en el laboratorio de ensayos mecánicos de la UAN sede sur, apoyando no solo los procesos formativos sino también brindando una herramienta para la investigación en la línea de ciencia y tecnología de materiales. La ubicación de esta máquina de ensayo abrasivo en las instalaciones del laboratorio obliga a que el diseño de esta cuente con un sistema hermético de control de material particulado, esto con el fin de evitar afectaciones en los demás equipos del laboratorio.

## **2. Objetivos**

### **2.1 objetivo general**

Diseñar y construir una máquina de desgaste abrasivo a tres cuerpos, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM G-65 con aislamiento y filtrado del material particulado producido durante los ensayos.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar la máquina de ensayos abrasivos a tres cuerpos bajo norma ASTM G-65.
- Diseñar un panel de control de velocidad, tiempo y carga del ensayo.
- Diseñar un sistema de colección de material particulado provocado por el abrasivo en el proceso de desgaste.
- Construir y ensamblar la máquina de ensayos de desgaste bajo norma ASTM G-65
- Verificar y validar el correcto funcionamiento de la máquina mediante pruebas de desgaste sobre aceros comerciales. Redactar manual de usuario y de mantenimiento de la máquina, junto con la respectiva guía de laboratorio para realizar ensayos.

### **3. Alcance**

Con este proyecto se pretende realizar la creación de una máquina para ensayos de desgaste abrasivo, con el fin de realizar diversos ensayos con distintos materiales. El proyecto se centrará en diseñar la máquina de acuerdo con la norma ASTM G-65 y además de esto contará con una cabina sellada, la cual tendrá un extractor de material particulado con el fin de proteger al estudiante, docente y los demás equipos que se encuentren en el laboratorio.

La parte frontal con tapa de ingreso será en acrílico transparente y con iluminación interna, para observar mejor la pieza durante el ensayo. Una vez obtenido los datos, se realizará su respectivo análisis con ventajas y desventajas de cada material y para o requerido.



## 4. Marco teórico

### 4.1 Tribología

La tribología es una ciencia que estudia la fricción y desgaste el cual puede ser *disminuido* por medio de la lubricación de las piezas mecánicas que se encuentran en interacción por ello se trata de estudiar los fenómenos del movimiento entre dos cuerpos en contacto [1,2,3].

Un análisis tribológico de desgaste abrasivo a tres cuerpos nos permite identificar el coeficiente de desgaste de un material, así como el volumen desgastado, producto del ensayo. Las características geométricas superficiales de la huella de desgaste brindan información cualitativa referente a los mecanismos de desgaste del material, debido a los regímenes cinemático y dinámico inherentes en el ensayo sobre el par tribológico. [1,2,3].

### 4.2 Desgaste

Acorde con lo reportado por W Gutiérrez [2] se define el desgaste como “la pérdida progresiva de material de la superficie de un cuerpo sólido” como se puede ver en la figura (1). En conjunto con otros estudios se llega al consenso de que esta pérdida de material puede ser ocasionada por fenómenos mecánicos y químicos. El material removido es posible que sea expulsado y/o transferido a la otra superficie o quedar atrapado dentro del sistema tribológico [1,2,3].

El desgaste por lo general se clasifica en dos tipos, los cuales se producen de forma aislada o en interacción compleja. Los mecanismos y / o sub-mecanismos de desgaste constantemente se superponen y ocurren de manera sinérgica, produciendo una tasa de desgaste mayor que la suma de los mecanismos de desgaste individuales. Los tipos de desgaste más comunes son [1,2,3]:

-DESGASTE ABRASIVO: Este tipo de desgaste ocurre cuando hay pérdida de material debido a partículas duras que se fuerzan y se mueven a lo largo de una superficie sólida [4]. También se genera cuando una superficie dura y rugosa se desliza sobre una superficie

más blanda. El material más duro puede ser una de las superficies de fricción o partículas duras que han encontrado su camino entre las superficies de contacto, estas partículas “extrañas” son partículas resultantes del desgaste del adhesivo o de la delaminación del material. La abrasión implica principalmente procesos de corte y arado a microescala. La forma en que una aspereza se desliza sobre una superficie determina la naturaleza y la intensidad del desgaste abrasivo. Hay dos categorías de desgaste que dependen del contacto y nivel de daño sufrido [3]:

Un ejemplo del desgaste debido al tipo de contacto es el desgaste abrasivo de dos cuerpos: Este tipo de desgaste ocurre cuando las partículas duras eliminan el material de la superficie opuesta. El ejemplo más sobresaliente es la del material que se retira o se desplaza mediante una operación de corte o arado [3].

Otro ejemplo típico es el desgaste abrasivo de tres cuerpos: Este tipo de desgaste lo define el autor S. Uribe [1] como el que “ocurre cuando las partículas pueden rodar y deslizarse libremente por una superficie”. El entorno de contacto determina si el desgaste se encasilla como abierto o cerrado. Un entorno de contacto abierto ocurre cuando las superficies están adecuadamente desplazadas para ser independientes entre sí. Hay varias estrategias diferentes para disminuir el desgaste abrasivo. [1,2,3]

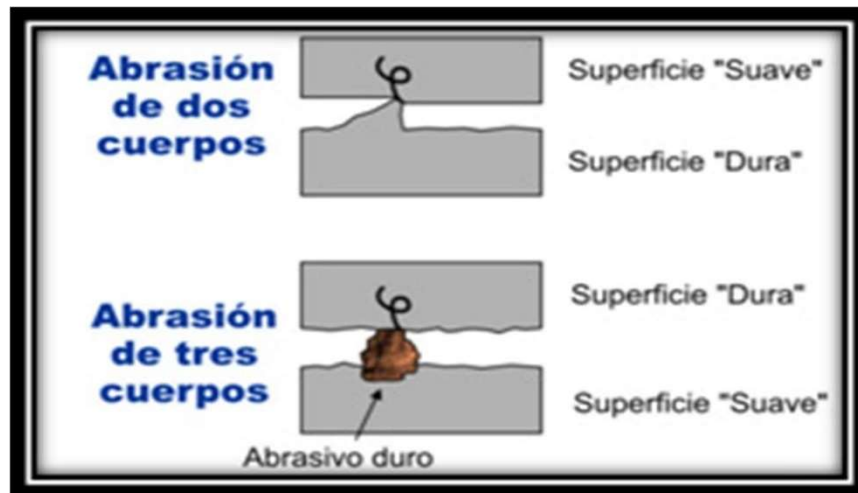


Figura 1 Desgaste abrasivo a dos cuerpos y tres cuerpos (6)

Asimismo, podemos identificar la abrasión de bajo esfuerzo o rayado, este tipo de desgaste es definido cuando ocurre un trabajo de la fuerza aplica y adicional la misma es baja en el rozamiento lo que no permite desintegración o rotura de material por tal motivo el daño es un rayado sobre la superficie de contacto [1]

Otros ejemplos son la abrasión de alto esfuerzo o desbaste: si la fuerza de contacto es suficiente alta sobre el material, esta produce una deformación plástica en las superficies de contacto a así como el picado de material y el rayado [3] . La abrasión por surcos o rasuración (Gouging), que es conocida por su función, ya que es producida por los abrasivos de mayor tamaño y son sometidas a un alto impacto y esfuerzo de compresión generando surcos sobre la superficie de contacto [3].

Abrasión por pulido: Esta abrasión es muy fina generando un rayado, es muy poco visible no genera desgastes por picadura, rotura o deformación plástica [3].

-DESGASTE ADHESIVO. La adhesión es el desprendimiento de material entre dos superficies cuando están en contacto directo generando un soldado en frío. Para que interactúen, entre los dos cuerpos de contacto es necesario que no exista otra impureza como oxidación, pintura, etc., logrando una correcta adhesión con el fin de aumentar el área de contacto más resistente. Su deformación plástica permite la formación de micro soldaduras, esto con la destrucción de enlaces entre las superficies de contacto, permitiendo que parte del material desprendido se transfiera a la superficie del otro, este a su vez aumenta la rugosidad lo que produce un desgaste abrasivo con otra superficie en movimiento. [1-4], como lo muestra en la figura (2)

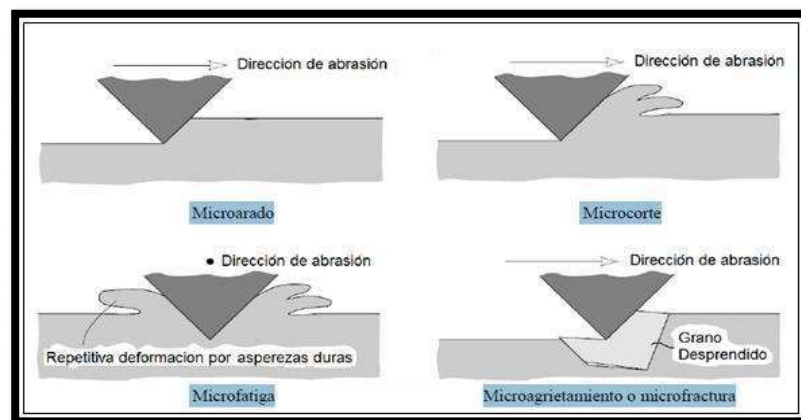


Figura 2 Tipos de abrasión (6)

El desgaste adhesivo se origina por la unión de puntos altos microscópicos (rugosidad superficial) entre dos materiales deslizantes [3]. Durante el contacto de dos superficies y en movimiento se produce una fricción y eleva la temperatura, producto de ello desprende material produciendo una micro soldadura entre las superficies de contacto. El desgaste adhesivo puede inducir un aumento de la rugosidad y la creación de abolladuras (grumos) sobre la superficie original como lo muestra la figura (3). Las superficies que se mantienen separadas por películas lubricantes, películas de óxido, etc. reducen la tendencia a que se produzca la adhesión. En

algunas aplicaciones de ingeniería, las superficies se deslizan en el aire o sin lubricante y el desgaste resultante se denomina deslizamiento en seco [3,6].



Figura 3 Desgaste adhesivo [3]

Fatiga superficial: El desgaste suele entenderse como daño provocado por el contacto de dos elementos donde genera un desprendimiento del material producido por el movimiento entre dos superficies y sustancias de contacto, por otro lado, partícula secundaria de contacto que puede ser algún tipo de grasa o fluido como lubricantes u otros dependiendo del resultado del desgaste el cual puede ser bueno o malo, un desgaste controlado por diseño y mecanizado y otros factores en fabricación [1-5]

Desgaste inquietante: Este tipo de desgaste es causado por la vibración de baja amplitud entre superficies metálicas que se presionan unas contra otras. En máquinas con vibración, las conexiones roscadas, las conexiones estriadas y las conexiones de ajuste de interferencia son expuestas al desgaste por rozamiento.

Se piensa que el mecanismo de desgaste por fricción es producto de la presión normal entre las superficies de fricción lo cual hace que las asperezas de la superficie se peguen. Los

puntos de unión se cortan por una vibración de pequeña amplitud para convertirse en escombros de desgaste, que luego se oxidan como lo muestra la figura (4). Los sobrantes de desgaste oxidados operan como partículas abrasivas en el proceso de desgaste, induciendo a picaduras en forma de gusano en la superficie de fricción [2-3].



Figura 4 Desgaste inquietante [2]

Desgaste erosivo: Este tipo de desgaste que afecta a la gran cantidad de elementos de máquinas industriales, ámbito minero y alimenticio, entre otras dependencias de orden industrial. Este tipo de desgaste está asociado a la pérdida financiera en situación del tiempo al reparar equipos a causa de los componentes desgastados. Este fenómeno provoca corrosión, que es cuando se deteriora un material metálico a causa del medio ambiente. [4]

Desgaste por corrosión y oxidación: Es un proceso de degradación del material ocasionado por efecto de combinación entre corrosión y desgaste. Este fenómeno se entiende como el proceso de desgaste en el que se produce el deslizamiento en un entorno corrosivo. En ausencia de deslizamiento, los productos de la corrosión, en este caso los óxidos formarían una capa de menos de un micrómetro de espesor en las superficies, que tendería a eliminar la corrosión, pero la acción de deslizamiento desgasta la película, para que pueda continuar la corrosión [3]. El desgaste por oxidación como lo muestra la figura (5) es uno de los fenómenos más comunes de desgaste corrosivo, ya que con un entorno rico en oxígeno es un entorno normal en el que se produce este proceso de desgaste. La corrosión requiere dos procesos: corrosión y frotamiento. La corrosión química sobreviene cuando hay un ambiente altamente corrosivo y en ambientes de alta temperatura y humedad [4].



Figura 5 Desgaste por corrosión [4]

## 4.2.1 Mecanismos de desgaste

### 4.2.1.1 Micro cuña

Los mecanismos denominados (cuña y doble cuña), se producen cuando la fuerza aplicada a un material y la resistencia de este a la fractura supera el umbral del 50 %, provocando así una diferencia de material desplazado, generando así la formación de cuñas. Lo anterior genera un mecanismo de desgaste por corte, el cual, su derivación varía respecto a la

geometría de la partícula provocando así ángulos críticos que dan como resultado la transición de mecanismo de micro arado a mecanismos de micro corté.

-Micro soldadura: Las superficies aun cuando sean lisas, si lo miramos microscópicamente encontraremos que tienen un grado de rugosidad, lo que hace que las superficies no se unan de manera uniforme, si no por el contrario, la unión se hace de forma irregular, y al tener estas un movimiento deslizante entre ellas se genera un aumento de temperatura produciendo así una oxidación superficial y micro soldaduras, generando así un desgaste por adhesión, el cual se da de manera intermolecular.

### 4.3 Norma ASTM G65-16 (2021)

La norma que rige el diseño de la máquina fabricada para medir la abrasión, utilizando el aparato de arena seca / rueda de caucho ASTM G65-16 (2021) [8], este procedimiento consiste en determinar la resistencia de los materiales metálicos al contacto con la arena, producirá un desgaste y así tener en cuenta los datos que ayudan a dar un análisis para clasificar los materiales según su resistencia al rayado [3,8].

NORMA	DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO
D-4172	Prevención del desgaste, características de fluidos lubricantes
D-4170	Protección al desgaste por rozamiento mediante grasas lubricantes
G-32	Prueba de erosión por cavitación.
G-65	Ensayo de desgaste abrasivo con arena seca y rueda de caucho.
G-73	Prueba de erosión por choque de líquidos.
G-75	Abrasión en medio húmedo (lodos).
G-76	Erosión por el choque de partículas sólidas mediante chorros de gas.
G-77	Clasificación de la resistencia al desgaste de los materiales, utilizando la prueba de block-on-ring
G-81	Ensayo de abrasión por ranurado.
G-83	Desgaste por cilindros cruzados.
G-98	Prueba de rozamiento.
G-99	Ensayo Pin on disk.
G-105	Ensayo de desgaste abrasivo con arena húmeda y rueda de caucho.
G-132	Ensayos de abrasión por pin.
G-133	Prueba de desgaste por deslizamiento recíprocante.
G-134	Prueba de erosión por cavitación con chorros de líquido.

Figura 6 Tipos de ensayos estandarizados por la norma ASTM G65 [3]





Figura 7 Detalle de ensayo de análisis de desgaste

La prueba de análisis a tres cuerpos ASTM G65-16 establece la resistencia de materiales metálicos por el desgaste rayado mediante la prueba de arena caucho en seco, el propósito de esta prueba es proveer datos que ayuden a clasificar los materiales de acuerdo con su resistencia al desgaste producido por el ensayo. Los resultados del ensayo son tomados con la pérdida de volumen en milímetros cúbicos dando entender que los materiales con menor pérdida de volumen tienen mayor resistencia al desgaste. Para asegurar que el ensayo se realice de manera uniforme, se informa la pérdida de volumen en milímetros cúbicos en sistema métrico. Este método ASTM G65 da cinco procedimientos para realizar de manera adecuada los ensayos de resistencia de materiales. Fueron diseñados como estándar internacional de acuerdo con la norma ASTM G65 con fin de establecer los procedimientos en momento de los ensayos.

<b>Procedimiento A:</b>	Esta es una prueba que clasificará los materiales metálicos en una escala amplia de pérdida de volumen, desde baja hasta extrema resistencia al desgaste. Muy útil para clasificar materiales con una resistencia al desgaste de media a extrema.
<b>Procedimiento B:</b>	Esta prueba es una variación a corto plazo del Procedimiento A. Se utiliza para materiales con alta resistencia a la abrasión, pero es particularmente útil para clasificar materiales con media y baja resistencia a la abrasión.
<b>Procedimiento C:</b>	Esta prueba es una variación a corto plazo del Procedimiento A para usar en recubrimientos delgados
<b>Procedimiento D:</b>	Esta prueba es una variación de carga más ligera del Procedimiento A y es particularmente útil para clasificar materiales con baja resistencia al desgaste. También se usa para clasificar ciertos tipos de materiales que están muy cerca en las tasas de pérdida de volumen desarrolladas por el Procedimiento.
<b>Procedimiento E:</b>	Esta prueba es una variación a corto plazo del Procedimiento B, útil para clasificar materiales con resistencia al desgaste media o baja.

Figura 8 Tipos de procedimiento en los ensayos ASTM G65 [3]

#### 4.4 Procedimiento

La tabla 2 muestra las variables principales para realizar el ensayo de desgaste abrasivo a tres cuerpos bajo la norma ASTM G65.

Procedimiento	Fuerza en N	Tiempo	Revoluciones del disco
A	130	10	6000
B	130	10	2000
C	130	10	100
D	45	10	6000

Tabla 1 Tabla 1 Rangos para las diferentes pruebas de desgaste abrasivo astm g65 [6,5]

Los componentes principales de las máquinas para realizar el ensayo de desgaste abrasivo a tres cuerpos se presentan en la figura 9.

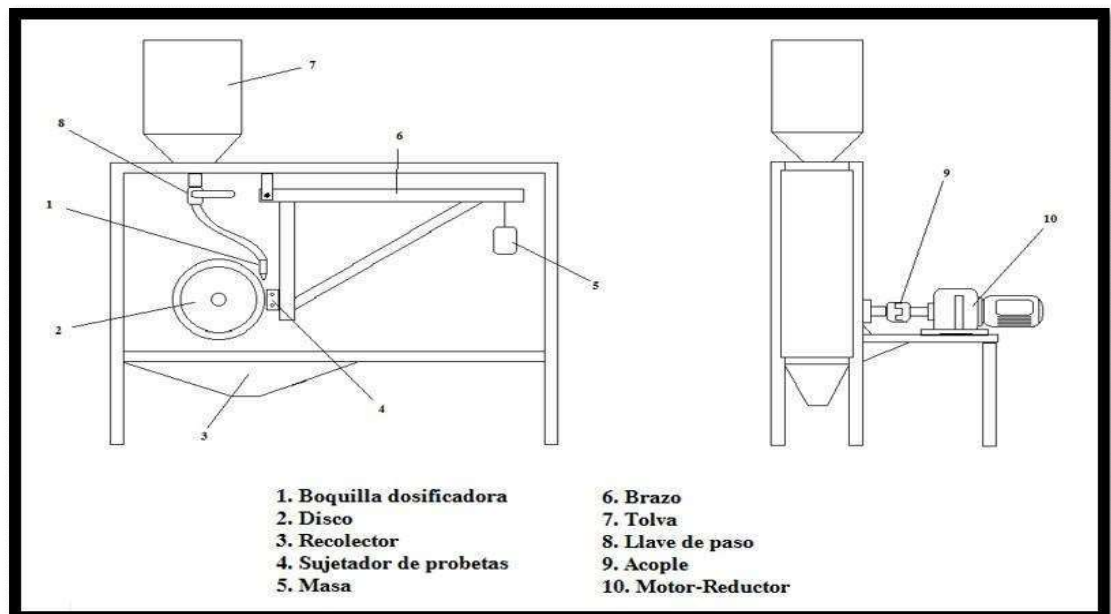


Figura 9 Esquema general MÁQUINA DE ENSAYO SEGÚN LA NORMA ASTM G-65

Requerimientos	Descripción	Origen
Potencia transferida al disco	1 HP	ASTM G65
Velocidad angular del disco	200 +/- rpm	ASTM G65
Fuerza ejercida sobre las probetas	130/45N (dependiendo del procedimiento)	ASTM G65
Dosificación de abrasivo	300-400 grs/min	ASTM G65
Alimentación eléctrica	220V	Planta fisica
Disco abrasivo	caucho de clorobutilo. La dureza sugerida para el recubrimiento de caucho es A60, sin embargo, el rango admisible permite durezas entre 58 y 62	ASTM G65
Material abrasivo	Arena sílice-tamiz 50/70	ASTM G65

Tabla 2 Requerimiento de técnicos de la norma astm g-65[13]

- Boquilla dosificadora de arena.

La boquilla se encargará en dar un flujo laminar constante su flujo debe ser 250 a 350

gramos por minuto. Este flujo será en el mismo sentido de giro del disco [4].

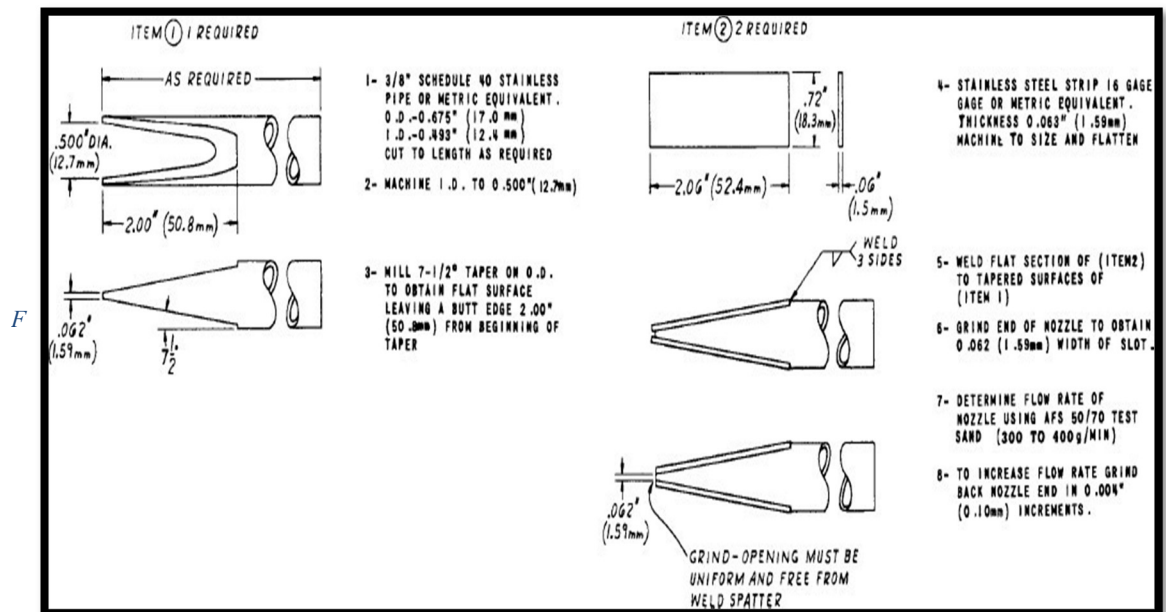


Figura 10 Boquilla dosificadora de arena [4]

- Disco recubierto de caucho.

El disco debe de ser de aceros AISI 1045 según la norma ASTM G 65, en borde con tara con recubrimiento en caucho de cloro butilo, el cual deberá contar con una dureza 58 a 62 shore, de 228 mm pulgadas de diámetro con espesor de 12,7 mm y un recubrimiento de 12,7 mm.

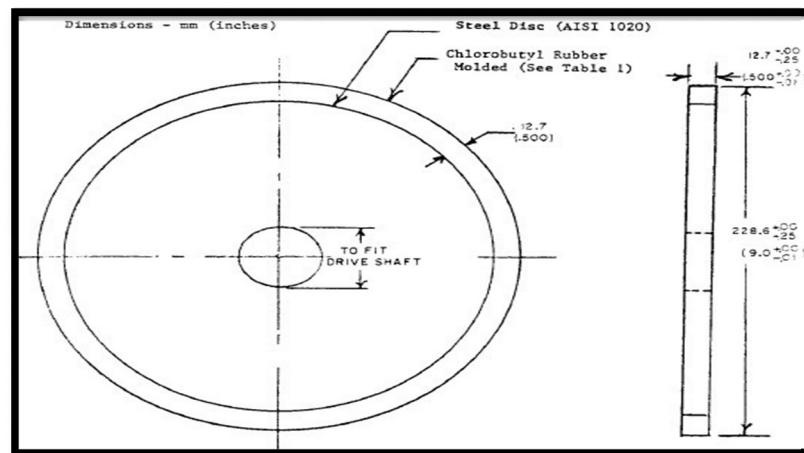


Figura 11 Disco recubierto de caucho ASTM G65[4].

- Arena abrasiva de sílice AFS 50/70

La forma geométrica de este tipo de arena debe ser es un grano redondeado con matiz (AFS 50/70) sin humedad máximo permitido de 5% en peso, un mayor porcentaje afectaría el flujo por la probeta disminuyendo la velocidad de flujo que saldrían por la boquilla, para esto debe calentar una muestra a 120° durante una hora, si la muestra evidencia humedad excesiva se debe calentar de nuevo la a arena a 100 °C una hora para cumplir con norma ASTM G 65.

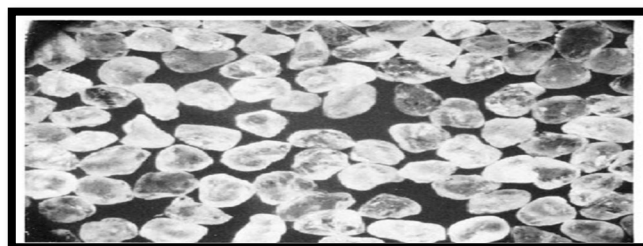


Figura 12 Abrasivo de arena sílice de granulometría AFS 50/70.[4]

- Brazo porta probeta

El brazo porta probeta se encarga de generar una fuerza de 130 N sobre la probeta que está en contacto con caucho del disco, este brazo de mantener fuerza requerida para cumplir con la norma ASTM G65.

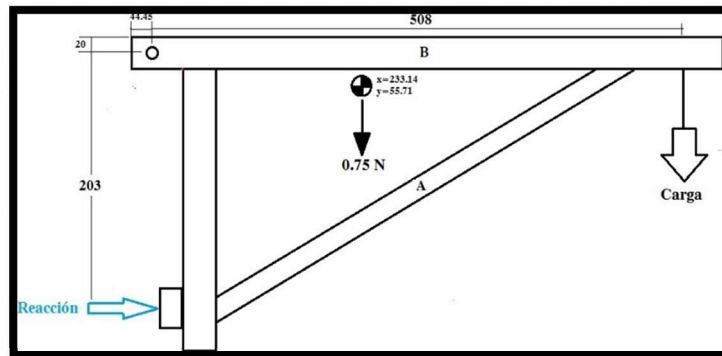


Figura 13 Brazo porta probetas [4]

#### 4.5 Cálculo de desgaste abrasivo

Con el fin de determinar la pérdida generada por desgaste abrasivo la unidad de utilizada es volumen y dimensiones del componente analizar, las ecuaciones para este procedimiento de acuerdo con la norma ASTM G65 se debe tener en cuenta las siguientes variables [10]

$$v = \frac{K * L * X}{H}$$

*Ecuación 1*

- V = Volumen de desgaste del material
- K = Coeficiente de desgaste
- H = Dureza GPA de muestra desgastada
- L = La fuerza ejercida sobre la probeta la probeta de medida en N
- X = Valor de abrasión ideal expresada en metros

Nota: El coeficiente de desgaste (K), para este se debe tener la micro dureza del material, el volumen desgastado y las condiciones para realizar el ensayo. K se obtendrá con la ecuación Achard. [6]

El desgastado del material se puede determinar con la pérdida de masa de las probetas de ensayo producto de estudio del proceso de desgaste [6]:

$$Vp = \frac{\text{Masa perdida (g)}}{\text{Densidad } \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)}$$

*Ecuación 2*

- V volumen de desgaste del material más blando en mm<sup>3</sup>
- mi y mf valor inicial y final
- $\delta$  = Densidad del material en g/cm<sup>3</sup>

#### 4.6 Alistamiento de la probeta

De acuerdo con la norma astmg65 la cual no da dimensiones o diseño esto va de acuerdo con la porta probeta y sistema de sujeción al diseñador

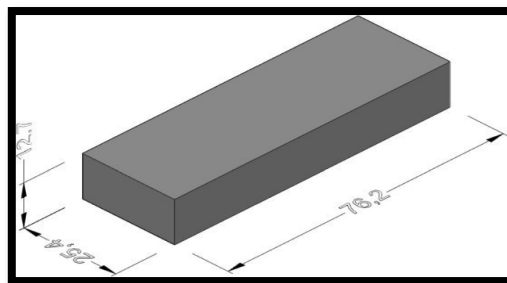


Figura 14 Dimensiones de probeta

### Validación de uniformidad de probetas

Para verificar que la huella de desgaste este correcta, uniforme sin desviaciones, se toma como referencia norma ASTM G65 corresponde figura (15) donde se visualiza una huella correctay una mala se puede producir por varios factores

- La boquilla no está centrada
- El disco tenga bote
- La fluidez de la arena se ha interrumpida o esta tapa
- La fuerza del brazo no sea suficiente o excesiva

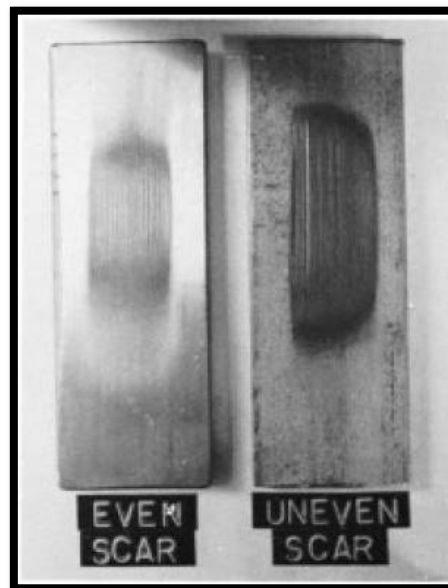


Figura 15 ASTM G65

#### 4.7 Funcionamiento del equipo

El funcionamiento del equipo consiste en colocar una probeta, cuyas dimensiones son 76,2 mm de largo, ancho 25,2 mm y 12,7 mm de espesor, como muestra la figura 2.7, en un porta-probeta del brazo, la cual quedara enfrenteada contra la goma del disco de caucho cloro butilo moldeado. A su vez la fuerza del brazo estará determinada por el procedimiento que se va a realizar (ver tabla 2). Las revoluciones por minuto del motor son evidenciadas por la tabla 2, Se procede abrir la válvula de paso de arena cual bajará por tubería y saldrá por la boquilla. [2,3,4].

Antes de poner en funcionamiento la máquina de ensayos de desgaste abrasivo, se debe verificar la correcta postura y centrado de la probeta contra la disco y de igual manera la uniforme caída de la arena como se evidencia en la figura 2.8. La huella de desgaste, producto del ensayo, debe ser uniforme, como se ve en la figura 13 (b) para garantizar que el ensayo fuera exitoso, la profundidad varía de acuerdo con el material y procedimiento [1,4].

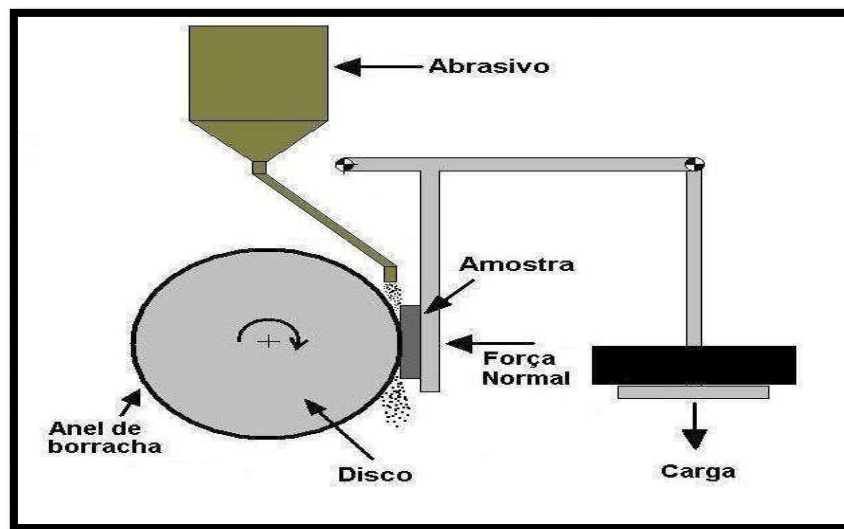


Figura 16 Esquema de maquina a realizar pruebas de desgaste abrasivo



## 4.8 Control eléctrico

El sistema de control es el encargado de gestionar todas las funciones eléctricas de la máquina para ensayos de desgaste abrasivo a tres cuerpos, cuyo funcionamiento deberá aplicarse a otros elementos mediante la conexión o la desconexión de los diferentes componentes presentes en la máquina, como son:

1. Perilla encendido y apagado
2. Indicadores luminosos
3. Botón parado de emergencia
4. Variador de velocidad
5. Contactor 110v (conexión y desconexión variador de velocidad)
6. Temporizador
7. Filtro extracción material particulado presente en la prueba
8. Resultados y conclusiones

## 4.9 Sistema de control particulado

La función de este sistema es garantizar que en momento que la maquina esté en funcionamiento el material particulado se contenga dentro de la cabina y en monto que maquina deje trabajar este sistema constan de un El colector de polvo Cyclone utiliza fuerza centrífuga para capturar y eliminar el 98% este sistema es utilizado en las máquinas de El sandblasting como se ve en la veremos el funcionamiento de filtro.

## 5. Diseño y construcción

### 5.1 Diseño Estructura

De acuerdo con el marco teórico y las dimensiones de los equipos que darían funcionamiento y mecanismos que van dentro de la cabina de ensayo se diseñó una estructura con la unidad de medidas está en milímetros.

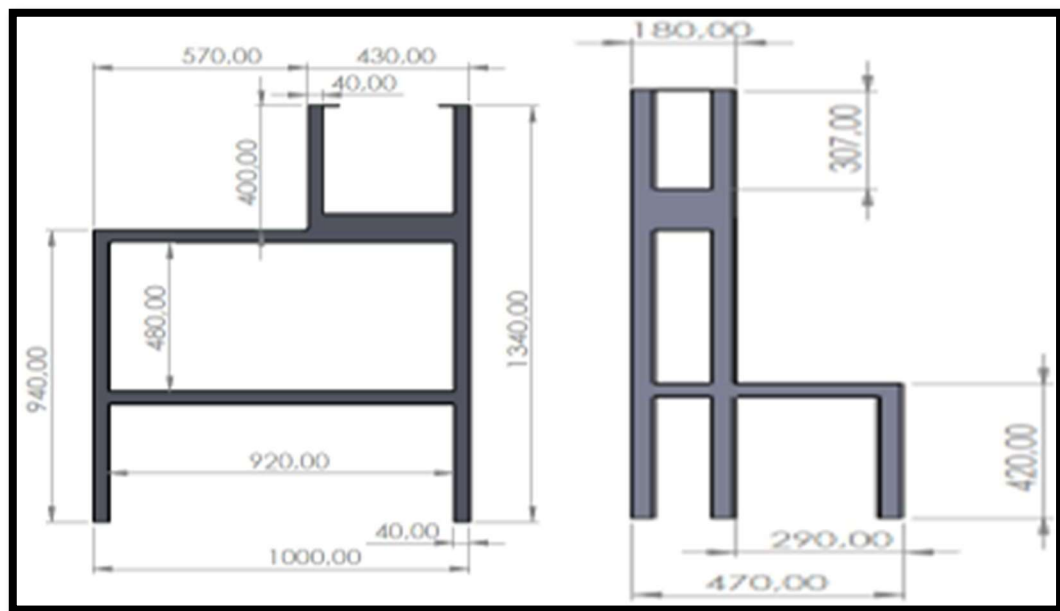


Figura 17 Diseño de estructura

### 5.2 Análisis estructural

El análisis se realiza con el programa solworks sobre base de la tolva y base de motor para el análisis se usará un tubo estructural de es de acero HR grado 50 con espesor de 6mm. Su

límite elástico máximo de  $6,20422e + 0,8 \frac{N}{m^2}$  como resultado del análisis  $1,929e + 07 \frac{N}{m^2}$  no supera especificaciones técnicas del material elegido dando como resultado que es el adecuado para su fabricación.

Para el análisis estructural se realiza sobre soportes que esta puesto la tolva que es la encargada de almacenar la arena su peso a soporta es 20 kilogramos como la figura (18,19)

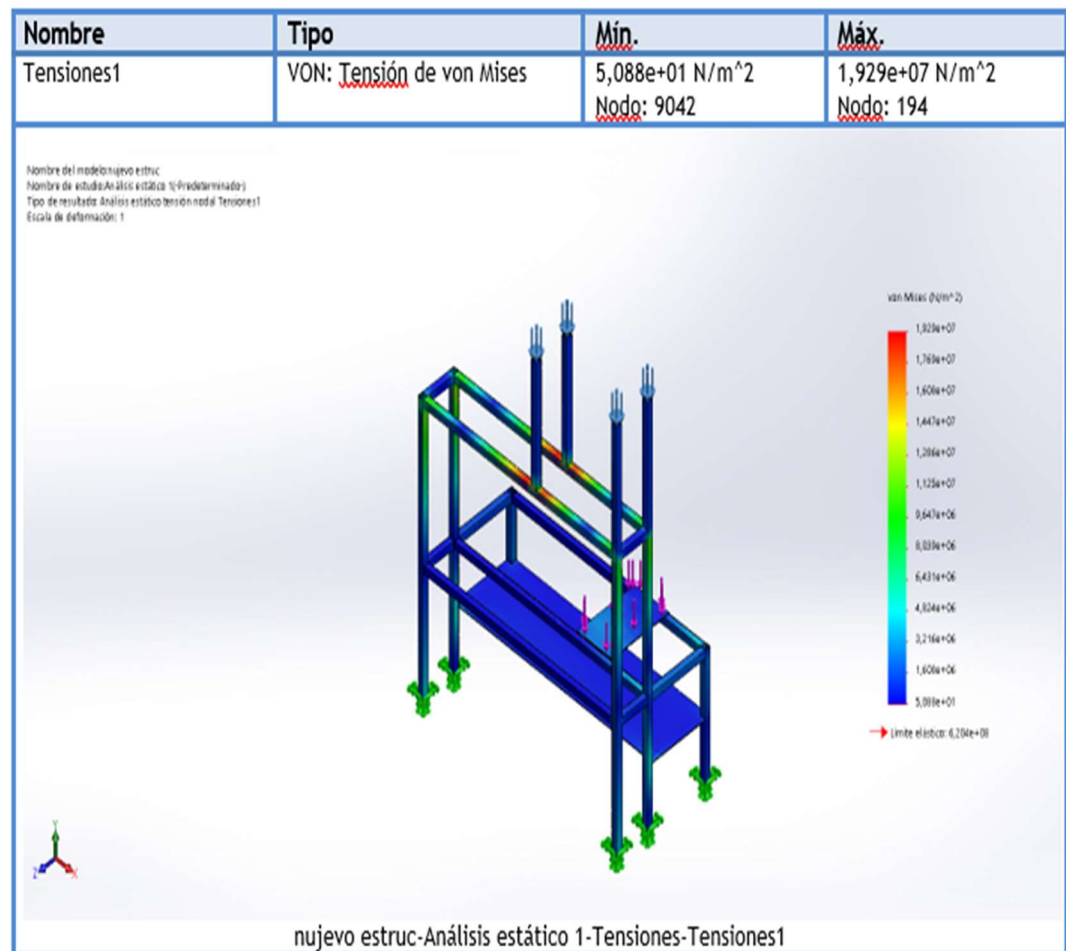


Figura 18 Análisis estructural

Otro elemento a soporta el motor cuyo peso es de 4 kilogramos.

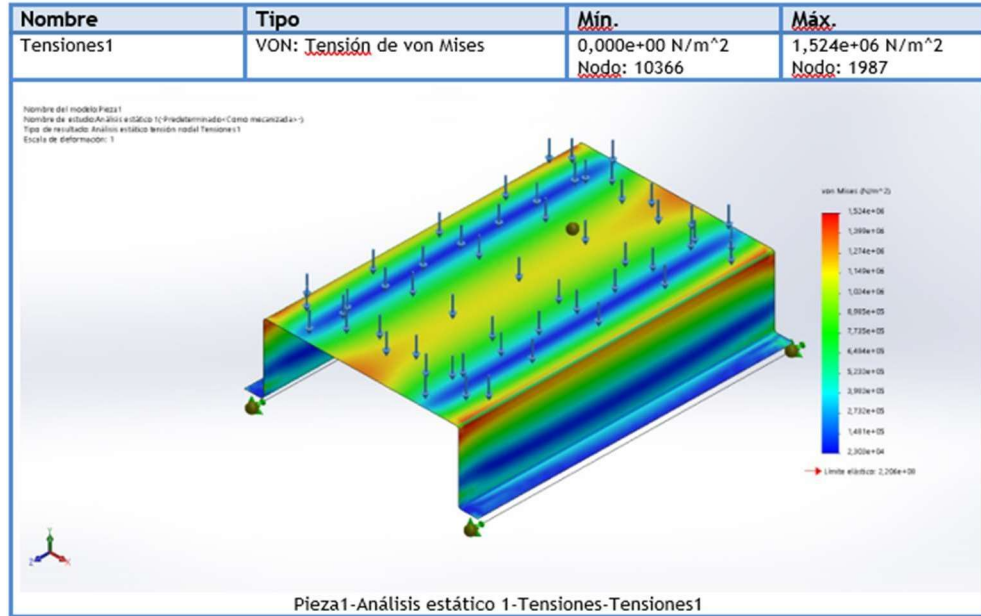


Figura 19 Análisis estructural de soporte motor

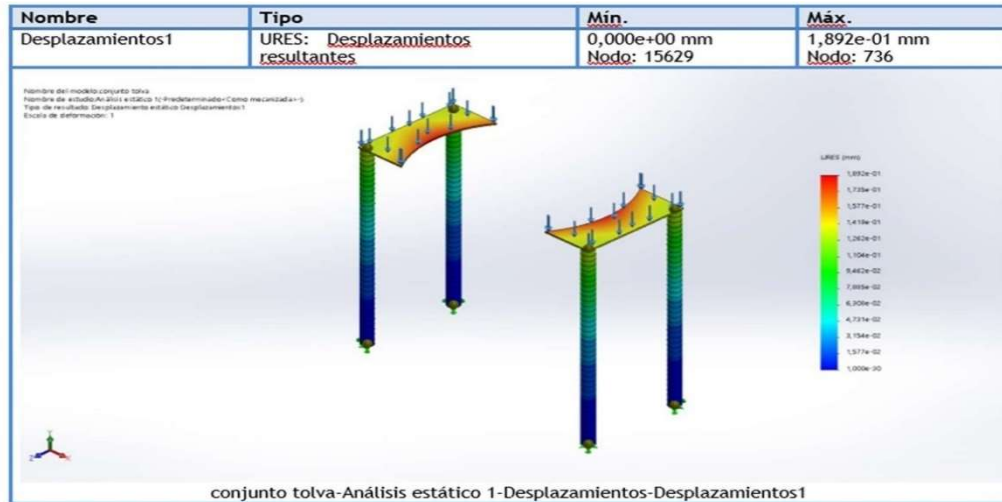


Figura 20 Análisis estructural soporte de tolva

### 5.3 Diseño de Tolva

La tolva en V es la encargada de almacenar la arena, su capacidad es de 20 litros, cuenta con un conector de media pulgada y una válvula la cual se ubican en la parte superior de la máquina, dentro de los requerimientos de la norma no se especifica el tipo de geometría que debe tener este contenedor.

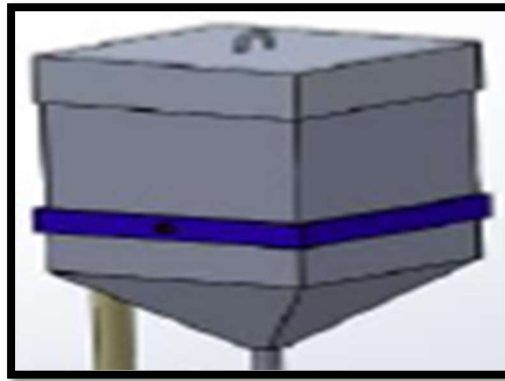


Figura 21 Diseño de tolva

#### 5.3.1 cálculos de capacidad de la tolva en v

Para garantizar la capacidad de la tolva se utilizar la siguiente formula con los siguientes da

Cálculo de volumen:

$$V = \frac{H}{3}(a^2 + b^2 + a * b) + a^2c + b^2d$$

*Ecuación 3*

$$V = 35208 \text{ cm}^3$$

$$Lt = \frac{35208}{1000\text{m}^3} = 35\text{m}^3$$

*Ecuación 4*

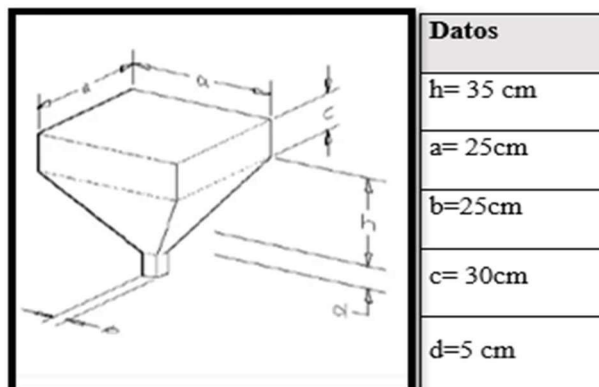


Figura 22 Cálculo de capacidad tolva v

## 5.4 Diseño de componentes de cabina de ensayo

### 5.4.1 Diseño de brazo porta probeta

El brazo es un mecanismo encargada de generar palanca de probeta contra rueda, en otro extremo sostendrá una pesa la cual generará fuerza constante sobre la probeta contra la rueda la fuerza requerida en las pruebas es de 130 N según los procedimientos ABC estas medidas del brazo son en milímetros.

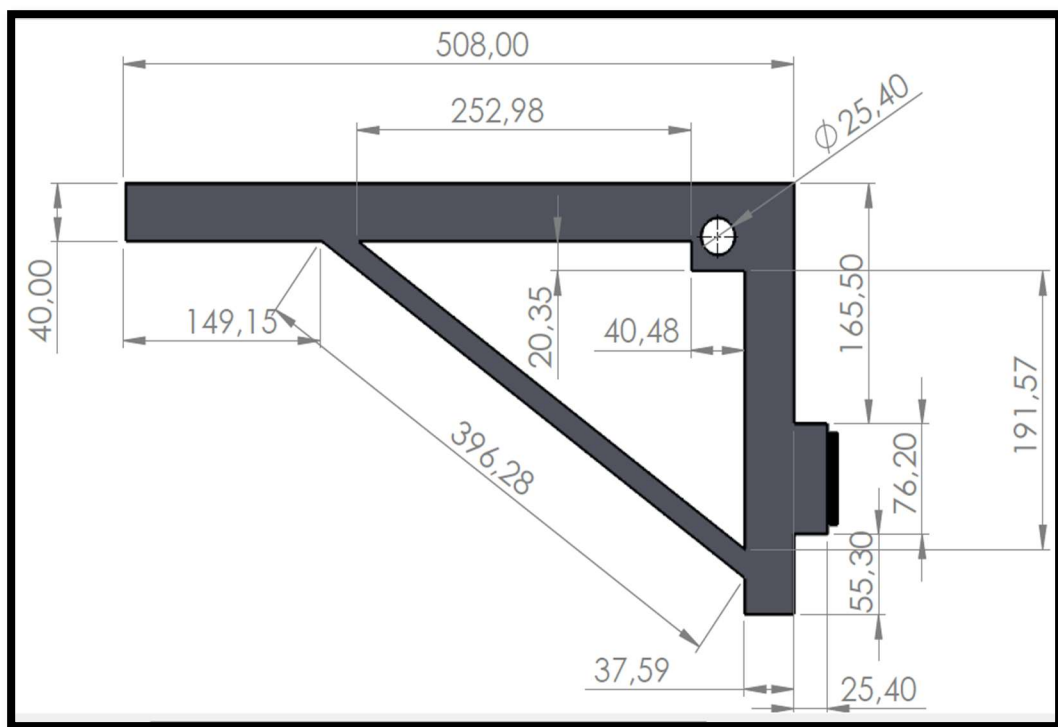


Figura 23 Diseño de brazo

Con el fin de cumplir con la fuerza establecida en la norma y poder cumplir con los procedimientos más fuertes que se requieren sobre la probeta de 130 N, se realiza la fórmula de diagrama de cuerpo como teoría de resistencia de materiales

### 5.4.2 Ecuaciones de brazo

Calcular peso requerido para generar 130 N de fuerza en probeta según la norma ASTM G-65

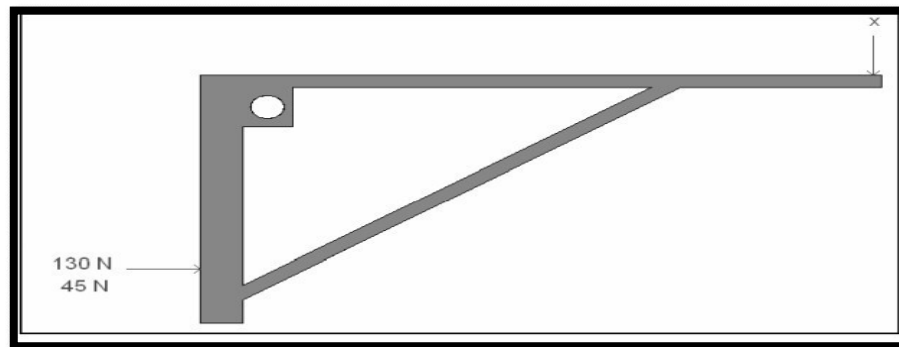


Figura 24 Fuerza a calcular sobre la probeta

$$X = \frac{(130 \text{ N}) * (0.20M)}{0.50M} = 52 \text{ N}$$

*Ecuación 5*

se realiza el cálculo de la carga aplicada al brazo en kg para producir una fuerza de N mediante el análisis de momentos al brazo de palanca

$$m = \frac{52N}{9.81m/s} = 5,3kg$$

*Ecuación 5*

Análisis estático del brazo porta probeta en el momento del ensayo don la deformación no afectaría la estructura. ya límite elástico de  $3,51571e + 0,8 \frac{N}{m^2}$  como resultado del análisis es no supera  $1,1e + 0,7 \frac{N}{m^2}$  especificaciones técnicas del material elegido dando como resultado que es el adecuado para su fabricación.

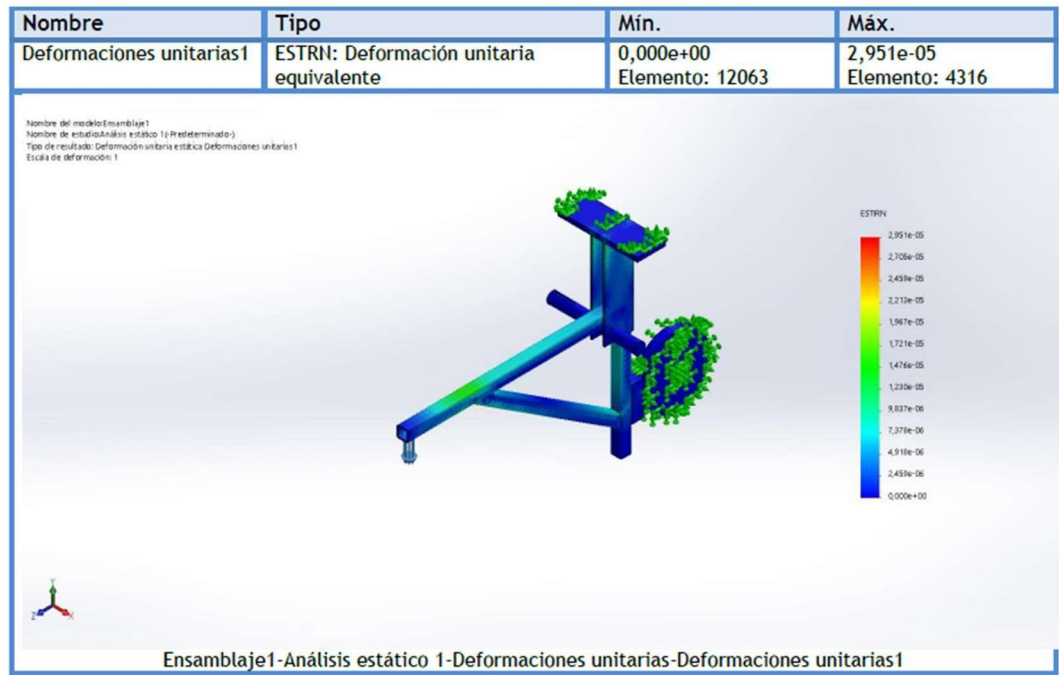


Figura 25 Análisis estructural de brazo

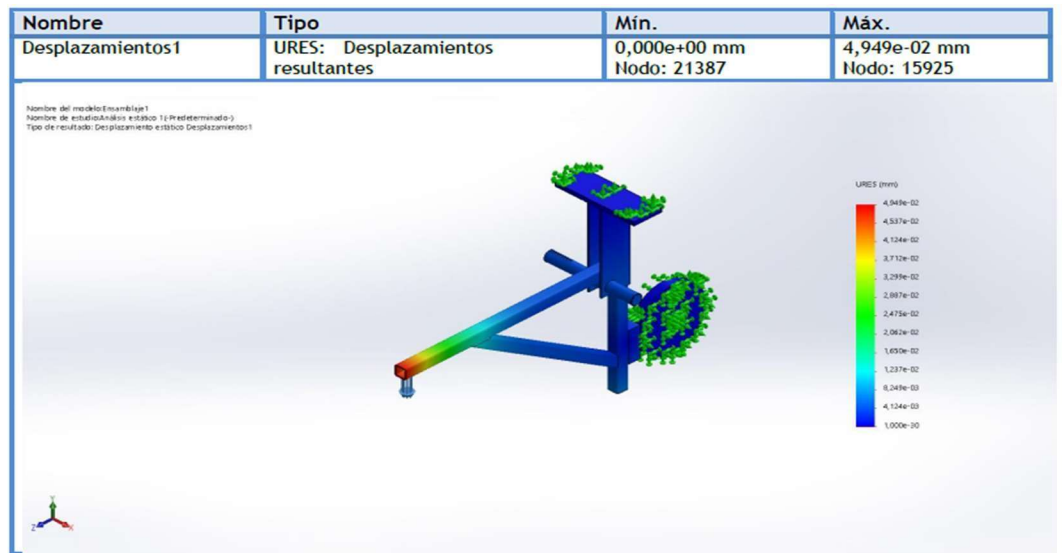


Figura 26 Análisis estructural de brazo



### 5.4.3 Geometría de la boquilla

La boquilla se encarga en dar un flujo laminar constante, el flujo debe estar entre 250 a 350 gramos por minuto. Este flujo será en el mismo sentido de giro del disco, se utiliza un tubo de acero inoxidable por la durabilidad del material y así garantizar que la arena sílice-tamiz 50/70 no afecte el flujo. Las medidas de la boquilla son en milímetros cumplen los estándares establecidos en la norma ASTM G 65-16 como lo muestra la figura 3.8 [2,5]

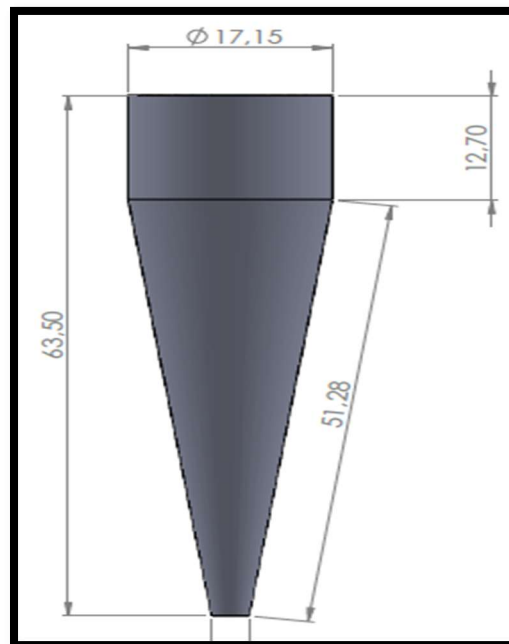


Figura 27 Diseño de boquilla

### 5.4.4 Diseño y cálculo del eje:

El eje deberá transmitir el movimiento del motor al disco, soportar el peso del disco y la fuerza generada por el brazo. Este eje está soportado sobre dos chumaceras de una pulgada, en un extremo con un acople tipo araña de una pulgada y en otro extremo soportara el peso del disco.

Para este análisis se realiza un diagrama de cuerpo libre, para el eje que se observa

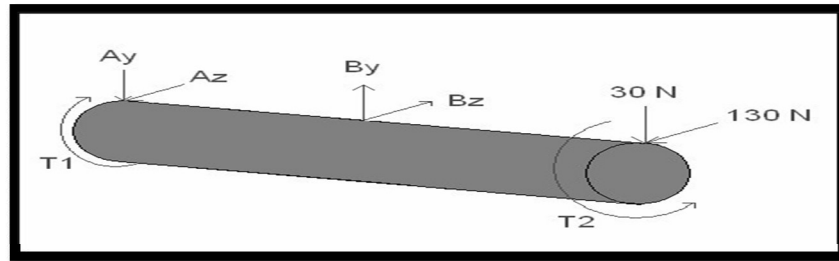


Figura 28 Diagrama de cuerpo libre

Se realiza análisis en los ejes Y y Z por separado

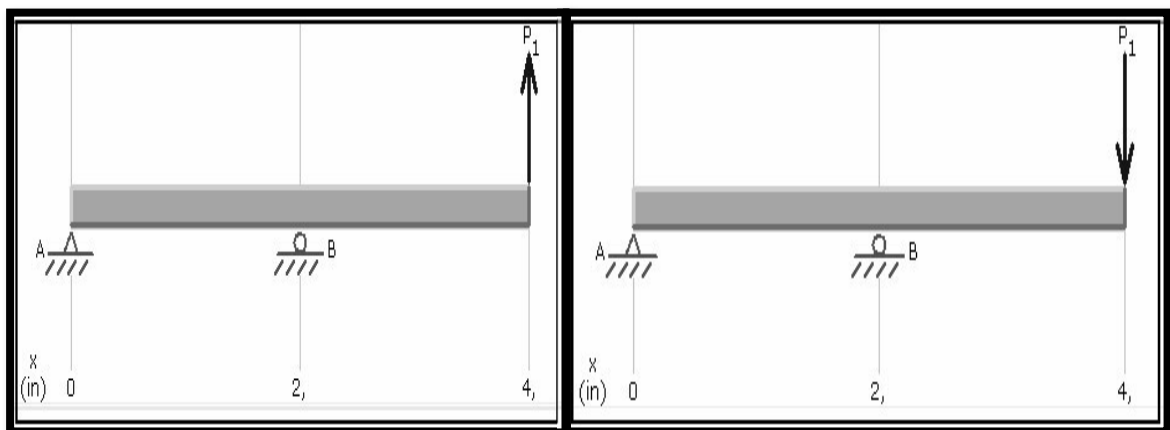


Figura 29 análisis de eje Y - Z

Para esto se realiza la sumatoria de los momentos en el anclaje con el motor por medio del acople de motor tipo araña para encontrar Ay y By debemos pasar las fuerzas de N a Lbf.

$$30N = 6,744lbf$$

$$ZM = 8By - (20)(6,744) = 0$$

*Ecuación 6*

$$By = 5.034 \text{ lbf}$$

$$BFy = Ay + 5.034 - 6.744 = 0$$

$$Ay = -1,74 \text{ lbf}$$

Diagrama cortante en V

$$V = -6.774(X)^0 + 6.774(X)^0 - 6.774(X)^0$$

*Ecuación 7*

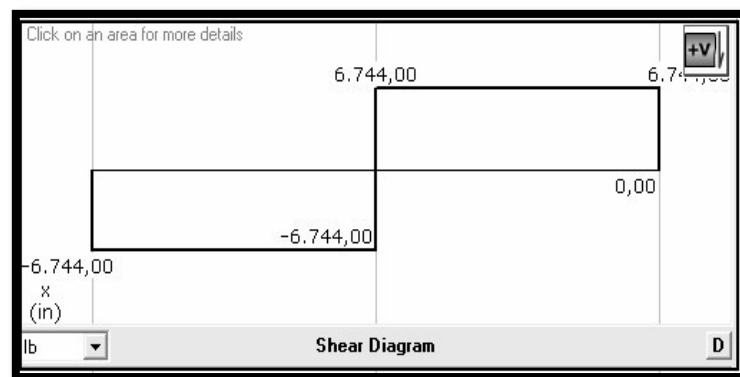


Figura 30 Diagrama de cortante en el eje y

Se toma la función de diagrama cortante para obtener la función del diagrama de momento

$$M = -6,774(X) + 13.488(X - 2) - 6,774(X - 4)$$

*Ecuación 8*

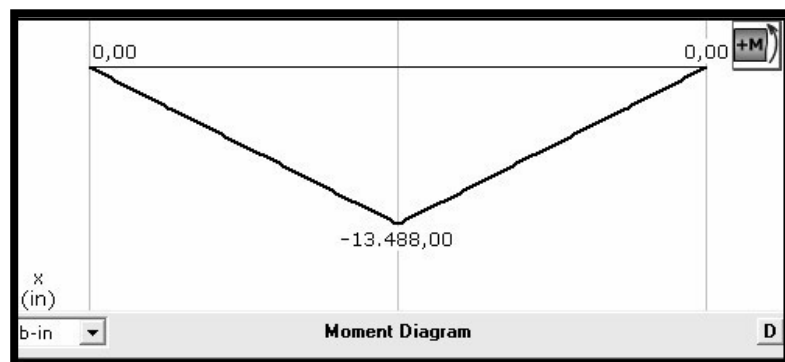


Figura 31 Diagrama en momento Y

De acuerdo con los caculos se diseña el eje.

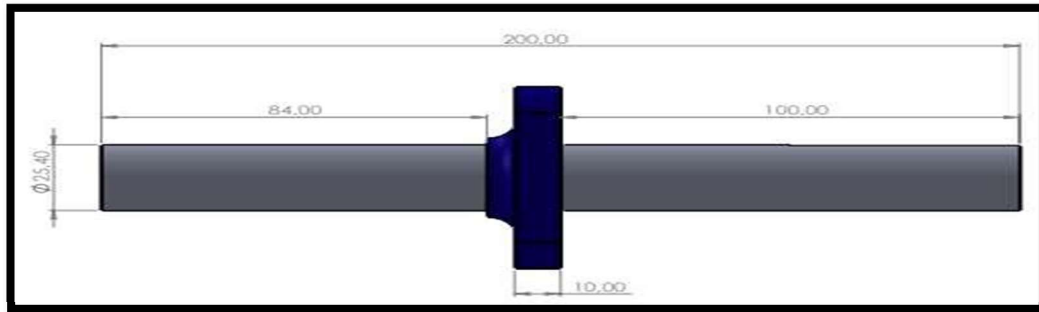


Figura 32 Diseño de eje" archivo personal"

#### 5.4.5 Análisis de cargas de eje de disco

Para el análisis se utilizó una barra redonda de acero 1020 con un límite elástico es de

$6,20422e + 0,8 \frac{N}{m^2}$ , y como resultado del análisis este material el límite máximo es

$1,256e + 0,8 \frac{N}{m^2}$  el cual es acto el material elegido no supera los lumbrales y es adecuado

para su fabricación.

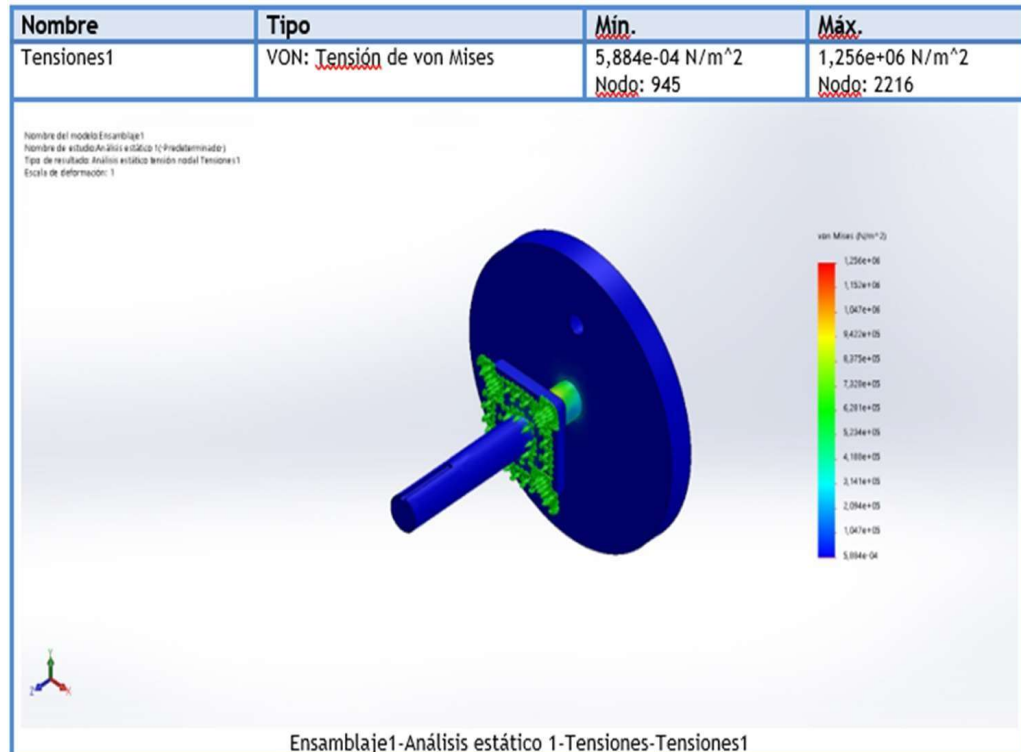


Figura 33 Análisis de eje

### 5.4.6 Diseño de disco

La rueda es la encargada de tener una velocidad angular de acuerdo con el procedimiento elegido esta deberá estar fabricada en acero este deberá contar con eje, chumacera, y en recubrimiento en caucho cloro butilo las medidas del disco son en milímetros.

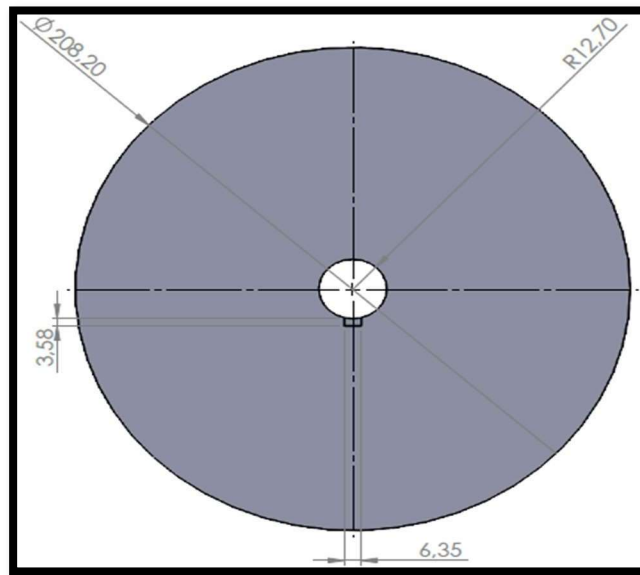


Figura 34 Diseño de disco

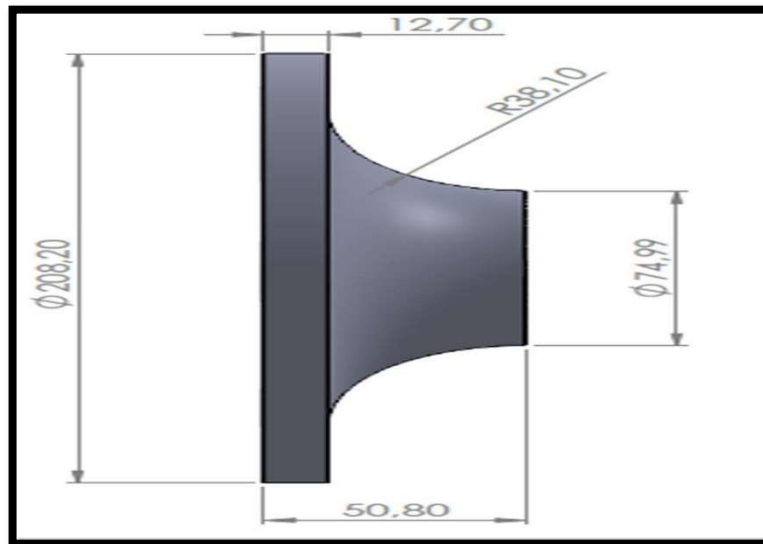


Figura 35 Diseño de disco

### 5.4.7 Diseño de tolva inferior

Esta tolva se encargará de dirigir el caudal de arena granulada producido por el ensayo para recolectar y enviar al colector de almacenamiento, son en milímetros.

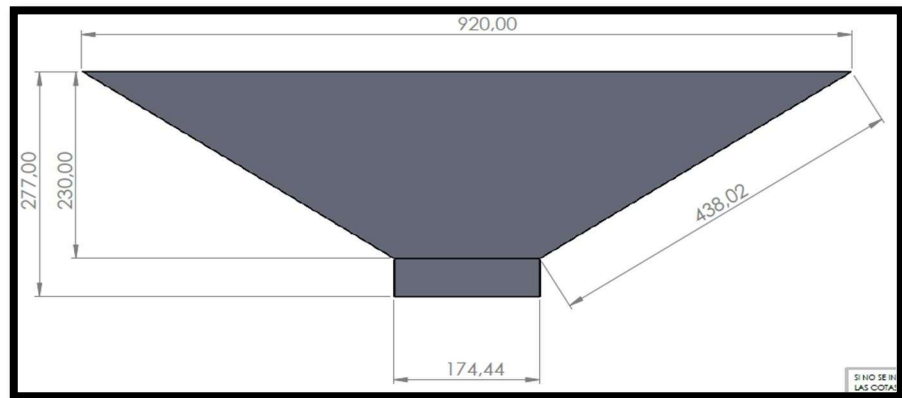


Figura 36 Diseño de tolva inferior

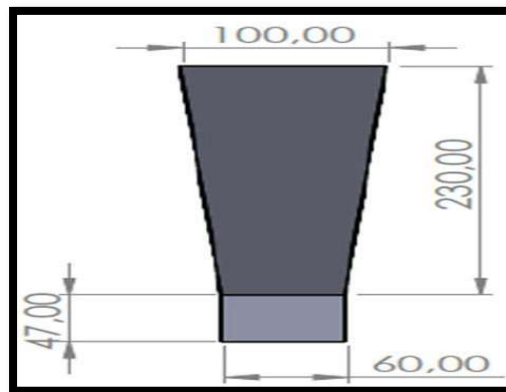
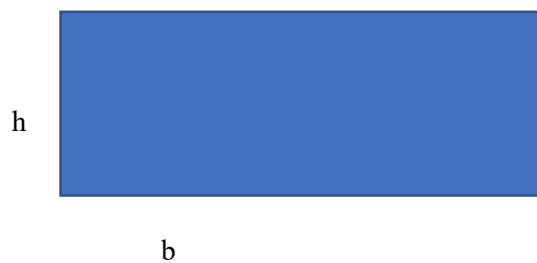


Figura 37 Diseño de tolva inferior

### 5.4.8 Cálculos de área extraer material particulado

Se calcula volumen en metros cúbicos de la cabina y de la tolva inferior y de acuerdo con el resultado se buscará por ficha técnica el motor ideal para extraer material particulado antes de abrir la cabina.

Volumen estructura



$$\text{área rectángula} = b \cdot h$$

*Ecuación 10*

$$A = 0.92m \cdot 0.45m$$

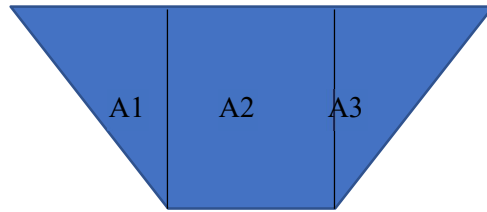
$$A = 0.414m^2$$

Volumen ortoedro =  
Arearectángulo\*profundidad

*Ecuación 9*

$$A = 0.414m^2 \cdot 0.10m$$

$$A = 0.0414m^3$$



Volumen trapezoide=área trapezoide \* profundidad *Ecuación 12*

$$V_{\text{trapezio}} = 0.1176\text{m}^2 \times 80\text{m}$$

$$V_{\text{trapezio}} = 9.408\text{m}^3$$

*Ecuación 13*

Volumen total = volumen ortoedro

+volumen del trapezoide

$$v_t = 0.0414\text{m}^3 + 9.408\text{m}^3$$

$$v_t = 9.449\text{m}^3$$

Selección y adecuación de filtro colector para el sistema de extracción y control de material particulado se toma como referencia la cabina de una máquina de sandblasting como se ve en la figura (38)

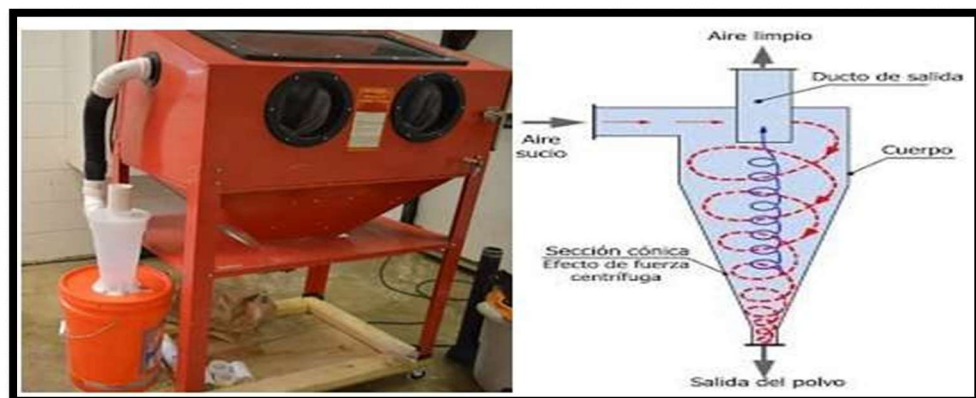


Figura 38 Máquina de sandblasting con colector de polvo cyclone



## 6. Construcción de estructura

### 6.1 Selección de material

En la fabricación por sus características mecánicas y resistencia se utilizó tubo cuadrado estructural hecho en ACERO HR GRADO 50 de una pulgada, resistencia al peso y vibración, la penetración de la soldadura es excelente y se puede soldar con revestida, mig (soldadura por arco con gas) y TIG soldadura por arco con electrodo de tungsteno, este tubo es muy utilizado para construcción maquinaria e industria, la ficha técnica la podremos ver en figura (40).

Tubo Cuadrado 25,4mm x25,4mm x 1.2mm C18 x 6000mm   ACESCO	
Lado 1	25,4mm
Lado 2	25,4mm
Norma Técnica de Fabricación	NTC 4526
Material	ACERO HR GRADO 50
Tipo	Estructural
Medidas	25,4 x 25,4 mm
Espesor (mm)	1.2mm
Largo	6000mm

Figura 40 Ficha técnica tubo cuadrado estructural



Figura 39 Contrición de estructura

### 6.1.1 Aplicación de anticorrosivo y pintura

Se utilizó anticorrosivo industrial azul mate marca Agrecol y pintura azul España pintucolor.



Figura 41 Anticorrosivo "archivo personal"

### 6.1.2 Selección de material para tolva

Para la fabricación se escoge lamina de cold rolled estructural en acero estandarizada bajo la norma ASTM A424, debido a sus propiedades mecánicas fácil de soldar y aplicación de anticorrosivo y pintura.

### 6.1.2.1 fabricación de tolva



Figura 42 Fabricación de tolva



Figura 43 Tolva fabricada y con válvula de paso

La llave de paso o válvula Este mecanismo su función es contener y dar el paso a la arena

### 6.1.3 Selección de material

Se eligió para su fabricación un tubo cuadra estructural el cual es utilizado en la industria automotriz, estructural y fabricación de maquinara, corresponde una pulgada su estructura es de acero HR grado 50 con espesor de 6mm.

### 6.1.4 Fabricación de brazo



Figura 44 Brazo porta probeta



Figura 45 Construcción de brazo y porta probeta

#### 6.1.4.1 Selección de material

Se fabrica un disco de acero AISI 1045, se maquina disco y dando la forma que requiere la norma contara una cuña y dos puntos de sujeción.

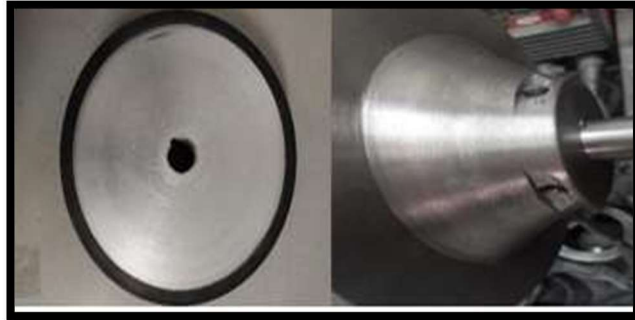


Figura 46 Construcción de disco

El recubrimiento solicitado por la norma ASTM G 65 indica que es un caucho de cloro butilo con una dureza de 58 a 62 shore, debido que en el mercado no se consigue este material nos apoyamos para su fabricación en la empresa Universal de rodillos y mezcla (URM) localizada en Bogotá.



Figura 47 Vulcanización de disco

### 6.1.5 Selección de material para eje

En la fabricación del eje y de acuerdo con el análisis estructural de la figura 33 se utilizó una barra de acero SAE 1020 utilizado para estructuras, pernos y ejes, de 241 Mpa y su dureza d 60 Hot rolled, adicional a estose realizó dos cuñas en cada extremo, eje maquinado de acuerdo con el diseño.



Figura 48 Eje construido

Para el punto de apoyo se utilizan dos chumaceras tipo brida cuadrada, alojamientos de acero fundido de pulgada con grasera y rodamiento sellado para evitar filtración material particulado y salida

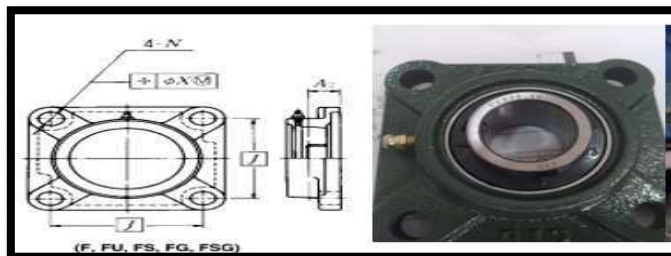


Figura 49 Chumacera de para eje

### 6.1.6 Selección del material y construcción de boquilla.

Se fabricará en acero inoxidable ASI 304 el cual posee resistencia a la corrosión a altas temperaturas y su bajo contenido de carbono lo hace fácil para la soldadura, este tipo de acero es utilizado para mueble de cocina, evaporadores, laboratorios y otros.

#### 6.1.6.1 Contrición de boquilla



Figura 50 Contrición de boquilla



Figura 51 Boquilla terminada

### 6.1.7 Filtro colector de polvo Cyclone

Para el control de material particulado se eligió un filtro de colector tipo cyclone por diseño interno que utiliza fuerza centrífuga generada por el motor y esta a su vez separa el material particulado del aire dirigiéndolo al centro de filtro, fue adquirido en la empresa Kiel ingenieros sas, ubicada en Bogotá especializada en sistema de cabina de pintura, humo, extractores de polvo, Debido que el volumen de la cabina es pequeño y el área cubica es de 41 mm cúbicos nos recomendó este filtro es utilizado para la máquina de sandblasting aspiradoras y su vida útil es larga y de fácil instalación.



Figura 52 Colector de polvo cyclone

Para la succión del material particulado se usó un motor de aspiradora industrial de 1400 w a 110 voltios de una sola turbina sin filtro con una capacidad de succión es de capacidad volumétrica de 82 kp.



Figura 53 Motor de extracción de polvo



## 7 Ensamble de maquina

En proceso de ensamblado se instaló el brazo con tornillo y entre el disco y eje, se utilizó dos chumaceras de pulgada la cual como lo muestra la imagen.

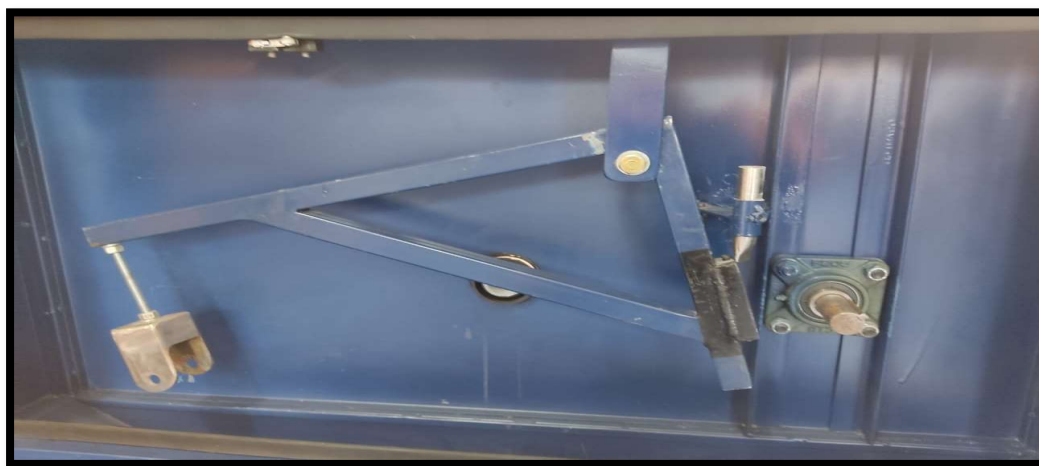


Figura 55 Ensamble de brazo mecánico y boquilla

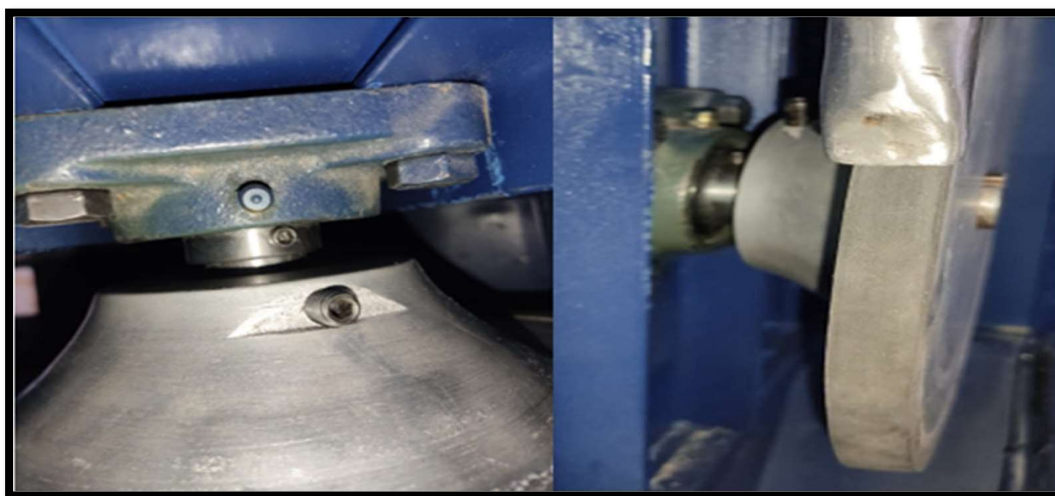


Figura 54 Ensamble de disco, eje y chumacera

### 7.1 Ensamble de probeta y manguera

Esta instala probeta fabricada con manguera industrial para trabajo industriales y cumple o supera los requisitos de norma SAE 100R1 TIPO S Y 8531SN el cual permite dar curva sin deformación es utilizada sandblasting y su fácil ubicación en el mercado.



Figura 56 Ensamble de manguera de boquilla

### 7.2 Se completa el ensamble mecánico de la cabina de ensayo a tres cuerpos



Figura 57 Ensamble completo de maquina

### 7.3 Ensamblaje de eje a motor

Se utiliza un conector tipo de araña de una pulgada el cual se tornea de acuerdo con las medidas del eje del disco y eje de motor.



Figura 58 Ensamble de motor con al eje

#### 7.4 Ensamble de sistema de control de material particulado

Se realiza ensamble del sistema colector consta de filtro, motor, depósito de arena y conector a cabina.

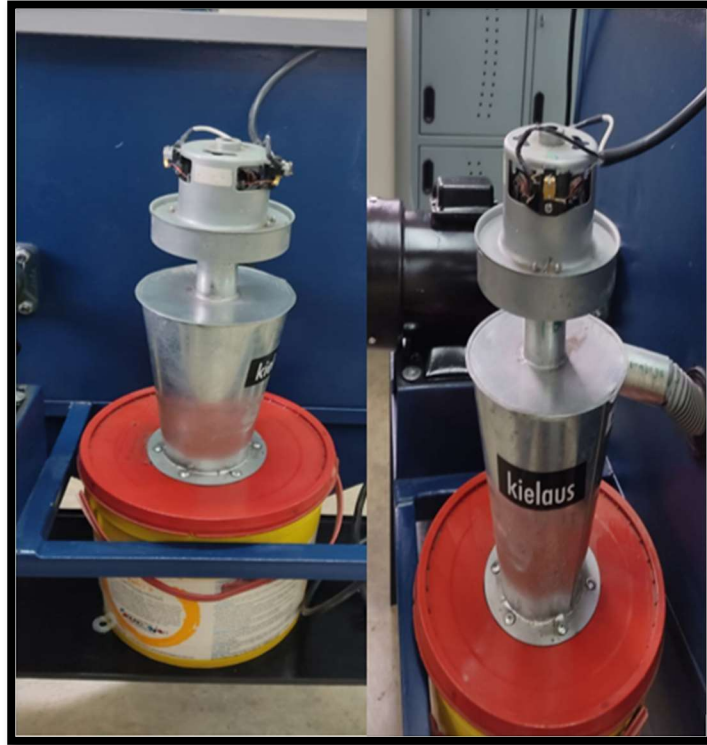


Figura 59 Ensamblados de filtro colector al motor

## 8 Diseño y construcción eléctrica

El equipo debe contar con un sistema de control ver figura 60. el cual por medio de un variador controla el funcionamiento del motor a las condiciones especificadas en la norma astm-g5 como son: velocidad, torque. Adicional se debe garantizar la desconexión de la máquina de acuerdo con los tiempos especificados en la norma, para esto se utiliza un temporizador. Se debe contar con un sistema de extracción de material particulado generado durante la prueba y garantizar la circulación dentro de la máquina del material.

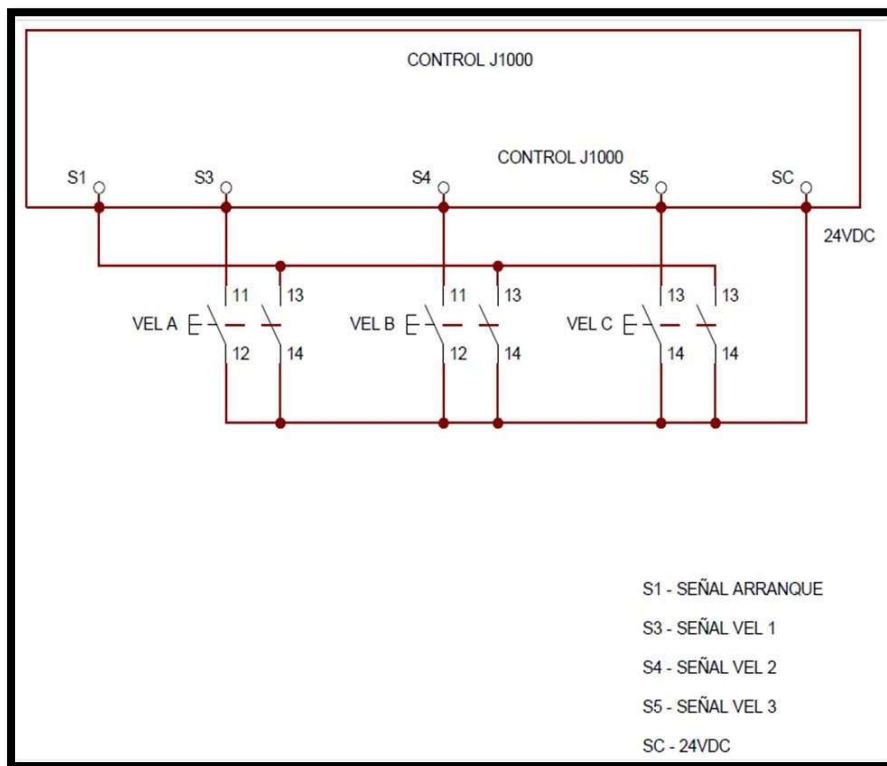


Figura 60 Diseño eléctrico

## 8.1 Selección de materiales eléctricos

### -VARIADOR Y PROTECCIÓN CIRCUITO ELECTRICO TRIFASICO

La protección eléctrica fue seleccionada de acuerdo con las condiciones de consumo de corriente del variador YASKAWA j1000, esto teniendo en cuenta las condiciones especificadas por el fabricante y la norma NTC - 2050 (NORMA TECNICA COLOMBIANA VERSION ABRIL 2020), la misma especifica que este tipo de máquinas deben contar con una protección eléctrica de acuerdo con las cargas eléctricas requeridas en el equipo. Teniendo en cuenta que la corriente máxima presentada en el circuito trifásico es la que alimenta el variador yaskawa j1000 modelo 0002 (220VAC), se selecciona un interruptor termomagnético de 3 polos curva C de 6 amperios marca weg, siguiendo las recomendaciones presentadas en el manual variador yaskawa j1000 [14]ver anexos, por el fabricante ver tabla.



Figura 61 Variador yaskawa J1000

MODELO	ALIMENTACIÓN TRIFÁSICA		
	INTERRUP. TERMOMA G.	SECCIÓN CABLES	
		ALIMENT.	SALIDA
0001 (220V)	4 A	1 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>
0002 (220V)	6 A	1 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>
0003 (220V)	-----	-----	-----
0004 (220V)	10 A	2,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>
0006 (220V)	16 A	2,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>
0010 (220V)	16 A	4 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
0012 (220V)	4 A	4 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
0020 (220V)	25A	4 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>
0001 (380V)	4 A	1mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>
(380V)	6 A	1,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>
0004 (380V)	10 A	2,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>
0005 (380V)	10A	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
0007 (380V)	10A	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
0009 (380V)	16A	4 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
0011 (380V)	16 A	4 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>

Tabla 3 Selección interruptora

### 8.1.1 Cableado

Para la selección del cableado se toma en consideración el máximo consumo de corriente, el cual está especificado en tabla 1. Mostrada en el manual variador yaskawa j1000 modelo 0002(220V) Para cumplir el requerimiento de corriente en el circuito de potencia se utiliza un cable de sección transversal de 1 mm<sup>2</sup>, lo cual en el mercado comercial significa un cable N°16 AWG, el cual permite una intensidad máxima de 10 amperios (A). Siguiendo las disposiciones generales mencionadas en la Norma (NORMA TECNICA COLOMBIANA VERSION ABRIL 2020) sección 220-3 cargas continuas y no continuas.

### 8.1.2 Motor

De acuerdo con las variables de velocidad que se requieren los diferentes procedimientos ver tabla 2. rangos para las diferentes pruebas de desgaste abrasivo. Se selecciona un motor trifásico marca siemens de 0,75Hp a 1080 RPM y una corriente nominal de 2,3 Amperios ver figura 1, con el cual se garantiza una velocidad en disco de hasta 6000 rpm manual técnico anexos



Figura 62 Motor de disco

### 8.1.3 Temporizador

El equipo requiere de un funcionamiento en cualquier momento y así mismo es necesario una desconexión automática de acuerdo con los tiempos establecidos en la norma ASTM-G-65, además de que permita al usuario realizar el ajuste manual del tiempo. Se selecciona un temporizador on delay, el cual, al momento de energizar la bobina del temporizador, los contactos temporizados que tiene continúan en la misma posición de estado de reposo y solamente cambian cuando ha transcurrido el tiempo programado, es decir que el contacto NA (normalmente abierto) se cierra y el contacto NC (normalmente cerrado) se abre. Para lo cual se escoge un temporizador analógico marca TYC MODELO TH3A, cuyo voltaje de



funcionamiento 110VAC un tiempo máximo de desconexión 30 Minutos y cuenta con dos contactos NA/NC.



Figura 63 Temporizador

-Contactor eléctrico

Para el diseño del circuito eléctrico es necesario un elemento conductor que pueda establecer, controlar o interrumpir el flujo de corriente en el circuito eléctrico de potencia, por tal razón se tuvo en consideración las siguientes condiciones para la selección:

numero de polos requeridos en el circuito

el contactor actúa por el mando de la bobina, verificar tensión de funcionamiento de acuerdo con el circuito

tener claridad de la corriente nominal del variador

para el caso se selecciona un contactor marca chint de tres polos la tensión de accionamiento de la bobina es 110VAC, esto debido a que va a actuar de acuerdo con la tensión del circuito de seguridades.

Finalmente se tiene en cuenta la corriente de funcionamiento del contactor la cual se debe ser mayor al requerimiento de corriente de funcionamiento del variador la cual es de 6 Amperios

Referencia final: Contactor 12-10 110V Chint ver figura 4



Figura 64 Contactor chint

#### **8.1.4 Sistema de extracción**

Para la selección del sistema de extracción del material particulado generado durante los ensayos, se tuvo en cuenta el volumen total de la máquina especificado en la sección 4.5, se selecciona con motor eléctrico de aspiración de funcionamiento a 110v una potencia de 1200W y una capacidad de Volumen de 1 L.

Este conectado a un cyclone separador de polvo el cual garantiza la extracción del material particulado generado para el volumen total de la máquina.

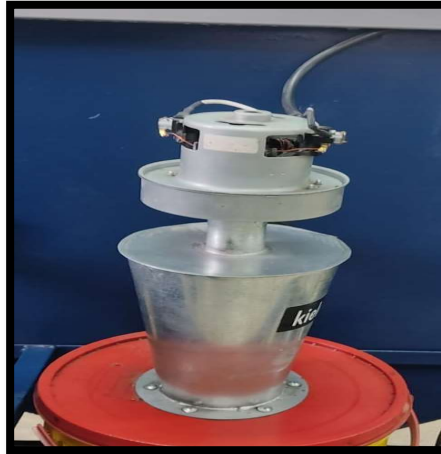


Figura 65 Sistema de extracción de material particulado

### 8.1.5 Construcción de tablero eléctrico para

-Gabinete de control

Debido a que era necesario realizar el montaje del circuito eléctrico del equipo se seleccionó un cofre metálico de 300 mm (ALTO) X 250MM (ANCHO) X 200 mm (FONDO), doble fondo para uso interior, fabricado en lamina de acero cold-rolled calibre 18 referencia CMI-322, tomando como base las medidas de la máquina y de los componentes eléctricos que se utilizaron en el circuito de control del equipo. Ver figura 5



Figura 66 Tablero de control

Se termina de ensambla la parte eléctrica consta de gabinete de control, motor, extractor de materia particulado, botón de apagado de emergencia y luces internas de cabina, esta máquina trabaja con voltaje a 110 voltios y 220 voltios para para esto cuenta con sus dos extensiones y toma corriente.



Figura 67 Control eléctrico y conexiones terminada

## 9 Ensayo de desgaste abrasivo

Con el fin de realizar este ensayo se utilizó fundición gris ya que uno de los materialismos utilizados en la industria debido a su flexibilidad fácil de moldear, es maquinarle y buena resistencia a la corrección, se fabrica de acuerdo con las medidas de la figura (14) se lija se limpia con alcohol ese guarda una bolsa sellada como se puede evidenciar en la figura (68)



Figura 68 Fabricación de probeta

Primer paso se realiza la toma de los pesos de cada una de las muestras a las cuales se les hace el ensayo, esto se determina a partir de una báscula de precisión (ver figura 69 N°1). Los datos obtenidos se almacenan para su posterior estudio (tabla N°2)



Figura 69 Báscula de presión laboratorio

Procedimiento	Fuerza (N)	Tiempo (min)	Revoluciones del disco (rpm)
B	130	10	2000

Tabla 4 Procedimiento B. NORMA ASTM G-65

Después de realizar los ensayos a las 3 muestras de fundición gris, se debe determinar el desgaste abrasivo, el cual se obtiene a partir de la pérdida de masa del material, tal como se muestra en la ecuación 1.

	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso perdido(g)	Volumen Desgaste abrasivo (mm <sup>3</sup> )	Coefficiente de desgaste K (x10 <sup>-3</sup> )	Media (mm <sup>3</sup> )	Desviación estándar	Coefficiente de variación
MUESTRA 1	186,119	185,105	1,014	140,823	2,640	144,021	5,458	3,790
MUESTRA 2	192,870	191,856	1,015	140,916	2,641			
MUESTRA 3	194,666	193,583	1,082	150,324	2,818			

Tabla 5 Resultados a partir de los ensayos de desgaste abrasivo

Para corroborar la precisión y repetitividad del ensayo, se realizan los cálculos con ecuación 2 y estadísticos respectivos, a partir de las pruebas y los resultados obtenidos de las tres muestras, se obtiene la tabla N°5.

A partir de los ensayos de desgaste abrasivo realizados en la máquina De acuerdo con los resultados obtenidos se tiene que el margen de error es menor al 6 % lo cual se encuentra dentro del rango establecido en la norma ASTM-G65 para ensayos de desgaste abrasivo a tres cuerpos. Tomando en consideración el ensayo realizado en la \* (tesis doctoral Hernando Jiménez) el valor de la micro dureza para sustrato de fundición gris esta expresada de la siguiente manera:

A partir de los datos obtenidos en las pruebas, se procede a realizar el cálculo teórico del coeficiente de desgaste K de acuerdo a la ecuación 2, dicho resultado se encuentra en la tabla (5), el cual al realizar la comparación teórica con el ensayo realizado en la (tesis doctoral Hernando Jiménez) cuyo valor de coeficiente de desgaste k es de  $2,702 \times 10^{-3}$ , se evidencia la similitud de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas con la maquina cuyo valor media teórico obtenido es de  $2,7 \times 10^{-3}$  evidenciando la similitud de las pruebas.



Figura 70 Huella de probetas de ensayo

## 9.1 Análisis

Para verificar que la huella sea correcta nos guiaremos con la figura [15] ASTM G65 donde la norma específica cual es forma correcta de huella de desgaste, de acuerdo con esto el funcionamiento del equipo es correcto.

En la comparación de resultados de los ensayos y huella compara los datos obtenidos son comparados con la Tesis AFIS (Análisis de Fallas e Ingeniería de Superficies) [6] y la figura [71]



Figura 71 Huellas de desgaste abrasivo del sustrato de fundición gris [6]



<i>Muestra</i>	<i>Pérdida de masa (g)</i>	<i>Volumen desgastado (mm<sup>3</sup>)</i>	<i>Coefficiente de desgaste K (x10<sup>-3</sup>)</i>
<i>Sustrato</i>	1,608 ± 0,006	223,362 ± 0,131	2,702 ± 0,038

Tabla 6 Parámetros de desgaste adhesivo sustrato de fundición gris (6)

De acuerdo con nuestros resultados podemos evidenciar que el porcentaje entre los ensayos realizados y resultados de figura [72]; la pérdida de masa desgaste y volumétricas son similares, pero no se puede dar un 100% de exactitud ya que las condiciones de peso de las probetas pueden variar. Funcionamiento es correcto y cumple con la norma ASTM G65 don se realizaron pruebas se sincronizo las revoluciones del motor, cálculos de fuerza del brazo, centrado de la probeta contra disco y fruides de la arena de acuerdo con la norma. A partir del coeficiente de variación mostrado en la tabla (6), se puede determinar la variación que existe entre las pruebas, el cual de acuerdo con la norma ASTM G-65 no debe superar el 6% de variación, según las pruebas realizadas y los cálculos estadísticos realizados el coeficiente de variación corresponde al 3,79% de variación y el porcentaje de error del valor teórico del coeficiente de desgaste k es de 2,9% entre las pruebas, lo que corrobora el funcionamiento adecuado de la maquina

## 10 Conclusión

- Con este trabajo se pudo realizar el diseño y construcción de una máquina de desgaste abrasivo a tres cuerpos, con una cabina sellada, un sistema de extracción de material particulado, y un tablero de control eléctrico lo cual garantiza el funcionamiento bajo los estándares de la norma ASTM G65.
- Se verifico el correcto funcionamiento de la maquina analizando la huella de desgaste generada, además se comparan los resultados teóricos del coeficiente de desgaste K obtenidos junto con los resultados de la Tesis Doctorado Hernando Jiménez Forero [6].
- Se construyo un tablero control eléctrico el cual fue programado para realizar las pruebas A, B, C especificadas en la norma ASTM G65, selectores de encendido y apagado de máquina y del sistema de extracción particulado.
- Se diseño y construyó un sistema de extracción del material particulado generado durante el ensayo, el cual garantiza que no afecte al usuario y los equipos presente en el laboratorio.

## 11 Bibliografía

1. Uribe, S. (2018). diseño y fabricación de una máquina para ensayo de desgaste abrasivo según lineamientos de la norma ASTM -65 universidad santo Tomás facultad de ingeniería mecánica división de ingeniería Bogotá D.C.
2. Gutiérrez, W. (2014) resistencia al desgaste abrasivo de recubrimientos producidos por proyección térmica para aplicaciones navales, (2014), universidad nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, pp. 32-33.
3. ASTM internacional ASTM g65-16 (2021) método de prueba estándar para medir la abrasión utilizando el aparato de arena seca/rueda de caucho 2018
4. ASTM internacional de normas <https://la.astm.org/es/>
5. Ortiz, N, Khalleth F. (2016) evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en 3 materiales utilizados en la industria minera universidad distrital francisco José de caldas facultad tecnológica tecnología mecánica Bogotá maquinaria industrial. Advanced monitoring technologies.
6. (Tesis AFIS (Análisis de Fallas e Ingeniería de Superficies) Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería Bogotá, Colombia 2018 Hernando Augusto Jiménez Forero
7. LÓPEZ L., Edgar Jesús. (2004) Estudio experimental del desgaste abrasivo en acero AISI 8620, D-2 y H-13 con y sin tratamiento superficial. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería. México.
8. Bocanegra, J, Aponte, W. (2020). Influencia del tiempo de tratamiento criogénico en la resistencia al desgaste por abrasión de un acero con contenidos de manganeso superiores al 1% templado desde temperaturas intercríticas. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/10901/19359>.

9. ¿Qué es la micro soldadura? (2020, 21 octubre). QueSignificado.org. Recuperado 18 de octubre de 2022, de <https://quesignificado.org/que-es-la-micro-soldadura/>
10. Núñez, N, Quesada F, Santamaría, H, Méndez, J. (2021) metodología para el diseño y construcción de una máquina para medición del desgaste abrasivo basado en la norma ASTM G-65 Rodríguez\*
11. ROBERT L. NOTT, (2009) "Resistencia de Materiales", Quinta Edición, México, Pearson educación.
12. Compresión. (s. f.). Polímeros termoplásticos, elastómeros y aditivos. Recuperado 18 de octubre de 2022, de <https://www.mexpolimeros.com/lab/iso-604.html>
13. Gutiérrez, W, Olaya, J, Torre, M. (2015) scientia et technica año xx, vol. 20, no. 3, septiembre de 2015. universidad tecnológica de Pereira. issn 0122-1701 217 construcción de un equipo para desgasteabrasivo según norma astm g-65
14. YASKAWA Electric Europe GmbH. (2008). variadores de frecuencia compactos serie J1000.