

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA TRANSFORMACIÓN
ESFÉRICA DE LA ARENA PARA LA EMPRESA CI MULTISERVICIOS DE
INGENIERIA 1A S.A UBICADA EN LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA.

GEYSON ANDRES RONDON LIZCANO

MARIA CAMILA VESGA CAMACHO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA

2019

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA TRANSFORMACIÓN
ESFÉRICA DE LA ARENA PARA LA EMPRESA CI MULTISERVICIOS DE
INGENIERIA 1A S.A UBICADA EN LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA.

GEYSON ANDRES RONDON LIZCANO
MARIA CAMILA VESGA CAMACHO

Plan de proyecto de grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Director
Ricardo Alfonso Jaimes Rolon
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA

2019

CONTENIDO

	pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
2. JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA.....	21
3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO.....	22
3.1 OBJETIVO GENERAL	22
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
4. GENERALIDADES	23
4.1 ATRIBUTOS FÍSICOS	23
4.2 USOS.....	23
4.3 ARENAS PARA LECHOS FLUIDIZADOS	24
4.4 TAMAÑO DE LAS ARENAS	24
5. DISEÑO CONCEPTUAL	27
5.1 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS.....	28
5.1.1 Alternativa 1	28
5.1.2 Alternativa 2	29
5.1.3 Alternativa 3	30

5.2	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA GANADORA	31
5.3	APLICACIÓN DE LA MATRIZ PUGH	31
5.4	MATRIZ PUGH	32
6.	DISEÑO EN DETALLE.....	35
6.1	DISEÑO DEL CILINDRO	35
6.1.1	Cilindro	36
6.1.2	Tapas..	38
6.1.3	Eje.....	39
6.1.4	Diseño del eje.....	40
6.1.5	Chumacera.....	46
6.2	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	46
6.2.1	Base soporte del cilindro	48
6.2.2	Base soporte del motor	48
6.2.3	Base soporte del eje auxiliar..	49
6.2.4	Soporte principal de la estructura.....	50
6.3	SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN	53
6.3.1	Selección de las correas..	56
6.3.2	Selección de las poleas.....	62
6.3.3	Selección de las chumaceras.....	63
7.	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	65

7.1	CONSTRUCCIÓN DEL CILINDRO.....	65
7.2	CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	68
7.3	CONSTRUCCIÓN DE LA TRANSMISIÓN	70
8.	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA ARENA	74
8.1	PREPARACIÓN DEL MATERIAL PARA LAS PRUEBAS	74
8.1.1	Secado.	74
8.1.2	Tamizado.	77
8.2	PRUEBAS.....	78
8.2.1	Muestra sin proceso	79
8.2.2	Prueba 1.....	82
8.2.3	Prueba 2.....	84
8.2.4	Prueba 3.....	86
8.2.5	Prueba 4.....	88
8.2.6	Prueba 5.....	90
8.2.7	Prueba 6.....	92
8.2.8	Prueba 7.....	94
8.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA ARENA	96
8.3.1	Análisis donde se mantuvo el tiempo constante y se varió el tipo de abrasivo.....	96
8.3.2	Análisis donde se adiciona un elemento para aumentar la fricción del material con el abrasivo.	97
8.3.3	Análisis donde se mantuvo el material abrasivo y se varió el tiempo del proceso.....	98

9. ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN.	99
10. CONCLUSIONES	101
BIBLIOGRAFÍA.....	102

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tamices para ensayo.....	25
Tabla 2. Requerimientos.....	27
Tabla 3. Matriz Pugh evaluada por Geyson Rondon	32
Tabla 4. Matriz Pugh evaluada por Camila Vesga	32
Tabla 5. Subgrupo cilindro	35
Tabla 6. Subgrupo estructura.....	47
Tabla 7. Subgrupo transmisión	53
Tabla 8. Costo-Beneficio.....	99

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Talento humano	19
Figura 2. Esfericidad y redondez	25
Figura 3. Mallas	28
Figura 4. Cilindro rotatorio	29
Figura 5. Pulidor plano	30
Figura 6. Modelo del prototipo	33
Figura 7. Modelo del subgrupo del cilindro	36
Figura 8. Análisis estructural del cilindro con el material en movimiento	37
Figura 9. Movimiento del material dentro del prototipo	38
Figura 10. Análisis dinámico de la tapa con respecto a material.	39
Figura 11. Análisis de la resistencia estructural del eje del cilindro.	40
Figura 12. Diagrama para el diseño del eje	41
Figura 13. Diagrama de fuerzas.....	42
Figura 14. Modelo de la chumacera.....	46
Figura 15. Modelo subgrupo estructura	47
Figura 16. Placa soporte cilindro.....	48
Figura 17. Modelo de la base que soporta el motor.....	49
Figura 18. Modelo del soporte para el eje auxiliar.	50

Figura 19. Modelo de la estructura principal del prototipo.	51
Figura 20. Análisis de desplazamiento estructural.....	51
Figura 21. Análisis de deformación unitaria de la estructura	52
Figura 22. Análisis de tensión von Mises de la estructura	52
Figura 23. Modelo de la transmisión	54
Figura 24. Esquema de las etapas de transmisión de potencia.....	55
Figura 25. Entrada de datos para selección de la correa SKF, para la transmisión que va del motor al eje auxiliar.	56
Figura 26. Elección del tipo de correa según potencia de diseño y rpm.	57
Figura 27. Selección de la correa	57
Figura 28. Datos de la selección definitiva de la correa para la primera transmisión.	58
Figura 29. Selección por catálogo de la correa de la primera transmisión.....	58
Figura 30. Entrada de datos para selección de la correa SKF, para la transmisión que va del eje auxiliar al eje del cilindro.....	59
Figura 31. Elección del tipo de correa según potencia de diseño y rpm.	60
Figura 32. Selección de la correa	60
Figura 33. Datos de la selección definitiva de la correa para la segunda transmisión.....	61
Figura 34. Selección por catálogo de la correa de la segunda transmisión	61
Figura 35. Selección de las poleas	62
Figura 36. Selección de las chumaceras de acuerdo al diámetro.....	63
Figura 37. Selección de la chumacera de acuerdo a la carga	64
Figura 38. Selección de la tubería para el cilindro	65

Figura 39. Corte de la tubería con la longitud correspondiente para el cilindro	65
Figura 40. Cilindro.....	66
Figura 41. Corte de las tapas.....	66
Figura 42. Pulido de las tapas.....	67
Figura 43. Cilindro y tapas	67
Figura 44. Corte de la base que soporta el cilindro.....	68
Figura 45. Instalación de las patas	68
Figura 46. Instalación de soportes para evitar separación.....	69
Figura 47. Instalación del soporte para el motor	69
Figura 48. Estructura con soporte para el motor.....	70
Figura 49. Instalación del eje a la estructura	70
Figura 50. Primera alternativa para la reducción para la transmisión	71
Figura 51. Instalación de la transmisión.....	71
Figura 52. Prueba de velocidad de la primera transmisión	72
Figura 53. Segunda alternativa de reducción para la velocidad	72
Figura 54. Instalación de las correas	73
Figura 55. Prototipo terminado.....	73
Figura 56. Horno eléctrico de tiro forzado	74
Figura 57. Panel del horno.....	75
Figura 58. Parte interna del horno	75
Figura 59. Arena para secado.....	76
Figura 60. Material enfriándose	76

Figura 61. Tamices	77
Figura 62. Arena tamizada para pruebas.....	77
Figura 63. Gráfica de esfericidad y redondez de Krumbein & Sloss.	78
Figura 64. Muestra sin proceso.....	79
Figura 65. Muestra sin proceso con análisis	79
Figura 66. Ubicación de los valores en la tabla.....	81
Figura 67. Muestra de la prueba 1	82
Figura 68. Muestra de la prueba 1 con análisis	82
Figura 69. Ubicación de los valores en la tabla.....	83
Figura 70. Muestra de la prueba 2	84
Figura 71. Muestra con análisis	84
Figura 72. Ubicación de los valores en la tabla.....	85
Figura 73. Muestra de la prueba 3	86
Figura 74. Muestra con análisis	86
Figura 75. Ubicación de los valores en la tabla	87
Figura 76. Muestra de la prueba 4	88
Figura 77. Muestra con análisis	88
Figura 78. Ubicación de los valores en la tabla.....	89
Figura 79. Muestra de la prueba 5	90
Figura 80. Muestra con análisis	90
Figura 81. Ubicación de los valores en la tabla.....	91
Figura 82. Muestra de la prueba 6	92

Figura 83. Muestra con análisis	92
Figura 84. Ubicación de los valores en la tabla.....	93
Figura 85. Muestra de la prueba 7	94
Figura 86. Muestra con análisis	94
Figura 87. Ubicación de los valores en la tabla.....	95
Figura 88. Análisis del tipo de lija a usar.....	96
Figura 89. Análisis usando lija #80 y tubos de acero de ½"	97
Figura 90. Análisis para proceso con lija #80 con diferente tiempo.	98

LISTA DE ANEXOS

Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS.

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA TRANSFORMACIÓN ESFÉRICA DE LA ARENA PARA LA EMPRESA CI MULTISERVICIOS DE INGENIERIA 1A S.A UBICADA EN LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA*

AUTORES: GEYSON ANDRES RONDON LIZCANO
MARIA CAMILA VESGA CAMACHO**

PALABRAS CLAVE: Arena, esférica, transformación, cilindro, diseño

DESCRIPCIÓN: Este proyecto consiste en el diseño y construcción de un prototipo que tiene como objetivo hacer la transformación esférica de la arena, mediante el principio de arrastre que se genera en las quebradas y ríos; siendo este adoptado al prototipo y puesto en marcha, debido a que en el mercado local no existe un equipo diseñado para realizar dicho proceso. El diseño de la máquina se desarrolla con materiales comerciales para facilitar el proceso de fabricación, exponiendo más adelante el proceso de ensamble y construcción del prototipo desarrollado.

Para cumplir con el objetivo se utiliza el principio de impacto y fricción usado en el molino de bolas el cual genera un cambio en la forma del grano que se obtiene por el impacto al caer los granos de arena de la parte superior del cilindro. Teniendo en cuenta la aplicación del material, se debe disponer de un tamaño de partícula específico, por lo que se realiza una adecuación del material tal como, secado y tamizado previo y después de pasar por el proceso un tamizado final dejando el producto útil para ser aplicado. El prototipo consiste en un recipiente cilíndrico vacío que gira sobre su eje, el cual para su correcto funcionamiento se puede llenar con hasta un 70% de su volumen original, la superficie interior es forrada con un material abrasivo conocido como alúmina u óxido de aluminio, siendo este el que acelera el pulido y da la forma que se requiere para cumplir con las metas del proyecto.

Por último, se hace un análisis costo beneficio y ver si es rentable la construcción de la máquina que realizará el proceso necesario para cumplir con los objetivos principales del proyecto.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director Ricardo Alfonso Jaimes Rolon.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF EQUIPMENT FOR SPHERICAL TRANSFORMATION OF SAND FOR THE COMPANY CI MULTISERVICIOS DE INGENIERIA 1A S.A LOCATED IN THE CITY OF BARRANCABERMEJA*

AUTHORS: GEYSON ANDRES RONDON LIZCANO
MARIA CAMILA VESGA CAMACHO**

KEY WORDS: Sand, spherical, transformation, cylinder, design

DESCRIPTION: This project consists of the design and construction of a prototype that aims to make the spherical transformation of the sand by the drag principle that is generated in streams and rivers; which is adopted to the prototype and put into operation since there does not exist such equipment designed to perform this process in the local market. The design of the machine is developed with commercial materials to facilitate the manufacturing process, and later, the process of assembly and construction of the developed prototype will be exposed.

To achieve the objective, the impact and friction principle used in the ball mill, which generates a change in the shape of the grain that is obtained by the impact when the sand grains fall from the top of the cylinder. Taking into account the application of the material, it is necessary to have a specific particle size, so that material adequacy is performed, such as drying and sieving prior to and after passing through the process a final sieving leaving the product useful to be applied. The prototype consists of an empty cylindrical container that rotates on its axis, which for its correct operation can be filled with up to 70% of its original volume, the inner surface is lined with an abrasive material known as alumina or aluminum oxide, this being the one that accelerates the polishing and gives the form that is required to fulfill the goals of the project.

Finally, a cost-benefit analysis is made and to see if it is profitable to build a machine that will carry out the necessary process to achieve the main objectives of the project.

* Draft Degree

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director Ricardo Alfonso Jaimes Rolon.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

CI MULTISERVICIOS DE INGENIERÍA 1A S.A es una empresa con un diverso portafolio de bienes y servicios en ingeniería que evolucionan generando progreso desde Barrancabermeja, Santander para Colombia y el mundo, construyendo industria petroquímica e insumos para la infraestructura sostenible del país, trabajando siempre con los más altos estándares de calidad, seguridad y protección del medio ambiente.

Durante más de 25 años la empresa se ha consolidado en desarrollo tecnológico en la producción y comercialización de diversas soluciones y servicios en los sectores de hidrocarburos, minería, infraestructura, asfaltos, aseo del hogar y aditivos para combustible.

Figura 1. Talento humano



Fuente: CI MULTISERVICIOS DE INGENIERÍA 1A S.A

Con base a lo anteriormente mencionado Multinsa desarrolló 4 líneas de productos que son:

- Multinsa Asfaltos

- Multinsa Industrial
- Multinsa Hogar
- Multinsa Automotor

Los cuales han venido creciendo considerablemente todos estos años frente a las necesidades del mundo actual.

En la actualidad la empresa se cruza con un nuevo reto lo cual conlleva a la necesidad de ampliar sus horizontes adicionando un nuevo producto a Multinsa Industrial el cual tiene como materia prima granos de arena de cuarzo para ser implementada en un lecho filtrante que se deberá procesar con anterioridad, realizándose un cambio en su geometría para su fin debido a la alta exigencia de investigación de este proyecto, la empresa se ve en la necesidad de buscar en forma de extensión pasantes de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander para el diseño y construcción de una máquina que realice dicho proceso.

De acuerdo a lo anterior se hace necesaria la creación de un proceso que realice lo mencionado anteriormente el cual tiene como objetivo un cambio en la forma de la arena, ya que esta cuenta con forma aproximadamente cúbica y es requerida con cierto grado de redondez.

La máquina que se requiere para hacer esta tarea deberá cambiar la forma de los granos de la arena, ya que este material con estas características será destinado para ser usado por la empresa.

2. JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

En la actualidad la información necesaria que aborda el tema para poder realizar el cambio en la geometría de los granos de arena en Colombia es muy escasa, debido a esto se hace inevitable una investigación más profunda que logre determinar las alternativas que podrían ser útiles para realizar este proceso, ya que este material cuenta con las propiedades necesarias quedando como cabo suelto su geometría.

De acuerdo a lo anterior, al conseguirse el proceso adecuado que entregue una buena redondez y esfericidad en los granos de arena, beneficiaría a la empresa, ya que esta característica es la que a ellos les hace falta en el material para así poder ser implementado en lo destinado, al igual que en el aporte tecnológico para el país, debido a que este tipo de tecnología no se encuentra actualmente y por las demás aplicaciones en las que se podría utilizar la arena en esta forma, tales como el Sand Blasting, Material filtrante en plantas de tratamiento y purificación.

3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

3.1 OBJETIVO GENERAL

Cumplir con la misión de la escuela de ingeniería mecánica en la aplicación y divulgación del conocimiento mediante el diseño y construcción de un equipo para transformación esférica de la arena para la empresa CI MULTISERVICIOS DE INGENIERIA 1A S.A ubicada en la ciudad de Barrancabermeja.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir un equipo para la transformación esférica que cumpla con las siguientes condiciones:
 - Que tenga una capacidad de 5.000 cm^3 por ciclo de material procesado que cumpla con las especificaciones del siguiente ítem.
 - Hacer que la arena logre los requerimientos de esfericidad del grano y redondez de las aristas, valores que deben estar en el rango entre 0,8 y 1, los cuales están regidos bajo la norma hecha por Krumbein & Sloss.
 - Se construirá un prototipo a escala menor para comprobar el principio de transformación de la arena con las características mencionadas en el ítem anterior.
- Realizar un manual básico operacional y manual de mantenimiento preventivo.
- Entregar un análisis de costo-beneficio para determinar la viabilidad de la construcción.

4. GENERALIDADES

La arena es un conjunto de fragmentos sueltos de rocas o minerales de pequeño tamaño. En geología se denomina arena al material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 mm. Una partícula individual dentro de este rango es llamada grano o clasto de arena. El principal componente más común de la arena, en ambientes continentales y en las costas no tropicales, es la sílice, generalmente en forma de cuarzo.

4.1 ATRIBUTOS FÍSICOS

El volumen de un grano de arena de cuarzo, de un diámetro de 0,06 mm (el límite inferior), es $2,51 \times 10^{-10} \text{ m}^3$ con una masa de $6,66 \times 10^{-4} \text{ g}$ (0,67 mg). En el límite superior, el volumen y la masa de un grano de arena con diámetro de 2,10 mm son $8,80 \times 10^{-9} \text{ m}^3$ y $2,33 \times 10^{-2} \text{ g}$ (23 mg).

4.2 USOS

Los suelos arenosos son ideales para ciertas plantaciones, como la sandía y el cacahuete, y son generalmente preferidos para la agricultura intensiva por sus excelentes características de drenaje.

La arena de cuarzo se utiliza para fabricar cristal por sus propiedades tales como extraordinaria dureza, perfección del cristal o alto punto de fusión, y, junto con la grava y el cemento, es uno de los componentes básicos del hormigón.

4.3 ARENAS PARA LECHOS FLUIDIZADOS

En pocas palabras, y según Levenspiel¹, la fluidización ocurre cuando pequeñas partículas sólidas son suspendidas por una corriente de un fluido que se dirige de abajo hacia arriba venciendo el peso de estas. La velocidad del fluido debe ser lo suficientemente alta como para suspender las partículas, pero a la vez no tan elevada como para expulsar las partículas fuera del recipiente. Las partículas sólidas rotan en el lecho rápidamente, creándose un excelente mezclado. El material que se fluidiza es casi siempre un sólido y el medio que fluidiza puede ser tanto líquido como gas. Las características y comportamiento de los lechos fluidizados dependen fuertemente de las propiedades del sólido y del fluido.

4.4 TAMAÑO DE LAS ARENAS

Básicamente se establecen ocho tamaños diferentes de arenas, denominadas por los tamices ASTM superior e inferior entre los cuales debe quedar retenido el 90% de las arenas. Esta normativa fija los seis tamices con los que debe realizarse el ensayo granulométrico de cada tipo, estableciendo que solamente es admisible un 0,1% de partículas retenidas en el tamiz superior y un máximo de 1% de partículas pasantes por el tamiz inferior de lo que indica el ensayo. La tabla 1 refleja los ocho tipos considerados normales.

¹ LEVENSPIEL, Octave; KUNII, Daizo. Fluidization engineering. En: The phenomenon of fluidization. United States of America. Stoneham 1991. Vol 3, No 1 p.3.

Tabla 1. Tamices para ensayo

Designación ASTM ISO	MALLAS ASTM - mm								
	5/12 3.36/1.69	8/16 1.19/2.38	12/20 0.84/1.68	16/30 0.60/1.19	20/40 0.84/0.42	30/50 0.30/0.60	40/70 0.21/0.42	70/140 0.10/0.21	
Tamices ASTM necesarios para el ensayo Granulométrico	6	8	12	16	20	30	40	70	Max. 0.1 %
	8	12	16	20	30	40	50	100	90 %
	10	14	18	25	35	45	60	120	
	12	16	20	30	40	50	70	140	
	16	20	30	40	50	70	100	200	
	Sandera	Sandera	Sandera	Sandera	Sandera	Sandera	Sandera	Sandera	Max. 1 %

Fuente: ADVANCED MINERAL PROCESSING S.L (AMP). Las arenas en la fracturación hidráulica. [En línea]. Madrid, España. 2017. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.amppmineral.com/cu/fracturacion-hidraulica/ARENAS-FRACTURACION-HIDRAULICA.php> >

Para lechos fluidizados los granos deben tener una forma en específica, la cual viene marcada por la esfericidad del grano y por la redondez de sus aristas. La determinación de estas características se realiza de forma manual mediante la observación al microscopio de un determinado número de granos, usualmente 20 o más, y comparando su forma con la establecida en el cuadro desarrollado por Krumbein & Sloss en el año 1951. La norma establece que ambos valores deben estar por encima de 0,6 lo que queda reflejado en el cuadro de la figura 2.

Figura 2. Esfericidad y redondez



Fuente: ADVANCED MINERAL PROCESSING S.L (AMP). Las arenas en la fracturación hidráulica. [En línea]. Madrid, España. 2017. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.amppmineral.com/cu/fracturacion-hidraulica/ARENAS-FRACTURACION-HIDRAULICA.php> >

Utilizando la información previa se plantean alternativas para lograr un cambio en la esfericidad y redondez de la arena suministrada debido a que ésta no cuenta con los parámetros deseados para su correcto uso en un lecho filtrante.

5. DISEÑO CONCEPTUAL

Se tiene como objetivo realizar el diseño y construcción de un equipo para la transformación esférica para la solución a la problemática planteada se deben cumplir con los siguientes requerimientos, utilizando metodologías de desarrollo capaces de ser aplicadas en el entorno real con el fin de la obtención de un diseño accesible a su posterior construcción.

Requerimientos: A continuación se especifican los requerimientos y especificaciones para el desarrollo del producto.

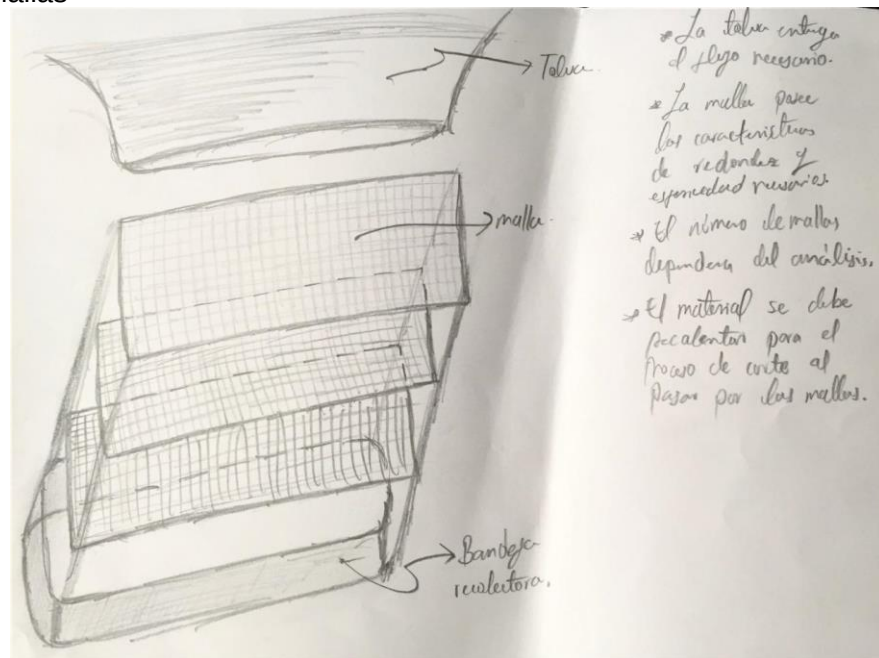
Tabla 2. Requerimientos

Requerimientos
Obtener esfericidad y redondez con un rango del 80%-90%
Capacidad de 5.000 cm^3
Máquina no transportable

5.1 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

5.1.1 Alternativa 1

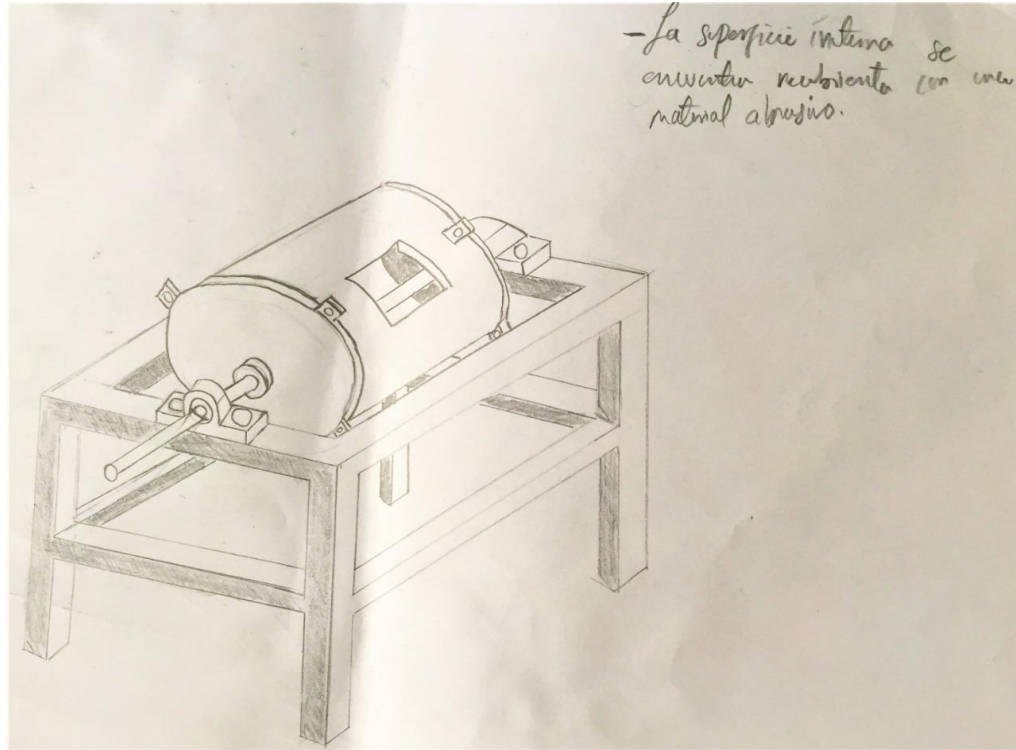
Figura 3. Mallas



Para la disposición de las mallas, estas estarán dentro de un contenedor para evitar el escape del material, que ingresará con un precalentamiento para realizar el proceso de corte al pasar por las mallas las cuales tendrán las características de esfericidad y redondez necesarias, al igual que el número de mallas se determinará dependiendo de los análisis y una tolva que entregará el flujo necesario para realizar el proceso de cambio de forma, basándose en el principio extrusión debido a que el material pasará por un molde que posee la preforma deseada.

5.1.2 Alternativa 2

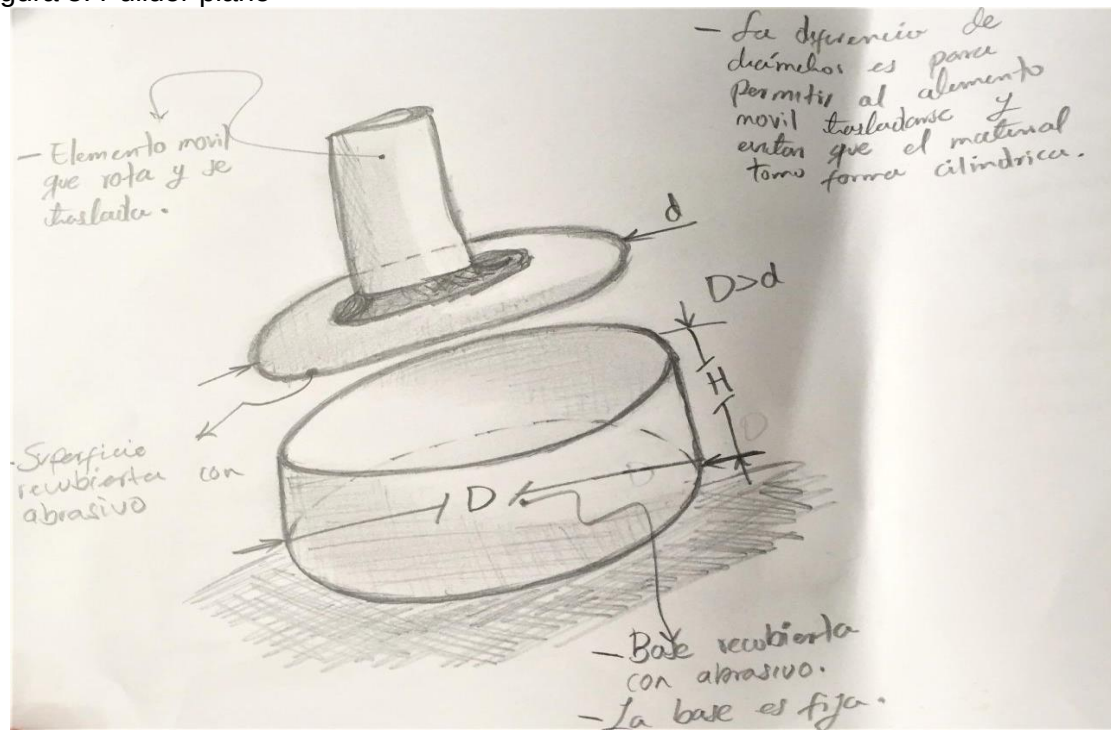
Figura 4. Cilindro rotatorio



Esta alternativa está compuesta por un cilindro rotatorio el cual tendrá en la superficie interior material abrasivo que servirá para desbastar el material para poder conseguir la geometría deseada para obtener la velocidad necesaria y conseguir el movimiento del material de tipo cascada se usará relación de poleas, ya que en el mercado el motor con más bajas revoluciones es de 900 rpm, para mantener el cilindro en su lugar se usarán chumaceras para un eje de 1" todo ubicado en una estructura que soporte el peso y el movimiento, esto es basándose en el principio de arrastre de los ríos pero acelerándose para que se consiga el objetivo de la forma más rápida.

5.1.3 Alternativa 3

Figura 5. Pulidor plano



Esta alternativa consta de una base fija recubierta con material abrasivo, al igual que poseerá la altura necesaria para procesar una buena cantidad de material y una parte móvil que podrá rotar y realizar movimientos en el eje x y y para evitar que el material tome forma cilíndrica, poseyendo también un abrasivo en la superficie de contacto, teniendo en cuenta el principio de moldeo y así conseguir la forma necesaria.

5.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA GANADORA

Se realizará la elección de la alternativa adecuada a través de tres etapas:

- a) Realizar una matriz Pugh, para la toma de decisiones teniendo en cuenta las especificaciones planteadas por los ingenieros de diseño.
- b) Determinar por medio de la suma general la alternativa ganadora teniendo en cuenta los criterios planteados.
- c) Descripción de la alternativa ganadora.

5.3 APLICACIÓN DE LA MATRIZ PUGH

- Especificaciones de diseño
- Funcional
- Bajo costo energético.
- Eficiencia.
- Buena capacidad.
- Duración del proceso
- Fácil mantenibilidad

5.4 MATRIZ PUGH

Tabla 3. Matriz Pugh evaluada por Geyson Rondon

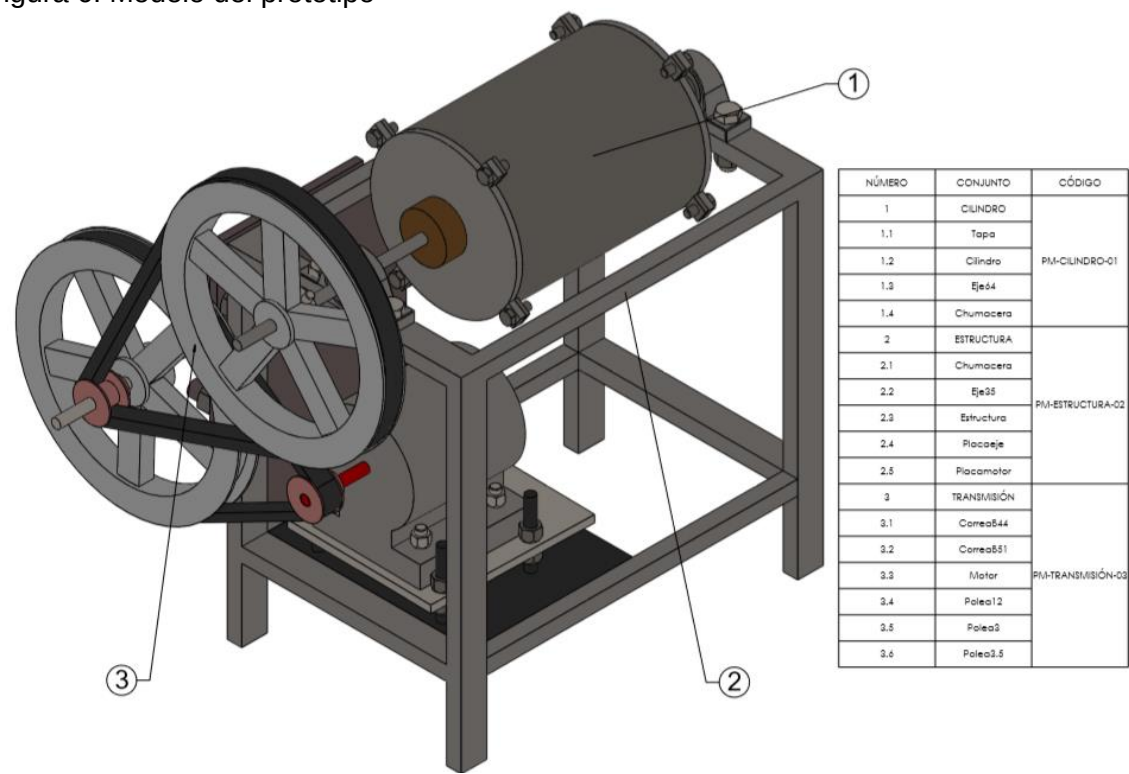
Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Funcionalidad	1	1	1
Fácil operación	-1	1	-1
Fácil de ensamblar	1	1	0
Mantenimiento	-1	1	1
Capacidad de procesado	0	1	-1
Eficiente	0	1	0
Pequeño Tamaño	0	1	1
Peso	1	0	-1
Ruido	1	-1	-1
Control	-1	0	1
Seguridad	0	1	-1
Costo	-1	1	1
Total	0	8	0

Tabla 4. Matriz Pugh evaluada por Camila Vesga

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Funcionalidad	1	1	0
Fácil operación	0	1	1
Fácil de ensamblar	-1	1	1
Mantenimiento	-1	1	1
Capacidad de procesado	1	0	-1
Eficiente	1	1	0
Pequeño Tamaño	-1	1	0
Peso	0	0	0
Ruido	1	0	1
Control	0	1	1
Seguridad	0	1	1
Costo	-1	1	0
Total	0	9	5

La opción ganadora según las especificaciones es la alternativa 2, debido a la evaluación hecha por cada uno de los diseñadores, dado que es la alternativa que se encuentra más cerca de lo que se requiere para la realización del proceso logrando satisfacer los requerimientos, debido a que esta es la que tiene la mejor funcionalidad, de mejor ensamble, mantenimiento y operación, con alta capacidad de procesado, manejando una buena eficiencia, con tamaño cómodo, peso y bajo ruido.

Figura 6. Modelo del prototipo



Para satisfacer los requerimientos se diseñó un modelo donde se plantea la geometría y distribución de cada uno de los subconjuntos que componen el prototipo a escala menor en el cual se puede observar la ubicación del motor que maneja una

potencia de 1,2 hp junto con la transmisión, el cilindro donde se realizará el proceso del cambio de la geometría de la arena que maneja una velocidad de 87,5 rpm de mezclado elevando la arena y luego dejándola caer con un movimiento combinado entre cascada y catarata entregando un buen contacto del material alrededor de una zona muerta con la superficie cubierta por un abrasivo.

6. DISEÑO EN DETALLE

El prototipo a diseñar y construir estará compuesto por varios subconjuntos y cada uno de ellos será diseñado o en su defecto seleccionado según su conveniencia, con el fin de construir una máquina duradera y confiable.

Para comenzar con el desarrollo, se plantearon tres subgrupos, de modo que éstos abarcarán todos los componentes implementados para el prototipo, los cuales se describirán en detalle:

- Diseño del cilindro
- Diseño de la estructura
- Diseño de la transmisión

6.1 DISEÑO DEL CILINDRO

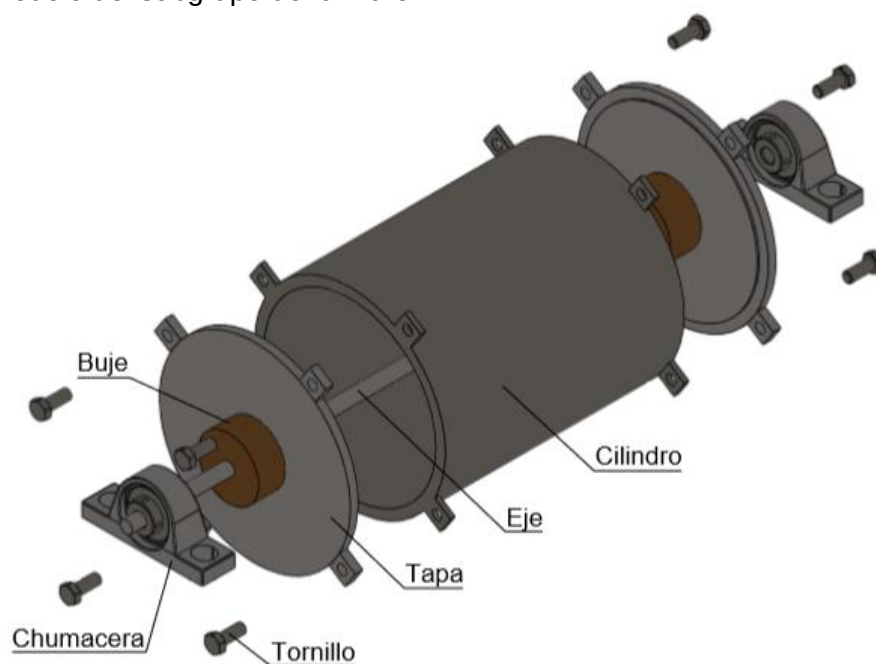
Para el diseño del cilindro hay que tener en cuenta que éste se divide en cuatro elementos que deben satisfacer el diseño de todo el componente lo cual es tomado a criterio de los autores.

Tabla 5. Subgrupo cilindro

ELEMENTOS	DISEÑO
Cilindro	El cilindro está hecho por una tubería de 8 pulgadas de diámetro, 25 cm de longitud y espesor de 0,95 cm.
Tapas	Las tapas están hechas por una placa de acero de 8 pulgadas de diámetro y 1 cm de espesor.

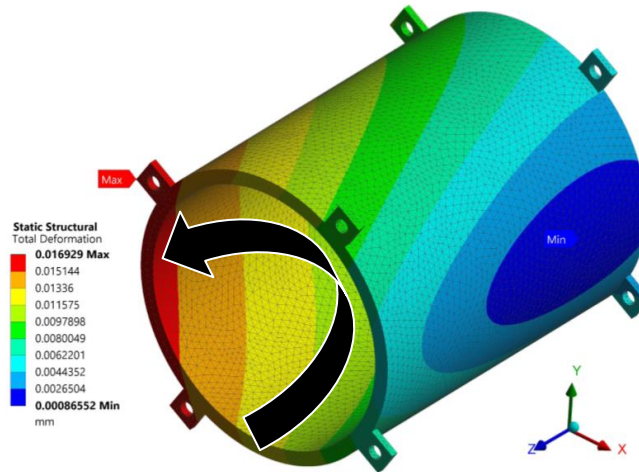
ELEMENTOS	DISEÑO
Eje	El eje tiene medidas de 1 pulgada de diámetro y 64 cm de longitud.
Chumacera	La selección de la chumacera se hizo por catálogo, se escogió una tipo puente P-205.

Figura 7. Modelo del subgrupo del cilindro



6.1.1 Cilindro. Para el diseño del cilindro se empieza por la capacidad inicial la cual es un requerimiento dado por el cliente. La capacidad inicial es de 5.000 cm^3 , teniendo en cuenta la densidad del cuarzo que es de $2,65 \text{ g/cm}^3$ pasando a gramos $2,65 \text{ g/cm}^3 * 5.000 \text{ cm}^3 = 13.250 \text{ gramos}$ es decir que se cuenta con 13,25 kg de capacidad inicial.

Figura 8. Análisis estructural del cilindro con el material en movimiento

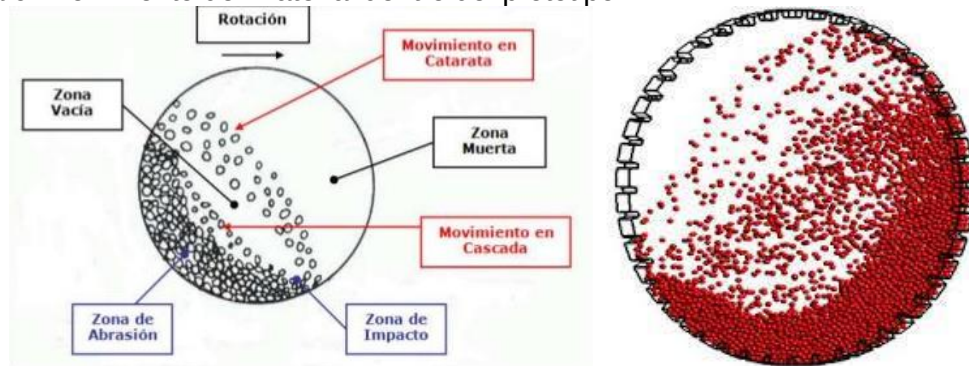


De la figura 8, mediante el software Ansys Workbench 18.1 Versión Estudiantil se observa el comportamiento que tiene el cilindro con el material en movimiento, para observar los puntos donde se presente mayor concentración o donde se puedan producir deformaciones, como ejemplo se tiene el área que se presenta de color rojo, esto se debe a la acumulación del material consecuencia de la rotación en sentido antihorario, haciendo esta que se acumule en esta zona, por lo que se concluye de esto que el prototipo se debe inclinar de este lado 10° para que tenga contacto con toda la superficie y sea más eficiente.

Con base a esto se desarrolla la geometría del cilindro que está dada en términos de diámetro y longitud. El cilindro está hecho de una tubo de 8 pulgadas de diámetro, 25 cm de longitud y con un espesor de 3/8 de pulgada, el volumen del cilindro está dado por la ecuación $V = \pi * r^2 * h$ dando una capacidad de 7.853 cm^3 confirmando que con esto es más que suficiente para la capacidad inicial para realizar las pruebas.

El movimiento que se busca es el mismo que se da en el molino de bolas, consiste en un cilindro vacío que gira sobre su eje, al ingresar el material y poner en marcha se genera el principio de impacto y abrasión que permite obtener la reducción de medida del material por impacto al caer de la capacidad total del molino de bolas sólo se trabaja con el 70% y ese porcentaje debe estar dividido entre 30% material a trabajar y 40% las bolas, con base a esto se utilizará el 70% en las pruebas del prototipo.

Figura 9. Movimiento del material dentro del prototipo



Fuente: ARRIAGADA, M. Curso de molienda. Primera parte. [En línea]. Chile, 2013.

[Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en <

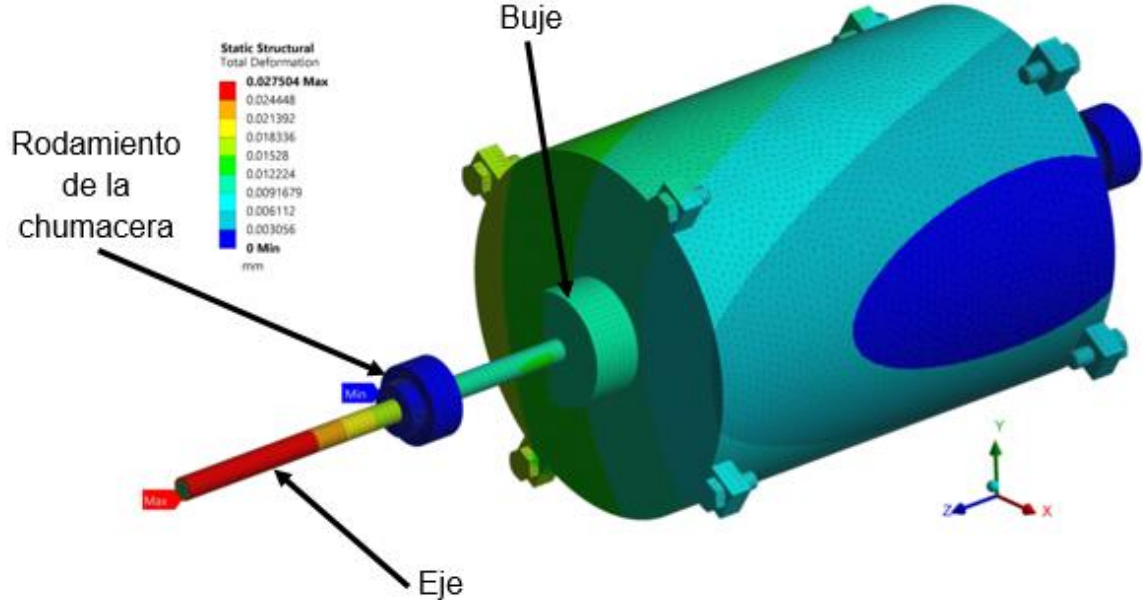
<https://es.slideshare.net/miguelangelarriagada/molienda-24994633> >.

ARRATIA, M. Modelo matemático para la estimación de la vida útil de revestimientos en molinos semiautógenos. Trabajo de grado ingeniero mecánico. Valdivia, Chile.

Universidad Austral de Chile, 2006. 142 p.

6.1.2 Tapas. Se hace la geometría de las tapas, las cuales deben ir de acuerdo al diámetro del cilindro, para lograr sujetar las tapas al cilindro primero se hizo un refrentado a las tapas en ambos extremos y otro refrentado al cilindro en sus extremos, después de esto se adicionaron 8 pestañas las cuales 4 van en las tapas y las otras 4 en el cilindro por un extremo dando un total de 16 pestañas lo que logra facilitar la unión entre el cuerpo del cilindro y las tapas.

Figura 10. Análisis dinámico de la tapa con respecto a material.

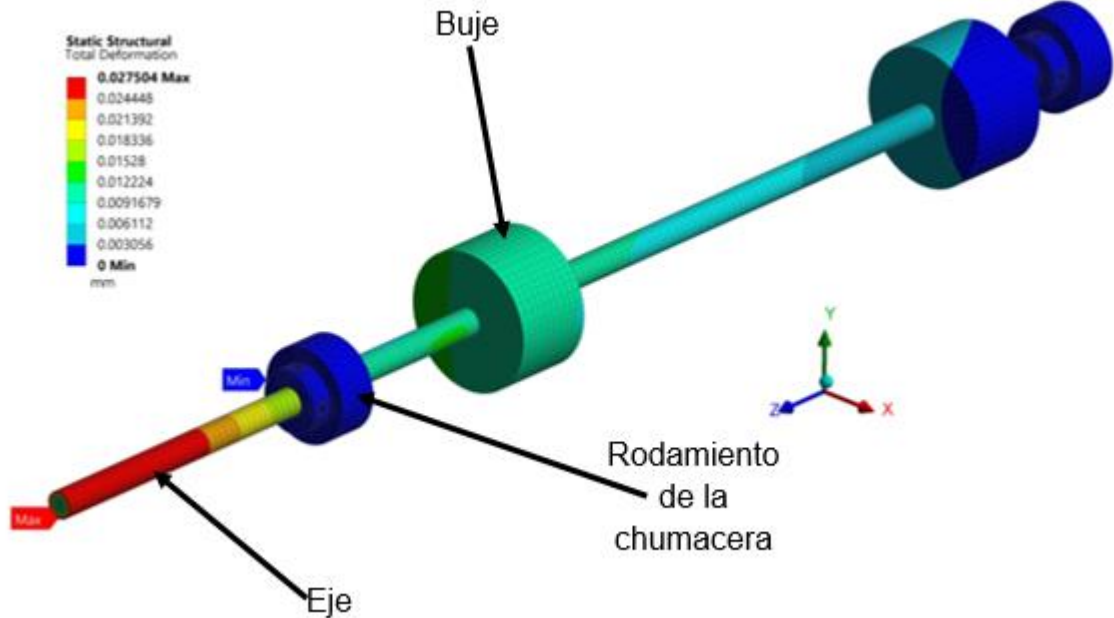


6.1.3 Eje. El eje tiene medidas de 1 pulgada de diámetro y 64 cm de longitud, éste se escogió de acuerdo con el peso que tiene que soportar, el cual es la suma de su propio peso, el peso de las tapas, el del cilindro y el peso del material a ingresar sin que exista pandeo.

El cilindro tiene un peso de 12,3 kg, el peso del material es de 4 kg, cada tapa pesa 1 kg y el peso del eje es de 2,54 kg dando un total a soportar de 20,84 kg, en este peso aproximado también se tuvo en cuenta el peso de bujes, tornillos y chumaceras los cuales fueron proporcionados por defecto por el programa SolidWorks.

Para unir el eje y las tapas se usaron bujes en las tapas los cuales fueron unidos con prisioneros.

Figura 11. Análisis de la resistencia estructural del eje del cilindro.

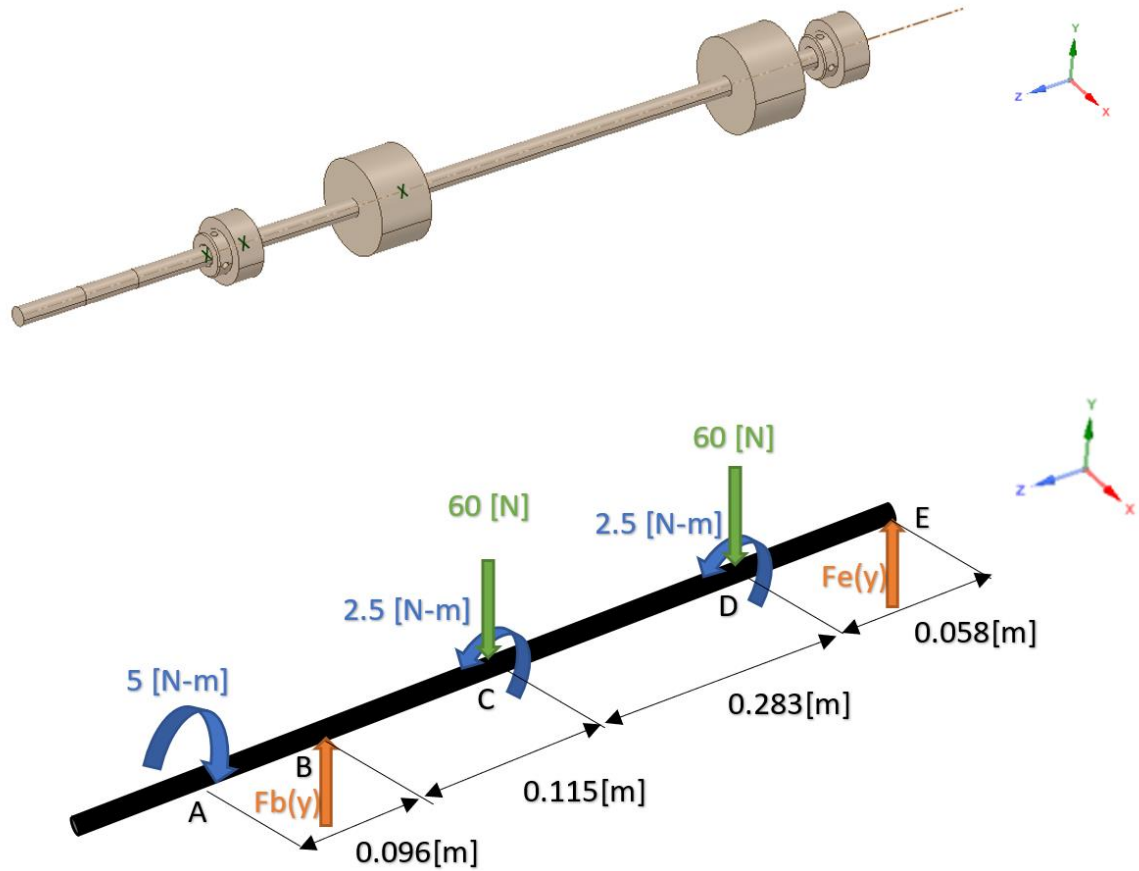


En la figura 11, se observa el desplazamiento que tendría el eje de acuerdo con las condiciones de arranque del proceso, donde se evidencia que no existe problema alguno, ya que este es pequeño para ocasionar daño alguno.

6.1.4 Diseño del eje. Para sustentar los resultados del estudio en una base teórica es pertinente realizar el cálculo del eje por medio de la teoría clásica de fatiga, para ello es necesario visualizar las curvas de cargas versus posición de modo que se pueda ubicar el punto crítico del eje.

Para determinar las cargas aplicadas se hace el diagrama de cuerpo libre del eje:

Figura 12. Diagrama para el diseño del eje



Haciendo sumatoria de momentos alrededor del eje x en el punto B e igualándola a cero se obtiene que:

$$Fe(y) = \frac{60 * 0.115 + 60 * 0.398}{0.456}$$

Por lo tanto:

$$Fe(y) = \frac{6.9 + 23.88}{0.456}$$

$$Fe(y) = \frac{30.78}{0.456} = 67.5 \text{ [N]}$$

Ahora con sumatoria de fuerzas en e igual a cero se tiene que:

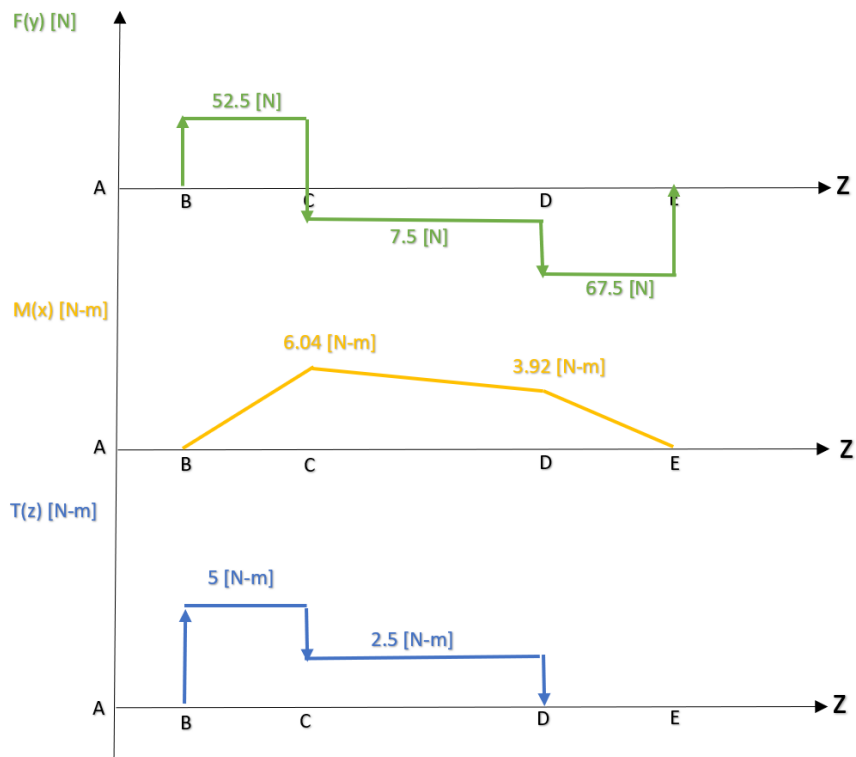
$$Fb(y) = 60 + 60 - 67.5$$

Entonces:

$$Fb(y) = 52.5 [N]$$

Después de tener todas las fuerzas definidas en el eje, se procede a realizar las curvas de fuerzas cortantes, momentos flectores y torques, que permiten visualizar las zonas críticas por carga.

Figura 13. Diagrama de fuerzas



Como se observa, la región más cargada del eje es la región C, de modo que el eje se diseña para que soporte la carga combinada en esta sección. Se observa que el

momento aplicado en X es una contribución de cargas dinámicas y el torque en Z es un esfuerzo constante o estático aplicado en el eje, para tener en cuenta ambas contribuciones de esfuerzos es necesario aplicar las teorías de falla de fatiga, debido a que se trata del diseño de un eje, se opta por usar la teoría de falla de Goodman.

Ahora, se obtienen los esfuerzos de flexión y torsión en términos del diámetro del eje. Para el esfuerzo de flexión en la sección C sabiendo que es un eje de sección circular maciza, se tiene que:

$$\sigma_{flex,c} = \frac{32 * M_x}{\pi * d^3} = \frac{32 * 6.04}{\pi * d^3} = \frac{61.5}{d^3}$$

El esfuerzo de torsión en C está dado por:

$$\tau_{tor,c} = \frac{16 * T_z}{\pi * d^3} = \frac{16 * 5}{\pi * d^3} = \frac{25.4}{d^3}$$

Por otra parte, se tiene que el acero usado en el eje será acero AISI 316L, de modo que su esfuerzo de fluencia es:

$$S_y = 170 [MPa]$$

Debido a que se está diseñando un eje de sección transversal constante, y por las condiciones del problema se opta por usar la aproximación recomendada por el libro Shigley segunda edición para calcular el esfuerzo de fatiga, tal que:

$$S_{e'} = S_y * 0.505 = 170 * 0.505 = 85.85 [MPa]$$

Ahora, este esfuerzo se ve modificado por las condiciones en las que se encuentra el eje tal que:

$$S_e = S_{e'} * K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f$$

Donde los K_i son los factores que modifican límite de resistencia a la fatiga del material por:

- K_a : Acabado superficial.
- K_b : Tamaño.
- K_c : Carga.
- K_d : Temperatura.
- K_e : Confiabilidad.
- K_f : Misceláneo.

Por ser un eje que no será sometido a cambios de temperatura, y no tendrá condiciones de carga o de seguridad adicionales que modifiquen la confiabilidad se tiene que:

$$K_d = K_e = K_f = 1$$

Y observando que la carga cíclica aplicada al eje es carga de flexión se tiene también que:

$$K_c = 1$$

Para obtener el factor de acabado superficial se tiene que:

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

Donde a y b se obtienen de la tabla 6-2 del libro Shigley segunda edición para una superficie maquinada. El esfuerzo último del material es de 485 [MPa] y los factores a y b para superficie maquinada son 4.51 y -0.265 respectivamente. Por lo tanto:

$$K_a = 4.51 * 485^{-0.265}$$

$$K_a = 0.875$$

El factor de tamaño se asume como 1 y se recalculará después de encontrar el diámetro del eje.

Con estos valores se obtiene el esfuerzo límite a fatiga modificado:

$$S_e = 85.85 * 0.875 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1$$

$$S_e = 75.1 \text{ [MPa]}$$

El criterio de falla de Goodman dice que:

$$\frac{\sigma_{alt}}{S_e} + \frac{\sigma_{med}}{S_{ut}} = \frac{1}{N}$$

Siendo N el factor de seguridad, σ_{alt} el esfuerzo producido por cargas cíclicas y σ_{med} el esfuerzo estático. Para el diseño de este eje se toma un factor de seguridad $N=2$, y se tiene que:

$$\sigma_{alt} = \sigma_{flex,c} = \frac{61.5}{d^3}$$

Y de las cargas estáticas se tiene que:

$$\sigma_{med} = \tau_{tor,c} = \frac{25.4}{d^3}$$

Reemplazando se obtiene que:

$$\frac{\frac{61.5}{d^3}}{75.1} + \frac{\frac{25.4}{d^3}}{485} = \frac{1}{2}$$

Solucionando esta ecuación se obtiene que el diámetro mínimo para que el eje soporte las cargas impuestas es de:

$$d_{min} = 1.2 \text{ [mm]}$$

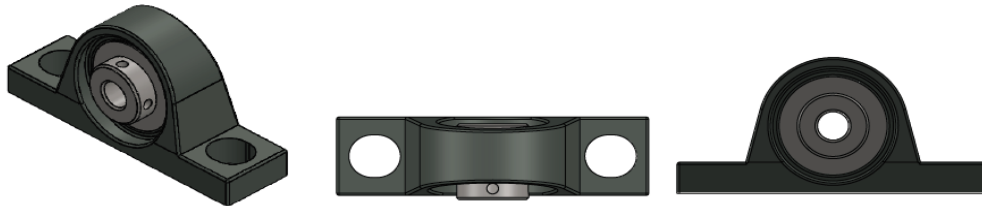
Finalmente se recalcula el factor de tamaño con este diámetro tal que:

$$K_b = 1.24 * 1.276^{-0.107} = 1.2$$

Al ser mayor que 1 el factor de tamaño debe tomarse como 1, lo cual hace que la suposición hecha previamente sea adecuada.

6.1.5 Chumacera. La selección de la chumacera se hizo con base al eje de 1 pulgada y el agarre de éste se da mediante los prisioneros de la chumacera, se seleccionó una chumacera tipo puente P-205 la cual consiste en rodamiento de bolas, éstas son las más fáciles de conseguir en el mercado y debido a esto se dio su selección.

Figura 14. Modelo de la chumacera



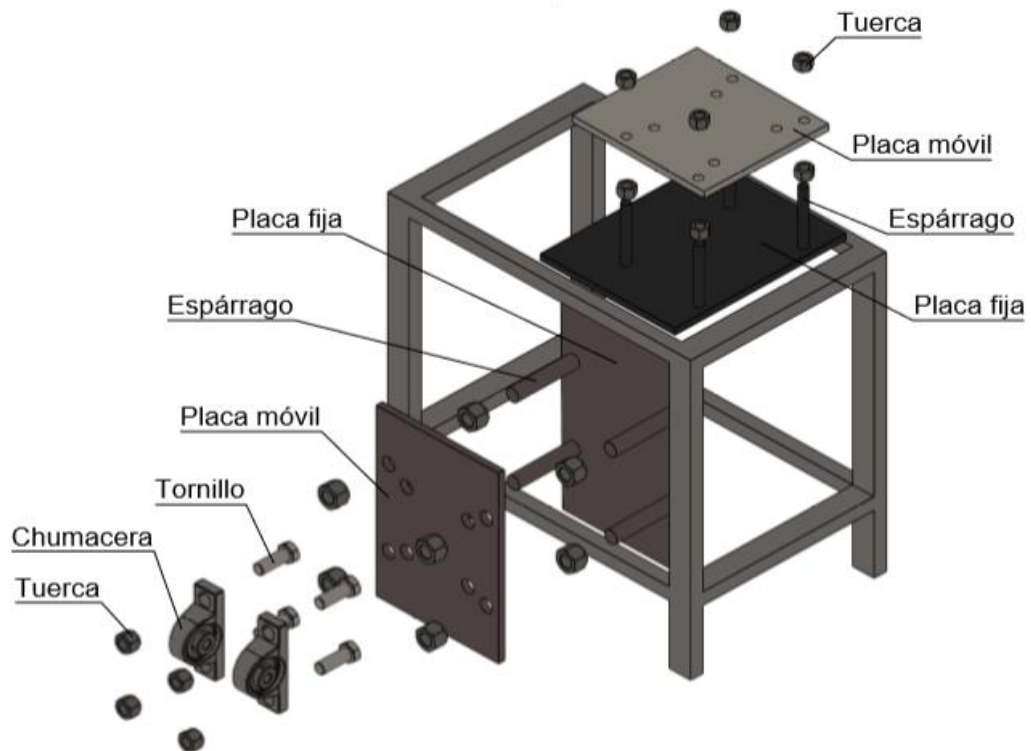
6.2 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Para el diseño de la estructura, se partió del trabajo realizado en los planos que se definieron para la construcción del prototipo, ya que se deben tener en cuenta las distancias de separación entre elementos que poseen movimiento y el tipo de uniones que lleva cada elemento que la conforma.

Tabla 6. Subgrupo estructura

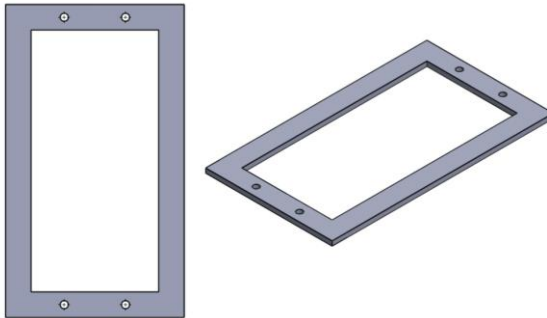
ELEMENTOS	DISEÑO
Base soporte del cilindro	Las medidas de esta son de 28 x 43 cm con espesor de 4cm
Base soporte del motor	Las medidas de ambas placas son de 22 x 22 cm en la móvil y 22 x 28 cm en la estática, ambas tienen espesor de 1 cm.
Base soporte del eje auxiliar	Las medidas de ambas placas son de 33 x 20 cm en la estática y 28 x 20 cm en la móvil, ambas tienen espesor de 1 cm.
Soporte principal de la estructura	Las medidas de la estructura en total son de ...

Figura 15. Modelo subgrupo estructura



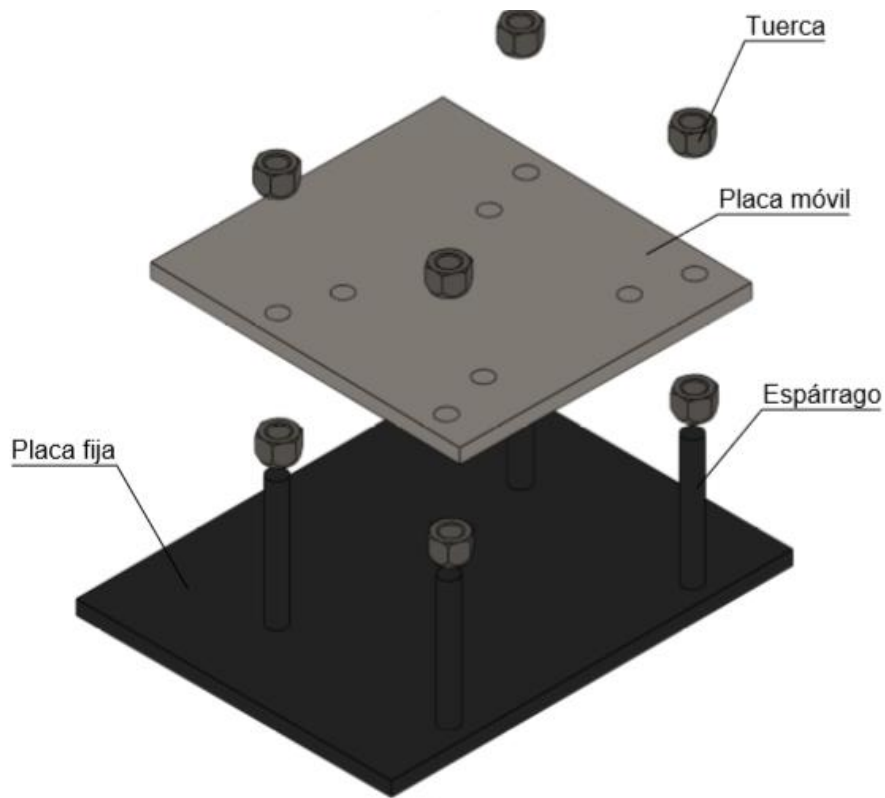
6.2.1 Base soporte del cilindro. Para la base que soporta el cilindro se tomó una placa de $\frac{3}{8}$ pulgada a la cual se le hizo un corte con oxicorte dejando un marco con las medidas necesarias para que ésta no interfiera con el movimiento rotatorio que realiza el cilindro.

Figura 16. Placa soporte cilindro



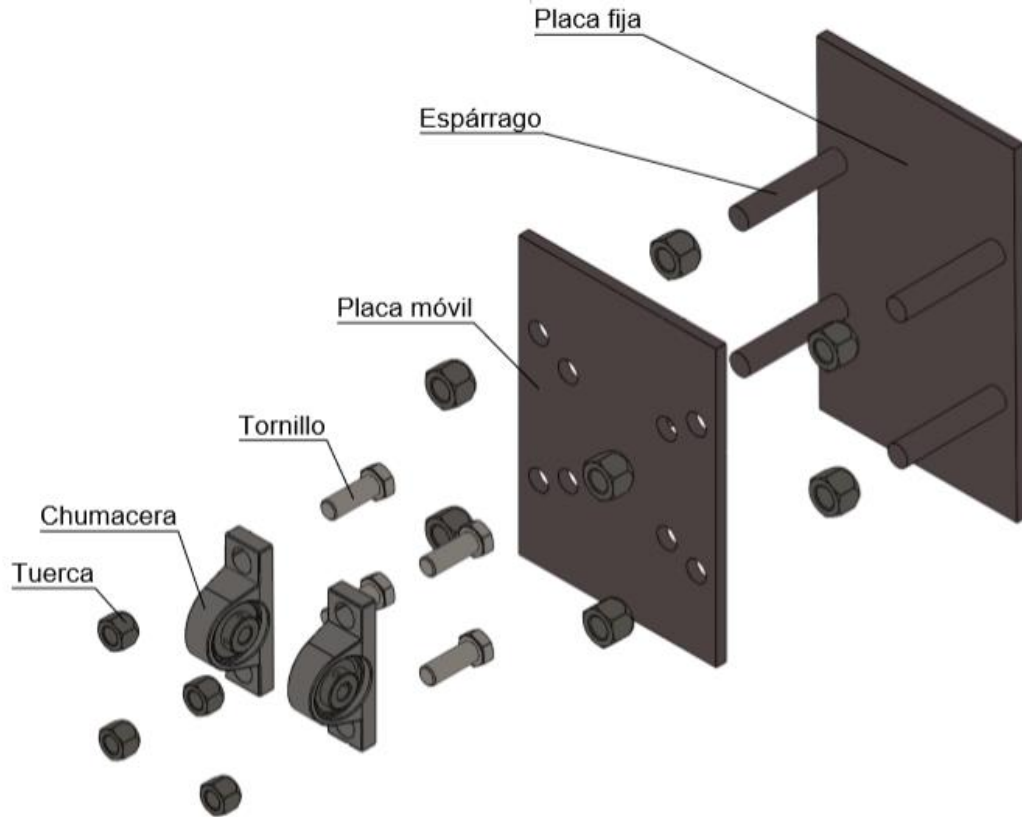
6.2.2 Base soporte del motor. La placa que sirve de soporte para el motor se instaló en la parte inferior de la estructura total, este montaje cuenta con dos placas la inferior es estática y la superior es móvil, utilizando cuatro espárragos de acero al carbono de $1 \frac{1}{16} * 4$ pulgadas con doble juego de tuercas facilitando el desplazamiento del motor en sentido vertical permitiendo hacer la tensión necesaria sobre la correa que entrega el movimiento a la primera parte de la transmisión de la velocidad.

Figura 17. Modelo de la base que soporta el motor.



6.2.3 Base soporte del eje auxiliar. La placa móvil donde se instaló el eje auxiliar para la reducción, se ubicó en la parte lateral de la estructura utilizando soldadura dejando una placa fija y para la parte que realiza el desplazamiento se utilizaron cuatro espárragos de acero al carbono de $1 \frac{1}{16} * 4$ pulgadas con doble juego de tuercas permitiendo un movimiento horizontal al eje que a su vez realiza el mismo trabajo de tensión a la correa que entrega la velocidad necesaria al cilindro.

Figura 18. Modelo del soporte para el eje auxiliar.



6.2.4 Soporte principal de la estructura. Las patas son el soporte principal de toda la estructura, para ellas se usaron cuatro tubos de $\frac{1}{2}$ pulgada de acero éstas fueron unidas a la base que soporta el cilindro utilizando soldadura, con base a su altura se definieron las distancias de separación llegando a la conclusión de usar 60 cm para toda la distribución esto se hizo con base al tamaño del cilindro, del motor y el desplazamiento que tiene la placa que lo soporta.

Figura 19. Modelo de la estructura principal del prototipo.

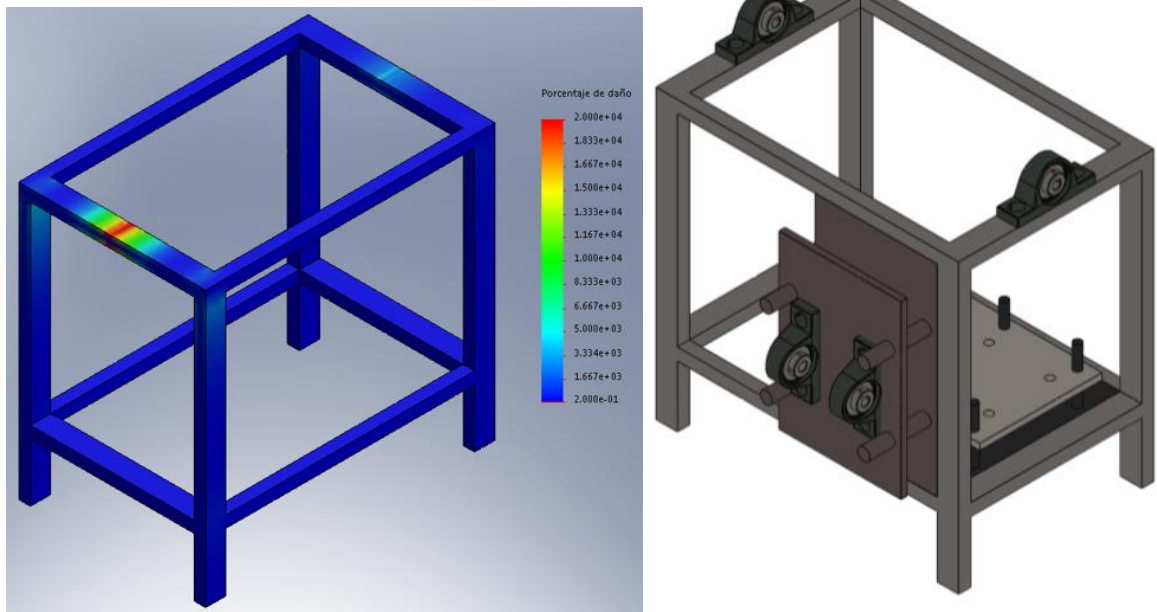


Figura 20. Análisis de desplazamiento estructural

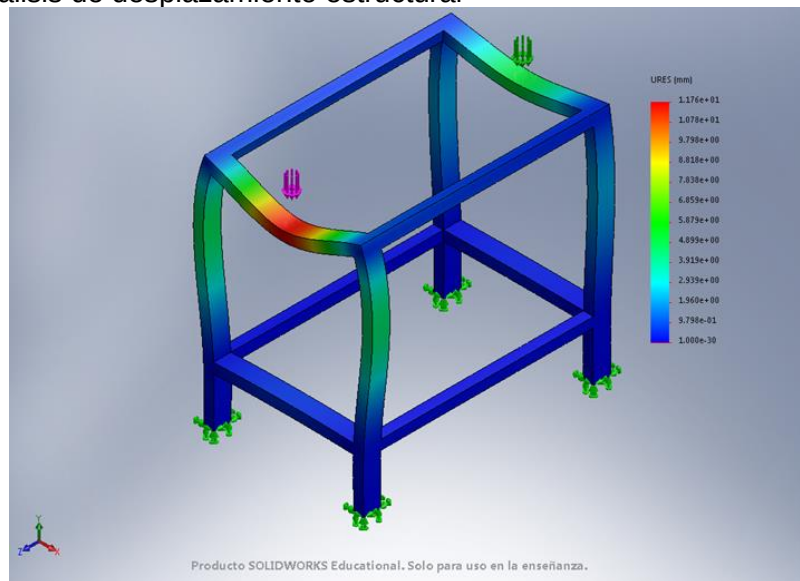


Figura 21. Análisis de deformación unitaria de la estructura

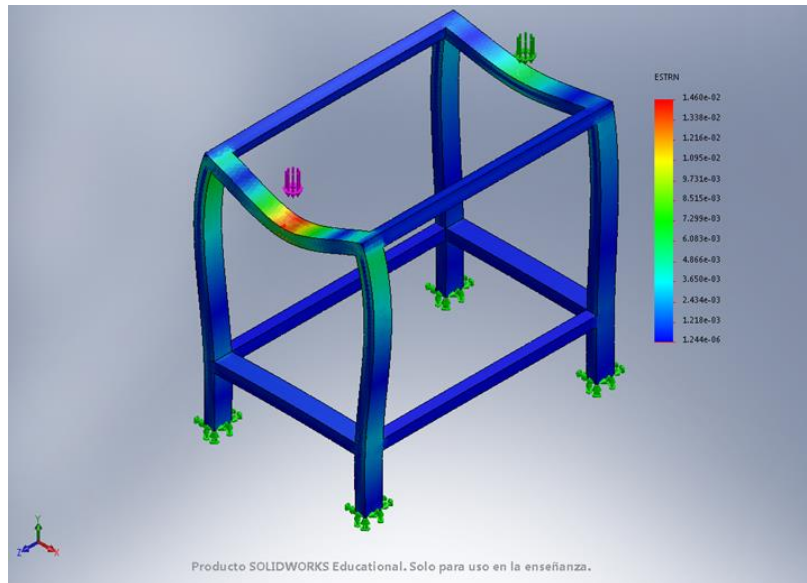
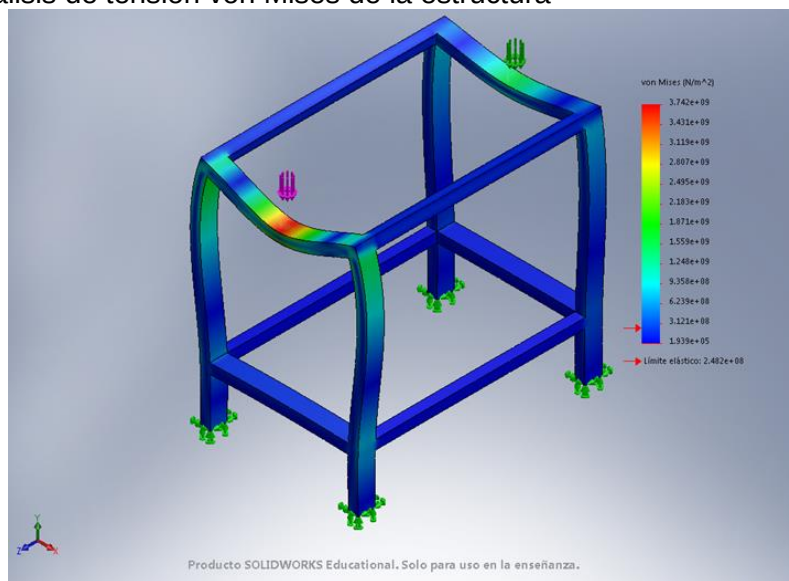


Figura 22. Análisis de tensión von Mises de la estructura



Los análisis anteriores fueron hechos usando el software Solidworks 2019 teniendo en cuenta todos los pesos de cada uno de los elementos que debe soportar la

estructura con esto logramos concluir que dicha estructura cuenta con la rigidez suficiente para soportar todo el proceso para el cambio de geometría de la arena.

6.3 SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN

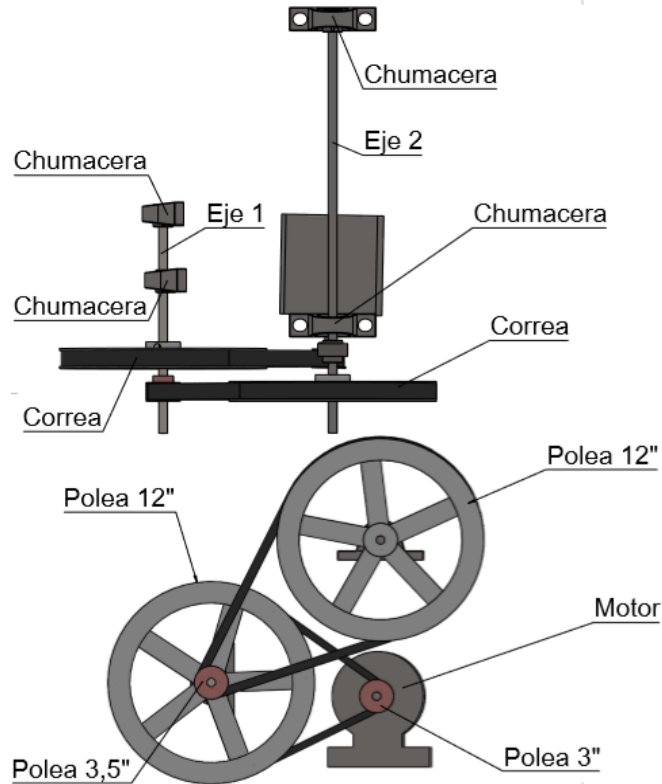
Para realizar el diseño del sistema de transmisión de potencia, se tienen en cuenta los requerimientos tales como:

- La entrega de 87,5 rpm al cilindro
- Un motor de 1,2 hp @ 1200 rpm
- Elementos mecánicos estándar según fabricantes

Tabla 7. Subgrupo transmisión

CANTIDAD	ELEMENTOS SELECCIONADOS POR CATALOGO
2	Polea de 12 pulgadas
1	Polea de $3\frac{1}{2}$ pulgadas
1	Polea de 3 pulgadas
1	Correa tipo B44
1	Correa tipo B50
2	Ejes de 1 pulgada, cada uno tiene una longitud diferente de acuerdo a la etapa de la transmisión
2	Chumaceras

Figura 23. Modelo de la transmisión

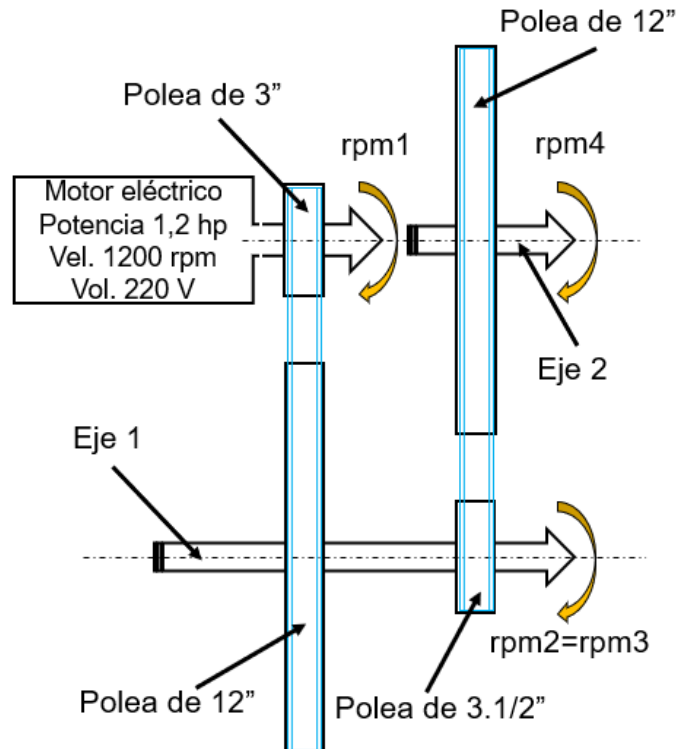


La potencia del motor es entregada a 1200 rpm inicialmente, para el diseño se requiere una velocidad de 87,5 rpm por lo que la reducción es de aproximadamente de 14:1, se usa una transmisión de dos etapas. En la figura 17 se muestra una etapa de transmisión inicial mediante correas y poleas en ejes horizontales y paralelos, seguido por otra transmisión por correas al eje que va directamente al cilindro.

Primera etapa: Transmisión flexible por correas trapezoidales, relación entre el motor y el eje 1, Figura 23.

Segunda etapa: Transmisión flexible por correas trapezoidales, relación entre el eje 1 y el eje 2, Figura 23.

Figura 24. Esquema de las etapas de transmisión de potencia.



De acuerdo con el modelo de la figura 18, se tiene la velocidad final dada por la siguiente relación:

$$rpm_4 = rpm_3 * \frac{d_3}{D_4} = 350 * \frac{3}{12} = 87,5 \text{ rpm}$$

El detalle de los cálculos se puede observar en el ANEXO A, DETALLE DEL CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA.

6.3.1 Selección de las correas. Las correas se seleccionan teniendo en cuenta el tipo, la potencia y la velocidad a la que vayan a trabajar, así como la relación de reducción de velocidad y la aplicación de la máquina. Los cálculos se detallan a continuación, desde la Figura 25 hasta la Figura 35 haciendo uso del catálogo online de los productos SKF. El detalle geométrico de las correas se encuentra en el ANEXO B, DETALLE DE LAS MEDIDAS GEOMÉTRICAS DE LAS CORREAS.

Figura 25. Entrada de datos para selección de la correa SKF, para la transmisión que va del motor al eje auxiliar.

Fuente: SKF POWER TRANSMISSION. [En línea]. Gotemburgo, Suecia. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.skfpt.com/> >

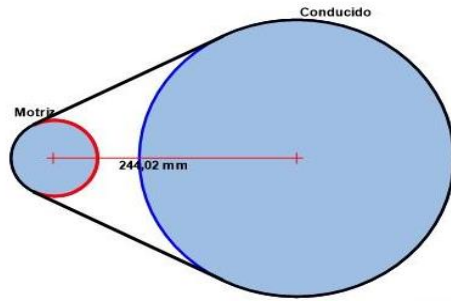
De la Figura 25, se introducen los datos de Potencia en KW, velocidad del motor y velocidad aproximada de salida, tipo de trabajo de la máquina y características del motor, finalmente se define una distancia entre centros y se solicita el cálculo de la longitud de la correa.

Figura 26. Elección del tipo de correa según potencia de diseño y rpm.

correas classicas lisas; B

Velocidad de la correa: 5,91 m/s

Logitud de correas: 1171,8 mm



Unidad Motriz y energía

Potencia de Motor (kW): 0,89 Torque de Motor (Nm): 7,08

SF (V-belts): 1,2 [mas opciones](#)

Velocidades y poleas

Velocidad motriz (rpm): 1200 [86,42](#) [Diametro Motriz \(mm\)](#)

Velocidad Conducida (rpm): 350 [315](#) [Diametro de la polea conducida \(mm\)](#)

correas y distancia entre centros

Distancia entre centros (mm.): 244,02

Longitud de correas (mm.): 1171,8 [i](#)

Longitud de correas (pulg.): 44,49 [i](#)

Numero de canales: Estandar

Shaft diameters

Diametro de eje motriz (mm): 86,42 315 Diametro de eje conducido (mm)

[Recalc](#)

Fuente: SKF POWER TRANSMISSION. [En línea]. Gotemburgo, Suecia. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.skfptp.com/> >

En la Figura 26 se muestra la elección del tipo de correa utilizada según la relación potencia-velocidad. La elegida corresponde a correas estándar tipo B según norma ISO.

Figura 27. Selección de la correa

correas classicas lisas; B

Velocidad de la correa: 5,91 m/s

Logitud de correas: 1171,8 mm

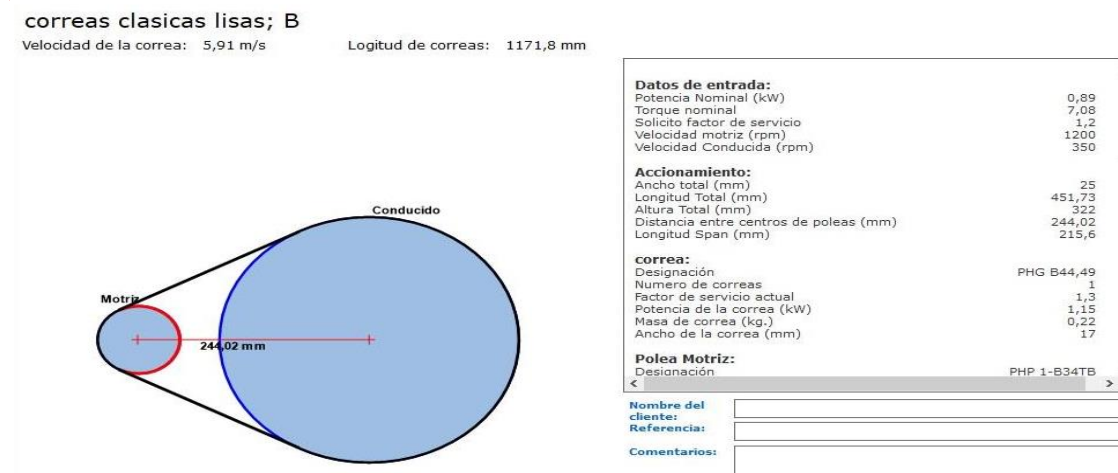
[Calcular](#)

	correas	Numero de correas	Factor de servicio actual	
►	PHG B44,49	1	1,3	

Fuente: SKF POWER TRANSMISSION. [En línea]. Gotemburgo, Suecia. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.skfptp.com/> >

De la Figura 27, se elige la de menor dimensión para la correa tipo B y se verifica que la distancia entre centros mínima sea la correcta, para ello se evalúa de acuerdo a las dimensiones reales del prototipo.

Figura 28. Datos de la selección definitiva de la correa para la primera transmisión.



Fuente: SKF POWER TRANSMISSION. [En línea]. Gotemburgo, Suecia. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.skfptp.com/> >

Con esta primera selección se logra disminuir la velocidad del motor de 1200 rpm a 350 rpm con una reducción aproximadamente de 3,5:1.

Figura 29. Selección por catálogo de la correa de la primera transmisión

SKF Wrapped Classical Belts

13/A | 17/B

Section	Dimensions		Inside length	Designation	
	Pitch length				
	mm	in.		mm	h
13/A	1 760	1 727	68.00	13	8
	1 790	1 753	69.00	13	8
	1 810	1 778	70.00	13	8
	1 840	1 803	71.00	13	8
	1 860	1 829	72.00	13	8
				PHG A68	
				PHG A69	
				PHG A70	
				PHG A71	
				PHG A72	
17/B	1 130	1 092	42.00	17	11
	1 160	1 118	44.00	17	11
	1 190	1 149	45.00	17	11
	1 210	1 168	46.00	17	11
	1 240	1 194	47.00	17	11
				PHG B42	
				PHG B44	
				PHG B45	
				PHG B46	
				PHG B47	

Fuente: SKF POWER TRANSMISSION. [En línea]. Gotemburgo, Suecia. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.skfptp.com/> >

De la Figura 29, se comprueba que los valores arrojados por el programa usado son consistentes, dejando claro que la correa a usarse será la de PHG B44.

Para la segunda transmisión y selección de correas se hace lo mismo.

Figura 30. Entrada de datos para selección de la correa SKF, para la transmisión que va del eje auxiliar al eje del cilindro.



Fuente: SKF POWER TRANSMISSION. [En línea]. Gotemburgo, Suecia. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.skfptp.com/> >

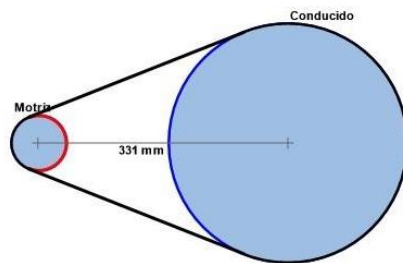
De la Figura 30, se introducen los datos de Potencia en KW, velocidad del motor y velocidad aproximada de salida, tipo de trabajo de la máquina y características del motor, finalmente se define una distancia entre centros y se solicita el cálculo de la longitud de la correa.

Figura 31. Elección del tipo de correa según potencia de diseño y rpm.

correas classicas lisas; B

Velocidad de la correa: 1,47 m/s

Logitud de correas: 1314,8 mm



Unidad Motriz y energía			
Potencia de Motor (kW)	1200	32740,47	Torque de Motor (Nm)
SF (V-belts)	1,2	mas opciones	
Velocidades y poleas			
Velocidad motriz (rpm)	350	72,51	Diametro Motriz (mm)
Velocidad Conducida (rpm)	87	315	Diametro de la polea conducida (mm)
correas y distancia entre centros			
Distancia entre centros (mm.)	331		
Longitud de correas (mm.)	1314,8		
Longitud de correas (pulg.)	50,12		
Numero de canales	Estandar		
Shaft diameters			
Diametro de eje motriz (mm)	72,15	315	Diametro de eje conducido (mm)

Fuente: SKF POWER TRANSMISSION. [En línea]. Gotemburgo, Suecia. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.skfpt.com/> >

En la Figura 31 se muestra la elección del tipo de correa utilizada según la relación potencia-velocidad. La elegida corresponde a correas estándar tipo B según norma ISO.

Figura 32. Selección de la correa

correas classicas lisas; B

Velocidad de la correa: 1,47 m/s

Logitud de correas: 1314,8 mm

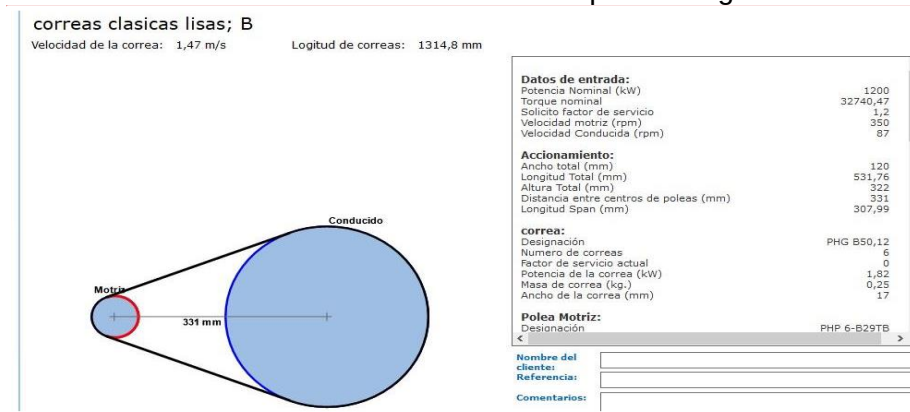
Calcular

	correas	Numero de correas	Factor de servicio actual
►	PHG B50,12		0

Fuente: SKF POWER TRANSMISSION. [En línea]. Gotemburgo, Suecia. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.skfpt.com/> >

De la Figura 32, se elige la de menor dimensión para la correa tipo B y se verifica que la distancia entre centros mínima sea la correcta, para ello se evalúa de acuerdo a las dimensiones reales del prototipo.

Figura 33. Datos de la selección definitiva de la correa para la segunda transmisión.



Fuente: SKF POWER TRANSMISSION. [En línea]. Gotemburgo, Suecia. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.skfptp.com/> >

Con esta segunda selección se logra disminuir la velocidad que va del eje auxiliar de 350 rpm a 87,50 rpm con una reducción aproximadamente de 4:1.

Figura 34. Selección por catálogo de la correa de la segunda transmisión

SKF Wrapped Classical Belts
13/A | 17/B

Section	Dimensions		Inside length	Designation		
	Pitch length			w	h	
–	mm	in.	mm	–		
13/A	1 760	1 727	68.00	13	8	PHG A68
	1 790	1 753	69.00	13	8	PHG A69
	1 810	1 778	70.00	13	8	PHG A70
	1 840	1 803	71.00	13	8	PHG A71
	1 860	1 829	72.00	13	8	PHG A72
	1 890	1 854	73.00	13	8	PHG A73
	1 920	1 880	74.00	13	8	PHG A74
	1 940	1 905	75.00	13	8	PHG A75
	1 960	1 930	76.00	13	8	PHG A76
	1 990	1 956	77.00	13	8	PHG A77
17/B	1 130	1 092	43.00	17	11	PHG B43
	1 160	1 118	44.00	17	11	PHG B44
	1 180	1 143	45.00	17	11	PHG B45
	1 210	1 168	46.00	17	11	PHG B46
	1 240	1 194	47.00	17	11	PHG B47
	1 260	1 219	48.00	17	11	PHG B48
	1 290	1 245	49.00	17	11	PHG B49
	1 340	1 295	51.00	17	11	PHG B51
	1 370	1 321	52.00	17	11	PHG B52
	1 400	1 347	53.00	17	11	PHG B53

Fuente: SKF POWER TRANSMISSION. [En línea]. Gotemburgo, Suecia. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.skfptp.com/> >

De la Figura 34, se comprueba que los valores arrojados por el programa usado son consistentes, dejando claro que la correa a usarse será la de PHG

6.3.2 Selección de las poleas. Para la selección de las poleas para hacer la reducción de velocidad, se hizo un proceso iterativo, en el cual lo que se buscaba era una reducción de 1200 rpm a un rango aproximado de 80 y 90 rpm, que es la velocidad deseada para realizar el trabajo, para esto se llevó a cabo la alternativa de agregar un eje auxiliar que sirviera como una primera reducción y de este que a su vez obtener la correcta.

Figura 35. Selección de las poleas

1 Canal

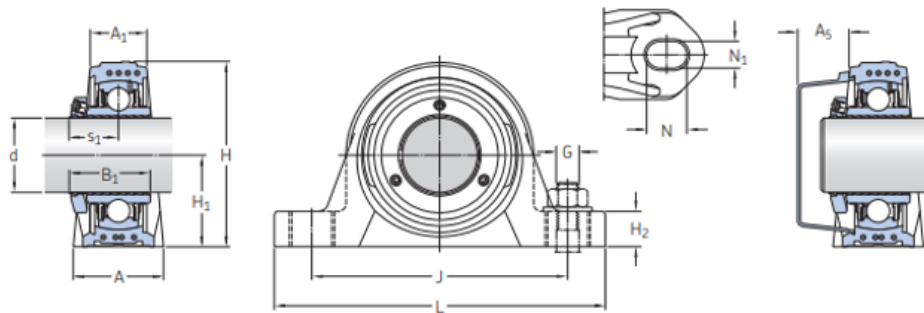
Diámetro Primitivo (PD)		Diámetro Externo (OD)	Tipo de Polea	Buje	Orificio		E	L	M	Peso lbs	Peso kg	Designación
Correas B	Correas A				min	max						
3,4	3,0	3,75	E-1	SH	1/2	1 1/8	7/32	1 1/16	21/32	4,4	2,0	PHP 1-B34-SH
3,6	3,2	3,95	D-1	SH	1/2	1 1/8	17/32	1 1/16	7/32	4,9	2,2	PHP 1-B36-SH
3,8	3,4	4,15	D-1	SH	1/2	1 1/8	29/32	1 1/16	1/32	5,3	2,4	PHP 1-B38-SH
4,0	3,6	4,35	C-1	SH	1/2	1 1/8	11/32	1 1/16	3/32	6,0	2,7	PHP 1-B40-SH
4,2	3,8	4,55	C-1	SH	1/2	1 1/8	21/32	1 1/16	3/32	6,4	2,9	PHP 1-B42-SH
4,4	4,0	4,75	C-1	SH	1/2	1 1/8	11/32	1 1/16	3/32	7,5	3,4	PHP 1-B44-SH
4,6	4,2	4,95	C-1	SDS	1/2	2	11/32	1 1/16	3/32	8,8	4,0	PHP 1-B46-SDS
4,8	4,4	5,15	C-1	SDS	1/2	2	11/32	1 1/16	3/32	9,5	4,3	PHP 1-B48-SDS
5,0	4,6	5,35	C-1	SDS	1/2	2	11/32	1 1/16	3/32	10,4	4,7	PHP 1-B50-SDS
5,2	4,8	5,55	C-1	SDS	1/2	2	11/32	1 1/16	3/32	11,0	5,0	PHP 1-B52-SDS
5,4	5,0	5,75	C-1	SDS	1/2	2	11/32	1 1/16	3/32	11,7	5,3	PHP 1-B54-SDS
5,6	5,2	5,95	C-1	SDS	1/2	2	11/32	1 1/16	3/32	12,3	5,6	PHP 1-B56-SDS
5,8	5,4	6,15	C-2	SDS	1/2	2	11/32	1 1/16	3/32	13,0	5,9	PHP 1-B58-SDS
6,0	5,6	6,35	C-2	SDS	1/2	2	11/32	1 1/16	3/32	13,7	6,2	PHP 1-B60-SDS
6,2	5,8	6,55	C-2	SDS	1/2	2	11/32	1 1/16	3/32	14,3	6,5	PHP 1-B62-SDS
6,4	6,0	6,75	C-2	SDS	1/2	2	11/32	1 1/16	3/32	15,0	6,8	PHP 1-B64-SDS
6,6	6,2	6,95	C-2	SDS	1/2	2	11/32	1 1/16	3/32	15,9	7,2	PHP 1-B66-SDS
6,8	6,4	7,15	C-3	SDS	1/2	2	11/32	1 1/16	3/32	16,5	7,5	PHP 1-B68-SDS
7,0	6,6	7,35	C-3	SDS	1/2	2	11/32	1 1/16	3/32	17,2	7,8	PHP 1-B70-SDS
7,4	7,0	7,75	D-3	SDS	1/2	2	17/32	1 1/16	7/32	19,4	8,8	PHP 1-B74-SDS
8,0	7,6	8,35	D-3	SDS	1/2	2	17/32	1 1/16	7/32	21,2	9,6	PHP 1-B80-SDS
8,6	8,2	8,95	D-3	SDS	1/2	2	17/32	1 1/16	7/32	22,0	10,0	PHP 1-B86-SDS
9,4	9,0	9,75	D-3	SDS	1/2	2	17/32	1 1/16	7/32	23,1	10,5	PHP 1-B94-SDS
11,0	10,6	11,35	D-3	SDS	1/2	2	17/32	1 1/16	7/32	26,3	11,0	PHP 1-B110-SDS
12,4	12,0	12,75	D-3	SDS	1/2	2	17/32	1 1/16	7/32	26,5	12,0	PHP 1-B124-SDS
13,6	13,2	13,95	D-3	SDS	1/2	2	17/32	1 1/16	7/32	30,9	14,0	PHP 1-B136-SDS
15,4	15,0	15,75	C-3	SK	1/2	2 1/8	21/32	1 15/16	9/32	35,3	16,0	PHP 1-B154-SK
16,0	15,6	16,35	C-3	SK	1/2	2 1/8	21/32	1 15/16	9/32	36,6	16,6	PHP 1-B160-SK
18,4	18,0	18,75	C-3	SK	1/2	2 1/8	21/32	1 15/16	9/32	39,7	18,0	PHP 1-B184-SK
20,0	19,6	20,35	C-3	SK	1/2	2 1/8	21/32	1 15/16	9/32	44,1	20,0	PHP 1-B200-SK

Fuente: SKF POWER TRANSMISSION. [En línea]. Gotemburgo, Suecia. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.skfptp.com/> >

Las poleas trapezoidales de un canal seleccionadas fueron según la Figura 35, para las pequeñas PHP1-B34-SH y para las grandes PHP1-B124-SDS, las cuales corresponde al tipo de correa y a las reducciones correspondientes.

6.3.3 Selección de las chumaceras. Para la selección de las chumaceras, se realiza un análisis de cargas dinámicas y estáticas y teniendo en cuenta la velocidad con la que va a trabajar, para esto se busca el punto donde se encuentre la mayor carga y se eligen las demás con base a esta, ya que al hacerse esto, facilita la mantenibilidad de la máquina.

Figura 36. Selección de las chumaceras de acuerdo al diámetro



Dimensiones

d	A	A ₁	B ₁ ¹⁾	H	H ₁	H ₂	J	L	N	N ₁	G	s ₁ ²⁾	A ₅
mm			~									~	
25	32	22	33,2	70,5	36,5	16	105	134	17,6	12,4	M10	21,2	18
30	40	25	37	82	42,9	19	121	159	21,4	14,4	M12	23,2	20
35	45	27	39,5	93	47,6	19	126	164	21,4	14,4	M12	24,5	22
40	48	30	42,9	99	49,2	19	136	176	21,4	14,4	M12	26,2	23,5

Fuente: SKF POWER TRANSMISSION. [En línea]. Gotemburgo, Suecia. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.skfptp.com/> >

De la Figura 33, se toma como base de la selección, el diámetro del eje con el que se va a trabajar, para después de acuerdo a el análisis de las cargas pasar a la figura siguiente.

Figura 37. Selección de la chumacera de acuerdo a la carga

Capacidad de carga básica dinámica	Carga estática	Carga límite de fatiga	Velocidad límite	Masa	Designación del soporte	Designación del rodamiento	Designación adecuada de la tapa lateral	Designación de la unidad
C	C ₀	P _u						
kN		kN	r. p. m.	kg	–	–	–	–
14	7,8	0,335	8 500	0,30	SYK 505	E2.YSP 205 SB-2F	ECY 205	SYK 25 LEF
19,5	11,2	0,475	7 500	0,48	SYK 506	E2.YSP 206 SB-2F	ECY 206	SYK 30 LEF
25,5	15,3	0,655	6 300	0,68	SYK 507	E2.YSP 207 SB-2F	ECY 207	SYK 35 LEF
30,7	19	0,8	5 600	0,85	SYK 508	E2.YSP 208 SB-2F	ECY 208	SYK 40 LEF

Fuente: SKF POWER TRANSMISSION. [En línea]. Gotemburgo, Suecia. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.skfptp.com/> >

La chumacera seleccionada según la Figura 37 para ser usada en las cuatro partes en la que se necesitan es la E2.YSP 205 SB-2F.

7. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

7.1 CONSTRUCCIÓN DEL CILINDRO

Figura 38. Selección de la tubería para el cilindro



Figura 39. Corte de la tubería con la longitud correspondiente para el cilindro



Figura 40. Cilindro



Figura 41. Corte de las tapas



Figura 42. Pulido de las tapas



Figura 43. Cilindro y tapas



Fuente: Autores

7.2 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Figura 44. Corte de la base que soporta el cilindro



Figura 45. Instalación de las patas



Figura 46. Instalación de soportes para evitar separación



Figura 47. Instalación del soporte para el motor



Figura 48. Estructura con soporte para el motor



7.3 CONSTRUCCIÓN DE LA TRANSMISIÓN

Figura 49. Instalación del eje a la estructura



Figura 50. Primera alternativa para la reducción para la transmisión



Figura 51. Instalación de la transmisión



Figura 52. Prueba de velocidad de la primera transmisión



Figura 53. Segunda alternativa de reducción para la velocidad



Figura 54. Instalación de las correas



Figura 55. Prototipo terminado



8. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA ARENA

8.1 PREPARACIÓN DEL MATERIAL PARA LAS PRUEBAS

Para la realización del proceso de análisis, primero se debe acondicionar el material antes realizar cualquier tipo de prueba, uno de los primeros pasos para la preparación del material fueron el secado del material, ya que este posee una humedad aproximada del 14%, después del secado se debe realizar el tamizado para extraer los tamaños con las mallas #10/12, que poseen el tamaño con el cual el material va a ser usado después del proceso y al finalizar esto, si se procede a la ejecución de las pruebas para los análisis.

8.1.1 Secado. Para el secado del material se usó un horno eléctrico de tiro forzado, donde se permitía un secado máximo de material de 30 kg, ya que este no posee el espacio para poder secar más, el tiempo de secado es de 6 horas a una temperatura de 120°C, ya que lo que se requiere es retirar el agua que posee la arena.

Figura 56. Horno eléctrico de tiro forzado



Figura 57. Panel del horno



Figura 58. Parte interna del horno



Figura 59. Arena para secado



Figura 60. Material enfriándose



8.1.2 Tamizado. Para el tamizado se usaron las mallas #8, 10 y una adicional #50 para no cargar tanto el fondo y permitir que la separación sea efectiva, este proceso es realizado después que el material se encuentra totalmente frío, para un mejor uso y evitar el daño de los instrumentos por la temperatura tan alta a la que se encuentra el material al salir del horno.

Figura 61. Tamices



Figura 62. Arena tamizada para pruebas.



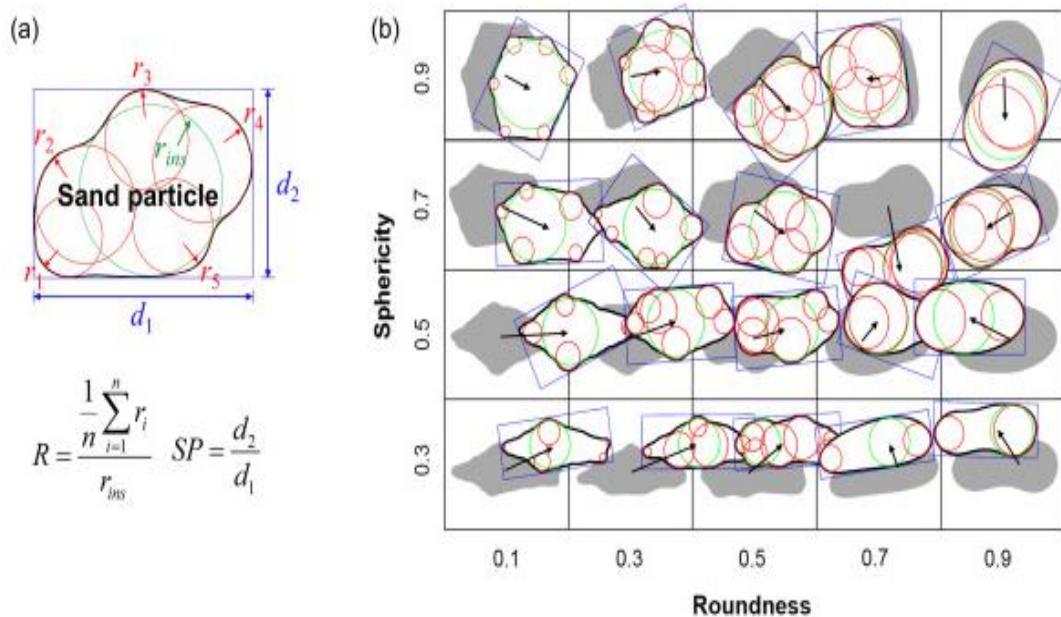
8.2 PRUEBAS

Para la realización de las pruebas se utilizó una lupa binocular prestada en la escuela de Geología, permitiendo el análisis de siete muestras que se presentarán a continuación.

Para determinar la esfericidad y redondez de la arena se usará la siguiente gráfica con sus respectivas ecuaciones.

Figura 63. Gráfica de esfericidad y redondez de Krumbein & Sloss.

$$SP = \frac{d_2}{d_1} \quad (d_1 \geq d_2) \text{ for sphericity; } R = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i}{r_{ins}} \text{ for roundness} \quad (1)$$



Fuente: KIM, Y; SUK SUH, H y SUP YUN, T. Fiabilidad y aplicabilidad de la tabla Krumbein-Sloss para estimar propiedades geomecánicas en arenas. Engineering Geology [En línea]. 2019. 117-123 p. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795218305064> >

8.2.1 Muestra sin proceso

Figura 64. Muestra sin proceso

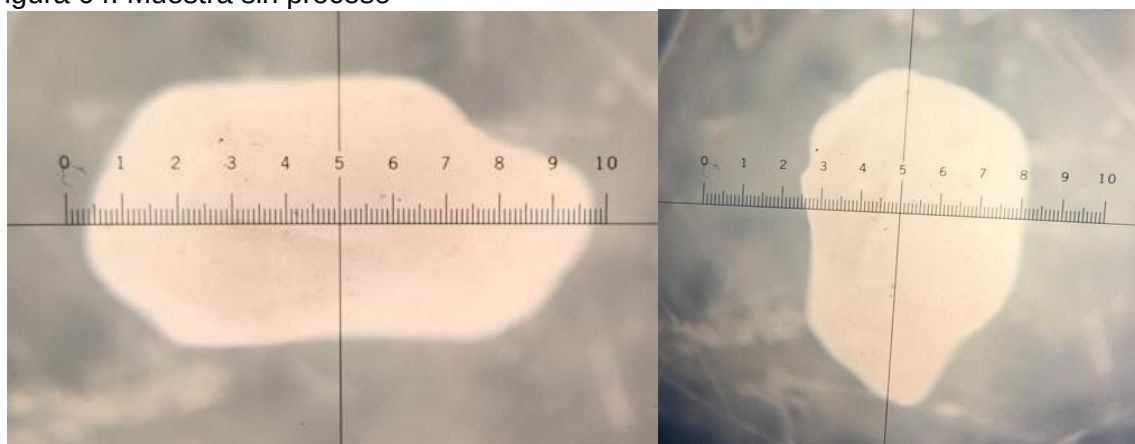


Figura 65. Muestra sin proceso con análisis



El proceso para realizar el análisis de esfericidad y redondez de la arena se lleva a cabo usando el artículo de Krumbein & Sloss, para mayor información remítase al ANEXO C, RELIABILITY AND APPLICABILITY OF THE KRUMBEIN-SLOSS CHART FOR ESTIMATING GEOMECHANICAL PROPERTIES IN SANDS, donde se encuentran todas las guías para poder determinar en qué lugar se posiciona de acuerdo a la tabla planteada por ellos.

Los pasos son los siguientes:

- Calcular la redondez

$$R = \frac{1}{n} \frac{(\sum_{i=1}^n (r_i))}{r_{ins}}$$

Datos:

r_{ins} : es el radio de la circunferencia inscrita más grande.

r_i : es la media de los radios de todos los círculos que se encuentran en las esquinas.

n : es la cantidad de circunferencias que se encuentran en las esquinas.

$$R = \frac{1}{4} \frac{(\sum_{i=1}^4 (19,6))}{27,5} = 0,71$$

- Calcular la esfericidad

$SP = \frac{d_2}{d_1}$; Donde $d_1 > d_2$.

$$SP = \frac{56}{94} = 0,6.$$

Para ver el procedimiento, ver ANEXO D. CÁLCULO DE ESFERICIDAD Y REDONDEZ, SIN PROCESO.

- Ubicar los valores en la tabla

Figura 66. Ubicación de los valores en la tabla.



8.2.2 Prueba 1. Para esta prueba se usó un tiempo de 4 horas con lijas #160.

Figura 67. Muestra de la prueba 1

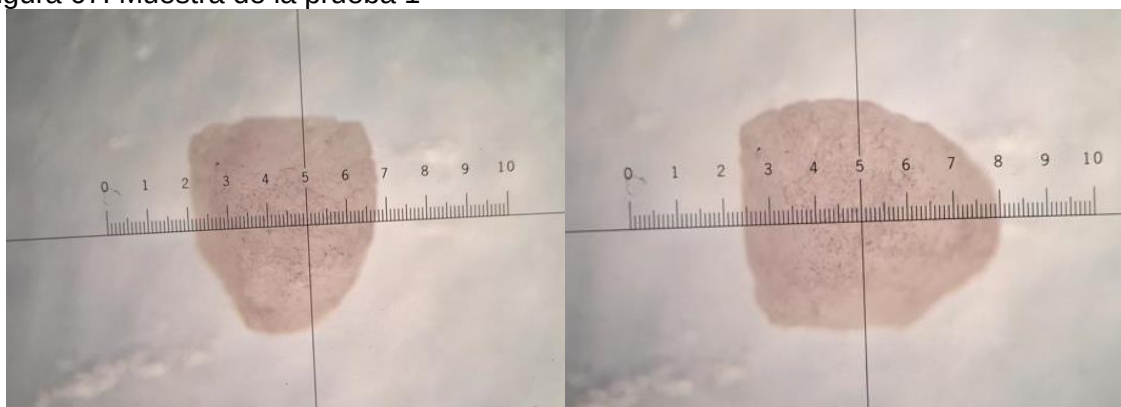
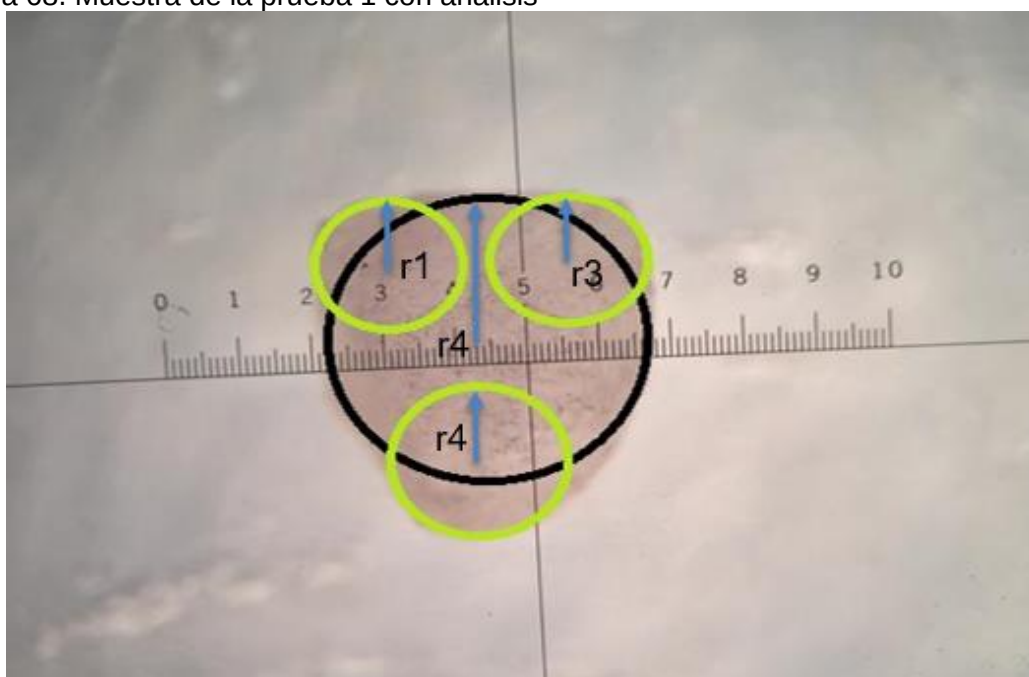


Figura 68. Muestra de la prueba 1 con análisis



Los pasos son los siguientes:

- Calcular la redondez

$$R = \frac{1}{4} \frac{(\sum_{i=1}^4 (17))}{23,5} = 0,72$$

- Calcular la esfericidad

$$SP = \frac{47}{56} = 0,84.$$

Para ver el procedimiento, ver ANEXO D. CÁLCULO DE ESFERICIDAD Y REDONDEZ, PRUEBA 1.

- Ubicar los valores en la tabla

Figura 69. Ubicación de los valores en la tabla.



8.2.3 Prueba 2. Para esta prueba se usó un tiempo de 4 horas con lijas #100

Figura 70. Muestra de la prueba 2

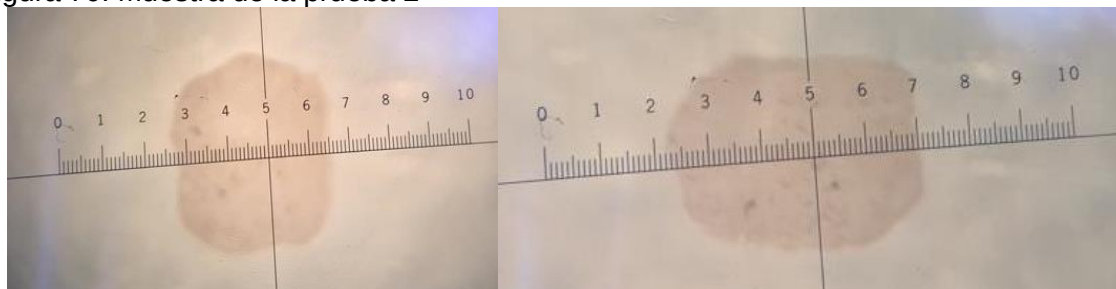
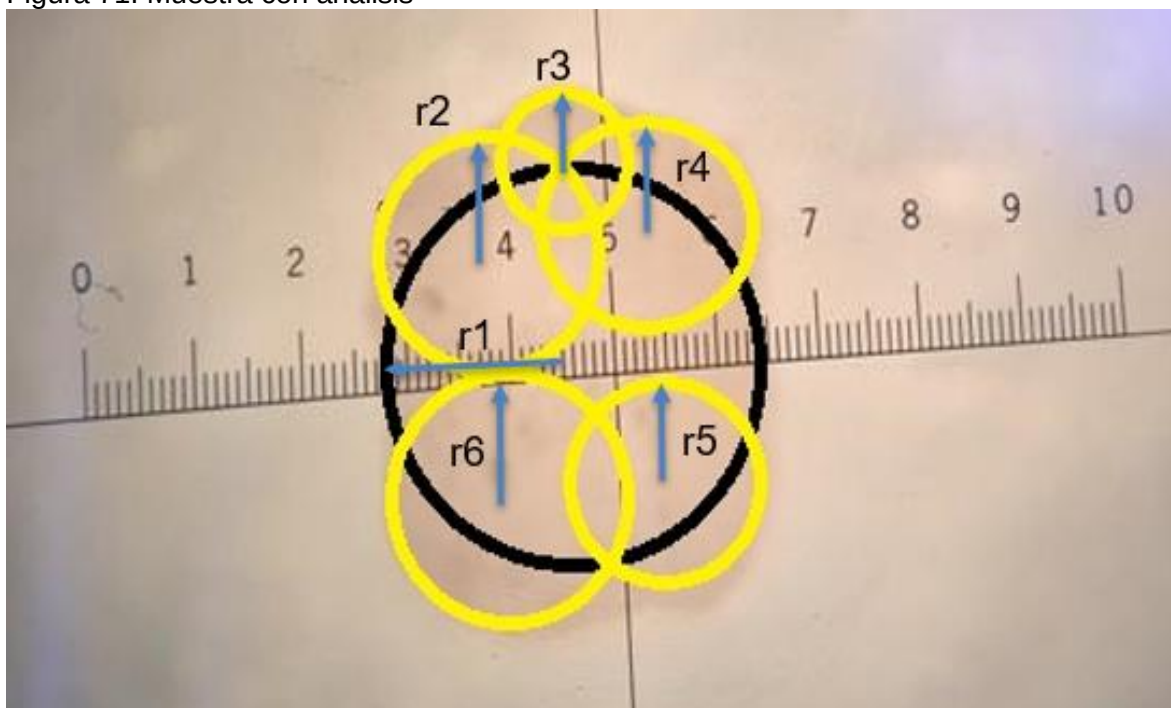


Figura 71. Muestra con análisis



Los pasos son los siguientes:

- Calcular la redondez

$$R = \frac{1}{6} \frac{(\sum_{i=1}^6 (11,7))}{18,5} = 0,63$$

- Calcular la esfericidad

$$SP = \frac{40}{52} = 0,77.$$

Para ver el procedimiento, ver ANEXO D. CÁLCULO DE ESFERICIDAD Y REDONDEZ, PRUEBA 2.

- Ubicar los valores en la tabla

Figura 72. Ubicación de los valores en la tabla.



8.2.4 Prueba 3. Para esta prueba se usó un tiempo de 4 horas con lijas #80

Figura 73. Muestra de la prueba 3

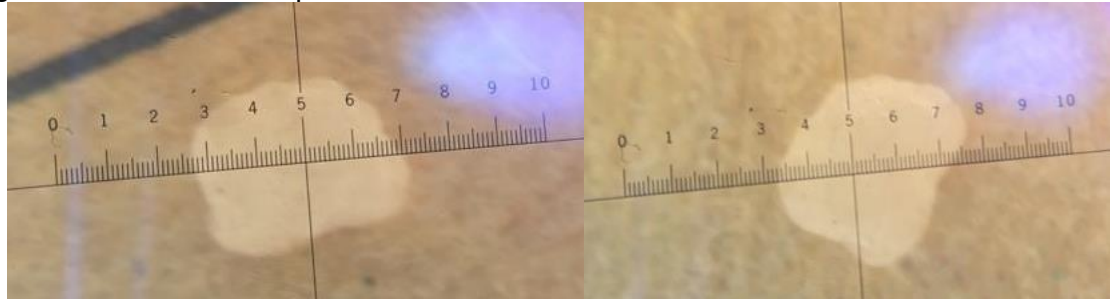
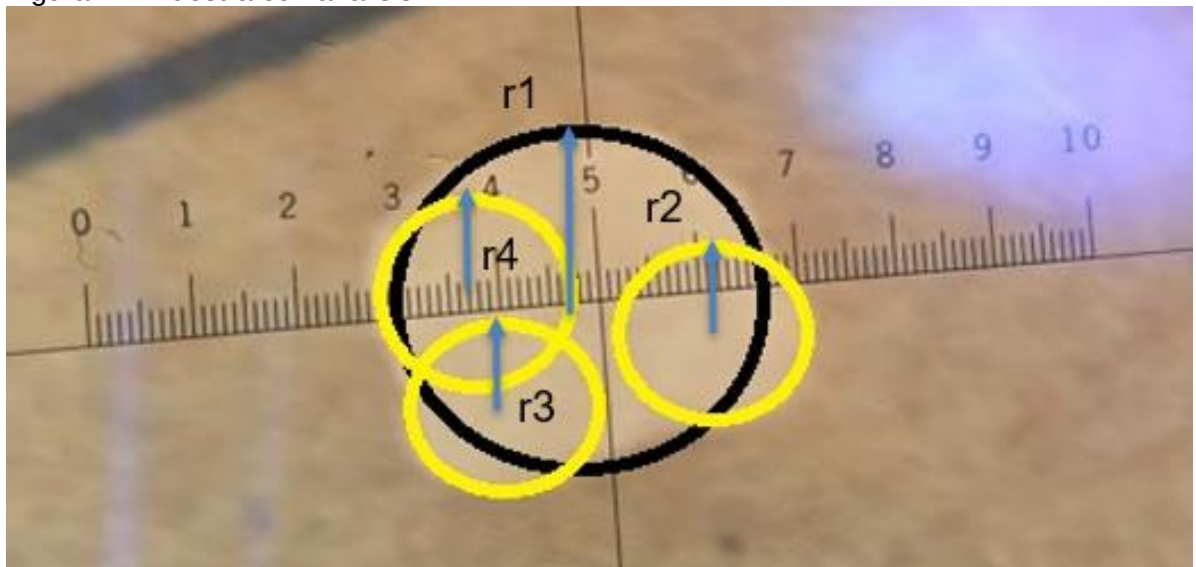


Figura 74. Muestra con análisis



Los pasos son los siguientes:

- Calcular la redondez

$$R = \frac{1}{4} \frac{(\sum_{i=1}^4 (13,6))}{18,5} = 0,73$$

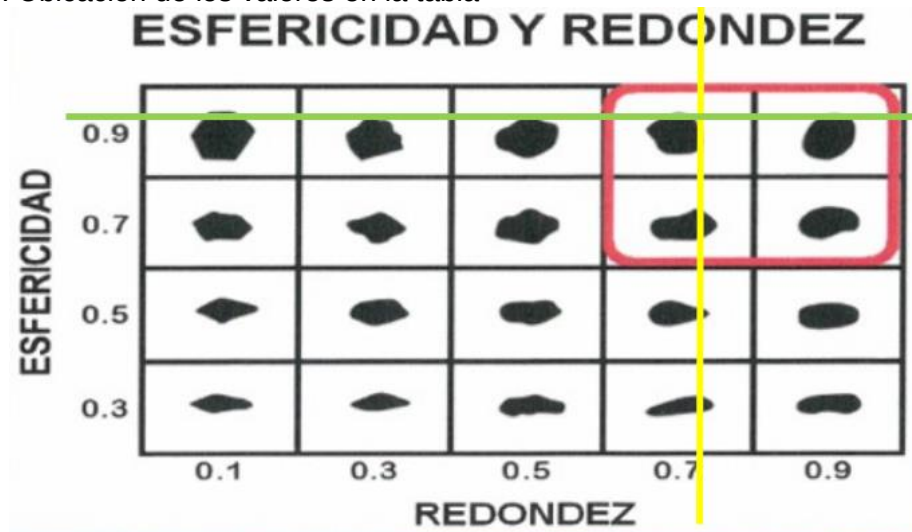
- Calcular la esfericidad

$$SP = \frac{43}{46} = 0,93.$$

Para ver el procedimiento, ver ANEXO D. CÁLCULO DE ESFERICIDAD Y REDONDEZ, PRUEBA 3.

- Ubicar los valores en la tabla

Figura 75. Ubicación de los valores en la tabla



8.2.5 Prueba 4. Para esta prueba se usó un tiempo de 4 horas con lijas #80 más tubos de $\frac{1}{2}$ "

Figura 76. Muestra de la prueba 4

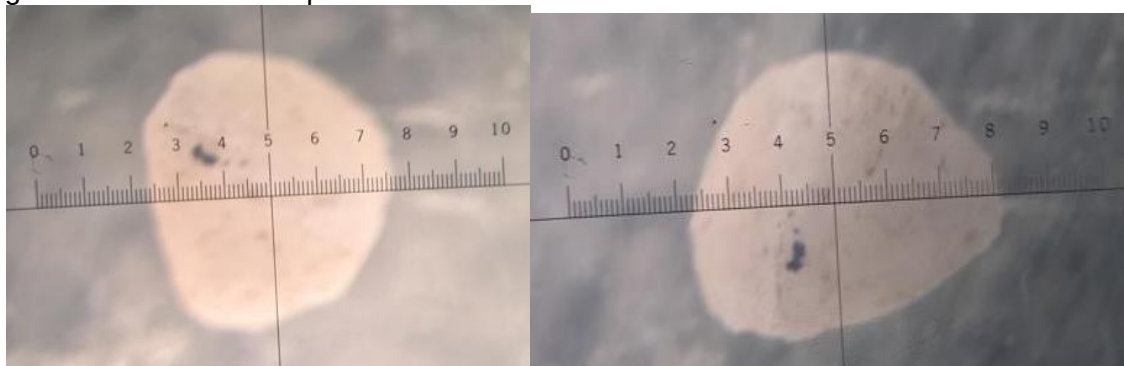
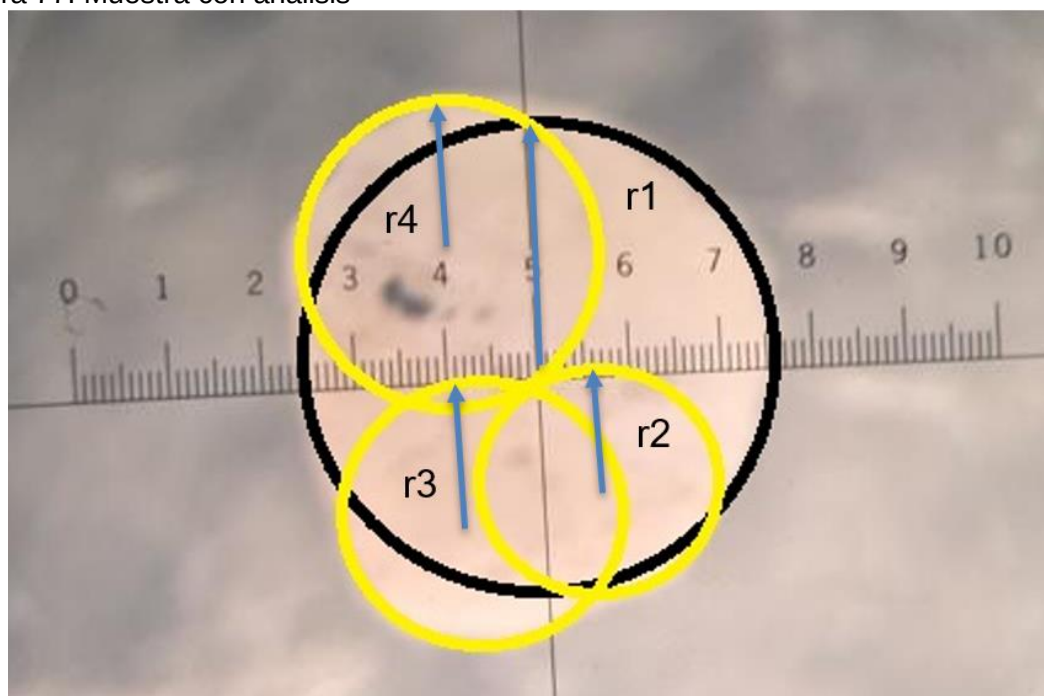


Figura 77. Muestra con análisis



Los pasos son los siguientes:

- Calcular la redondez

$$R = \frac{1}{4} \frac{(\sum_{i=1}^4 (18,4))}{26} = 0,71$$

- Calcular la esfericidad

$$SP = \frac{53}{60} = 88.$$

Para ver el procedimiento, ver ANEXO D. CÁLCULO DE ESFERICIDAD Y REDONDEZ, PRUEBA 4.

- Ubicar los valores en la tabla

Figura 78. Ubicación de los valores en la tabla.



8.2.6 Prueba 5. Para esta prueba se usó un tiempo de proceso con lijas #80

Figura 79. Muestra de la prueba 5

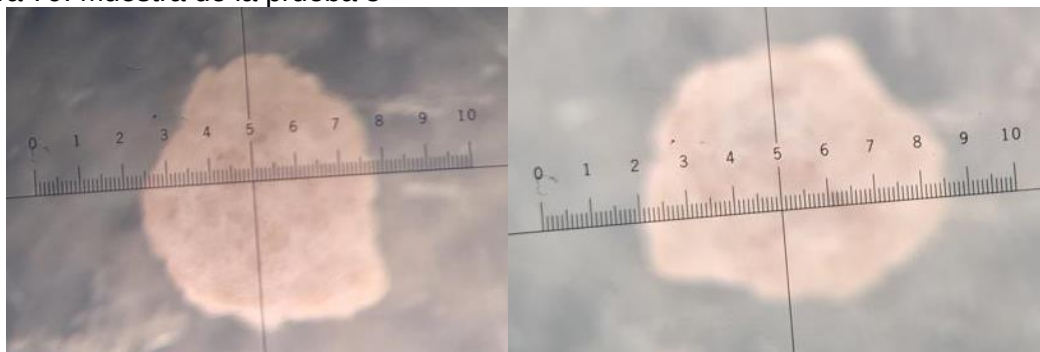
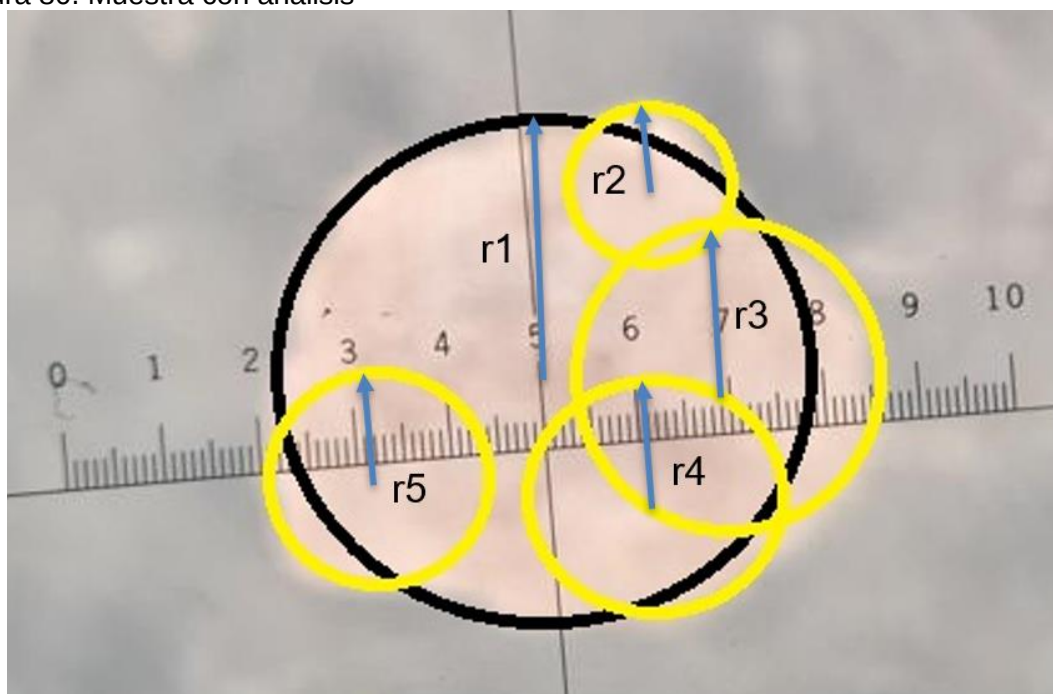


Figura 80. Muestra con análisis



Los pasos son los siguientes:

- Calcular la redondez

$$R = \frac{1}{5} \frac{(\sum_{i=1}^5 (17))}{32,5} = 0,52$$

- Calcular la esfericidad

$$SP = \frac{55}{65} = 85.$$

Para ver el procedimiento, ver ANEXO D. CÁLCULO DE ESFERICIDAD Y REDONDEZ, PRUEBA 5.

- Ubicar los valores en la tabla

Figura 81. Ubicación de los valores en la tabla.



8.2.7 Prueba 6. Para esta prueba se usó un tiempo de 16 horas de proceso con lijas #80

Figura 82. Muestra de la prueba 6

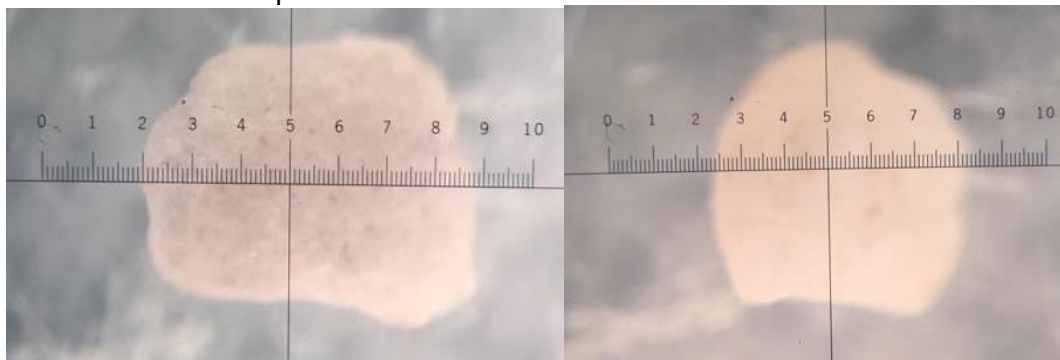
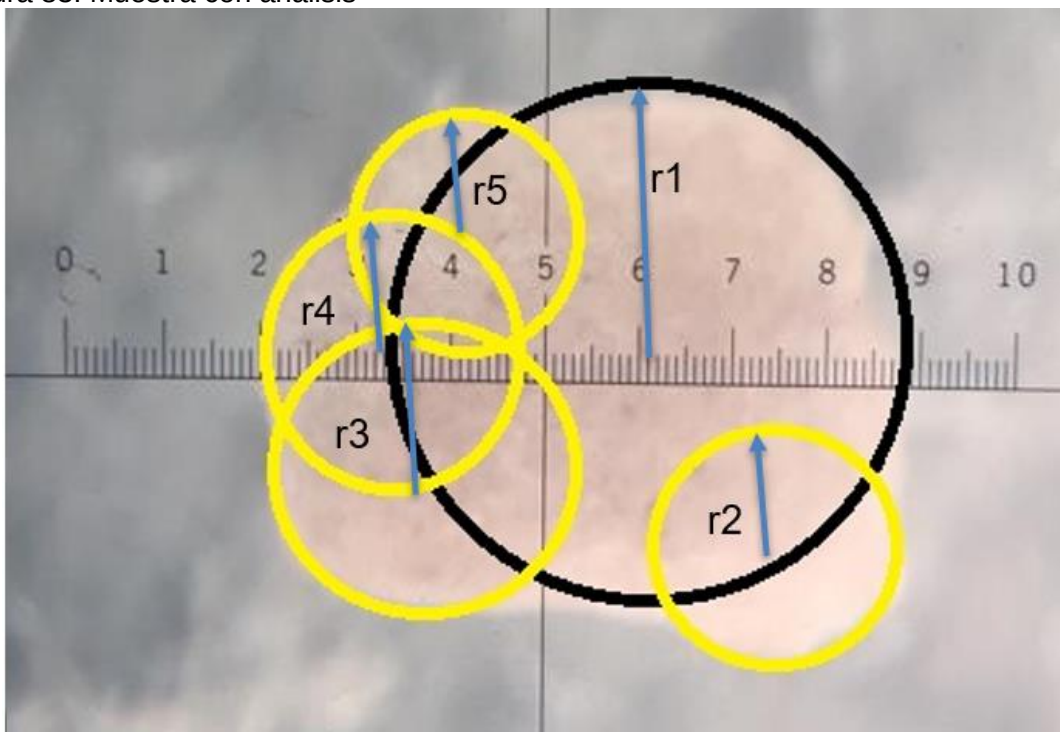


Figura 83. Muestra con análisis



Los pasos son los siguientes:

- Calcular la redondez

$$R = \frac{1}{5} \frac{(\sum_{i=1}^5 (16,7))}{26,5} = 0,63$$

- Calcular la esfericidad

$$SP = \frac{58}{67} = 0,87.$$

Para ver el procedimiento, ver ANEXO D. CÁLCULO DE ESFERICIDAD Y REDONDEZ, PRUEBA 6.

- Ubicar los valores en la tabla

Figura 84. Ubicación de los valores en la tabla.



8.2.8 Prueba 7. Para esta prueba se usó un tiempo de proceso con lijas #80

Figura 85. Muestra de la prueba 7

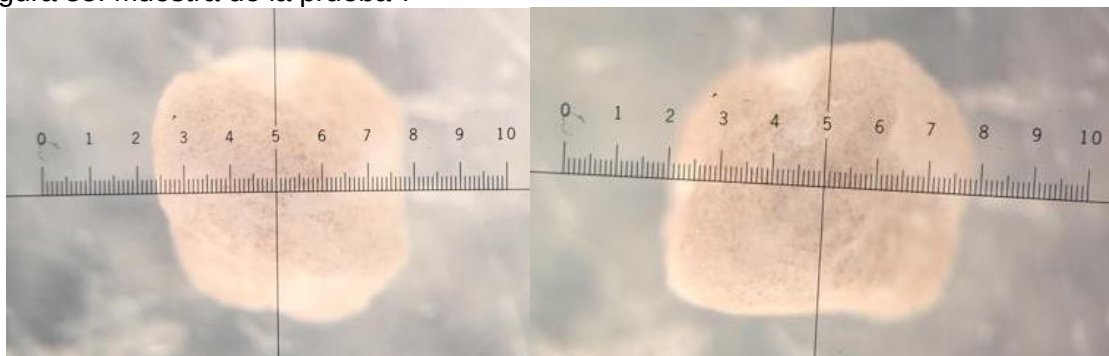
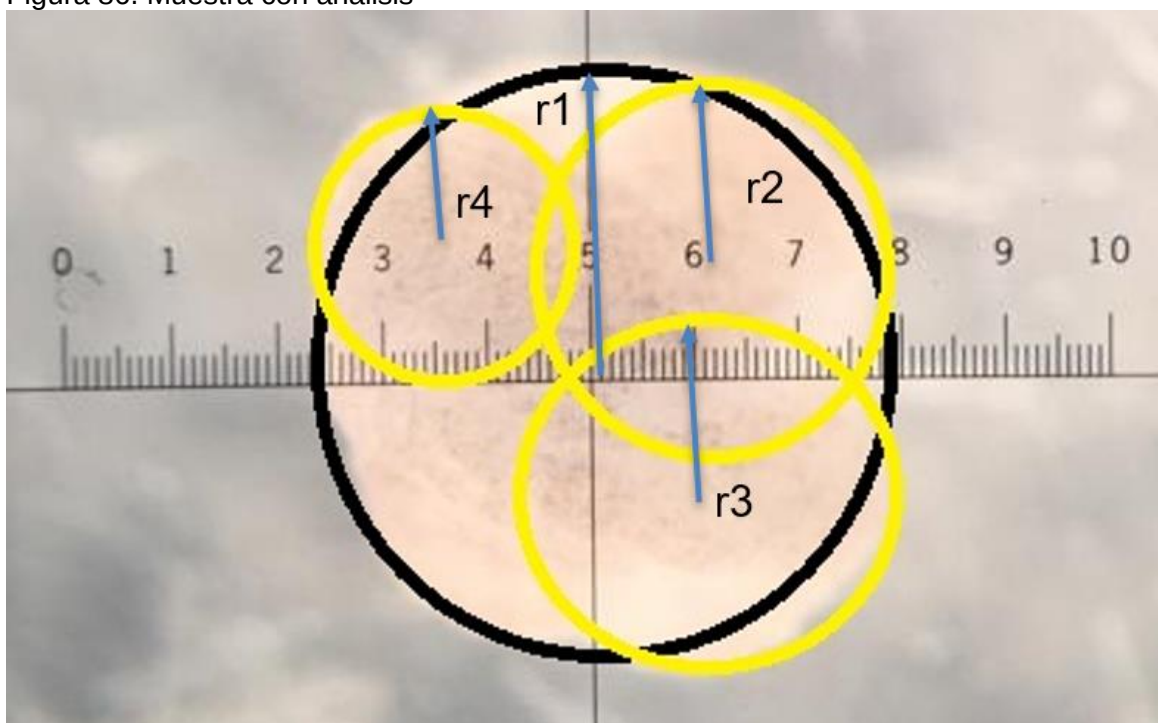


Figura 86. Muestra con análisis



Los pasos son los siguientes:

- Calcular la redondez

$$R = \frac{1}{4} \frac{(\sum_{i=1}^4 (19,87))}{28,5} = 0,7$$

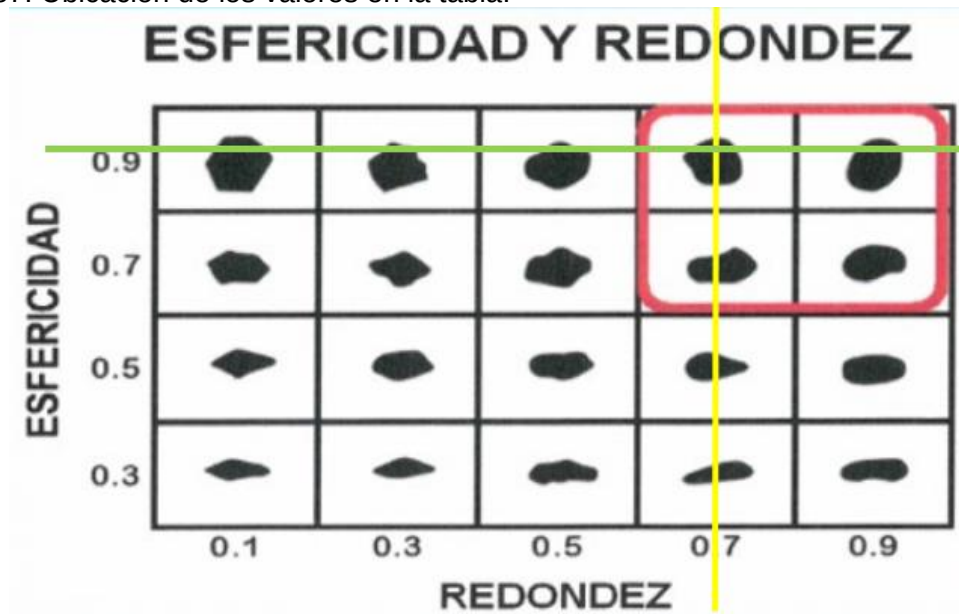
- Calcular la esfericidad

$$SP = \frac{55}{60} = 0,92.$$

Para ver el procedimiento, ver ANEXO D. CÁLCULO DE ESFERICIDAD Y REDONDEZ, PRUEBA 7.

- Ubicar los valores en la tabla

Figura 87. Ubicación de los valores en la tabla.



8.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA ARENA

Los análisis que se realizarán a continuación se separan de tal forma que se pueda entender las razones del uso del tipo de material abrasivo, y el tiempo que se demora el proceso para cumplir con el objetivo principal.

8.3.1 Análisis donde se mantuvo el tiempo constante y se varió el tipo de abrasivo

Figura 88. Análisis del tipo de lija a usar.



De la Figura 82, se puede concluir que la mejor opción de abrasivo para ser usado en el proceso de cambio de geometría de la arena es la lija fina #80, ya que, al compararla con las demás alternativas se ubica en la tabla con los valores más aproximados al rango seleccionado en los objetivos, debido a esto en las demás

pruebas que se realizaron este es usado, quedando en los análisis la determinación del tiempo y si se debe agregar algún otro tipo de material acelerante.

8.3.2 Análisis donde se adiciona un elemento para aumentar la fricción del material con el abrasivo.

Figura 89. Análisis usando lija #80 y tubos de acero de 1/2".



En esta prueba se utilizaron tubos de acero de 1/2" para aumentar la fricción del material con el abrasivo, evidenciándose el aumento de la esfericidad, pero dejando constante la redondez, por otro lado, con este método no se continuaron pruebas, ya que, si se aumenta el tiempo de proceso, como consecuencia se pulverizara todo el material, debido a esto, se optó por seguir con los análisis variando el tiempo hasta encontrar el indicado con el que se cumpla con los objetivos.

8.3.3 Análisis donde se mantuvo el material abrasivo y se varió el tiempo del proceso.

Figura 90. Análisis para proceso con lija #80 con diferente tiempo.



En la figura 84, se puede observar que al realizar la variación del tiempo se pueden conseguir resultados satisfactorios y aproximados, ya que con el paso del tiempo el material va tomando mayor esfericidad y conservando su redondez con respecto a la analizada sin proceso, dejando claro que el tiempo necesario para cumplir con el objetivo planteado es superior a un día entero de trabajo con la máquina en funcionamiento más el tiempo que se tarda en realizar el cambio del abrasivo ya desgastado.

9. ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN.

Para el análisis costo-beneficio se tomaron doce meses en los cuales se tomaron datos bases tales como:

- La inversión
- El costo de la materia prima (Arena)
- Costo de mantenimiento
- La cantidad de turnos
- Costos fijos
- Costos variables

Tabla 8. Costo-Beneficio

Inversión	\$	18.306,742											
		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
USD		\$ 2.592,352	\$ 2.500,960	\$ 2.496,032	\$ 2.546,160	\$ 2.566,848	\$ 2.550,288	\$ 2.523,640	\$ 2.425,048	\$ 2.471,576	\$ 2.319,088	\$ 2.294,352	\$ 2.262,784
\$ / Kg (T)		\$ 33.700,576	\$ 32.512,480	\$ 32.448,416	\$ 33.100,080	\$ 33.369,024	\$ 33.153,744	\$ 32.807,320	\$ 31.525,624	\$ 32.130,488	\$ 30.148,144	\$ 29.826,576	\$ 29.416,192
\$ / Kg (D)		\$ 101.101,728	\$ 97.537,440	\$ 97.345,248	\$ 99.300,240	\$ 100.107,072	\$ 99.461,232	\$ 98.421,960	\$ 94.576,872	\$ 96.391,464	\$ 90.444,432	\$ 89.479,728	\$ 88.248,576
\$ / Kg (M)		\$ 2.628.644,928	\$2.535.973,440	\$2.530.976,448	\$2.581.806,240	\$2.602.783,872	\$2.585.992,032	\$2.558.970,960	\$2.458.998,672	\$2.506.178,064	\$2.351.555,232	\$2.326.472,928	\$2.294.462,976
TIR		9%											
Tasa		5,3%											
VNA	\$	\$21.859.200,24											
R/C		1.194051909											

Esta relación costo beneficio refleja el impacto monetario y en tiempo del prototipo a evaluar para que con base a esto se pueda tomar la decisión que asegure el futuro del proyecto.

Realizando el análisis se concluye que es factible, ya que la rentabilidad es de aproximadamente del 9% y el indicador más importante es el B/C que es el que dice si este será bueno o no que es el valor de la inversión en el tiempo futuro y el valor

del dinero en la actualidad, si este valor es menor que uno, indica que el proyecto no es rentable, pero en el análisis de evidencia que es mayor a uno lo que deja como conclusión de que el proyecto se puede llevar a cabo sin ningún riesgo para la empresa que va a adquirir este producto.

10. CONCLUSIONES

La construcción del prototipo cumple con todas las especificaciones planteadas en los modelos alternativos y del diseño final que se planteó con respecto a la capacidad y al funcionamiento del principio de funcionamiento para el cambio geométrico de la arena.

Para los requerimientos de esfericidad y redondez de los granos de arena, según las pruebas se necesitará un tiempo aproximado de 48 horas continuos de proceso para que logre el rango que se planteó analizados bajo la norma hecha por Krumbein & Sloss.

El principio planteado para dar solución a la problemática dio buenos resultados, ya que, al realizarse pruebas con tiempos relativamente cortos, se observaron buenos resultados con respecto a la geometría que se requería por parte del material.

Al realizar el análisis costo-beneficio se concluye que este proyecto es rentable para la empresa y que cumple con el objetivo principal de transformación geométrica de la arena, con base a esto se termina de aclarar que todo irá bien con la máquina.

Con respecto al prototipo diseñado y construido, se encuentra en curso de desarrollo, por tanto, una de las recomendaciones sugeridas es emplear un control que permita la apertura y cierre del suministro del material al comenzar y terminar cada ciclo, como resultado el operario no necesitará temporizar el proceso ni manipular manualmente el suministro de material, como consecuencia se evita pérdidas de tiempo por concluir con el proceso anticipadamente

BIBLIOGRAFÍA

ADVANCED MINERAL PROCESSING S.L (AMP). Las arenas en la fracturación hidráulica. [En línea]. Madrid, España. 2017. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.ampmineral.com/cu/fracturacion-hidraulica/ARENAS-FRACTURACION-HIDRAULICA.php> >

ARRATIA, M. Modelo matemático para la estimación de la vida útil de revestimientos en molinos semiautógenos. Trabajo de grado ingeniero mecánico. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile, 2006. 142 p.

ARRIAGADA, M. Curso de molienda. Primera parte. [En línea]. Chile, 2013. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <https://es.slideshare.net/miguelangelarriagada/molienda-24994633> >

ENCUENTRO TECNOLOGÍA E INVESTIGACIÓN. (32: 21-25, SEPTIEMBRE, 2015: Arequipa, Perú). Perú: Juan Luis Bouso, 2015, 2 - 43 p.

KIM, Y; SUK SUH, H y SUP YUN, T. Fiabilidad y aplicabilidad de la tabla Krumbein-Sloss para estimar propiedades geomecánicas en arenas. Engineering Geology [En línea]. 2019. 117-123 p. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795218305064> >

LEVENSPIEL, Octave; KUNII, Daizo. Fluidization engineering. En: The phenomenon of fluidization. United States of America. Stoneham 1991. Vol 3, No 1 p.3.

SKF POWER TRANSMISSION. Bujes y Poleas QD [En línea]. Gotemburgo, Suecia 2007. p. 10. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.skfptp.com/> >

Power Transmission products [En línea]. Gotemburgo, Suecia 2015. p. 15. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.skfptp.com/> >

Rodamientos Y y unidades de rodamientos Y SKF energéticamente eficientes [En línea]. Gotemburgo, Suecia 2015. p. 38-43. [Consultado 27 Oct. 2010]. Disponible en < <http://www.skfptp.com/> >

THEODORIS, Marina. Mass of a Grain of Sand, 2003.