

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MEZCLADOR DE SÓLIDOS SECOS TIPO
"V" PARA EL LABORATORIO DE UNA EMPRESA PRODUCTORA DE
MORTERO**

**CAMILO ANDRÉS GIRALDO VILLAMIZAR
OSCAR MAURICIO GUERRERO NIÑO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2014**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MEZCLADOR DE SÓLIDOS SECOS TIPO
"V" PARA EL LABORATORIO DE UNA EMPRESA PRODUCTORA DE
MORTERO**

**CAMILO ANDRÉS GIRALDO VILLAMIZAR
OSCAR MAURICIO GUERRERO NIÑO**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Director

**ALBERTO DAVID PERTUZ COMAS
Ingeniero Mecánico**

Co-director

**JULIÁN ERNESTO JARAMILLO IBARRA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2014**

DEDICATORIA

Este gran paso en la vida lo logré gracias a **DIOS**, que me dio esta gran oportunidad de triunfar.

Les dedico este título a aquellas personas que estuvieron presentes durante todo este camino especialmente a:

A mi madre María Fernanda porque sin los esfuerzos, consejos y su gran ejemplo nada de esto sería realidad.

A mi padre Jorge Giraldo por su gran colaboración en este proyecto de grado y a sus estrictos consejos en toda la carrera.

A mi querida abuela Ana Matilde por depositar toda su confianza en mí.

Al ángel Henry Villamizar mi abuelo, que desde el cielo me guío, guía y guiara en toda mi vida.

A mi novia Paola Díaz y **Mathias Giraldo Díaz** nuestro hermoso hijo.

A Nelson Fabián Sierra, un verdadero amigo antes y después de obtener este título.

Camilo Andrés Giraldo Villamizar

AGRADECIMIENTO

A la empresa TICOM S.A., en especial para el Ingeniero Francis y a mi padre por depositar la confianza en mí en la realización de este trabajo de grado.

Al profesor Julián Ernesto Jaramillo Ibarra por toda la enseñanza obtenida durante la carrera.

Al profesor Alberto David Pertuz Comas, Ingeniero mecánico, director de este proyecto.

Camilo Andrés Giraldo Villamizar

Oscar Mauricio Guerrero Niño

DEDICATORIA

A Dios, que me otorgo la oportunidad de cumplir mis propósitos.

Les dedico este título a todas aquellas personas que estuvieron presentes durante todo este proceso en especial a:

Mi madre Dora Niño, quien con su dedicación, esfuerzos y consejos siempre confió en mí y estuvo en los momentos que más la necesite.

A mi hermana Eliana Paola, que siempre me dio una voz de aliento y me brindo sus consejos para cada día ser mejor.

A mi tía Lucy Niño, por la confianza depositada, por ser la gestora de este gran triunfo.

A todos y cada uno de los miembros de mi familia y amigos que aportaron a este logro.

Oscar Mauricio Guerrero Niño

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN | 20 |
| 1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA | 21 |
| 2. JUSTIFICACIÓN | 22 |
| 3. OBJETIVOS | 24 |
| 3.1 OBJETIVO GENERAL | 24 |
| 3.1.1. Objetivos específicos | 24 |
| 4. MARCO DE REFERENCIAL | 25 |
| 4.1 MARCO TEÓRICO | 25 |
| 4.2 MARCO CONCEPTUAL | 28 |
| 4.2.1 Mezclado de sólidos | 28 |
| 4.2.2. Tipos de mezclado | 31 |
| 4.3 TIPO DE MEZCLADORES | 33 |
| 4.3.1. Mezclador en “V” | 33 |
| 4.3.2. Mezcladoras verticales | 34 |
| 4.3.3. Mezcladora horizontal | 35 |
| 4.3.4. Mezcladoras de tambor | 35 |
| 4.3.5. Mezcladores estáticos con agitación interna. | 36 |
| 4.3.6. Mezcladores estáticos sin agitación interna. | 37 |
| 4.3.7. Mezcladores móviles | 37 |
| 4.3.8. Mezcladores estáticos | 37 |
| 4.4 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS SOLIDOS | 38 |
| 4.4.1. Tamaño | 38 |
| 4.4.2. Forma | 38 |
| 4.4.3. Densidad | 38 |
| 4.4.4. Granulometría | 38 |
| 4.4.5. Proporciones de los componentes | 38 |
| 4.5 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO MEZCLADOR. | 39 |

| | |
|---|----|
| 4.5.1. Dimensiones | 39 |
| 4.5.2. Capacidad | 39 |
| 4.5.3. Agitador interno (opcional) | 39 |
| 4.5.4. Materiales y acabados superficiales | 39 |
| 4.5.5. Potencia | 39 |
| 4.5.6. Velocidad de giro | 40 |
| 4.6 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA SOLIDO-SÓLIDO. | 40 |
| 4.6.1. Uniformidad. | 40 |
| 4.6.2. Homogenidad. | 41 |
| 4.6.3. Valoración. | 41 |
| 4.6.4. Segregación. | 42 |
| 4.6.4.1. Causas de la segregación. | 42 |
| 4.6.4.2. Mecanismos de la segregación. | 42 |
| 4.6.5. Carga electrostática | 43 |
| 4.7 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS QUE INFLUYEN EN UNA MEZCLA. | 44 |
| 4.7.1. Dosificación de los ingredientes. | 44 |
| 4.7.2. Secuencia de adición de los ingredientes. | 44 |
| 4.7.3. Tiempo de mezclado. | 44 |
| 4.7.4. Nivel de llenado. | 45 |
| 4.7.5. Limpieza. | 45 |
| 5. SELECCIÓN DEL EQUIPO | 46 |
| 5.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS. | 46 |
| 5.1.1. Mezclador cónico. | 46 |
| 5.1.2. Mezclador de bandas. | 46 |
| 5.1.3. Mezclador en V. | 46 |
| 5.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN. | 47 |
| 5.2.1. Evaluación de los criterios de selección. | 47 |
| 6. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA MAQUINA MEZCLADORA. | 49 |
| 6.1. REQUISITOS DE DISEÑO | 49 |
| 6.1.1. Selección de la capacidad. | 49 |
| 6.1.2. Densidad. | 49 |
| 6.2 DISEÑO DEL CONTENEDOR EN V. | 50 |

| | |
|--|-----|
| 6.3. INERCIAS. | 57 |
| 6.3.1 Inercia del contenedor cargado. | 58 |
| 6.3.2. Cálculo empírico de la inercia del sistema | 60 |
| 6.4 EJE DE GIRO. | 61 |
| 6.5 VELOCIDAD DE GIRO. | 62 |
| 6.6 POTENCIA. | 64 |
| 6.6.1. Potencia normalizada. | 65 |
| 6.7 DISEÑO EJE DE GIRO. | 65 |
| 6.7.1. Diagramas de fuerzas y momentos en el eje | 65 |
| 6.7.2. Análisis del eje | 68 |
| 6.8 CALCULO DE CHAVETA. | 74 |
| 6.9 SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS. | 78 |
| 7. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA (CAD). | 85 |
| 7.1 CONTENEDOR | 85 |
| 7.2 SISTEMA DE CARGA | 86 |
| 7.2.1. Tapa | 86 |
| 7.2.2. Sello | 86 |
| 7.2.3. Seguro | 87 |
| 7.3 CAMISA EXTERNA. | 87 |
| 7.4 VÁLVULA DE DESCARGA. | 88 |
| 7.5 SISTEMA DE CONTRAPESO | 88 |
| 7.6 ESTRUCTURA. | 89 |
| 7.7 PORTA-RODAMIENTO. | 90 |
| 7.8 FLANGE. | 90 |
| 7.9 EJE MOTRIZ. | 91 |
| 7.10 EJE CONDUcido. | 91 |
| 8. ANÁLISIS CAE. | 93 |
| 8.1 ANÁLISIS ESTÁTICO | 93 |
| 8.1.1. Estudio de esfuerzos | 97 |
| 8.1.2. Estudio de desplazamiento. | 98 |
| 8.1.3. Estudio factor de seguridad en el conjunto. | 99 |
| 8.1.4. Estudio factor de seguridad en el eje | 100 |

| | |
|---|-----|
| 8.1.5. Estudio factor de seguridad v MIXER. | 101 |
| 8.1.6 Estudio estructural | 102 |
| 8.1.7 Estudio de esfuerzos | 103 |
| 8.1.8. Estudio de factor de seguridad estructura. | 104 |
| 8.2 ANÁLISIS DE FATIGA | 105 |
| 8.2.1. Estudio ciclo de vida | 107 |
| 8.2.2. Estudio global factor de seguridad | 108 |
| 8.2.3. Estudio factor de seguridad estructura. | 109 |
| 9. CONSTRUCCIÓN. | 110 |
| 9.1 CILINDRO DE CARGA. | 111 |
| 9.2 TAPAS DE CARGA, BRIDAS Y CIERRE. | 112 |
| 9.3 CILINDRO DE DESCARGA. | 112 |
| 9.4 CUERPO DEL MEZCLADOR. | 113 |
| 9.5 ESTRUCTURA BASE DEL MEZCLADOR. | 114 |
| 9.6 CABINA DE PROTECCIÓN. | 115 |
| 9.7 CAJA DE CONTROL DE MANDO. | 115 |
| 10. PROCESOS DE MANUFACTURA | 118 |
| 10.1 PROCESO DE TORNEADO. | 118 |
| 10.2 PROCESO DE TALADRADO. | 119 |
| 10.3 PROCESO DE ROSCADO. | 120 |
| 10.4 PROCESO DE DOBLADO. | 121 |
| 10.5 SOLDADURA POR ELECTRODO REVESTIDO. | 122 |
| 10.6 SOLDADURA MIG. | 122 |
| 10.7 PROCESO DE FRESADO. | 123 |
| 10.8 PROCESO DE CORTE POR PLASMA. | 124 |
| 10.9 PROCESO DE PULIDO. | 135 |
| 11. RESULTADOS DE LA MUESTRA. | 136 |
| 12. ANÁLISIS DE COSTOS | 129 |
| 13. CONCLUSIONES. | 131 |
| 14. RECOMENDACIONES. | 132 |
| BIBLIOGRAFÍA | 133 |

LISTA FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Patrón de mezclado en mezcladoras verticales | 34 |
| Figura 2. Patrón de mezclado en mezcladoras horizontales | 35 |
| Figura 3. Patrón de mezclado en mezcladoras de tambor | 36 |
| Figura 4. Mezclador estático con agitación interna | 36 |
| Figura 5. Mezcladores estáticos sin agitación interna | 37 |
| Figura 6. Varianza vs tiempo para un mezclador de volteo | 40 |
| Figura 7. Tipos de segregación | 43 |
| Figura 8. Cilindro de carga | 51 |
| Figura 9. Geometría cilindro de carga | 52 |
| Figura 10. Tronco de cono | 53 |
| Figura 11. Segmentación del mezclador | 54 |
| Figura 12. Geometría cilindro de carga | 55 |
| Figura 13. Geometría tronco de cono | 56 |
| Figura 14. Diagrama fuerza centrífuga | 62 |
| Figura 15. Diagrama de cortantes | 67 |
| Figura 16. Diagrama de momentos | 67 |
| Figura 17. Diagrama de Torsión | 68 |
| Figura 18. Sección chaveta | 75 |
| Figura 19. Diagrama de presiones | 80 |
| Figura 20. Distribución de fuerzas en cilindro de carga | 81 |
| Figura 21. Sección de rodamiento | 84 |
| Figura 22. Contenedor | 85 |
| Figura 23. CAD tapa | 86 |
| Figura 24. CAD sello | 86 |
| Figura 25. CAD seguro de apriete | 87 |
| Figura 26. Camisa externa | 87 |
| Figura 27. Válvula tipo lenteja | 88 |
| Figura 28. Contrapeso | 89 |
| Figura 29. Estructura | 89 |
| Figura 30. Porta-rodamiento | 90 |
| Figura 31. Flange | 90 |
| Figura 32. Eje motriz | 91 |
| Figura 33. Eje conducido | 91 |
| Figura 34. Modelo original vs Modelo analizado | 92 |
| Figura 35. Análisis de desplazamiento | 97 |
| Figura 36. Análisis de desplazamiento | 98 |

| | |
|---|-----|
| Figura 37. Factor de seguridad total | 99 |
| Figura 38. Factor de seguridad eje | 100 |
| Figura 39. Factor de seguridad V MIXER | 101 |
| Figura 40. Estructura analizada | 102 |
| Figura 41. Análisis de esfuerzos a la estructura | 103 |
| Figura 42. Análisis factor de seguridad estructura | 104 |
| Figura 43. Curva de ASME | 105 |
| Figura 44. Análisis de ciclos de vida | 107 |
| Figura 45. Análisis factor de seguridad global por fatiga | 108 |
| Figura 46. Análisis factor de seguridad estructura por fatiga | 109 |
| Figura 47. Máquina finalizada | 110 |
| Figura 48. Fabricación cilindros de carga | 111 |
| Figura 49. Fabricación tapas de carga | 112 |
| Figura 50. Fabricación cilindro de descarga | 113 |
| Figura 51. Fabricación cuerpo en V | 113 |
| Figura 52. Proceso soldado contenedor | 114 |
| Figura 53. Fabricación estructura | 114 |
| Figura 54. Fabricación cabina de protección | 115 |
| Figura 55. Fabricación caja de control | 116 |
| Figura 56. Conexiones MOVITRAC® B | 117 |
| Figura 57. Proceso torneado | 119 |
| Figura 58. Proceso taladrado | 119 |
| Figura 59. Proceso roscado | 120 |
| Figura 60. Proceso de doblado | 121 |
| Figura 61. Proceso soldadura por electrodo | 122 |
| Figura 62. Proceso soldadura MIG | 123 |
| Figura 63. Proceso fresado | 124 |
| Figura 64. Proceso corte por plasma | 124 |
| Figura 65. Proceso pulido | 125 |
| Figura 66. Difracción de rayos X | 128 |

LISTA TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Matriz de perfil competitivo | 48 |
| Tabla 2. Resultados usando el paquete computacional EES. | 57 |
| Tabla 3. Propiedades ensamblaje mezclador cargado | 58 |
| Tabla 4. Propiedades de ensamblaje mezclado vacío | 59 |
| Tabla 5. Propiedades ensamble carga | 59 |
| Tabla 6. Resultado de inercias | 61 |
| Tabla 7. Resultado potencia torque | 65 |
| Tabla 8. Mechanical properties at room temperature | 69 |
| Tabla 9. Dimensión de chavetas | 77 |
| Tabla 10. Tipos y características de rodamientos | 84 |
| Tabla 11. Propiedades del estudio estático. | 93 |
| Tabla 12. Propiedades del material | 93 |
| Tabla 13. Cargas aplicadas en los análisis estáticos y fatiga | 94 |
| Tabla 14. Información malla utilizada | 96 |
| Tabla 15. Control de malla | 96 |
| Tabla 16. Propiedades del estudio de fatiga | 106 |
| Tabla 17. Procesos de manufactura | 118 |
| Tabla 18. Resultado de pruebas | 127 |
| Tabla 19. Costo de materiales | 129 |
| Tabla 20. Costo mano de obra | 130 |
| Tabla 21. Otros gastos | 130 |
| Tabla 22. Costos totales | 130 |

LISTA DE GRÁFICAS

Pág.

| | |
|---|----|
| Gráfica 1. Factor acabado superficial | 70 |
| Gráfica 2. Sensibilidad a la entalladura (q) | 72 |
| Gráfica 3. Concentrador de esfuerzos de flexión | 72 |
| Gráfica 4. Concentrador de esfuerzos de torsión..... | 73 |

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MEZCLADOR DE SÓLIDOS SECOS TIPO "V" PARA EL LABORATORIO DE UNA EMPRESA PRODUCTORA DE MORTERO. *

AUTORES: Camilo Andrés Giraldo Villamizar.

Oscar Mauricio Guerrero Niño. **

PALABRAS CLAVES: V mixer, uniformidad, diseño, mezclado por difusión, movimiento convectivo, fuerza centrífuga.

DESCRIPCIÓN:

Los V MIXER son mezcladores con bajo consumo de energía, alta uniformidad en la mezcla, tiempos cortos de mezcla y pocos residuos, son catalogados como los más eficientes en la mezcla de polvos secos y las sustancias granulares en la industria de la medicina, productos químicos, alimentos, la cerámica, la metalurgia, entre otras.

El diseño de la máquina consta de un recipiente formado por dos cilindros soldados en forma de V, que pueden ser llenados a un máximo de 60% en volumen. El proceso de carga o descarga se puede hacer mediante una intervención manual o por medio de bombas de vacío. Utilizando el método de diseño, se logró construir un mezclador tipo V con capacidad del mezclador de 22 litros, con una densidad máxima de la mezcla conformada por arena, cemento y pigmentos de $1700 \frac{Kg}{m^3}$, y en rangos de velocidad variables entre 15-50 RPM. Por otro lado, se logró un mezclador de velocidad variable que supera a los estándares comerciales y permite al mismo tiempo mejores resultados en las propiedades de mezclado, igualmente se logró la velocidad recomendada de mezclado en 20 RPM. También, el costo del equipo se estimó en siete millones (\$7.450.000) de pesos, que comparado que con el mismo mezclador importado reduce el costo en quince millones (\$15.000.000) de pesos. Se realizaron pruebas de funcionamiento del equipo, trabajando a distintas velocidades de mezclado y el equipo se comportó adecuadamente dentro de los parámetros de diseño.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Alberto David Pertuz Comas, Ingeniero Mecánico.

ABSTRACT

TITULAR: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A MIXER SOLID DRY TYPE “V” FOR LABORATORY OF A COMPANY PRODUCER OF MORTAR. *

AUTHORS: Camilo Andrés Giraldo Villamizar.
Oscar Mauricio Guerrero Niño. **

KEYWORDS. V mixer, uniformity, design, mixes by diffusion, convective movement, centrifugal force.

DESCRIPTION.

The V-MIXERS are mixers with low energy consumption, high uniformity in the mix, short mixing times, and few residues. They are listed as the most efficient in the dry powders mixture and granular substances in the industry of medicine, chemical products, food, ceramics, and metallurgy, among others.

The design of the V-MIXER machine consists of a container formed by two welded cylinders in V, which can be filled to a maximum of 60% in volume. The process of loading or unloading can be performed through manual intervention or by means of vacuum pumps. We managed to build a V-type mixer with capacity of 22 liters, with a maximum mixture density, consisting of sand, cement and pigments of $1700 \frac{Kg}{m^3}$ and variable speed ranges between 15 and 50 RPM. Moreover, we got a variable speed mixer that outperforms commercial standards, allows better results in mixed properties, and obtains the recommended mixing speed of 20 RPM. The cost of equipment was estimated at seven million (\$7.450.000) pesos, which compared to the same imported mixer, reduces the cost at fifteen million (\$15.000.000) pesos. We tested the equipment's operational conditions, working at several speeds of mixing and the mixer performed properly within the design parameters.

* Thesis Work

** Physical-Mechanical Science Faculty. Engineering Mechanical School. Director: Alberto David Pertuz Comas, Mechanical Engineer.

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción ha sido clave para el desarrollo económico del país en los últimos años debido a su gran dinamismo, y se constituye como uno de los sectores más importantes y de mayor incidencia por su estrecha vinculación con la creación de infraestructura básicas como: puentes, carreteras, puertos, vías férreas, plantas de energía eléctrica, hidroeléctricas y termoeléctrica.

TICOM S.A; empresa promotora de este proyecto, está dedicada a las soluciones confiables en ingeniería y arquitectura, e igualmente son productores de pegantes a base de cemento (mortero). Actualmente la empresa cuenta con un laboratorio para realizar las siguientes pruebas al concreto: resistencia a la compresión, resistencia a la tensión, determinación de la flexión, prueba del módulo de elasticidad y prueba de revenimiento.

Para la preparación de los pegantes a base de cemento es indispensable contar en el laboratorio, con una maquina mezcladora que permita realizar pruebas de manera eficaz, eficiente y en poco tiempo. Debido a que las proporciones de los componentes varían según el material a pegar, siendo los más comunes: mampostería, mármol, porcelanato, entre otros. Este proceso se vuelve iterativo, por lo tanto no es conveniente definir las características de estos productos realizando las pruebas manualmente porque aumentaría el tiempo de mezclado, disminuiría la calidad del producto, entre otras desventajas.

Por esta razón, buscando la excelencia en sus productos y procesos, se busca contribuir al desarrollo del laboratorio por medio de la construcción de una máquina mezcladora tipo "V", en donde se realicen la pruebas de las proporciones actualmente utilizadas en la producción de mortero seco para perfeccionarlas, e iniciar la producción de mortero seco de diversos colores, un producto nuevo e innovador que permitiría liderar el mercado de los pegantes a base de cemento.

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En la empresa TICOM S.A dedicada a la ingeniería y arquitectura se presenta la necesidad de producir solidos secos con un mayor grado de homogenización, actualmente en su planta se realizan mezclas manuales de cemento y arena donde el trabajo de los operarios se ve afectado por los tiempos muertos, mezclas no eficientes, empleando demasiado tiempo para obtener resultados competitivos a nivel industrial.

2. JUSTIFICACIÓN

TICOM S.A, está ampliando las líneas de sus productos intentando buscar nuevos mercados, motivo por el cual se hace necesario la automatización e implementación de métodos y procesos que reduzcan las horas hombre. Se requiere implementar en su laboratorio un mezclador tipo “V” de sólidos para realizar pruebas variando el porcentaje en volumen de los componentes del mortero.

El sistema a utilizar para la mezcla es el mezclador tipo “V” de sólidos, debido a que son los mezcladores de más alta eficiencia, generan poco ruido, tienen una técnica de mezcla continua, trabaja con un sistema hermético para evitar contaminación del medio con el material y en cuanto a los mezcladores que se encuentran actualmente en el mercado como: Mezclador cónico, mezclador de bandas, entre otros, es el apropiado para realizar mezclas de materiales a pequeña escala, e implementando un mezclador de este tipo se hará posible verificar que las proporciones actualmente utilizadas en la línea de producción de mortero son las adecuadas.

La fabricación del mezclador tipo “V” de sólidos para laboratorio, tiene como finalidad realizar pruebas para producir mortero seco de diversas tonalidades, siendo este producto nuevo en la industria de la construcción, recordando que en el mercado existen morteros blancos y grises, y si se desea un tono en especial, se le aplica un pigmento en polvo al mortero previamente antes del fraguado, este paso se eliminaría con la producción del mortero seco de diversas tonalidades.

Ventajas de la producción del mortero seco

- Reducción de los costes de fabricación, de la mano de obra y equipos auxiliares.
- Disminución de espacio en obra (acopios, cubetas, etc.).
- Ausencia de desperdicio (se fabrica el que se va a consumir).
- Adaptación exacta a las especificaciones del proyecto.
- Control exhaustivo de los componentes (cemento, áridos, aditivos, etc.).
- Calidad uniforme y verificada.

Este proyecto tendrá un aporte educativo y laboral significativo, ya que se fortalece el lazo empresa, estudiante, universidad, logrando obtener experiencias enriquecedoras donde se plasma lo aprendido en la universidad teóricamente llevándolo a la práctica en la industria.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir con el crecimiento y desarrollo en el campo de la construcción, implementando una máquina para ser utilizada en la realización de experimentos, con el fin de llevar a cabo la creación de nuevos productos a base de cemento y agregados, cumpliendo con la misión de la Universidad Industrial de Santander.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir un mezclador tipo “V” de sólidos secos con las siguientes especificaciones:
 - ✓ Capacidad del mezclador: 22 Litros totales.
 - ✓ Densidad máxima de la mezcla: arena, cemento y pigmentos $1700 \frac{kg}{m^3}$.
 - ✓ Rango velocidad: 15 – 50 RPM.

- Implementar un controlador lógico programable que varíe el rango de velocidad y la función de encendido y apagado de la máquina.

- Valorar económicamente el diseño y construcción del mezclador tipo V.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEÓRICO

Primordialmente se enfatiza en la necesidad de aumentar la capacidad del área de mezclado de la empresa, y así mismo que este dotada con maquinaria programable, siendo necesario el rediseño de la central de mezclado de material pulverizado, demostrando así, la necesidad de mejorar las características importantes en la productividad, por lo cual este proyecto aporta fundamentos significativos en cuanto a reducción de mano de obra, reducción de tiempos muertos, garantizando las proporciones necesarias de material para que la mezcla sea homogénea, siguiendo un itinerario de actividades para determinar la densidad del material a trabajar, analizando diseños de experimentos basados en ensayos preliminares con el fin de buscar las condiciones óptimas de operación, para seguir con un proceso de producción a escala de laboratorio, desarrollando experimentos de mezclado, mediante una secuencia de procesos, donde previamente se han seleccionado y pesado las materias primas.

Por otra parte el trabajo de grado de diseño y construcción de una maquina mezcladora de partículas sólidas (jabón en polvo), donde se adoptan estrategias en la investigación de tipo experimental. Los aportes que ofrece este proyecto son los de automatización de los procesos rutinarios, minimizar y optimizar tiempos de ejecución de producción de mezclado, generando así resultados que ayuden a la correcta implementación de mecanismos de producción, realizando un control adecuado de la cantidad de material a mezclar, contando con una maquina a la medida de los requerimientos, para un control óptimo de las tareas en el área operativa, logrando así contribuir al estudio de las diferentes alternativas de la máquina mezcladora de partículas sólidas basándose en todos los equipos existentes en el mercado para la mezcla de sólidos, así mismo se evaluarán según los parámetros establecidos con base a los requerimientos de la empresa, seleccionando así la máquina más conveniente.

En cuanto al proceso de diseño, es de gran ayuda las bases teóricas de cálculo, donde se conocen los valores de las dimensiones de los elementos de la máquina y la potencia del motor para poner en marcha la mezcladora, de igual manera en la elaboración de los planos de la máquina, mostrando en detalle las características internas de la máquina, teniendo así una idea más amplia del diseño de los componentes usados en el desarrollo del proyecto, para luego estimar los costos de la máquina.

La implementación de un software para el análisis de los esfuerzos a los que se encuentra sometido el mezclador, es un aporte fundamental para el proyecto, puesto que se muestra concisamente las debilidades de la máquina.

En la búsqueda de obtener bases fundamentales en nuestro trabajo, se hace indispensable el análisis del proyecto de grado de diseño de una mezcladora de concreto para un volumen medio de capacidad $1/2 \text{ m}^3/\text{s}$ ¹, donde de acuerdo a la literatura y antecedentes durante la búsqueda bibliográfica enfatizada en mezcladores de concreto, se verifica el estado del arte. Posteriormente se hará una valoración crítica de las fuentes localizadas destacando sus potencialidades y debilidades que hacen o no factibles para este caso. Se propondrán varios equipos mezcladores que cumplan con las exigencias del solicitante a fin de seleccionar las más racionales, en función de las posibilidades de las empresas constructoras, el aporte de este proyecto es fundamental en cuanto a la selección final de diseño, ya que se hará el diseño en detalle de los componentes definiendo en cada caso sus potencialidades y limitaciones. El diseño en detalle se enfocara sobre el mezclador haciendo un análisis estructural, el cual será un gran aporte para definir que la maquina trabaje de manera correcta durante su operación, se arrojaran datos sobre el comportamiento de las cargas y las deformaciones, con estos datos se harán los reajustes que sean necesarios en el diseño. Los análisis estructurales se harán en un software de simulación donde es necesario hacer un modelado sólido del mezclador y hacer una valoración económica de la propuesta final, destacando sus incidencias en la economía de la empresa.

¹ SERRANO Medrano Román. “diseño de una mezcladora de concreto para un volumen de ½ metro cubico” Michoacán – México. Agosto – 2011

De igual forma se hace indispensable como fuente de ayuda el trabajo de tesis de Diseño, construcción y operación de un mezclador para producir abono orgánico a partir de los residuos orgánicos². Donde se determinan las características de homogeneidad de la mezcla, por tal motivo este proyecto se inserta sobre estrategias prioritarias en cuanto a la optimización del proceso de mezclado, desde esta concepción se entiende que el desarrollo e implementación de un modelo mecánico de mezclado, el cual reemplaza el método convencional manual, generando un aporte a la innovación e implementación de nuevas propuestas de desarrollo con una capacidad de mayor productividad, realizando una comparación de la producción manual de mortero con respecto a la producción obtenida por medio del mezclador tipo en “V”.

Por otra parte centrándonos en la reducción de costos, se hace fundamental analizar los diferentes métodos donde se mejore la calidad del producto, por medio de una reducción de los procesos de producción, como es el caso de Maguire Products³ por medio de una patente se hacen dos procesos en uno combinando el mezclado gravimétrico y el dosificador de color líquido, por ende es un aporte de gran ayuda pues uno de nuestros objetivos es el de reducir los tiempos de mezclado en el laboratorio optimizando los procesos donde se genera la mezcla de mortero y garantizar así mismo la pigmentación de este, según sea el requerimiento final. Reduciendo los costes de obtención de mortero de color, mejorando la dispersión y la calidad del producto.

Así mismo es conveniente tener en cuenta no solo el elemento mezclador si no también la forma del recipiente, ya que un elemento mezclador bueno puede llegar a ser inútil en un recipiente inadecuado, no debe olvidarse el resultado que se quiere alcanzar, de modo que se pueda obtener una mezcla ampliamente suficiente para conseguir dicho resultado con un coeficiente de seguridad bastante grande⁴, la mezcla es parte fundamental del proceso, por lo cual es importante hacerla bien, un mezclador bien diseñado puede evitar pérdidas en la producción, siendo indispensable analizar muchos modelos fundamentales como base de estudios y conocimientos, sus características, obteniendo un mezclador compacto

² CAIZA Martillo. Raúl Wilfrido “Diseño, construcción y operación de un mezclador para producir abono orgánico a partir de los residuos orgánicos”

³ Magazine plástico. “Colores líquidos en mezcladores gravimétricos” Marzo – 2000.

⁴ QuimiNET.com. “los tipos de mezcladores” Octubre – 2006

de alta eficiencia con un recipiente que sea acorde al elemento mezclador para que juntos brinden la seguridad necesaria en cuanto al mezclado homogéneo del mortero seco.

Teniendo en cuenta que los mezcladores se caracterizan por la efectividad en su mezcla de 1 a 10000 partes y su facilidad de limpieza, por lo cual existen diversos tipos de mezcladores, siendo el mezclador en v el más adecuado para la fabricación de pequeños lotes de concentrados, se destacan por su rapidez, su amplia utilidad y la gran precisión para las mezclas de solido-solido⁵.

De igual manera es necesaria la construcción del mezclador, realizando pruebas de laboratorio para aplicaciones a escala, llegando así a ofrecer excelente productividad a escala y ofrecer un método preciso para pronosticar el desempeño del mezclador más grande, bajo condiciones de escala completa, por lo cual se hace necesario un control de la velocidad de mezcla, la cantidad de material a mezclar, el tiempo de mezclado, haciéndose necesario un sistema de control PLC.

4.2 MARCO CONCEPTUAL

4.2.1. Mezclado de sólidos. El objetivo es tratar a dos o más componentes de forma que cada partícula de cada uno de los componentes contacte con los demás. El sistema físico formado por las partículas de un sólido es muy complejo, en las mezclas de polvos se añade a esta complejidad el hecho de que están formadas por partículas de dos o más sustancias diferentes, lo cual puede implicar diferencias en forma, tamaño, densidad.

⁵ LLEAL S.A. "Mezclador de sólidos en v de laboratorio

Los mecanismos de mezclado se dan por movimiento de convección, mezclado por difusión y mezclado por cizalla.

El movimiento de convección implica un gran movimiento de elementos, producido por arrastre mediante una hélice, mediante un tornillo sin fin o mezcladores de volteo.

El mezclado por difusión se debe al movimiento aleatorio, el material es redistribuido como partículas individuales a través de superficies continuamente.

El mezclado por cizalla se da a lo largo de planos de corte, grupos de partículas son transferidas de una zona a otra.

Existen diversos factores que intervienen en el proceso de mezclado, como es el caso del tamaño de las partículas, el cual condiciona la relación entre las fuerzas de cohesión, dependientes de la superficie de las partículas, y las fuerzas inerciales y gravitacionales que dependen de la masa de las mismas, a menor tamaño de partículas, las fuerzas de cohesión aumentan, para obtener un grado óptimo de mezcla, las sustancias que se deseen mezclar deben mostrar grados de movilidad similares, por lo cual para optimizar la operación de mezclado, deben utilizarse sustancias cuyo tamaño de partícula sea lo más parecido posible.

El equipo de mezclado para sólidos se divide en dos clases generales: un tipo trabaja por gravedad y el otro es provocado por elementos mecánicos adicionados al mismo para impulsar el movimiento del material. Frecuentemente se incorporan paletas para incrementar la complejidad del sendero del flujo.

Grandes y pequeñas partículas del mismo material tienden a segregarse cuando se hace un intento por mezclarlas con movimiento al azar. Correspondientemente, el mismo fenómeno tiende a ocurrir cuando grandes partículas de un material deben ser mezcladas uniformemente con pequeñas partículas de otro material, esto se debe a que las partículas mayores adquieren su movimiento por medio de rodar y fluir sobre otras, en tanto que las partículas pequeñas lo logran más por suspensión aireada saliendo frecuentemente como polvos.

Resultados más benéficos al combatir estas formas de segregación se obtienen usualmente, al bajar suavemente el movimiento al azar inducido por el mezclador. Rotación ligera del recipiente o el uso de paletas deflectoras, tratan la masa de la partícula más suavemente y el polvo es minimizado.

Los materiales que se mezclan deberán tener también una atracción entre ambos. En muchos casos, tal atracción puede ser aumentada al introducir dentro de la mezcla un aditivo que no afecte dañinamente el proceso del producto final.

La diferencia de densidad en partículas esencialmente del mismo tamaño, a lo largo tienden a promover segregación, las pesadas sedimentan el fondo de una mezcla, esta acción se agrava si estas partículas pesadas son las gruesas y las partículas ligeras son las finas. Mientras el rango de densidad de partícula puede ser algunas veces de 10 a 1, el rango de tamaño de partícula puede ser de 100 a 1 o 1000 a 1.

El funcionamiento de un mezclador se evalúa de acuerdo al tiempo de mezclado que se requiere, la carga de energía y las propiedades del producto final. La relación entre el dispositivo de mezcla y las propiedades deseadas para el material mezclado varia ampliamente de un caso a otro, a veces se requiere un grado de uniformidad muy alto, otras una rápida acción de mezclado, o incluso un consumo mínimo de energía. El grado de uniformidad de un producto de mezclado, medido

por el análisis de un número de muestras puntuales, es una medida válida de la eficacia del mezclado.

Un tiempo real de mezcla suele ser de menos de 15 minutos, si se escoge el tipo adecuado de maquinaria y la capacidad de trabajo apropiada, en algunos casos se toleran tiempos de mezclado mucho más eficientes.

Los requerimientos de potencia no constituyen una consideración primordial al escoger una mezcladora de sólidos, es de gran importancia proporcionar una potencia suficiente para cubrir las necesidades máximas, en el caso donde se produzcan cambios durante las operaciones de mezclado, sabiendo que tiene que tener la potencia suficiente para vencer la inercia.

La facilidad, la frecuencia y la intensidad de la limpieza pueden ser consideraciones cruciales, los recipientes de volteo simples son fáciles de limpiar a condición que tengan aberturas indicadas, las zonas que pueden presentar problemas de limpieza son los sellos, los rincones y los dispositivos de descarga.

4.2.2. Tipos de mezclado.

Mezclado continuo: Se usa para mezclar ingredientes en un solo paso que pueden ser variados en cualquier rango. En el proceso discontinuo, se obtiene una variación en la calidad de mezclado que puede ser controlada o eliminada con mezcladores continuos; a pesar de que están ganando más popularidad, la elección de los equipos no es tan sencilla como los *batch*. La segregación puede reducirse con la ubicación de la unidad de empacado cerca de la descarga.

Mezclado discontinuo: Mezcla de ingredientes en cualquier cantidad dentro de un mezclador o recipiente. Todos los ingredientes son cargados y agitados por cierto período hasta que se encuentren distribuidos en forma homogénea. Luego, la mezcla resultante se descarga fuera del recipiente. Los parámetros críticos que influyen en la selección de los equipos discontinuos son el tiempo de mezclado, su tamaño, geometría y las condiciones de operación.

El mezclado discontinuo sin segregación es explicado en términos del modelo difusivo, son las colisiones entre las partículas en la capa superficial las que dan lugar a un movimiento difusivo aleatorio en dirección axial y promueve el mezclado⁶. Entre los mezcladores con mayores aplicaciones en la industria se destacan los siguientes:

- **Mezcladores en caída.** Tres de las geometrías más comunes son doble cono, mezclador en V y mezclador de compartimentos. El mezclado en estos casos consiste de una etapa rápida convectiva, impulsada por la velocidad de las partículas; seguida por una etapa dispersiva más lenta, causada por las variaciones de velocidad debida a los re arreglos de las partículas individuales.
- **Mezcladores convectivos.** Son usados en aplicaciones industriales, los cuales consisten en una cámara estacionaria barrida por mecanismos de agitación, como impulsores rotatorios. El movimiento del impulsor inicia el mezclado transportando el material de una zona a otra dentro de la cámara.

⁶ Berk Zeki. Food process engineering and technology. 4 a ed. New York: Elsevier; 2009. Pág 187-188.

4.3 TIPO DE MEZCLADORES

4.3.1. Mezclador tipo V. El mezclador en "V" es una máquina industrial, sus características más importantes son la ratio de mezcla alta y bajo consumo energético. Está diseñado principalmente para mezclar materiales secos y secos, o secos y sólidos, especialmente para los sólidos de buena fluidez. Al rotar el cuerpo en "V", el bache de material es dividido entre los cilindros izquierdo y derecho y el cono inferior, permitiendo que el producto se pliegue y recombine. Adicional al movimiento del equipo puede llevar una barra intensificadora que gira a alta velocidad y que brinda la posibilidad de adicionar líquidos al material a mezclar o para productos que tienden a aglomerarse; lo anterior proporciona un buen mezclado en tiempos cortos. Los mezcladores tipo V son equipos ideales para las industrias de farmacia, química, construcción y alimentación etc.

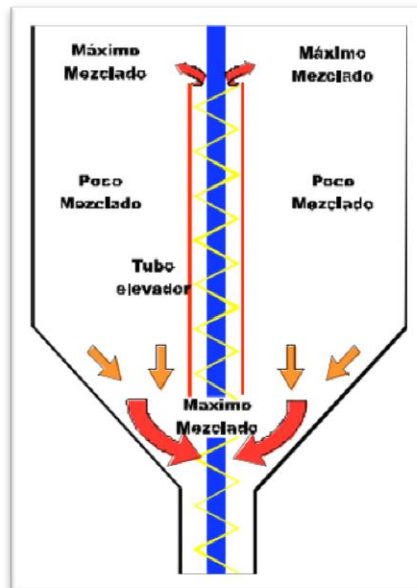
Características principales:

1. La estructura compacta, fácil de operar y limpiar, es muy estable, con muy poco ruido.
2. Se utiliza para mezclar 2 o más materiales, la ratio de regularidad de mezcla es alta.
3. La velocidad ajustable, el temporizador y el agitador(opcional) puede garantizar la uniformidad de mezcla con eficacia.

Al mezclar grandes volúmenes de material de manera manual, se necesita de mucha energía y de una gran cantidad de mano de obra, en consecuencia un alto costo de producción, sin tener la certeza que la mezcla homogenice adecuadamente; por tal motivo es conveniente utilizar mezcladoras de concreto para necesidades de mayores producción.

4.3.2. Mezcladoras verticales. Son muy populares debido a su bajo costo y a la facilidad de poder adaptarse a equipos móviles de alimentación. Una mezcladora vertical en buenas condiciones mecánicas usualmente tarda de 12 a 15 minutos para producir una mezcla uniforme, este tiempo puede reducirse a 8 ó 10 minutos si se utiliza un sistema de doble gusano. En las mezcladoras verticales solo un pequeño porcentaje (10 %) de alimento es movido a un mismo tiempo. La mayoría del mezclado se lleva a cabo mediante la recirculación de los ingredientes a través de un tubo elevador, y un gusano (Fig. 1), debido a que el alimento fuera del tubo no es movido activamente, el mezclado requiere más tiempo.

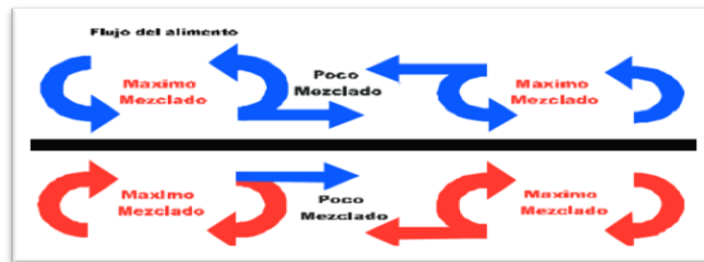
Figura 1. Patrón de mezclado en mezcladoras verticales



Fuente: <http://www.cpbaurum.com/PDF/mez4b566.pdf>

4.3.3. Mezcladora horizontal. Este tipo de equipo usualmente puede producir una mezcla homogénea en 2 a 4 minutos. Este tipo de mezcladoras prácticamente el 100 % de las partículas están en movimiento. La mayoría de las mezcladoras horizontales son estacionarias, pero es posible hacerlas portátiles; por lo general, son más caras que las mezcladoras verticales debido a que sus componentes deben ser más resistentes. Tienen la ventaja de que su desgaste es relativamente lento en comparación con las mezcladoras verticales por lo que el costo de producción por año es más bajo. Las mezcladoras horizontales pueden ser usadas para incorporar niveles de líquido del 8 -10 % como grasas o melaza.

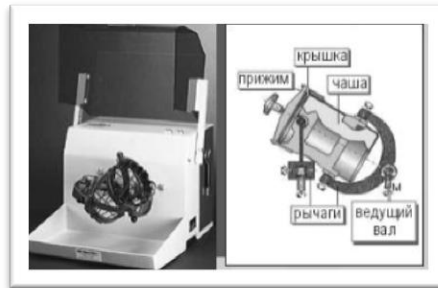
Figura 2. Patrón de mezclado en mezcladoras horizontales



Fuente: <http://www.cpbaurum.com/PDF/mez4b566.pdf>

4.3.4. Mezcladoras de tambor. En este tipo de mezcladoras, el material se mezcla de la misma forma que las revolventoras de concretos, pueden efectuar un buen mezclado cuando se les llena a la capacidad recomendada y se le da un tiempo adecuado de mezclado. Sin embargo, puede haber algunos problemas de atascamiento cuando se adicionan líquidos pegajosos (aceite o melaza). Aunque el uso de este tipo de equipos se ha incrementado recientemente, debido a principalmente, a su bajo consumo de energía, actualmente existe poca información disponible respecto a la confiabilidad o capacidad de este tipo de mezcladoras para obtener una mezcla uniforme.

Figura 3. Patrón de mezclado en mezcladoras de tambor

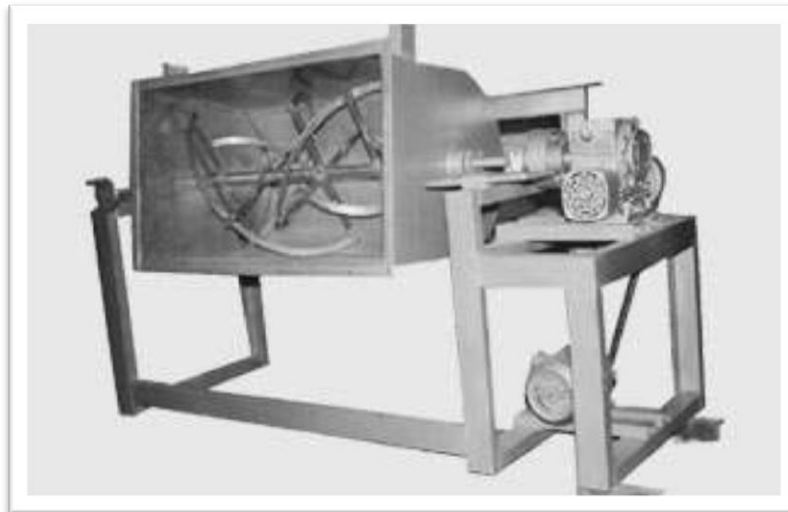


Fuente: <http://www.cpbaurum.com/PDF/mez4b566.pdf>

4.3.5. Mezcladores estáticos con agitación interna.

- Difusión + convección.
- No válido para materiales friables.

Figura 4. Mezclador estático con agitación interna

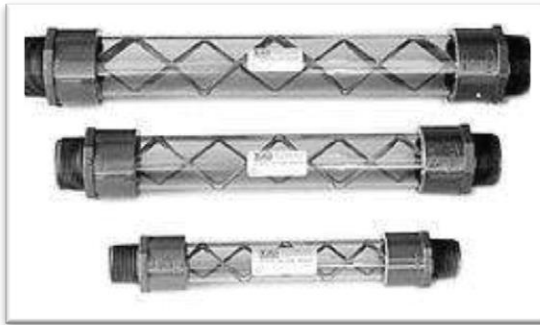


Fuente: http://personal.us.es/mfarevalo/recursos/tec_far/mezclado_solidos.pdf

4.3.6. Mezcladores estáticos sin agitación interna

- Mezclado por convección.
- Grandes volúmenes.
- Materiales poco cohesivos.

Figura 5. Mezcladores estáticos sin agitación interna



Fuente: http://personal.us.es/mfarevalo/recursos/tec_far/mezclado_solidos.pdf

4.3.7. Mezcladores móviles

- Facilidad para cargar, descargar y limpiar.
- Versátiles.
- Materiales friables.
- Mecanismo de mezclado por convección (+ difusivo).

4.3.8. Mezcladores estáticos

- Materiales poco cohesivos, que segregan con facilidad.
- Mecanismo de mezclado por convección.

4.4 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS SÓLIDOS

4.4.1. Tamaño. Es aconsejable que todas las partículas de la mezcla tengan un tamaño similar, de lo contrario puede facilitar la segregación de la mezcla debido a la gran diferencia en el tamaño de cada una de las partículas. Se puede recurrir a una molienda y tamizado de las partículas antes de iniciar el mezclado, con el fin de garantizar tamaños iguales, teniendo en cuenta que igualdad en tamaños no implica una igualdad entre la forma y densidad de las mismas partículas.

4.4.2. Forma. Son muy pocos los casos en que las partículas de la mezcla tienen un tamaño y forma uniforme. Por lo tanto, la forma es la variable más importante para obtener un buen flujo durante el mezclado, las formas esféricas y ovaladas fluyen con mayor facilidad, las rugosas y fracturadas fluyen poco.

4.4.3. Densidad. Igualmente que en el tamaño de las partículas, cuando existe una diferencia significativa entre las densidades se produce segregación, así los tamaños sean iguales, debido a que las partículas de mayor densidad caen en la parte inferior de la mezcla y se separan de las otras de menor densidad.

4.4.4. Granulometría. Depende del tipo de trabajo o calidad que se requiera en la mezcla, una mezcla gruesa se consigue con una granulometría mayor y tiene una menor manejabilidad, en comparación con una mezcla fina.

4.4.5. Proporciones de los componentes. Cuando en una mezcla las proporciones de sus cantidades son iguales, se obtiene una mezcla homogénea, mientras si existen diferencia grandes en las proporciones, se aconseja mezclar uno por uno, desde el componente en menor hasta el de mayor proporción. Por ejemplo: tenemos una mezcla de 3 componentes: Componente A, 500 gramos, componente B, 100 gramos y componente C, 5 gramos. Procedemos a mezclar el componente C con el componente B hasta obtener una buena mezcla y luego se le añade el componente A, de esta forma se disminuirá la no homogeneidad.

4.5 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO MEZCLADOR

4.5.1. Dimensiones. Factor que depende del espacio disponible en la planta o laboratorio en la cual se va a utilizar y de la capacidad de carga del mezclador.

4.5.2. Capacidad. Existen mezcladores en V desde escala laboratorio hasta mezcladores industriales de 500 litros, depende de la necesidad del cliente y de la densidad de la mezcla.

4.5.3. Agitador interno (opcional). Permite un mejor mezclado de los componentes y a la vez vuelve más polvorienta la mezcla si se requiere, también existe la barra intensificadora que es predominante cuando es necesario la adición de algún tipo de líquido durante el mezclado.

4.5.4. Materiales y acabados superficiales. Generalmente son de acero inoxidable o aceros al carbono, con acabado interior espejo y exterior si se requiere, no se recomienda acabados rugosos ya que dificultaría el mantenimiento y el desplazamiento de las partículas en el proceso.

4.5.5. Potencia. Es conveniente proporcionar la potencia suficiente para cubrir las necesidades máximas o algún cambio que puede presentarse durante el mezclado, igualmente que sea capaz de arrancar desde reposo, la condición más crítica.

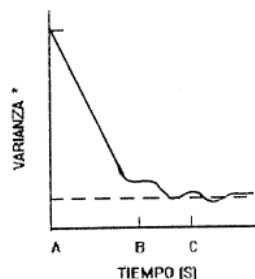
4.5.6. Velocidad de giro. Por lo general, los mezcladores tipo V giran a velocidades bajas que van desde 10 a 60 RPM. Un mezclador con mayor capacidad de carga respecto a otro de menor carga, va a girar a una velocidad más lenta, debido a que las partículas pueden adherirse a las paredes del contenedor y es una de las razones por la que ocurre el no mezclado. Con el fin de prevenir esto, se harán distintas muestras con el mezclador a diferentes velocidades, posteriormente se le harán las pruebas necesarias para calificar la mezcla y tener la velocidad óptima de mezclado.

4.6 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA SÓLIDO-SÓLIDO

4.6.1. Uniformidad. La uniformidad de la mezcla depende particularmente del tipo de mezclador a utilizar, del grado de mezclado, el tiempo necesario para efectuar la mezcla y los mecanismos de mezcla.

Al empezar el proceso de mezclado, existen diferentes zonas donde varía la concentración, las cuales se encuentran separadas por ciertas distancias, donde es predominante la convección, después de un tiempo el número de zonas donde se encuentra diferente concentración se incrementa, por lo cual las distancias de separación se vuelven más pequeñas, por lo cual se produce la mezcla necesaria al azar a través del mecanismo de difusión.

Figura 6. Varianza vs tiempo para un mezclador de volteo



Fuente: R. H. Wang y L. T. Fan. "Methods for Scaling –Up. Chemical.

El diseño de un mezclador de volteo debe ser de tal manera que se pueda realizar una combinación de ambos mecanismos, donde se logre reducir el tiempo en el cual la difusión toma lugar y así mismo disminuir el tiempo de mezcla.

4.6.2. Homogeneidad. Se produce cuando la mezcla está compuesta por dos o más sólidos, donde por lo general un sólido está en mayor proporción que el otro, los átomos del sólido que se encuentra en menor proporción, se introducen entre los huecos que se forman entre los átomos del que está en mayor proporción.

La variación entre muestras locales de cierto tamaño, se puede predecir para una mezcla aleatoria y usar como base para determinar hasta que parte se produce el mezclado aleatorio de los componentes. Cuando las partículas no se distinguen y no se puedan contar con facilidad, se toman opciones de conteo por medio de análisis para determinar la uniformidad de las muestras.

Por practicidad es conveniente contemplar diferentes análisis de muestras para calcular la uniformidad de las muestras por medio de análisis instrumental, aplicando procesos estadísticos, métodos de trazadores radiactivos como la fluorescencia de rayos x, la emisión espectroscópica, cualquiera que sea el método que se elija, ya sea gravimétrico, volumétrico, o de conteo de partículas, se hace importante que se analicen los métodos estadísticos cuando se genere una duda sobre cuál será la mezcla idónea.

4.6.3. Valoración. Consecuencia de la mezcla de sólidos sobre la economía del proceso de elaboración, el hecho de que el producto final obtenido sea o no satisfactorio, son factores preponderantes para determinar si la mezcla es adecuada o no, por lo cual la operación de mezclado de sólidos se debe verificar desde la entrega de un lote bien mezclado en un determinado punto, se debe mirar si existen o no puntos de segregación.

4.6.4. Segregación. En gran parte de los procesos industriales donde se tratan sólidos en polvo, se requieren mantener intactas ciertas características del producto durante la ejecución de todo el proceso y así obtener la calidad necesaria para el producto final, uno de los problemas más comunes que afectan la calidad del producto son la segregación o desmezcla del material.

4.6.4.1. Causas de la segregación

- **Por tamaño:** se da cuando se presentan variaciones importantes en la distribución del tamaño de las partículas de las cuales está compuesta, las partículas de mayor tamaño se han separado de las partículas menos gruesas, dando lugar a una mezcla no homogénea del producto.
- **Por forma:** el producto presenta cambios de gran importancia en la distribución de la forma de las partículas que lo componen, las partículas más redondeadas se han separado de las partículas más planas.
- **Por adhesión:** si algunas partículas experimentan adhesión con las paredes de una línea de transporte, puede conducir a problemas de segregación.

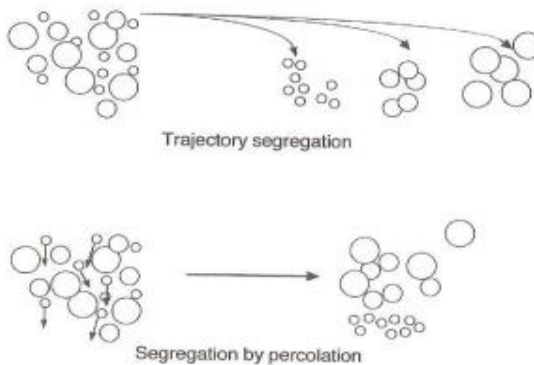
4.6.4.2. Mecanismos de la segregación

En seguida se presentaran algunos mecanismos de segregación:

- **Por trayectoria:** las distancias recorridas por las diferentes partículas son proporcionales al tamaño de las mismas, cuanto más grandes son se descargan a mayor distancia.
- **Ascenso de partículas grandes debido a efectos de vibración:** si la mezcla es sometida a vibración, las partículas más grandes tienden a moverse hacia arriba.

- **Percolación de finos:** si la mezcla vibra las partículas más pequeñas pueden pasar entre las grandes, por lo cual los finos se encuentran preferiblemente en el fondo y los gruesos en el tope.

Figura 7. Tipos de segregación



4.6.5. Carga electrostática. En el área de las partículas las cargas electrostáticas establecen la mayor fuerza, pero también el menos estudiado de los dispositivos que se trabajen en contra de la distribución aleatoria de las partículas en un mezclado sólido-sólido. Por lo general el mezclado tradicional se ha expuesto con líquidos, ya que la conductividad eléctrica es alta y así son las fuerzas que son útiles para un movimiento aleatorio; caso contrario sucede con los sólidos en contacto, o bien partículas suspendidas como polvos, presentan poca conductividad eléctrica en sus superficies, por ende las fuerzas que pueden causar son mínimas.

La carga electrostática que puede existir en las partículas sólidas puede llegar a repercutir en el no mezclado, por ejemplo si partículas de una misma clase se atraen unas con otras y a su vez se repelen de partículas de otra especie, se logra conseguir una separación perfecta, lo cual prolongaría el tiempo de mezclado; por otra parte se puede analizar una partícula a lo largo de sus caras, donde se identifican las cargas electrostáticas, ya que no es raro ver pigmentos adheridos a ciertas caras de la partícula, pero rechazados en otras.

Cuando el movimiento aleatoriamente es demasiado, el mezclado no se realiza satisfactoriamente por razones como:

- El área del electrón se encuentra desbalanceada por efectos de fricción de las partículas unas contra otras, induciendo las cargas electrostáticas.
- Las partículas quedan libres para segregarse.

4.7 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS QUE INFLUYEN EN UNA MEZCLA

4.7.1. Dosificación de los ingredientes. La dosificación exacta de los componentes y su correcto mezclado se hacen fundamentales al momento de conseguir las especificaciones deseadas, se realizara una dosificación gravimétrica (basculas), el cual es un método estándar para dosificar los ingredientes sólidos.

4.7.2. Secuencia de adición de los ingredientes. La adición de los ingredientes a mezclar se realiza de acuerdo al material de mayor densidad, primero se ingresa la arena, ocupando el volumen inferior del mezclador y posteriormente el cemento, debido a que si el cemento es el material a ingresar de primero al mezclador se corre el riesgo de que se compacte y se adhiera a las paredes del mezclador, debido a las aristas presentes en la parte interior del contenedor, lo que acarrearía que no se efectuará una mezcla homogénea.

4.7.3. Tiempo de mezclado. El tiempo de mezcla suele ser de menos de 15 minutos, en algunos casos se toleran tiempos de mezclado aún más eficientes, no obstante existen máquinas que pueden homogenizar casi cualquier clase de mezcla en menos de 15 minutos, por lo cual juega un papel importante la relación costo beneficio; en un diseño adecuado la mezcladora producirá la combinación requerida en unos cuantos minutos.

4.7.4. Nivel de llenado. El nivel de llenado suele estar en un 60 por ciento del volumen total del mezclador, siendo este el volumen útil de mezcla, por lo cual en un tiempo no mayor de 15 minutos se obtendrá un mezclado ideal, no obstante si el nivel de llenado excede el máximo admisible, se debe recurrir a tiempos de mezcla mayores.

4.7.5. Limpieza. La practicidad, la facilidad y la frecuencia de la limpieza son factores influyentes, cuando se quiera mezclar en diferentes momentos en la misma maquina diversos componentes incompatibles. Los recipientes de volteo son de fácil limpieza bajo la condición que tengan las aberturas adecuadas, las zonas que pueden presentar problemas de limpieza son: los rincones, los dispositivos de descarga, los sellos; cuando la limpieza entre lotes requiera mucho tiempo se debe optar por varios mezcladores generando un costo extra.

5. SELECCIÓN DEL EQUIPO

Para la adecuada selección del equipo, se ponderaron tres (3) mezcladores de sólidos para laboratorio:

- Mezclador cónico.
- Mezclador de banda.
- Mezclador en V.

5.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS

5.1.1. Mezclador cónico

- Tipo estático con carga vertical.
- Agitación por medio de un tornillo sin fin.
- Permite adicionar un disco cowles, para fragmentar aglomerados existentes en la mezcla.
- Facilidad de carga y descarga.

5.1.2. Mezclador de bandas.

- Tipo estático con carga horizontal.
- Agitación por medio de dos espirales opuestos.
- Facilidad de carga y dificultad en la descarga.
- Precio elevado.

5.1.3. Mezclador en V.

- Tipo móvil.
- Permite adicionar un agitador interno con o sin inyección de líquidos, para mejorar la calidad de la mezcla.
- Facilidad de carga y descarga.

- Fácil mantenimiento.
- Ideal para la investigación productos, consecutivamente escalables a mezclador industriales.

5.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN.


Para la selección del equipo se tomaron en cuenta las ventajas y desventajas de los mezcladores que se mencionaron anteriormente, los siguientes ítems se usaron para ponderar la selección adecuada del equipo:

- Eficiencia.
- Facilidad de fabricación.
- Facilidad de carga/ descarga.
- Facilidad de mantenimiento.
- Tamaño.
- Costo de adquisición.
- Costo de operación.
- Seguridad.
- Ergonomía.

5.2.1. Evaluación de los criterios de selección. Se realiza una matriz de decisión, la cual es un instrumento que sirve para elegir la opción más adecuada en una serie de alternativas de la siguiente manera: las celdas verticales corresponden a los criterios de selección, mientras que las celdas horizontales corresponden a las mezcladoras de sólidos para laboratorio (ver tabla 1). La calificación se realizará de acuerdo a los siguientes valores: 4 (fortaleza mayor), 3 (fortaleza menor), 2 (debilidad menor) y 1 (debilidad mayor).

Luego de tener ubicadas las celdas, se procede a asignar los valores de **PESO** y **NOTA** para cada casilla. La casilla **VALOR** se completará multiplicando los valores de **PESO * NOTA** para cada factor, se realiza la sumatoria de todas las casillas de la columna **VALOR**. El de mayor puntuación será el elegido.

Tabla 1. Matriz de perfil competitivo

| MATRIZ PERFIL COMPETITIVO | | MEZCLADOR CONICO | | MEZCLADOR DE BANDAS | | MEZCLADOR EN V | |
|-----------------------------|------------|---|------------|--|-------------|---|------------|
| FACTORES CONSIDERADOS | Peso | Nota | Valor | Nota | Valor | Nota | Valor |
| EFICIENCIA | 20 | 3 | 0,60 | 2 | 0,40 | 4 | 0,8 |
| FACILIDAD DE FABRICACION | 10 | 3 | 0,30 | 3 | 0,30 | 3 | 0,30 |
| FACILIDAD DE CARGA/DESCARGA | 10 | 4 | 0,40 | 2 | 0,20 | 4 | 0,40 |
| FACILIDAD DE MANTENIMIENTO | 10 | 2 | 0,20 | 3 | 0,30 | 4 | 0,40 |
| TAMAÑO | 5 | 3 | 0,15 | 2 | 0,10 | 3 | 0,15 |
| COSTO DE ADQUISICION | 10 | 2 | 0,20 | 1 | 0,10 | 3 | 0,30 |
| COSTO DE OPERACIÓN | 10 | 3 | 0,30 | 3 | 0,30 | 2 | 0,20 |
| SEGURIDAD | 15 | 3 | 0,45 | 3 | 0,45 | 3 | 0,45 |
| ERGONOMÍA | 10 | 2 | 0,20 | 3 | 0,30 | 3 | 0,30 |
| TOTAL | 100 | | 2,8 | | 2,45 | | 3,3 |
| ASPECTO FÍSICO | |  | |  | |  | |
| | | 1. Debilidad mayor 2. Debilidad menor | | 3. Fortaleza menor 4. Fortaleza mayor | | | |

El mezclador en V prevaleció entre los equipo evaluados, y lo hace el más adecuado considerando los criterios establecidos.

6. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA MEZCLADORA

6.1 REQUISITOS DE DISEÑO

Para realizar el cálculo de las dimensiones del equipo, son importantes los criterios requeridos a tener en consideración tales como:

6.1.1. Selección de la capacidad. Para la obtención de una mezcla uniformemente homogénea, es indispensable trabajar con un volumen inferior al de llenado total, siendo este un porcentaje de trabajo óptimo para realizar mezclas de distintos materiales en un tiempo establecido. Cabe resaltar los parámetros a tener en cuenta en el cálculo de volumen, puesto que es preciso trabajar con un volumen útil, el cual es el 60 % del volumen total del mezclador, más sin embargo, por factor de seguridad en el diseño se va calcular un volumen con un valor por encima del óptimo, el cual es de 70%, con tal de prever el mal uso de la maquina dado por los operarios.

El volumen del mezclador va a ser de 22 litros totales, requerimiento para una producción de pruebas para mortero seco de 10 a 12 litros útiles por batch.

6.1.2. Densidad. La densidad aparente del mortero seco es calculada dependiendo de la clase de mortero y su proporción en volumen de cada componente, clasificado en morteros ricos, ordinarios y pobres; como el agua no se tiene en cuenta en las proporciones por volumen, entonces la masa unitaria del mortero sin incluir el agua será de: $1700 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ a $1800 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$, es decir, cemento y agregado únicamente.

6.2 DISEÑO DEL CONTENEDOR EN V

Mediante software computacional se modela un código de diseño paramétrico de las medidas del contenedor. EES, acrónimo de Engineering Equation solver, es un potente programa que sirve para resolver ecuaciones, su gran ventaja es la sencillez de su manejo, permitiendo colocar ecuaciones con variables desconocidas en cualquier orden.

$$V_{\text{total}} = 22 \text{ [L]} \quad \text{VOLUMEN TOTAL: VOLUMEN DEL MEZCLADOR AL 100\% DE CAPACIDAD DE CARGA.}$$

$$\text{Densidad} = 1700 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad \text{DENSIDAD MAXIMA DE MEZCLADO.}$$

$$V_{\text{total}} = \frac{m_{\text{total}}}{\text{Densidad}} \cdot 1000 \text{ [L]}$$

$$V_{\text{util}} = V_{\text{total}} \cdot 0,6 \quad \text{VOLUMEN UTIL: VOLUMEN RECOMENDADO PARA LLENADO DE MEZCLADORES EN V, ALREDEDOR DEL 50\%-60\% DEL VOLUMEN TOTAL.}$$

$$m_{\text{util}} = \text{Densidad} \cdot \frac{V_{\text{util}}}{1000} \quad \text{MASA UTIL: MASA DE LA CARGA AL VOLUMEN UTIL DEL MEZCLADOR.}$$

$$V_{\text{diseno}} = V_{\text{total}} \cdot 0,7 \quad \text{VOLUMEN DE DISEÑO: SE ESCOGIO UN 70\% DEL VOLUMEN TOTAL, CON EL FIN DE PREVER ERRORES EN LA DOSIFICACION DE LOS COMPONENTES EN EL MEZCLADOR, Y ASI TRABAJAR CON UN VALOR CRITICO DE DISEÑO.}$$

$$m_{\text{diseno}} = \text{Densidad} \cdot \frac{V_{\text{diseno}}}{1000} \quad \text{MASA DE DISEÑO: MASA DE LA CARGA AL VOLUMEN CRITICO.}$$

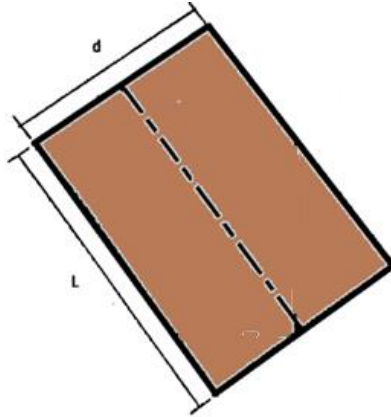
Para iniciar a diseñar las medidas del mezclador fue necesario tomar información sobre el dimensionamiento de 3 diferentes mezcladores en V de 10, 100 y 260 litros, respectivamente, debido a que el contenedor se segmenta en 3 partes (2 cilindros y un tronco de cono), para facilitar los cálculos geométricos.

Obtenida la información de los 3 diferentes mezcladores se definen los porcentajes de volumen para cada segmento en el diseño nuestro. El volumen 1 (V1) y volumen 2 (V2) dan un total de 80% del volumen total, es decir, un 40% para cada uno. Mientras el volumen 3 (V3) contiene el 20% restante del volumen total.

De los 3 mezcladores que se obtuvo esta información, se va demostrar en el mezclador de 260 litros los respectivos porcentajes en el siguiente ejemplo:

Conociendo que el diámetro del cilindro de carga es de 400 [mm] y su longitud 930 [mm].

Figura 8. Cilindro de carga



Se obtienen teóricamente los porcentajes en volumen de cada parte.

$$v_t = 260 [L].$$

$$v_1 = v_2 = 40\%.$$

$$v_1 = 40\% * v_t$$

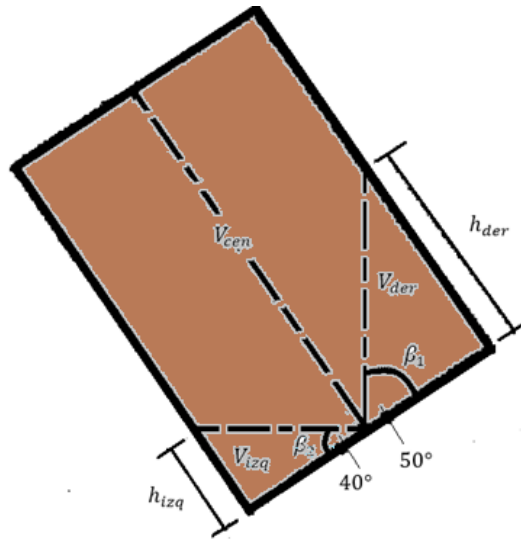
$$v_1 = 104[L].$$

$$v_3 = 20\% * v_t.$$

$$v_3 = 52[L].$$

Experimentalmente se calculan los volúmenes del contenedor.

Figura 9. Geometría cilindro de carga



$v_{cen} = \text{volumen del cilindro .}$

$$v_{cen} = \pi * r^2 * L.$$

$$v_{cen} = 116,8[L]$$

$$\beta_1 = 50.$$

$h_{der} = \text{altura que describe la figura derecha.}$

$$h_{der} = r * \tan\beta_1.$$

$$h_{der} = 0,238 [m].$$

$v_{der} = \text{volumen de la figura derecha.}$

$$v_{der} = \frac{2}{3} * r^2 * h_{der}.$$

$$v_{der} = 6,346 [L].$$

$$\beta_2 = 40.$$

$h_{izq} = \text{altura que describe la figura izquierda.}$

$$h_{izq} = r * \tan\beta_2.$$

$$h_{izq} = 0,1678 [m].$$

$v_{izq} = \text{volumen de la figura izquierda.}$

$$v_{izq} = \frac{2}{3} * r^2 * h_{izq}.$$

$$v_{izq} = 4,474 [L].$$

$$v_1 = v_2 = v_{cen} - v_{izq} - v_{der}.$$

$$v_1 = v_2 = 116,8 - 4,474 - 6,346 .$$

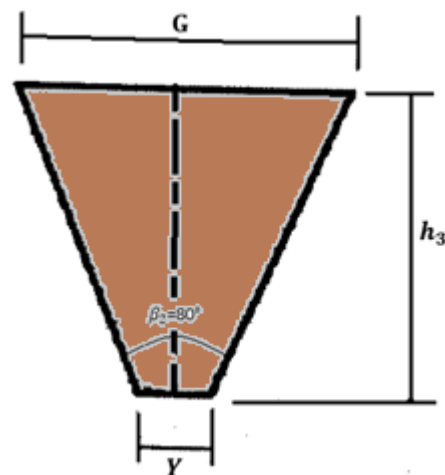
$$v_1 = v_2 = 105,98[L].$$

El v_1 es el 40 % del volumen total, el 100 % del volumen es 264,95 [L].

| Volumen | Porcentaje |
|------------------------------|------------|
| $v_{volumen 1} = 105,98[L].$ | 40% |
| $v_{volumen total}[L]$ | 100% |

Aproximando el volumen del segmento 3 al volumen de un tronco de cono se tiene:

Figura 10. Tronco de cono



$h_3 =$ inicio de descarga hasta la convergencia del centro de los cilindros de carga

$G =$ distancia horizontal de la convergencia de los dos cilindros.

$y = \text{diametro de descarga.}$

$$h_3 = 0,7[m].$$

$$G = 0,4131[m].$$

$$y = 0,195[m].$$

Volumen de un tronco de cono:

$$v_3 = \frac{\pi}{12} * (G^2 + G * y + y^2) * h_3.$$

$$v_3 = 53 [L].$$

De acuerdo a lo anterior se concluye que las dimensiones son correctas.

Una vez definidos los porcentajes de volumen de cada segmento, se inicia el dimensionamiento del contenedor del mezclador tipo V, usando el paquete EES.

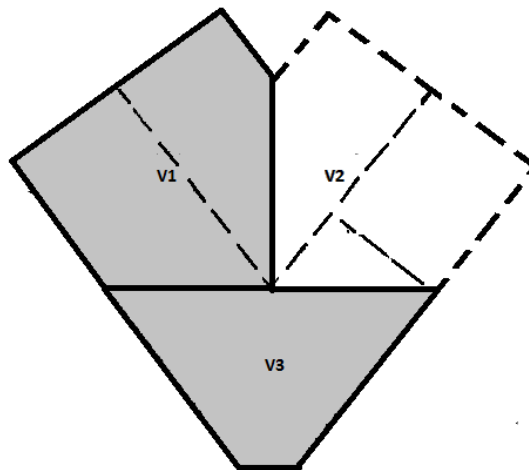
"VOLUMENES TEORICOS"

$$V_1 = V_{\text{total}} * 0,4 * 1000 [\text{cm}^3]$$

$$V_2 = V_1 [\text{cm}^3]$$

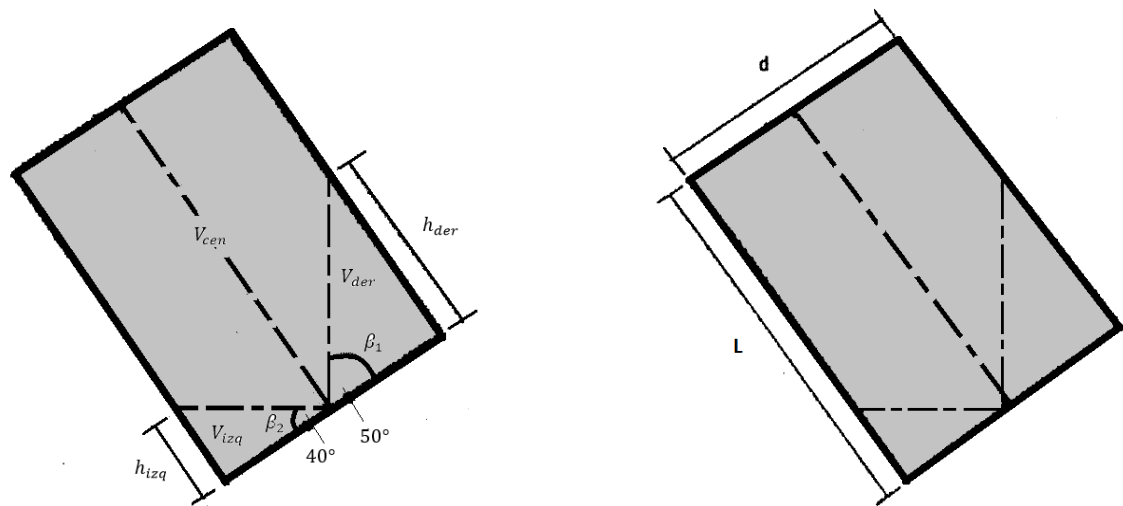
$$V_3 = V_{\text{total}} * 0,2 * 1000 [\text{cm}^3]$$

Figura 11. Segmentación del mezclador



Obtenidos los volúmenes teóricos para cada segmento, se procede a encontrar los volúmenes experimentales suponiendo variables tales como: diámetro del cilindro de carga, longitud del cilindro, entre otras, y compararlos con los teóricos hasta obtener un error menor del 3%.

Figura 12. Geometría cilindro de carga



Analizando las figuras 10 – 14 iniciamos nuestro diseño paramétrico.

OBSERVANDO LA FIGURA 14, SE DEFINE LA ECUACION PARA HALLAR EL VOLUMEN EXPERIMENTAL DE LOS SEGMENTOS 1 Y 2 QUE VAN A HACER IGUALES POR SIMETRIA

$$V_{exp1.2} = V_{cen} - V_{der} - V_{izq}$$

PARA INICIAR LOS CALCULOS SE SUPONE EL DIAMETRO DE CARGA Y LA LONGITUD DEL CILINDRO Y EL ANGULO DE CONTACTO ENTRE LOS DOS CILINDROS

$$\phi = 20,3$$

$$L = 31,5$$

$$\beta_3 = 80$$

SEGUIDAMENTE DEFINIMOS LOS VOLUMENES EXPERIMENTALES DE LAS CUÑAS CILINDRICAS Y DEL VOLUMEN CENTRAL

$$V_{cen} = \pi \cdot r^2 \cdot L \quad \text{VOLUMEN CENTRAL}$$

$$V_{der} = 2 / 3 \cdot r^2 \cdot h_{der} \quad \text{VOLUMEN CUÑA CILINDRICA DERECHA}$$

$$V_{izq} = 2 / 3 \cdot r^2 \cdot h_{izq} \quad \text{VOLUMEN CUÑA CILINDRICA IZQUIERDA}$$

SE ESPECIFICA LAS ECUACIONES PARA HALLAR LAS INCONGNITAS EN LAS ECUACIONES DE VOLUMEN EXPERIMENTAL

$$r = \frac{\phi}{2}$$

$$h_{der} = r \cdot \tan(\beta_1)$$

$$\beta_1 = 50$$

$$h_{izq} = r \cdot \tan(\beta_2)$$

$$\beta_3 = 2 \cdot \beta_2$$

EL VOLUMEN EXPERIMENTAL 3, SE APROXIMA AL VOLUMEN DE UN TRONCO DE CONO

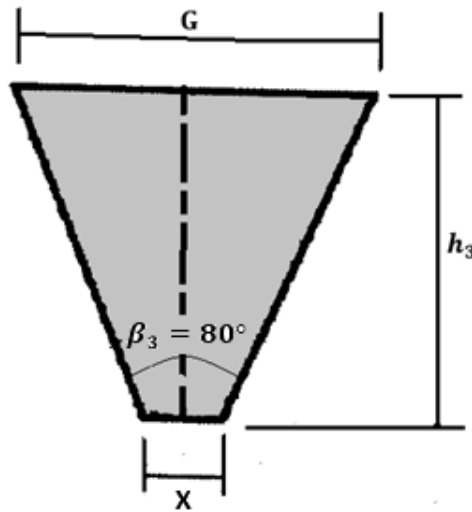
$$V_{exp3} = \frac{\pi}{12} \cdot (G^2 + G \cdot x + x^2) \cdot h_3$$

POR LA GEOMETRIA DE LA FIGURA 15

$$hip_{V3} = (h_{izq}^2 + r^2)^{(1/2)}$$

$$G = 2 \cdot hip_{V3}$$

Figura 13. Geometría tronco de cono



SUPONEMOS LOS VALORE DE h_3 Y x

$$h_3 = 14,5$$

$$x = 10,16$$

$$V_t = 22000$$

$$V_{exp} = V_{exp3} + 2 \cdot V_{exp1.2}$$

$$error_{total} = \left[\frac{V_t - V_{exp}}{V_t} \right] \cdot 100$$

VERIFICANDO LOS VALORES TEORICOS Y EXPERIMENTALES OBTENEMOS UN ERROR MENOR DEL 3% COMO SE DESEABA, POR LA TANTO LAS MEDIDAS SUPUESTA ESTAN CORRECTAS

Tabla 2. Resultados usando el paquete computacional EES

| MEZCLADOR TIPO "V" | |
|--------------------|---------------------------|
| Volumen total | 22 Litros |
| Masa total | 37 Kilogramos |
| Volumen útil | 13 Litros |
| Masa útil | 22 Kilogramos |
| Volumen diseño | 15 Litros |
| Masa diseño | 26 Kilogramos |
| Angulo interior | 80° |
| Densidad | 1700 [$\frac{kg}{m^3}$] |
| Diámetro carga | 8 Pulgadas |
| Diámetro descarga | 4 Pulgadas |
| Error volumétrico | 1,6 % |

6.3 INERCIAS

Para realizar el cálculo de la inercia, es fundamental definir los ejes de **coordenadas**, teniendo en cuenta que los cálculos realizados van acordes al eje de giro del mezclador, la inercia de la totalidad del sistema (contenedor, válvula mariposa, tapas, contrapeso, carga) es calculada por medio del software CAD/CAE SOLIDWORKS, utilizando la herramienta de propiedades físicas, la cual otorga los datos de masa, centro de masa, área superficial, volumen y los momentos de inercia de las piezas CAD.

Recordando que se decidió tomar una capacidad de diseño del 70% de la capacidad total del mezclador.

6.3.1. Inercia del contenedor cargado. Para obtener el valor de la inercia del contenedor cargado con la capacidad útil, es importante conocer los valores de masa del contenedor vacío, como de la carga a mezclar, la cual es un 70 % de la capacidad total de mezclador; para este caso la inercia de interés, es la que se calcula en el centro de masa de todo el conjunto (mezclador y carga), por lo cual es indispensable aplicar el teorema de Steiner a la inercia del contenedor vacío y a la carga, para trasladarlas al centro de masa de todo el sistema.

A continuación se ilustran las propiedades del ensamblaje para el mezclador cargado ver tabla 3, mezclador vacío ver tabla 4 y para la carga ver tabla 5.

Tabla 3. Propiedades ensamblaje mezclador cargado

| | | |
|--|---------------|---------------|
| Propiedades de masa de Ensamblaje | | |
| Configuración: Predeterminado | | |
| Sistema de coordenadas: Sistema de coordenadas1 | | |
| Masa = 55.1002 kilogramos | | |
| Volumen = 0.0182 metros cúbicos | | |
| Área de superficie = 1.9468 metros cuadrados | | |
| Centro de masa: (metros) | | |
| X = -0.0064 | | |
| Y = -0.1093 | | |
| Z = 0.0039 | | |
| Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (kilogramos * metros cuadr | | |
| Medido desde el centro de masa. | | |
| lx = (0.2931, 0.9558, -0.0224) | | Px = 1.0314 |
| ly = (-0.9560, 0.2925, -0.0240) | | Py = 1.3859 |
| lz = (-0.0164, 0.0285, 0.9995) | | Pz = 2.0887 |
| Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados) | | |
| Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados | | |
| Lxx = 1.3556 | Lxy = 0.0996 | Lxz = 0.0092 |
| Lyx = 0.0996 | Lyj = 1.0626 | Lyz = -0.0276 |
| Lzx = 0.0092 | Lzy = -0.0276 | Lzz = 2.0878 |
| Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados) | | |
| Medido desde el sistema de coordenadas de salida. | | |
| lxx = 2.0142 | lxy = 0.1384 | lxz = 0.0078 |
| lyx = 0.1384 | lyy = 1.0657 | lyz = -0.0512 |
| lzx = 0.0078 | lzy = -0.0512 | lzz = 2.7478 |

Tabla 4. Propiedades de ensamblaje mezclado vacío

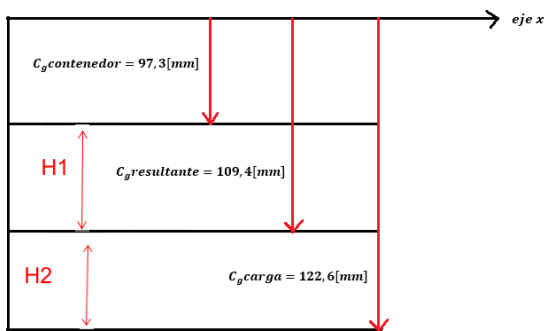
| | | |
|---|---------------|---------------|
| Propiedades de masa de Ensamblaje Configuración: Predeterminado Sistema de coordenadas: Sistema de coordenadas1 | | |
| Masa = 29.0783 kilogramos | | |
| Volumen = 0.0037 metros cúbicos | | |
| Área de superficie = 1.5686 metros cuadrados | | |
| Centro de masa: (metros) | | |
| X = -0.0122 | | |
| Y = -0.0973 | | |
| Z = 0.0019 | | |
| Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (kilogramos * metros cuadr | | |
| Medido desde el centro de masa. | | |
| lx = (0.2340, 0.9720, -0.0199) | | Px = 0.6911 |
| ly = (-0.9720, 0.2334, -0.0269) | | Py = 1.1465 |
| lz = (-0.0215, 0.0256, 0.9994) | | Pz = 1.6410 |
| Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados) | | |
| Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados | | |
| Lxx = 1.1217 | Lxy = 0.1038 | Lxz = 0.0085 |
| Lyx = 0.1038 | Lyy = 0.7165 | Lyz = -0.0214 |
| Lzx = 0.0085 | Lzy = -0.0214 | Lzz = 1.6402 |
| Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados) | | |
| Medido desde el sistema de coordenadas de salida. | | |
| lxx = 1.3974 | lxy = 0.1384 | lxz = 0.0078 |
| lyx = 0.1384 | lyy = 0.7210 | lyz = -0.0269 |
| lzx = 0.0078 | lzy = -0.0269 | lzz = 1.9201 |

Tabla 5. Propiedades ensamble carga

| | | |
|--|---------------|---------------|
| Masa = 26.0219 kilogramos | | |
| Volumen = 0.0145 metros cúbicos | | |
| Área de superficie = 0.3782 metros cuadrados | | |
| Centro de masa: (metros) | | |
| X = 0.0000 | | |
| Y = -0.1226 | | |
| Z = 0.0061 | | |
| Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (kilogramos * metros cui | | |
| Medido desde el centro de masa. | | |
| lx = (1.0000, 0.0000, 0.0000) | | Px = 0.2249 |
| ly = (0.0000, 0.9987, -0.0501) | | Py = 0.3436 |
| lz = (0.0000, 0.0501, 0.9987) | | Pz = 0.4370 |
| Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados) | | |
| Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resulta | | |
| Lxx = 0.2249 | Lxy = 0.0000 | Lxz = 0.0000 |
| Lyx = 0.0000 | Lyy = 0.3438 | Lyz = -0.0047 |
| Lzx = 0.0000 | Lzy = -0.0047 | Lzz = 0.4367 |
| Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados) | | |
| Medido desde el sistema de coordenadas de salida. | | |
| lxx = 0.6167 | lxy = 0.0000 | lxz = 0.0000 |
| lyx = 0.0000 | lyy = 0.3448 | lyz = -0.0243 |
| lzx = 0.0000 | lzy = -0.0243 | lzz = 0.8276 |

6.3.2. Cálculo empírico de la inercia del sistema. El centro de gravedad de la carga, contenedor y resultante fue calculado de acuerdo a un eje de referencia x, cabe resaltar que en el centro de gravedad de todo el sistema se encuentra ubicado el eje de giro del mezclador (Cg resultante), por esta razón es necesario aplicar el teorema de Steiner o de los ejes paralelos que consiste en la determinación de un momento de inercia de un sólido rígido sobre cualquier eje, dado el momento de inercia del objeto sobre el eje paralelo que pasa a través del centro de masa y de la distancia perpendicular entre ejes.

Figura 14. Centros de gravedad



Las siguientes ecuaciones se utilizan para hallar las inercias del contenedor y la carga, y poderlas comparar con la inercia total dado por SOLIDWORKS, y estar seguros de los datos obtenidos.

CALCULOS DE INERCIA

ANALISIS DE INERCIA DEL CONTENEDOR

$M1 = 29$ [kg] MASA DEL CONTENEDOR VACIO

$h1 = 0,0121$ DISTANCIA DEL CENTRO DE MASA DEL CONTENEDOR AL EJE DE GIRO

$I_{y1} = 1,1217$ kg*m² INERCIA EN EL CENTRO DE MASA DEL CONTENEDOR

APLICANDO STEINER

$I_{ejecontenedor} = I_{y1} + M1 \cdot h1^2$ INERCIA DEL CONTENEDOR TRASLADADA AL EJE DE GIRO

ANALISIS DE INERCIA DE LA CARGA

$M2 = 26$ MASA DE LA CARGA

$h2 = 0,0132$ DISTANCIA DEL CENTRO DE MASA DE LA CARGA AL EJE DE GIRO

$I_{y2} = 0,2249$ [-kg*m²] INERCIA EN EL CENTRO DE MASA DE LA CARGA

APLICANDO STEINER

$I_{ejecarga} = I_{y2} + M2 \cdot h2^2$ INERCIA DE LA CARGA TRASLADADA AL EJE DE GIRO

$I_{total} = I_{ejecontenedor} + I_{ejecarga}$ INERCIA TOTAL DEL SISTEMA

Tabla 6. Resultado de inercias

| MEZCLADOR TIPO "V" | |
|--------------------|--------------------------------------|
| Inercia contenedor | 1,126 $\left[\frac{kg}{m^2}\right]$ |
| Inercia carga | 0,2294 $\left[\frac{kg}{m^2}\right]$ |
| Inercia total | 1,355 $\left[\frac{kg}{m^2}\right]$ |

Comparando los cálculos empíricos de la inercia con respecto a la inercia dada por el software, podemos corroborar que los valores son aproximadamente iguales, presentando un error menor del 1%.

$$error = \frac{I_{teorica} - I_{experimental}}{I_{teorica}} * 100$$

$$error = \frac{1,3556 - 1,355}{1,3556} * 100$$

$$error = 0,04\%$$

6.4 EJE DE GIRO

Para obtener la posición adecuada del eje de giro se necesita conocer a que distancia se encuentra ubicado el centro de masa de todos los componentes del conjunto como lo son la carga a mezclar, el peso propio del contenedor, es el lugar adecuado para girar el mezclador debido a que la carga no es excéntrica cuando el mezclador se encuentra totalmente vertical, caso contrario si existiera una carga excéntrica donde se es necesario calcular la inercia, la cual genera un torque mayor en la condición crítica de arranque, teniendo mayor consumo de potencia.

6.5 VELOCIDAD DE GIRO

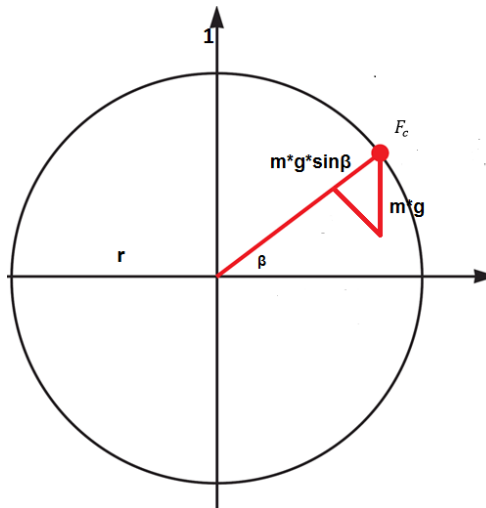
Para que se realice el mezclado de las partículas de cada uno de los componentes, se requiere un movimiento relativo donde se permita una operación eficiente.

Realizando varias consideraciones como:

Velocidad del mezclador es igual a cero, no habrá movimiento de las partículas y no se obtendrá ningún tipo de mezcla, caso contrario si se supone que la velocidad del mezclador es tal que las partículas se adhieran a las paredes por la fuerza centrífuga y no se produzca mezclado.

Para la obtención de un mezclado es necesario trabajar con una velocidad menor que la crítica (velocidad de trabajo) la cual oscila entre un 60 y 80 % de la velocidad crítica.

Figura 14. Diagrama fuerza centrífuga



Fuerzas que actúan en una partícula contenida en el mezclador.

$F_c = \text{fuerza centrifuga.}$

$$F_c = m * w^2 * r.$$

$$\Sigma F_r = m * a.$$

$$F_c - m * g * \sin\beta = m * a.$$

Al analizar el movimiento en el punto 1, cabe resaltar que en ese instante la aceleración es igual a cero y la $F_c = m * g$ cuando se trabaja a la velocidad crítica.

$$\sin\beta = \sin 90^\circ = 1.$$

Por lo tanto

$$v^2 = g * r.$$

La velocidad tangencial será:

$$v = n * d * \pi.$$

Dónde:

n=velocidad angular (rpm), velocidad critica.

d=diámetro interior que describe el mezclador al girar.

$$g * r = n^2 * d^2 * \pi^2.$$

$$n = \sqrt{\frac{g}{4 * \pi^2}} * \frac{1}{\sqrt{r}} * 60(\text{rpm}).$$

$$r = 0,261[\text{m}].$$

$$v_c = \sqrt{\frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{4 * \pi^2}} * \frac{1}{\sqrt{0,261 \text{m}}} * 60.$$

$$v_c = 58,54 \text{ rpm.}$$

Por ende la velocidad de trabajo sera:

$$v_t = 0,75 * v_c.$$

$$v_t = 44 \text{ rpm}.$$

6.6 POTENCIA

Debido a la naturaleza del sistema de mezclado, ya que la mezcla no va a estar en todo momento en contacto con las paredes del mezclador, y se realizará en un medio seco. El cálculo de la potencia se realiza con datos conservadores para que el motor seleccionado funcione de manera correcta.

El torque es determinado en el instante de arranque, ya que es donde la demanda de corriente es máxima, por ende el equipo necesita mayor potencia para vencer la inercia en un tiempo mínimo y alcanzar su velocidad de régimen.

$$I_{\text{total}} = I_{\text{ejecontenedor}} + I_{\text{ejecarga}} \quad \text{INERCIA TOTAL DEL SISTEMA}$$

$$t = 0,5 \quad [\text{S}] \quad \text{TIEMPO SUPUESTO PARA VENCER LA INERCIA DEL SISTEMA}$$

$$w = 5,236 \quad [\text{rad/seg}] \quad \text{VELOCIDAD DE GIRO 50 RPM}$$

$$\alpha = \frac{w}{t} \quad \text{ACELERACION ANGULAR}$$

$$\text{Torque} = I_{\text{total}} \cdot \alpha \quad \text{TORQUE TEÓRICO}$$

$$f_s = 5$$

FACTOR DE SERVICIO, SE ELIGIÓ 5 DEBIDO A QUE EL SISTEMA ESTA EXPUESTO A CARGAS REPETIDAS DE CHOQUE SUAVE PRODUCIDAS POR EL MOVIMIENTO DE LA CARGA

$$\text{Torque}_{f_s} = \text{Torque} \cdot 4,5 \quad \text{TORQUE DE DISEÑO}$$

$$\text{Power} = \text{Torque}_{f_s} \cdot w \quad \text{POTENCIA TEORICA}$$

Tabla 7. Resultado potencia torque

| MEZCLADOR TIPO "V" | |
|---------------------|----------------------------|
| Aceleración angular | 10,5 [$\frac{rad}{s^2}$] |
| Inercia total | 1,355 [$\frac{kg}{m^2}$] |
| Torque teórico | 14,19 Newton*metro |
| Torque de diseño | 64 Newton*metro |
| Potencia teórica | 334 watts ; 0,45 HP |

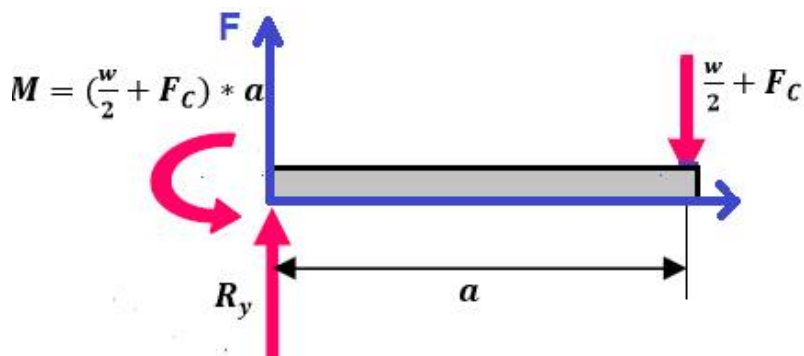
6.6.1. Potencia normalizada. Debido a que los cálculos de esta potencia son conservadores el sistema puede funcionar correctamente con un motor de 0,5 [hp] ya que es el motor comercial de potencia más cercano a la requerida por la máquina, además, de que es un motor común, económico y fácil de hallar en el mercado.

6.7 DISEÑO EJE DE GIRO

Teniendo en cuenta que la máquina es totalmente simétrica en la cordenada X, el peso total del conjunto se distribuye en los dos ejes del mezclador, por tanto se toma la mitad del peso para cada uno, teniendo en cuenta el valor de la fuerza centrífuga para tener un modelo totalmente conservador.

6.7.1. Diagramas de fuerzas y momentos en el eje

Figura 16. Diagrama de cargas



$$W_{TOTAL} = M_{CARGA} + M_{MEZCLADOR}$$

$$W_{TOTAL} = 55 \text{ kg}$$

$$a = 160 \text{ mm}$$

$$F_{CENTRIFUGA} = m * w^2 * r$$

r_1 = Distancia desde el eje de giro al centro de gravedad de la carga.

r_2 = Distancia desde el eje de giro al centro de gravedad del mezclador.

F_{CTOTAL} = Fuerza centrífuga total.

F_{C1} = Fuerza centrífuga producida por la carga.

F_{C2} = Fuerza centrífuga producida por el mezclador.

m_1 = Masa de la carga.

m_2 = Masa del mezclador.

w = Velocidad de rotación $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$.

$$r_1 = 122,6 \text{ mm} - 109,4 \text{ mm}$$

$$r_1 = 13,2 \text{ mm}$$

$$r_1 = 109,4 \text{ mm} - 97,3 \text{ mm}$$

$$r_1 = 12,1 \text{ mm}$$

$$F_{C1} = 26 \text{ kg} * 5,236^2 \frac{\text{rad}^2}{\text{s}^2} * 0,0132 \text{ m}$$

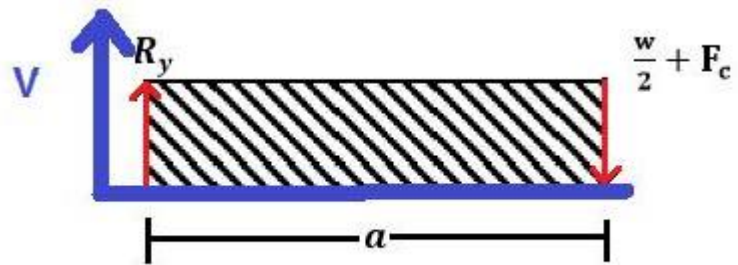
$$F_{C1} = 9,38 \text{ [N]}$$

$$F_{C1} = 29 \text{ kg} * 5,236^2 \frac{\text{rad}^2}{\text{s}^2} * 0,0121 \text{ m}$$

$$F_{C1} = 9,6 \text{ [N]}$$

$$F_{CTOTAL} = 19 \text{ [N]}$$

Figura 15. Diagrama de cortantes

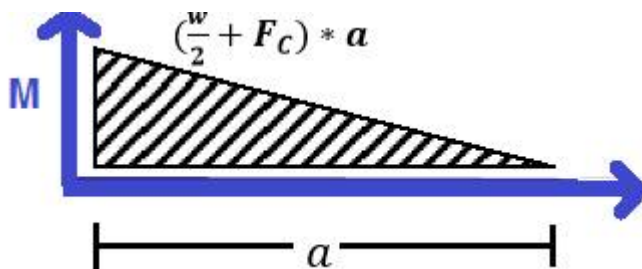


$$\sum F_Y = 0$$

$$R_Y = \frac{W_{TOTAL}}{2} + F_{CTOTAL}$$

$$R_Y = 290 [N]$$

Figura 16. Diagrama de momentos

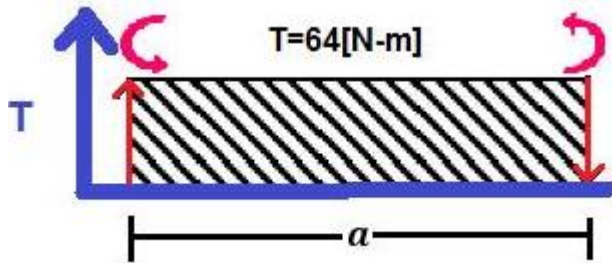


$$\sum M_X = 0$$

$$M_X = \left(\frac{W_{TOTAL}}{2} + F_{CTOTAL} \right) * a$$

$$M_X = 47 [N]$$

Figura 17. Diagrama de Torsión



$$\tau = 64 \text{ [N}\cdot\text{m]}$$

6.7.2. Análisis del eje. Se hace el análisis de fatiga en los ejes de la máquina y se determina el factor de seguridad con el criterio de Goodman de esfuerzo último para materiales dúctiles basado en el manual de Fatiga.

Criterio de Goodman (Esfuerzo Último):

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{\sigma_m}{S_{ut}} + K_f \frac{\sigma_a}{S_{e'}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_m}{S_{us}} + K_{fs} \frac{\tau_a}{S_{es'}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$S_{e'}$ = Límite de endurancia.

S_e = Límite de endurancia, sin factores.

$S_{es'}$ = límite endurancia afectado por los factores.

$$S_{e'} = S_e * K_L * K_S * K_d * K_c * K_T * K_m$$

Material del eje es AISI 316

Tabla 8. Mechanical properties at room temperature

| | SX316 | | SX316L. | | SX316Ti | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Typical | Minimun | Typical | Minimun | Typical | Minimun |
| Tensile Strength, MPa | 580 | 515 | 590 | 485 | 600 | 515 |
| Proof Strength, (Offset 0.2%), MPa | 310 | 205 | 310 | 170 | 320 | 205 |
| Elongation (Percent in L = 5.65 S ₀) | 55 | 40 | 60 | 40 | 50 | 40 |
| Hardness (Brinell) | 165 | - | 170 | - | 165 | - |
| Erichsen Cup Test Value mm | 8 - 10 | - | 240 | - | - | - |
| Endurance (fatigue) limit, MPA | 260 | - | 260 | - | 260 | - |

Fuente: http://www.askzn.co.za/tech/tech_grade_316.htm

- $S_{ut} = 580 \text{ MPa} = 84 \text{ ksi}$
- $S_e = 260 \text{ MPa}$
- $S_{us} = \frac{1}{\sqrt{3}} S_{ut}$
- $S_{us} = 335 \text{ MPa}$

Factores que modifican el límite de endurance o resistencia a la fatiga.

K_L = Factor de carga (Axial, flectora, torsional y combinadas).

CARGAS TRICOMBINADAS: Axiales + Flectora + Torsional

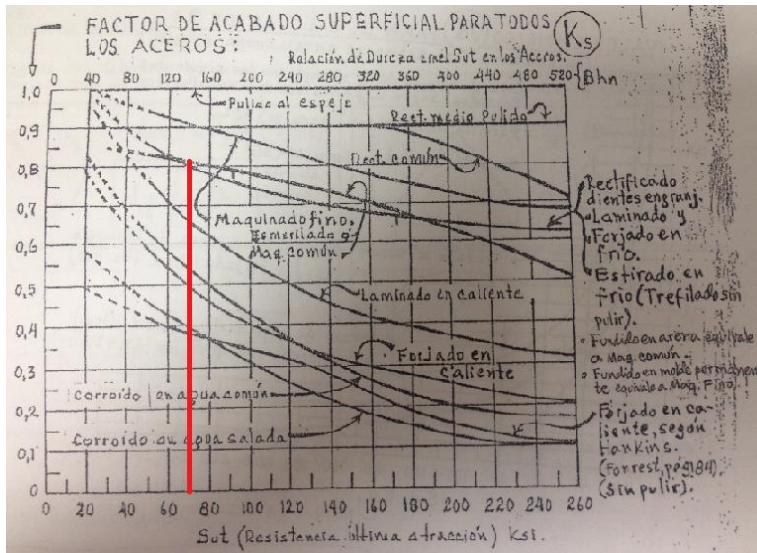
Materiales dúctiles: 0,55

Materiales frágiles: 0,70

$K_L = 0,55$

K_s = Factor del acabado superficial.

Gráfica 1. Factor acabado superficial



$K_s = 0.82$ (Maquinado común).

K_d = Factor de tamaño de la sección transversal.

Para... $0'' < d < 0.4'' \rightarrow K_d = 1,00$

$0.4'' \leq d < 2.0'' \rightarrow K_d = 0.90$

$2.0'' \leq d < 12.0'' \rightarrow K_d = 0,75$

$d \geq 12.0'' \rightarrow K_d = 0,60$

Para cargas axiales puras... $K_d = 1,0$

Estos valores son solo para Flexión, Torsión y cargas Bi y Tricombinadas

$K_d = 0,9$ ($d = 30 \text{ mm} = 1,2 \text{ in.}$)

K_c = Factor de confiabilidad.

| Confiabilidad % | Factor de Confiabilidad K_c |
|-----------------|-------------------------------|
| 0.50 – (50%) | 1.000 |
| 0.90 | 0.897 |
| 0.95 | 0.868 |
| 0.99 – (90%) | 0.814 |
| 0.999 | 0.753 |
| 0.999 9 | 0.702 |
| 0.999 99 | 0.659 |
| 0.999 999 | 0.620 |
| 0.999 999 9 | 0.584 |
| 0.999.999.99 | 0.551 |
| 0.999.999.999 | 0.520 |

Si la confiabilidad exigida es menor del 90% usar el procedimiento de arriba. Si es igual o mayor, usar la tabla interpolando si es necesario

$K_c = 0.814$ (Confiabilidad 99%)

K_T = Factor de temperatura de trabajo.

FACTOR DE EFECTO DE TEMPERATURA

$$(T^{\circ} F) = (T^{\circ} C) (1,8) + 32$$

$$K_T = \frac{620}{460 + (T^{\circ} F)}$$

$K_T = 1$. (Temperatura ambiente).

K_m = Factor de efectos misceláneos por procesos de fabricación.

$K_m = 1$. (Granallado).

K_f = Factor de concentración de esfuerzos para fatiga.

FACTOR DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS PARA FATIGA

K_f

K_t = factor de concentración de esfuerzos estáticos

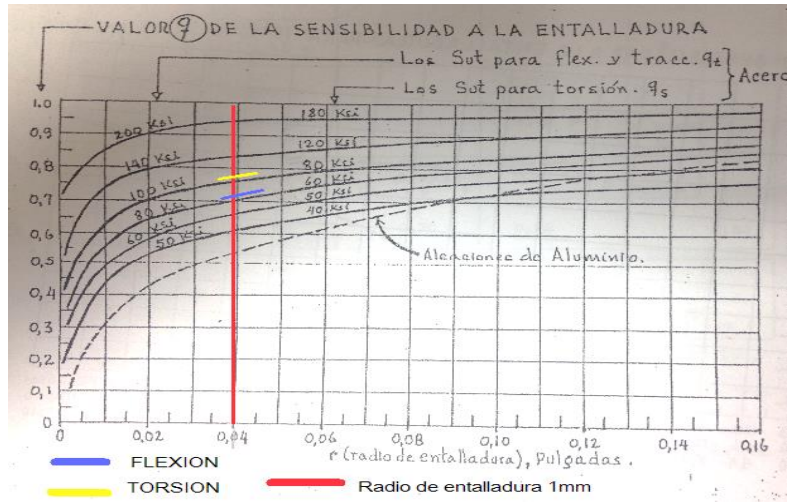
q = sensibilidad a la entalladura en cargas estáticas

K_s = factor de acabado superficial en la zona de la entalladura

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

Pueden haber tres clases de K_f : uno de detención, otro de flexión y el de torsión

Gráfica 2. Sensibilidad a la entalladura (q)



q = Sensibilidad a la entalladura

$$q_t = 0,7$$

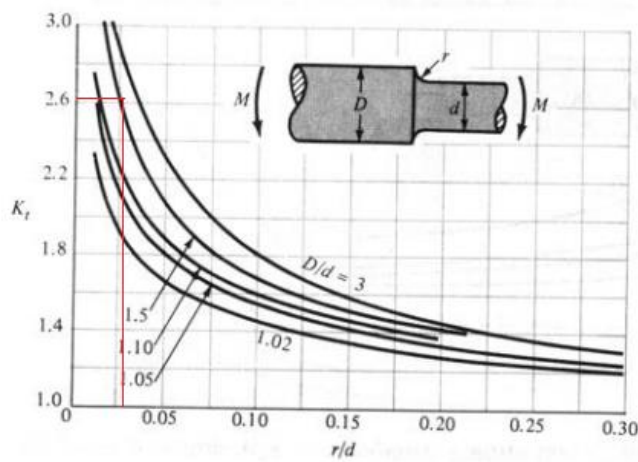
$$q_s = 0,75$$

K_t = Factor de concentracion de esfuerzos.

$$d = 30 \text{ mm}; \quad D = 35; \quad r = 1 \text{ mm}; \quad r/d = 0,033; \quad D/d = 1,667$$

Se halla el factor concentrador de esfuerzos para flector:

Gráfica 3. Concentrador de esfuerzos de flexión

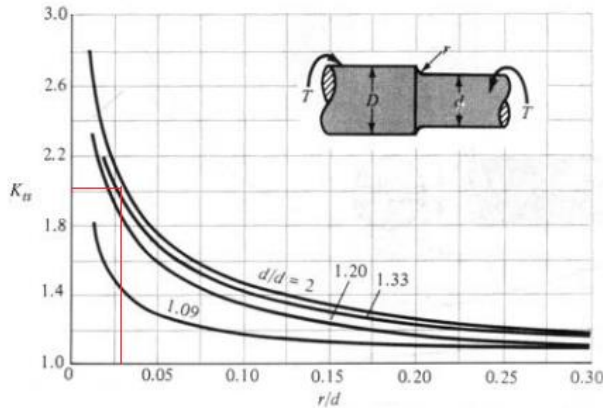


Concentrador de esfuerzos a flexión.

$$K_{tf} = 2,65$$

Se halla el factor concentrador de esfuerzos para torsión:

Gráfica 4. Concentrador de esfuerzos de torsión



$$K_{ts} = 1,85$$

Reemplazando los valores K_{ts} y K_{tf} hallamos los valores K_{ff} y K_{fs} y escogemos el mayor para reemplazar en las ecuaciones de Goodman:

$$K_{ff} = 2,1$$

$$K_{fs} = 1,63$$

Ya teniendo todos los factores se calcula el límite de endurance.

$$S_{e'} = S_e * K_L * K_S * K_d * K_c * K_T * K_m$$

$$s_{e'} = 85,9 [Mpa].$$

Para el cálculo de esfuerzos se usan las siguientes ecuaciones:

Esfuerzo de flexión alternativo.

$$\sigma_a = \frac{32 * M}{\pi * d^3}$$

M = Momento aplicado en la unión eje-mezclador.

d = Diámetro del eje.

$$M = 47 \text{ Nm.}$$

$d = 30 \text{ mm.}$

$$\sigma_a = \frac{32 \cdot 47}{\pi \cdot 0,03^3} = 17,7 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$$

Esfuerzo cortante medio

$$\tau_m = \frac{16 \cdot \tau}{\pi \cdot d^3}$$

$$\tau = 64 \text{ N.m}$$

$$\tau_m = \frac{16 \cdot 64}{\pi \cdot 0,03^3} = 12 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$$

Remplazando los valores obtenidos en la formula general para el cálculo del factor de seguridad N basado en el criterio de teoría de falla para carga combinada en fatiga en cualquier elemento diferencial de materia.

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{0}{6,2 \cdot 10^8} + 2,1 \cdot \frac{17,7 \cdot 10^6 [Mpa]}{85,9 [Mpa]} \right)^2 + \left(\frac{12 \cdot 10^6 [Mpa]}{335 [Mpa]} + 1,3 \frac{0}{8,742 \cdot 10^7} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$N = 2,3$$

6.8. CALCULO DE CHAVETA

El cálculo de la chaveta, es un dispositivo de maquinaria que se incorpora en la interfaz de un cubo y un eje de un elemento de transmisión de potencia, logrando transferir el torque, esta cuña por facilidad de ensamblado es desmontable del sistema del eje, su instalación se realiza por medio de una ranura axial en el cuerpo del eje.

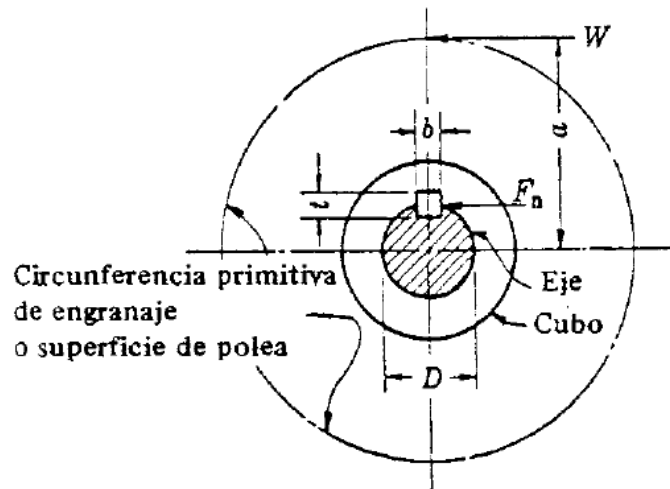
Clases de chavetas:

- Chavetas de sección cuadrada.
- Chavetas de sección rectangular.
- Chaveta lenticular.

- Chaveta redonda.
- Chavetas tangenciales

Las chavetas de tipo rectangular, que coincide su punto de ubicación con el diámetro del eje, se puede obtener su alto y ancho en tablas.

Figura 18. Sección chaveta



Fuente: 28 V.M. FAIRES. Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. 767 p. tabla AT 19.(ver Anexo)

Datos para obtener las dimensiones de la chaveta

Potencia = 0,5 [hp].

diametro_{eje} = 0,03[m].

Material a utilizar: eje acero inoxidable AISI 316 ver tabla 8, cuñero acero C1020.

Propiedades del acero C 1020: $S_{ut}=420[Mpa]$; $s_y = 350[Mpa]$

La longitud de la chaveta se calcula por cizalladura y compresión, se utiliza una chaveta plana, se prevé que la transmisión está sometida a vibraciones pequeñas por lo que es razonable un coeficiente de cálculo de 1,75.

Por cizalladura

$$T = \frac{Ss*b*L*D}{2} \quad \text{Ecuación 1}$$

Para realizar los cálculos con la Ecuación 1 se utiliza la resistencia a la fluencia en cizalladura del material de la chaveta.

Por compresión

$$T = \frac{Sc*t*L*D}{4}$$

Para hacer los cálculos con la ecuación se aplica el esfuerzo correspondiente a la más débil de las tres partes que intervienen: cubo, chaveta y árbol.

Cálculo de par transmitido

$$T = \frac{63000*hp}{n}$$

hp = potencia a transmitir [hp]

n = velocidad en [rpm]

$$T = \frac{63000*0,5}{50} = 630[lb - in] = 0,63[in - kips] .$$

Tabla 9. Dimensión de chavetas

Véanse figuras 10.1 y 10.2 para b y t . De norma ASA B17.1-1943. Existen otros tamaños. Las tolerancias de t pueden ser numéricamente las mismas indicadas, negativas en chavetas planas y positivas en chavetas de cuña.

| DIÁMETRO DEL EJE (inclusives) | | b | | t | | TOLERANCIA EN b | |
|----------------------------------|-------------|---------|------|--------|------|----------------------|---------|
| pulg | mm | pulg | mm | pulg | mm | pulg | mm |
| $1/2$ - $3/16$ | 12,7-14,3 | $1/8$ | 3,2 | $3/32$ | 2,4 | -0,0020 | -0,0508 |
| $3/4$ - $7/16$ | 15,9-22,2 | $3/16$ | 4,8 | $1/8$ | 3,2 | -0,0020 | -0,0508 |
| $15/16$ - $1 1/4$ | 23,8-31,7 | $1/4$ | 6,4 | $3/16$ | 4,8 | -0,0020 | -0,0508 |
| $1 5/16$ - $1 3/8$ | 33,3-34,9 | $5/16$ | 7,9 | $1/4$ | 6,4 | -0,0020 | -0,0508 |
| $1 7/16$ - $1 3/4$ | 36,5-44,4 | $3/8$ | 9,5 | $1/4$ | 6,4 | -0,0020 | -0,0508 |
| $1 13/16$ - $2 1/4$ | 46,0-57,1 | $1/2$ | 12,7 | $3/8$ | 9,5 | -0,0025 | -0,0635 |
| $2 5/16$ - $2 3/4$ | 58,7-69,8 | $5/8$ | 15,9 | $7/16$ | 11,1 | -0,0025 | -0,0635 |
| $2 7/8$ - $3 1/4$ | 73,0-82,5 | $3/4$ | 19,1 | $1/2$ | 12,7 | -0,0025 | -0,0635 |
| $3 3/8$ - $3 3/4$ | 85,7-95,2 | $7/8$ | 22,2 | $3/4$ | 15,9 | -0,0030 | -0,0762 |
| $3 7/8$ - $4 1/2$ | 98,4-114,3 | 1 | 25,4 | $3/4$ | 19,1 | -0,0030 | -0,0762 |
| $4 3/4$ - $5 1/2$ | 120,7-139,7 | $1 1/4$ | 31,7 | $7/8$ | 22,2 | -0,0030 | -0,0762 |
| $5 3/4$ -6 | 146,1-152,4 | $1 1/2$ | 38,1 | 1 | 25,4 | -0,0030 | -0,0762 |

De la tabla para un eje de 30 [mm] de diámetro se tiene que:

$$\text{Ancho } b = 1/4[\text{mm}].$$

$$\text{Alto } t = 3/16[\text{mm}].$$

Cálculo por cizalladura.

Se calcula el valor de s_s

$$s_s = \frac{0,5 \cdot 50,8}{1,75} = 14,51[\text{ksi}].$$

$$L = \frac{2 \cdot T}{s_s \cdot b \cdot D} = \frac{2 \cdot 0,63}{14,51 \cdot \frac{1}{4} \cdot 1,18} = 0,29[\text{in}]$$

Cálculo por compresión.

Observando los valores de resistencia de los materiales implicados en la unión por la chaveta, el material con más baja resistencia es el AISI 316.

$$s_c = \frac{50,8}{1,75} [\text{ksi}]$$

$$s_c = 29,02[\text{ksi}]$$

Se despeja la longitud.

$$L = \frac{4 \cdot T}{SC \cdot t \cdot D}$$

$$L = \frac{4 \cdot 0,63}{29,02 \cdot \frac{3}{16} \cdot 1,18} = 0,39[in].$$

6.9 SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS

La vida útil de un rodamiento se encuentra definida naturalmente en términos del número total de revoluciones que soporta antes de que ocurra el descascarillado de la superficie de las pistas o los elementos rodantes.

Para calcular la duración de los rodamientos se ponen en práctica las ecuaciones desarrolladas por los fabricantes, la vida nominal se fundamenta en un modelo estadístico al 90 % el cual se encuentra definido como el número total de revoluciones que puede alcanzar el 90% de rodamientos similares, sometidos a condiciones de operación idénticas, antes que suceda el descascarillado debido a la fatiga. La vida nominal 90% de confiabilidad está dada en el número total de horas de operación.

Los cálculos que se realizarán están basados en el manual de rodamientos NSK motion y control.

$p = \text{carga dinámica equivalente [N]}.$

$F_a = \text{carga axial [N]}.$

$F_r = \text{carga radial [N]}.$

$x = \text{factor de carga radial.}$

$y = \text{factor de carga axial.}$

$$p = x * F_r + y * F_a.$$

$$W_T = W_{carga} + W_{contenedor} + F_{centrifuga}.$$

$W_T = \text{peso total.}$

Rodamiento de bolas de contacto angular

El diseño del contenedor es tal que el rodamiento externo soporta carga radial y carga axial, la carga axial es debido a la fuerza centrífuga producida por este elemento.

$$F_{ct} = 19[N].$$

Conociendo el valor de la fuerza centrífuga, el peso del contenedor y la carga se calcula el peso total que soportara el rodamiento.

$$W_t = 558,5[N].$$

La fuerza radial es el peso de la masa que recae sobre ese punto es la mitad de la carga total puesto que son dos rodamientos los que soportan la carga.

$$F_r = 279,27[N].$$

Con el valor del diámetro del eje 30 [mm] se busca en el manual del fabricante un rodamiento que soporte ambos tipos de carga.

Se selecciona el rodamiento de bolas de contacto angular 7206

Catálogo Nsk. Rodamientos de bolas de contacto angular, página 193 B-53

$d = 30[mm]$ Diámetro interior del rodamiento.

$D = 62[mm]$ Diámetro exterior del rodamiento.

$B = 15$ Espesor del rodamiento.

$C_r = 23000[N]$ Índice de carga dinámica de los rodamientos radiales.

$C_{or} = 14700[N]$ Índice de carga estática de los rodamientos radiales.

$f_o = 13,9$ Factor que depende de la geometría de los rodamientos.

$r_{min} = 1.$

$r_{1min} = 1.$

$i = 1.$

calculo de la fuerza axial F_a .

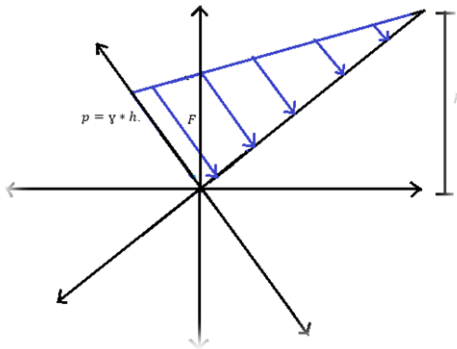
Para el cálculo de la fuerza axial es necesario conocer que factores influyen en el cilindro de carga, por medio de las ecuaciones de fluidos se asemeja la carga a un fluido y se procede a calcular la presión generada por la carga, donde a medida que incrementa la columna de agua incrementa la presión.

$p =$ presión que ejerce la carga $[\frac{N}{m^2}]$.

$\gamma =$ densidad de la mezcla y contenedor multiplicado por la gravedad $[\frac{kg}{m^3} * \frac{m}{s^2}]$.

$h =$ distancia vertical desde la carga del cilindro hasta el inicio de la descarga.

Figura 19. Diagrama de presiones



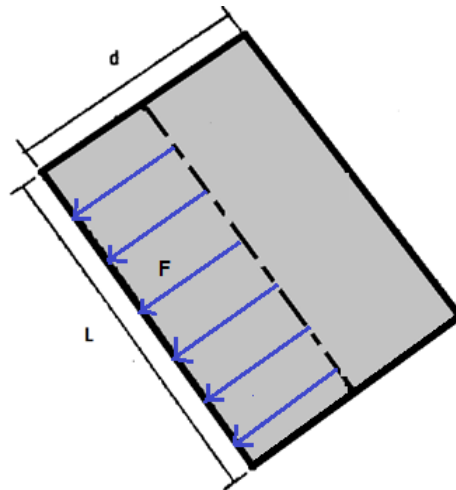
$$p = \gamma * h.$$

$$p = 1700 * 9,81 * 0,42.$$

$$p = 7004 \left[\frac{N}{m^2} \right].$$

Conociendo que el área proyectada del cilindro de carga es un rectángulo se tiene que:

Figura 20. Distribución de fuerzas en cilindro de carga



F = fuerza perpendicular a la superficie.

A = area proyectada del cilindro.

F_r = fuerza radial.

F_a = fuerza axial.

L = longitud cilindro

D = diámetro cilindro

$$P = \frac{F}{A}$$

$$F = 434,5 [N].$$

$$A = 0,062.$$

$$P = 7004 [N].$$

$$F_r = F * \cos 50.$$

$$F_r = 279,27[N].$$

$$F_a = F * \sin 50.$$

$$F_a = 332,8[N].$$

$$\frac{i * f_o * F_a}{C_{or}} = \frac{1 * 13,9 * 332,8}{14700} = 0,31.$$

Interpolando se obtiene el valor de e , de acuerdo a los valores de la siguiente tabla.

NSK

Carga Dinámica Equivalente $P = XF_r + YF_a$

| Ángulo de Contacto | $i f_o F_a^*$ C_{or} | e | Simple, DT | | | | DB o DF | | | |
|--------------------|---------------------------|------|------------------|---|---------------|------|------------------|------|---------------|------|
| | | | $F_a/F_r \leq e$ | | $F_a/F_r > e$ | | $F_a/F_r \leq e$ | | $F_a/F_r > e$ | |
| | | | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y |
| 15° | 0.178 | 0.38 | 1 | 0 | 0.44 | 1.47 | 1 | 1.65 | 0.72 | 2.39 |
| | 0.357 | 0.40 | 1 | 0 | 0.44 | 1.40 | 1 | 1.57 | 0.72 | 2.28 |
| | 0.714 | 0.43 | 1 | 0 | 0.44 | 1.30 | 1 | 1.46 | 0.72 | 2.11 |
| | 1.07 | 0.46 | 1 | 0 | 0.44 | 1.23 | 1 | 1.38 | 0.72 | 2.00 |
| | 1.43 | 0.47 | 1 | 0 | 0.44 | 1.19 | 1 | 1.34 | 0.72 | 1.93 |
| | 2.14 | 0.50 | 1 | 0 | 0.44 | 1.12 | 1 | 1.26 | 0.72 | 1.82 |
| | 3.57 | 0.55 | 1 | 0 | 0.44 | 1.02 | 1 | 1.14 | 0.72 | 1.66 |
| | 5.35 | 0.56 | 1 | 0 | 0.44 | 1.00 | 1 | 1.12 | 0.72 | 1.63 |
| 25° | — | 0.68 | 1 | 0 | 0.41 | 0.87 | 1 | 0.92 | 0.67 | 1.41 |
| 30° | — | 0.80 | 1 | 0 | 0.39 | 0.76 | 1 | 0.78 | 0.63 | 1.24 |
| 40° | — | 1.14 | 1 | 0 | 0.35 | 0.57 | 1 | 0.55 | 0.57 | 0.93 |

*Para i , utilice 2 para DB, DF y 1 para DT

Carga Estática Equivalente $P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a$

| Ángulo de Contacto | Simple, DT | | DB o DF | | Montaje simple o DT Cuando $F_r > 0.5 F_r + Y_0 F_a$ utilice $P_0 = F_r$ |
|--------------------|------------|-------|---------|-------|---|
| | X_0 | Y_0 | X_0 | Y_0 | |
| 15° | 0.5 | 0.46 | 1 | 0.92 | |
| 25° | 0.5 | 0.38 | 1 | 0.76 | |
| 30° | 0.5 | 0.33 | 1 | 0.66 | |
| 40° | 0.5 | 0.26 | 1 | 0.52 | |

Ángulo de contacto de 15°

| $\frac{i * f_o * F_a}{C_{or}}$ | E | X | Y |
|--------------------------------|--------|------|--------|
| 0,178 | 0,38 | 0,44 | 1,47 |
| 0,31 | 0,3947 | 0,44 | 1,4183 |
| 0,357 | 0,40 | 0,44 | 1,40 |

Interpolando para un $\frac{i * f_o * F_a}{C_{or}} = 0,31$ se tiene un valor de $e=0,3947$.

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{332,8[N]}{279,27[N]} = 1,19.$$

$$\frac{F_a}{F_r} \geq e.$$

Interpolando de la tabla se tiene que:

$$X=0,44$$

$$Y=1,42$$

$$P = x * F_r + y * F_a.$$

$$P = 0,44 * 279,27 + 1,42 * 332,8.$$

$$P = 595,5[N] \text{ carga dinámica equivalente.}$$

$$N = 50 \text{ rpm.}$$

f_n = factor de velocidad.

$$f_n = (0.03 * N)^{-\frac{1}{3}} = 0,8735$$

f_h = factor de vida de fatiga.

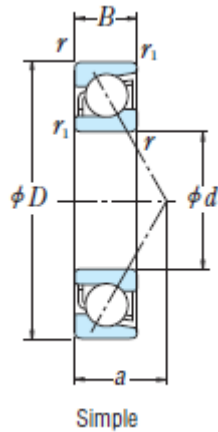
$$f_h = f_n * \frac{C_r}{P} = 0,8735 * \frac{23000}{595,5} = 33,73.$$

L_h = índice básico de vida.

$$L_h = 500 * (f_h)^3 = 500 * (33,73)^3 = 19187528,06[h].$$

De acuerdo a los cálculos realizados con los parámetros que brinda el fabricante y las cargas que soporta el rodamiento de bolas de contacto angular, la vida útil calculada en horas es de 19187528,06[h] horas. El rodamiento seleccionado es:

Figura 21. Sección de rodamiento



Diámetro interior de 10-25 mm

Tabla 10. Tipos y características de rodamientos

| Dimensiones (mm) | Índices Básicos de Carga (Simple) (N) | | Factor | | Velocidades Límite (1) (rpm) | | Centros Efectivos de Carga (mm) a | Dimensiones de Tope y Chaflán (mm) | | | Masa (kg) aprox. | Números de Rodamiento (2) | | | | | | | | |
|------------------|---------------------------------------|-----|--------|-------------|------------------------------|--------|-------------------------------------|------------------------------------|-------|----------|------------------|---------------------------|-------|--------|------------|------------|------------|---------|--------|----|
| | d | D | B | $r_{\min.}$ | $r_{1\min.}$ | C_r | | C_{0r} | C_r | C_{0r} | | f_0 | Grasa | Aceite | d_a min. | D_a max. | r_a max. | Simple | Duplex | |
| 20 | 37 | 9 | 0.3 | 0.15 | 6 600 | 4 050 | 675 | 410 | — | 24 000 | 32 000 | 11.1 | 22.5 | 34.5 | 0.3 | 0.036 | 7904 A5 | DB | DF | DT |
| | 37 | 9 | 0.3 | 0.15 | 6 950 | 4 250 | 710 | 430 | 14.9 | 28 000 | 38 000 | 8.3 | 22.5 | 34.5 | 0.3 | 0.036 | 7904 C | DB | DF | DT |
| | 42 | 12 | 0.6 | 0.3 | 10 800 | 6 600 | 1 110 | 670 | — | 18 000 | 24 000 | 14.9 | 25 | 37 | 0.6 | 0.068 | 7004 A | DB | DF | DT |
| | 42 | 12 | 0.6 | 0.3 | 11 100 | 6 550 | 1 130 | 665 | 14.0 | 26 000 | 36 000 | 10.1 | 25 | 37 | 0.6 | 0.076 | 7004 C | DB | DF | DT |
| | 47 | 14 | 1 | 0.6 | 14 500 | 8 300 | 1 480 | 845 | — | 17 000 | 22 000 | 16.7 | 26 | 41 | 1 | 0.106 | 7204 A | DB | DF | DT |
| | 47 | 14 | 1 | 0.6 | 13 300 | 7 650 | 1 360 | 780 | — | 12 000 | 16 000 | 21.1 | 26 | 41 | 1 | 0.109 | 7204 B | DB | DF | DT |
| | 47 | 14 | 1 | 0.6 | 14 600 | 8 050 | 1 480 | 825 | 13.3 | 24 000 | 34 000 | 11.5 | 26 | 41 | 1 | 0.118 | 7204 C | DB | DF | DT |
| | 52 | 15 | 1.1 | 0.6 | 18 700 | 10 400 | 1 910 | 1 060 | — | 13 000 | 17 000 | 17.9 | 27 | 45 | 1 | 0.146 | 7304 A | DB | DF | DT |
| | 52 | 15 | 1.1 | 0.6 | 17 300 | 9 650 | 1 770 | 985 | — | 11 000 | 15 000 | 22.6 | 27 | 45 | 1 | 0.15 | 7304 B | DB | DF | DT |
| | 25 | 42 | 9 | 0.3 | 0.15 | 7 450 | 5 150 | 760 | 525 | — | 20 000 | 28 000 | 12.3 | 27.5 | 39.5 | 0.3 | 0.043 | 7905 A5 | DB | DF |
| 42 | | 9 | 0.3 | 0.15 | 7 850 | 5 400 | 800 | 555 | 15.5 | 24 000 | 34 000 | 9.0 | 27.5 | 39.5 | 0.3 | 0.042 | 7905 C | DB | DF | DT |
| 47 | | 12 | 0.6 | 0.3 | 11 300 | 7 400 | 1 150 | 750 | — | 16 000 | 22 000 | 16.4 | 30 | 42 | 0.6 | 0.079 | 7005 A | DB | DF | DT |
| 47 | | 12 | 0.6 | 0.3 | 11 700 | 7 400 | 1 190 | 755 | 14.7 | 22 000 | 30 000 | 10.8 | 30 | 42 | 0.6 | 0.089 | 7005 C | DB | DF | DT |
| 52 | | 15 | 1 | 0.6 | 16 200 | 10 300 | 1 650 | 1 050 | — | 15 000 | 20 000 | 18.6 | 31 | 46 | 1 | 0.13 | 7205 A | DB | DF | DT |
| 52 | | 15 | 1 | 0.6 | 14 800 | 9 400 | 1 510 | 960 | — | 10 000 | 14 000 | 23.7 | 31 | 46 | 1 | 0.133 | 7205 B | DB | DF | DT |
| 52 | | 15 | 1 | 0.6 | 16 600 | 10 200 | 1 690 | 1 040 | 14.0 | 22 000 | 28 000 | 12.7 | 31 | 46 | 1 | 0.143 | 7205 C | DB | DF | DT |
| 62 | | 17 | 1.1 | 0.6 | 26 400 | 15 800 | 2 690 | 1 610 | — | 10 000 | 14 000 | 21.1 | 32 | 55 | 1 | 0.235 | 7305 A | DB | DF | DT |
| 62 | | 17 | 1.1 | 0.6 | 24 400 | 14 600 | 2 490 | 1 490 | — | 9 000 | 13 000 | 26.7 | 32 | 55 | 1 | 0.241 | 7305 B | DB | DF | DT |
| 30 | | 47 | 9 | 0.3 | 0.15 | 7 850 | 5 950 | 800 | 605 | — | 18 000 | 24 000 | 13.5 | 32.5 | 44.5 | 0.3 | 0.049 | 7906 A5 | DB | DF |
| | 47 | 9 | 0.3 | 0.15 | 8 300 | 6 250 | 845 | 640 | 15.9 | 22 000 | 28 000 | 9.7 | 32.5 | 44.5 | 0.3 | 0.049 | 7906 C | DB | DF | DT |
| | 55 | 13 | 1 | 0.6 | 14 500 | 10 100 | 1 480 | 1 030 | — | 13 000 | 18 000 | 18.8 | 36 | 49 | 1 | 0.116 | 7006 A | DB | DF | DT |
| | 55 | 13 | 1 | 0.6 | 15 100 | 10 300 | 1 540 | 1 050 | 14.9 | 19 000 | 26 000 | 12.2 | 36 | 49 | 1 | 0.134 | 7006 C | DB | DF | DT |
| | 62 | 16 | 1 | 0.6 | 22 500 | 14 800 | 2 300 | 1 510 | — | 12 000 | 17 000 | 21.3 | 36 | 56 | 1 | 0.197 | 7206 A | DB | DF | DT |
| | 62 | 16 | 1 | 0.6 | 20 500 | 13 500 | 2 090 | 1 380 | — | 8 500 | 12 000 | 27.3 | 36 | 56 | 1 | 0.202 | 7206 B | DB | DF | DT |
| | 62 | 16 | 1 | 0.6 | 23 000 | 14 700 | 2 350 | 1 500 | 13.9 | 18 000 | 24 000 | 14.2 | 36 | 56 | 1 | 0.222 | 7206 C | DB | DF | DT |
| | 72 | 19 | 1.1 | 0.6 | 33 500 | 20 900 | 3 450 | 2 130 | — | 9 000 | 12 000 | 24.2 | 37 | 65 | 1 | 0.346 | 7306 A | DB | DF | DT |

7. DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINA (CAD)

El mezclador tipo V diseñado, cuenta con un sistema de mezclado por gravedad, debido a que el equipo gira 360 grados y hace que las partículas se derrumben sobre si mismas continuamente durante todo el proceso. Inicialmente existe un tipo de mezclado difusivo que ocurre por la fricción entre las paredes del contenedor y las partículas, ocasionando que suban y caigan repetidamente. Cuando la rotación de la maquina es tal que se asemeja a la velocidad critica las partículas son lanzadas lejos una de las otras, lo que se denomina mezclado por convección.

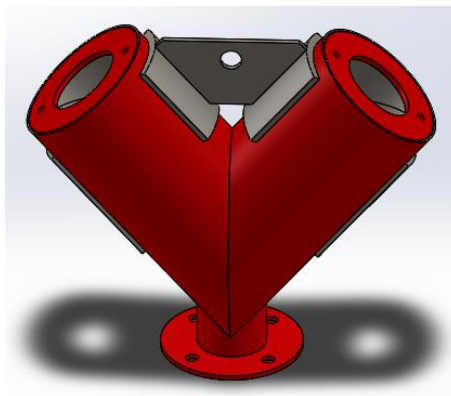
Los componentes de la máquina son:

7.1 CONTENEDOR

Es el núcleo del equipo, su diseño en forma de V en AISI 304 calibre 11, se escogió este material por su mayor resistencia a la corrosión en ambientes agresivos, por sus excelentes propiedades mecánicas y que las partículas no se adhieran a las paredes por la rugosidad de otros aceros, además por ser material higiénico y fácil de limpiar.

Consta de dos cilindros con brida interna soldados en forma de V, creando un ángulo de 80° entre sí, va equipado con un cilindro de descarga en la parte inferior que a su vez va bridado para instalar la válvula tipo lenteja.

Figura 22. Contenedor

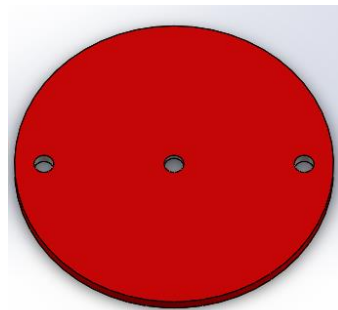


7.2 SISTEMA DE CARGA

Se diseñó un sistema que facilite el proceso de carga y que sea completamente desmontable para obtener una buena limpieza de las partes internas y poder realizar un mantenimiento efectivo. Consta de las siguientes 3 partes: tapa, sello y seguro.

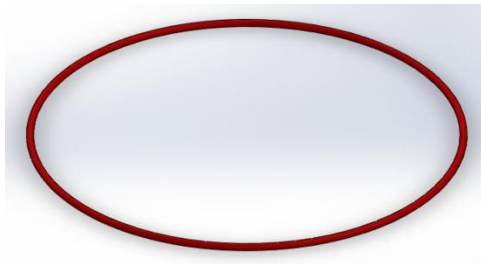
7.2.1. Tapa. Se diseñó una tapa plana debido a que no se trabaja a diferentes presiones y no es necesario una tapa tipo aséptico que son especiales en esos casos. Se hizo el proceso de refrentado en torno por la cara de sello contra la brida del recipiente, se maquina una ranura para alojamiento del O'ring.

Figura 23. CAD tapa



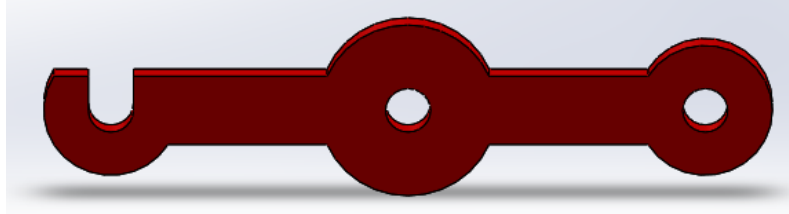
7.2.2. Sello. Sello tipo O'ring, material NITRILO, diámetro interno de 150 mm y sección de 3/16"

Figura 24. CAD sello



7.2.3. Seguro. Tipo pivote en un eje, se ajusta a la tapa de carga por medio de tuercas mariposa, que entran concéntricamente en dos tornillos soldados a la brida interna del mezclador.

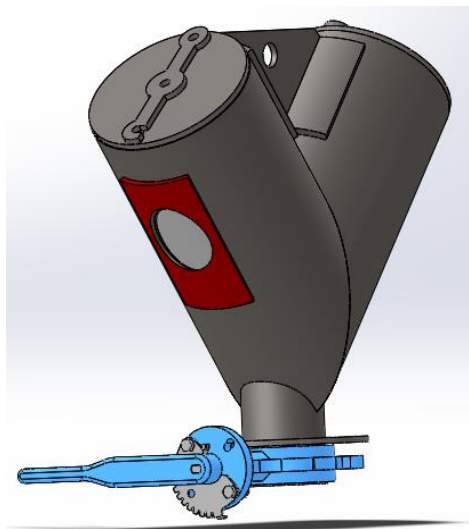
Figura 25. CAD seguro de apriete



7.3 CAMISA EXTERNA

Cumple la función de disminuir el torque en el eje, fabricada en AISI 304 calibre $\frac{1}{4}$ ", la pared interna de la camisa va soldada a la pared externa del contenedor, que a su vez son perforados por un agujero de 3 pulgadas para asentar el eje.

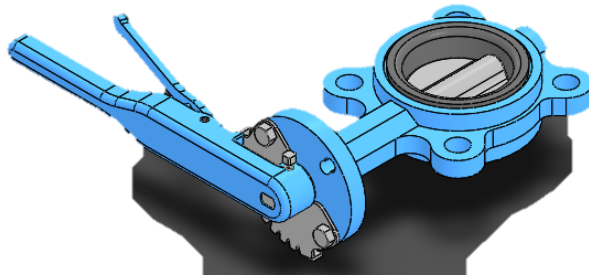
Figura 26. Camisa externa



7.4 VÁLVULA DE DESCARGA

Es la válvula predominante en los mezcladores tipo V, debido a su fácil adquisición, diseño ergonómico y facilidad de descarga debido a la división del flujo cuando es accionada la palanca. Está fabricada en fundición de hierro, su peso es 5 kilogramos.

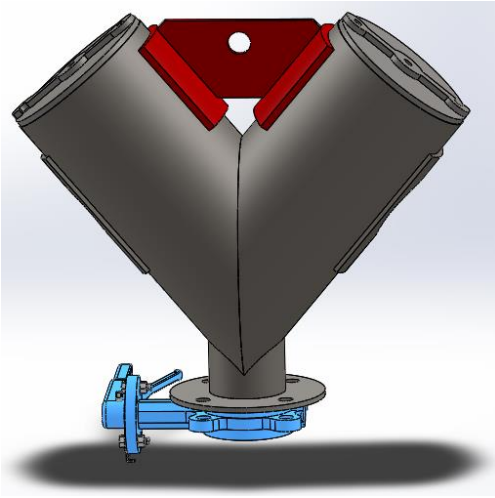
Figura 27. Válvula tipo lenteja



7.5 SISTEMA DE CONTRAPESO

Se instaló un sistema en el cual pueda equilibrar el peso de la válvula de descarga, tornillos y brida, para obtener un centro de gravedad por encima de la mitad de la altura del mezclador, si se ubica muy por debajo de la mitad de la altura el mezclador tendera voltearse al momento de ensamblaje.

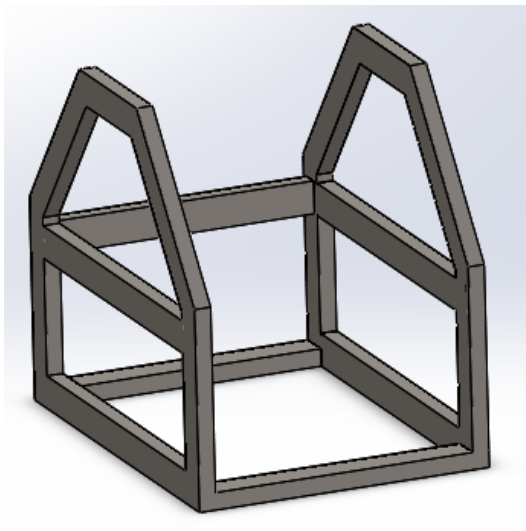
Figura 28. Contrapeso



7.6 ESTRUCTURA

Fabricada en acero A36 tubular, con refuerzos en los puntos unión para garantizar una estructura rígida.

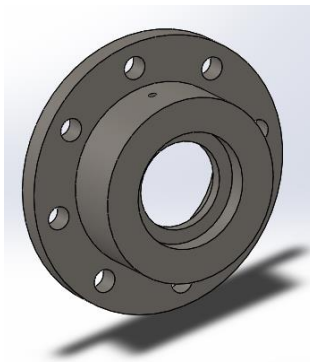
Figura 29. Estructura



7.7 PORTA-RODAMIENTO

Tipo desmontable para tener un fácil cambio de rodamiento y un efectivo mantenimiento, se instalado un retenedor para evitar la contaminación en el rodamiento y la salida de grasa, lleva consigo el punto de lubricación para evitar la fricción.

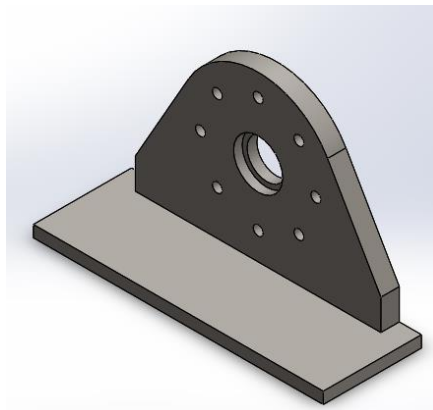
Figura 30. Porta-rodamiento



7.8 FLANGE.

Tipo desmontable para tener un efectivo mantenimiento, cumple dos funciones: la primera función consiste en servir de soporte para el porta-rodamiento, la segunda función consiste en soportar al mezclador con ayuda de la estructura. Al igual que en el porta-rodamiento se le instala un retenedor para evitar la contaminación en las partes motrices.

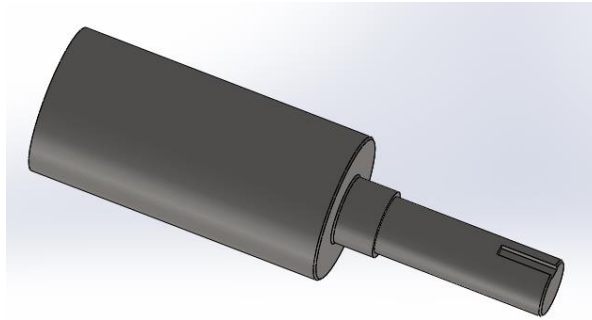
Figura 31. Flange



7.9 EJE MOTRIZ

Se calculó, diseñó y fabricó para dar la transmisión al recipiente, se apoya en el rodamiento que a su vez pasa concéntricamente en el porta-rodamiento y el flange, para unirse al eje del reductor mediante un acople directo.

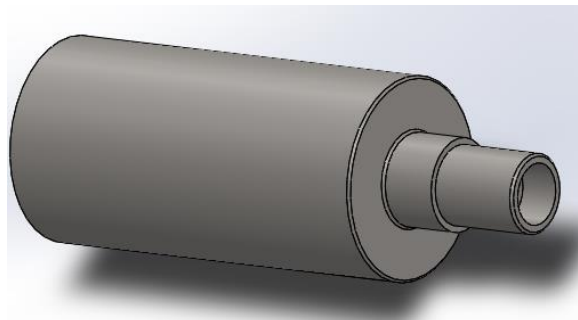
Figura 32. Eje motriz



7.10 EJE CONDUCIDO

Su función consiste en girar libremente sobre el rodamiento. Este eje se calculó, diseñó y fabricó con opción de instalar a futuro un eje agitador interno.

Figura 33. Eje conducido



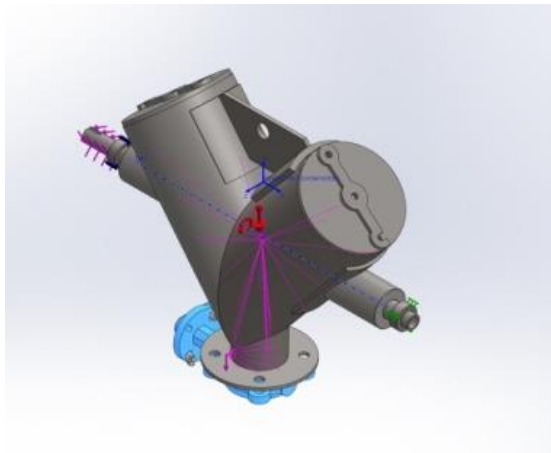
8. ANÁLISIS CAE

SOLIDWORKS es un software de ingeniería asistida por computadora para simular el desempeño que entrega un mecanismo y lograr hacer mejoras a cada uno de los diseños, resolviendo problemas ingenieriles presentes en la industria.

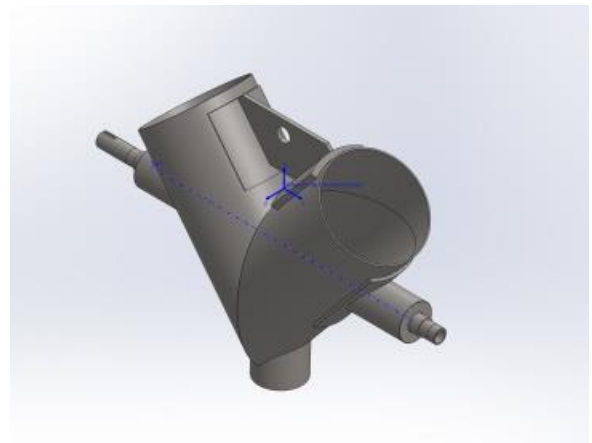
La herramienta CAE facilita tomar decisiones de gran importancia en diseños de alto impacto, efectuar análisis y evaluaciones de piezas sin tener la necesidad de construir el prototipo físico y así disminuir tiempos y gastos en la ejecución de un proyecto.

Para la realización de este proyecto los análisis CAE se efectuaron a través del software CAD/CAE SOLIDWORKS, por medio de la herramienta Solidworks Simulation.

Figura 34. Modelo original vs Modelo analizado



Modelo original



Modelo analizado

Para analizar el modelo se supone que el material es uniforme, no se presentan errores de fabricación y las juntas presentan uniones soldadas en excelente condición.

La presión en las paredes del mezclador a causa de material granulado se simuló como un perfil de presión definido por la ecuación $P = \gamma Y$, donde γ es la gravedad específica de material granulado y Y es la altura.

8.1 ANÁLISIS ESTÁTICO

Tabla 11. Propiedades del estudio estático.

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Nombre de estudio | Análisis estático |
| Tipo de análisis | Análisis estático |
| Tipo de malla | Malla sólida |
| Efecto térmico: | Activar |
| Opción térmica | Cargas térmicas |
| Temperatura a tensión cero | 298 Kelvin |
| Sistema de unidades: | Métrico (MKS) |
| Longitud/Desplazamiento | Mm |
| Temperatura | Kelvin |
| Velocidad angular | Rad/seg |
| Presión/Tensión | N/m ² |

Tabla 12. Propiedades del material

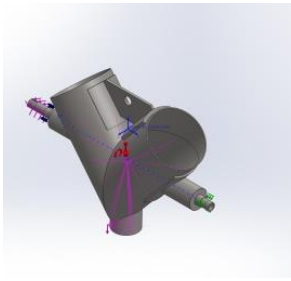
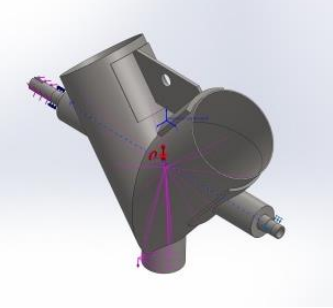
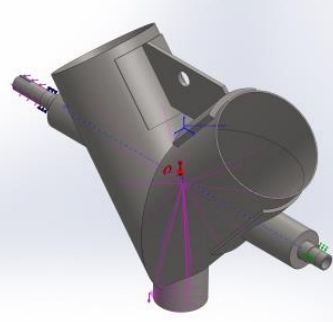

| Referencia de modelo | Propiedades |
|---|---|
|  | <p>Nombre: AISI 304 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises Límite elástico: 2.06807e+008 N/m² Límite de tracción: 5.17017e+008 N/m² Módulo elástico: 1.9e+011 N/m² Coeficiente de Poisson: 0.29 Densidad: 8000 kg/m³ Módulo cortante: 7.5e+010 N/m² Coeficiente de dilatación térmica: 1.8e-005 /Kelvin</p> |

Tabla 13. Cargas aplicadas en los análisis estáticos y fatiga

| Nombre de carga | Cargar imagen | Detalles de carga |
|-----------------|---|---|
| Gravedad-1 |  | <p>Referencia: Planta Valores: 0 0 -9.81 Unidades: SI</p> |
| Presión-1 |  | <p>Entidades: 3 cara(s) Tipo: Normal a cara seleccionada Valor: 1 Unidades: N/m^2 Ecuación: - 17658 Y Sist. de coord. de ref.: Sistema de coordenadas1 Ángulo de fase: 0 Unidades: deg</p> |
| Centrífuga-1 |  | <p>Centrífuga, Ref: Cara< 1 > Velocidad angular: 5.23599 rad/s Aceleración angular: 0 rad/s^2</p> |

Continúa en la página siguiente.

Viene de la página anterior

Tabla 13.

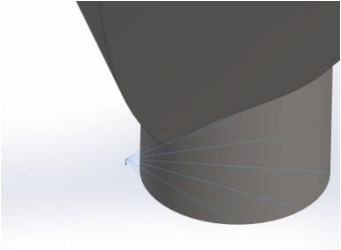
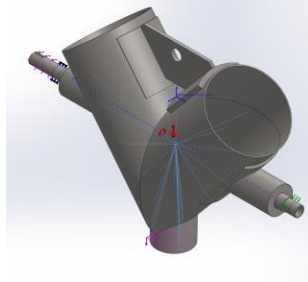
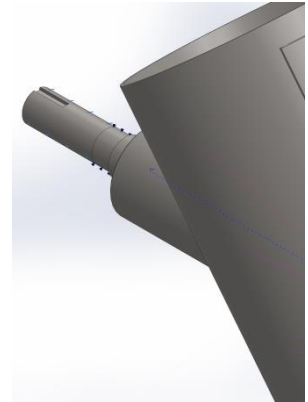
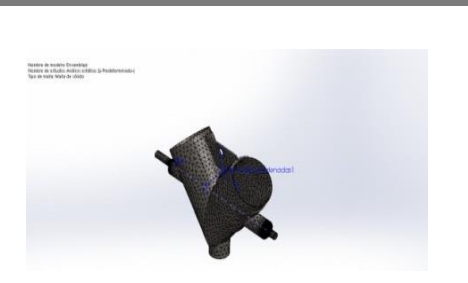
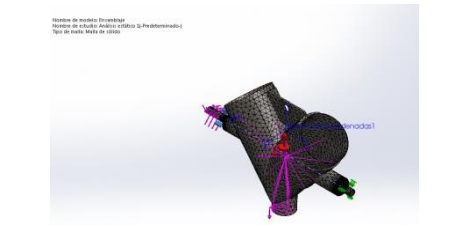
| Nombre de carga | Cargar imagen | Detalles de carga |
|--|---|--|
| Carga/Masa remota (conexión rígida)-1 |  | <p>Entidades: 1 cara(s) Tipo: Carga/Masa (conexión rígida) Sistema de coordenadas: Sistema de coordenadas1 Fuerza Valores: ---, -54.2493, --- N Momento Valores: ---, ---, --- N.m Coordenadas de referencia: 15.51 mm Componentes transferidos: Fuerza</p> |
| Carga remota (Transferencia directa)-1 |  | <p>Entidades: 3 cara(s) Tipo: Carga (transferencia directa) Sistema de coordenadas: Sistema de coordenadas1 Fuerza Valores: ---, -256.041, --- N Momento Valores: ---, ---, --- N.m Coordenadas de referencia: 0 -120 0 mm Componentes transferidos: Fuerza</p> |
| Torsión-1 |  | <p>Entidades: 1 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar momento torsor Valor: 70 N.m</p> |

Tabla 14. Información malla utilizada

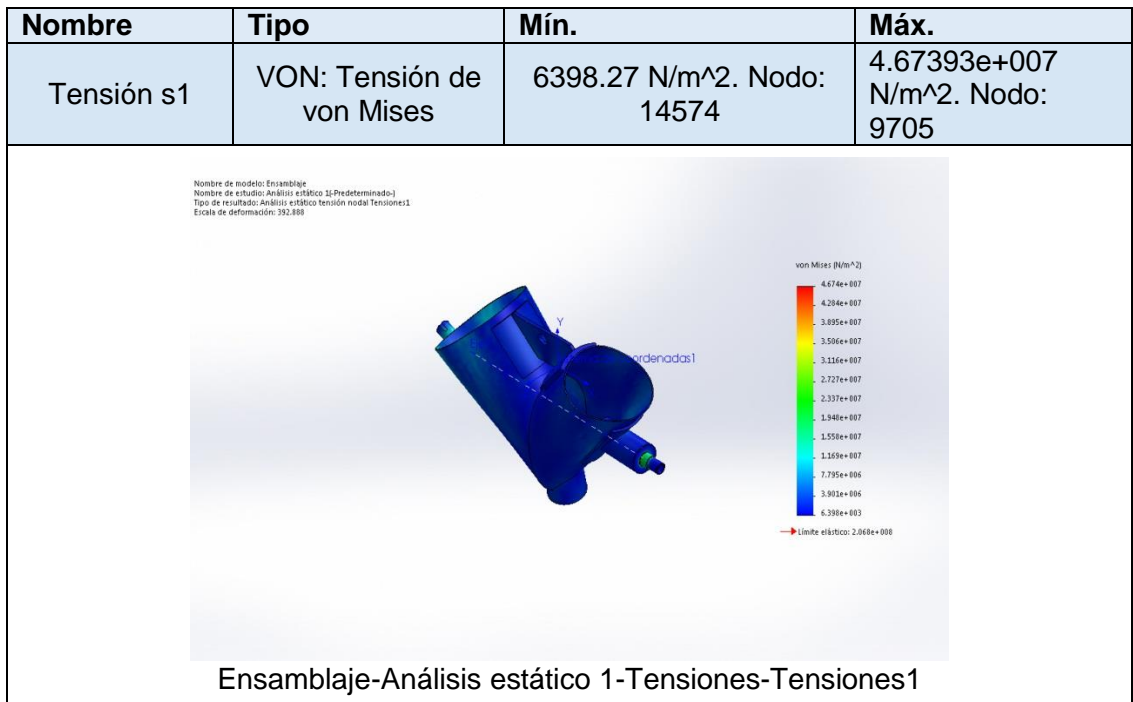
| | |
|---|-------------------------------------|
| Tipo de malla | Malla sólida |
| Mallado utilizado: | Malla basada en curvatura |
| Puntos jacobianos | 4 Puntos |
| Tamaño máximo de elemento | 0.02 m |
| Tamaño mínimo del elemento | 0.004 m |
| Calidad de malla | Elementos cuadráticos de alto orden |
| Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible | Desactivar |

Tabla 15. Control de malla

| Nombre del control de malla | Imagen del control de malla | Detalles del control de malla |
|-----------------------------|--|--|
| Control-1 |  | <p>Entidades: 3 cara (s) Unidades: mm Tamaño: 2 Coficiente: 1.5</p> |
| Control-2 |  | <p>Entidades: 3 cara(s) Unidades: mm Tamaño: 2 Coficiente: 1.5</p> |

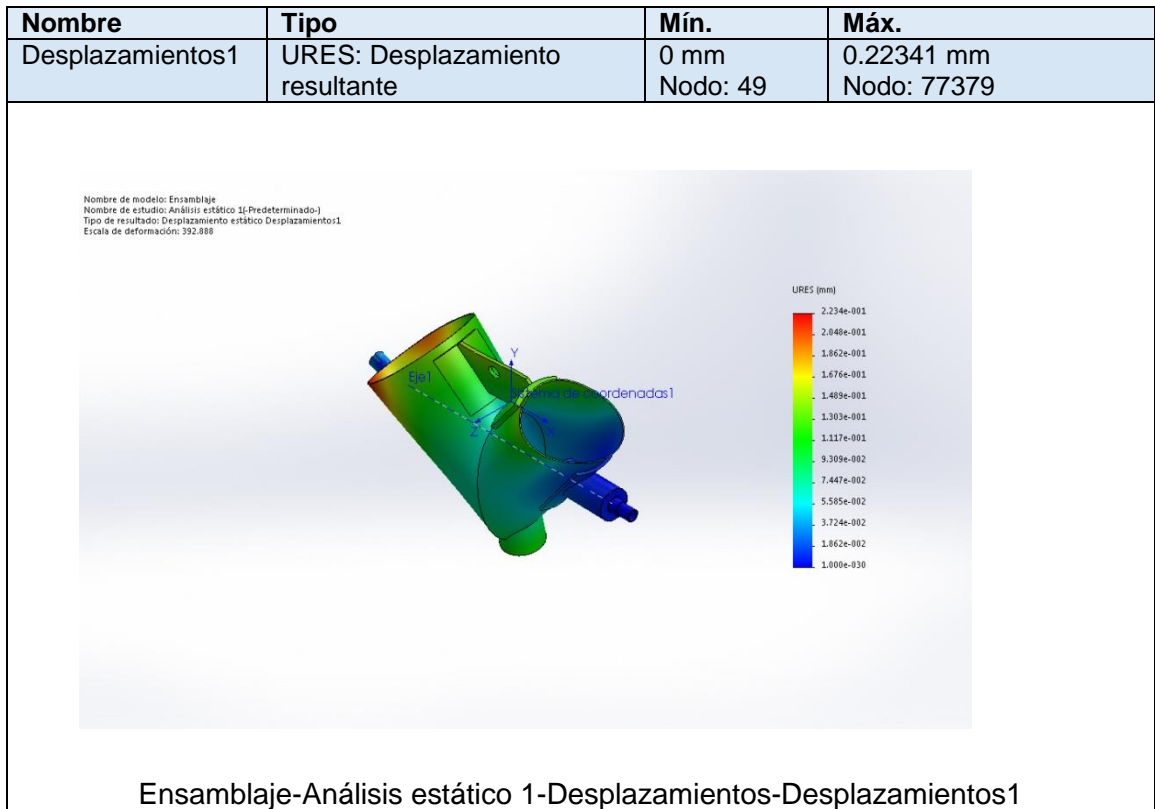
8.1.1. Estudio de esfuerzos. El máximo valor de esfuerzos al que es sometido el conjunto es 46,73 MPa, comparando este esfuerzo con la resistencia a la fluencia del material AISI 304 el cual es de 310 MPa, garantiza que el mezclador no fallara con las cargas aplicadas.

Figura 35. Análisis de desplazamiento



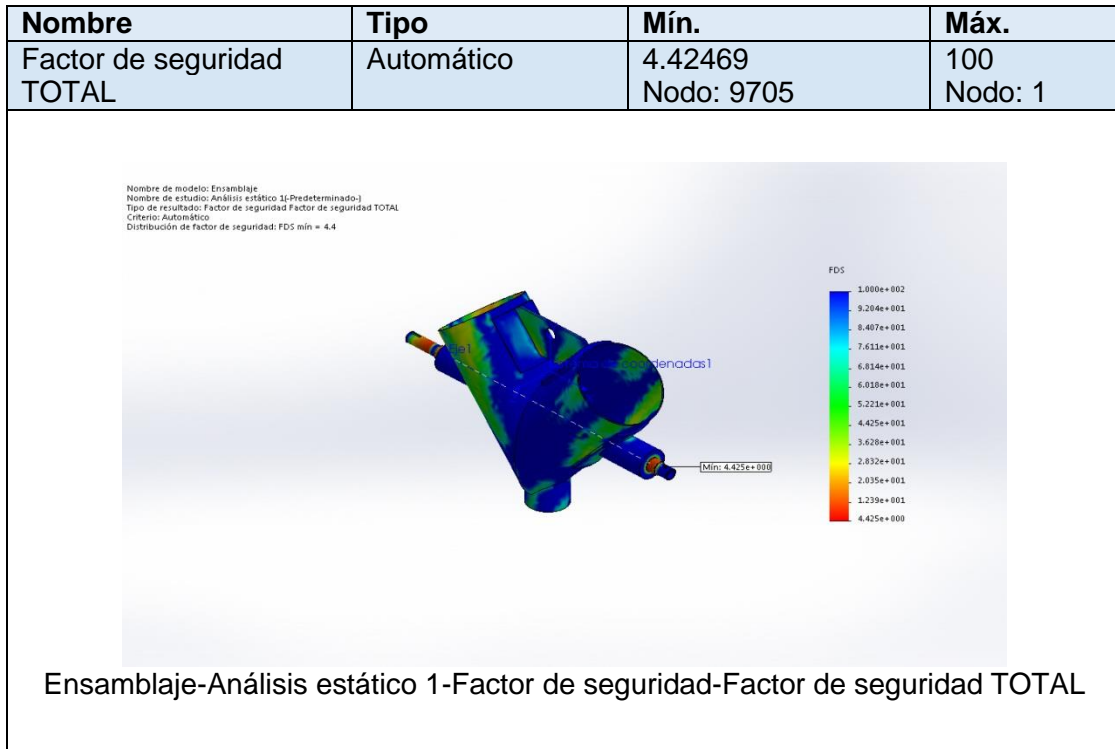
8.1.2. Estudio de desplazamiento. En este estudio de deformación se obtiene un valor máximo de 0,22 mm, lo que asegura que la estructura es suficientemente rígida.

Figura 36. Análisis de desplazamiento



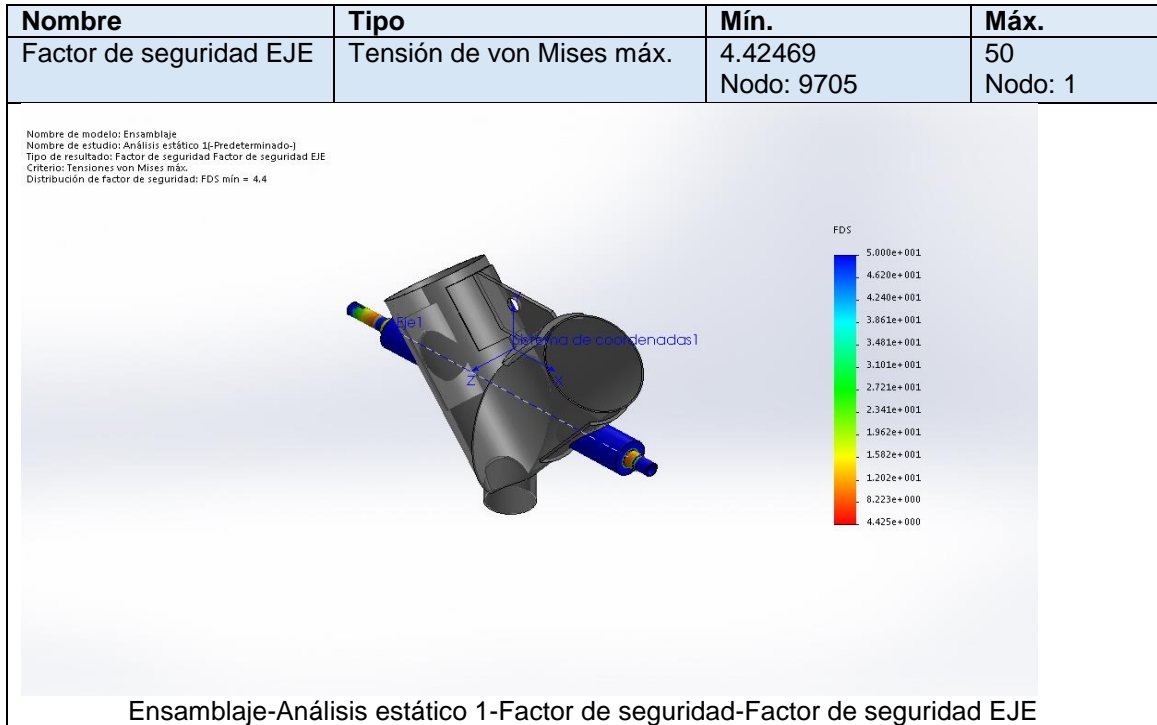
8.1.3. Estudio factor de seguridad en el conjunto. Este estudio nos permite observar que el componente crítico es el eje conducido, con un factor de seguridad mínimo de 4.4, lo que asegura una larga vida para los esfuerzos que se le están aplicando.

Figura 37. Factor de seguridad total



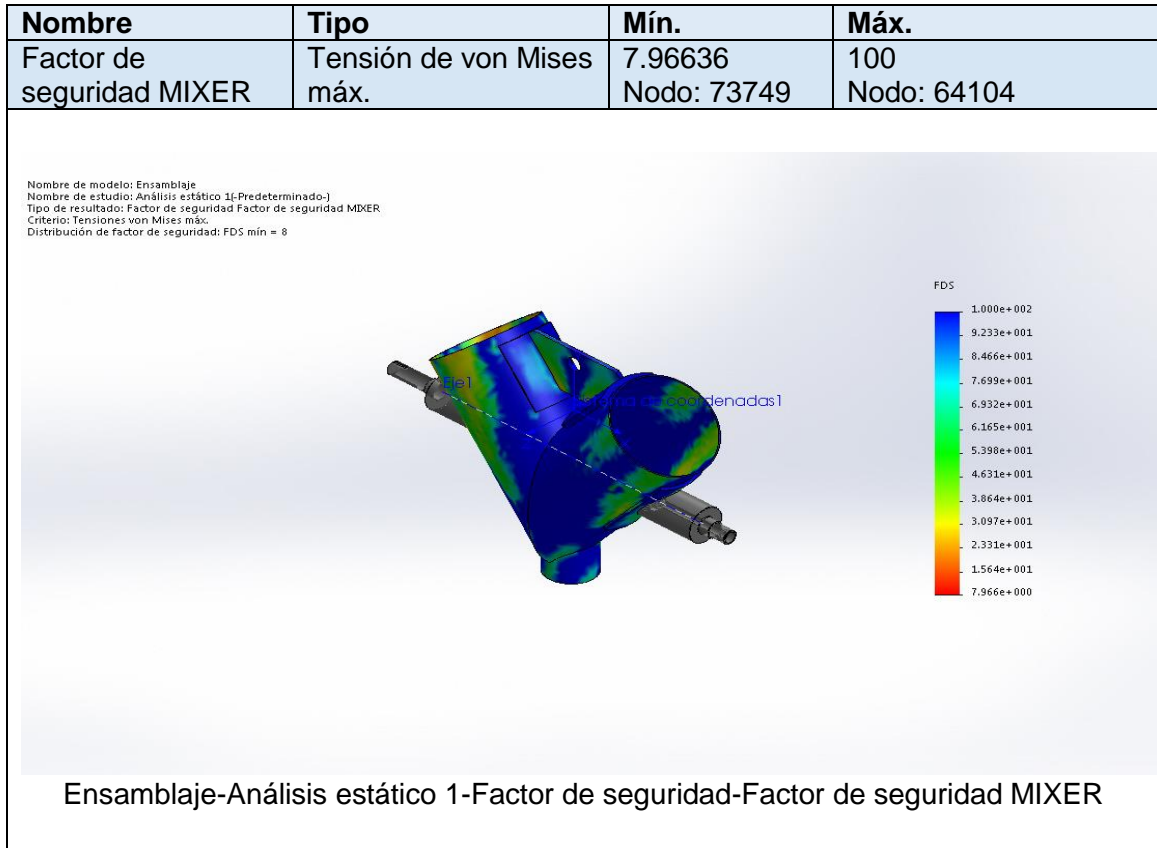
8.1.4. Estudio factor de seguridad en los ejes

Figura 38. Factor de seguridad eje



8.1.5. Estudio factor de seguridad V MIXER

Figura 39. Factor de seguridad V MIXER



Como se puede observar en las gráficas 44, 45 y 46, los componentes del mezclador presentan un factor de seguridad global superior a 4.4, en donde la zona crítica se encuentra localizada en las zonas de cambio de sección de los ejes. De esta forma se concluye que el mezclador no presentará falla debido a las cargas estáticas aplicadas.

8.1.6 Estudio estructural

Figura 40. Estructura analizada

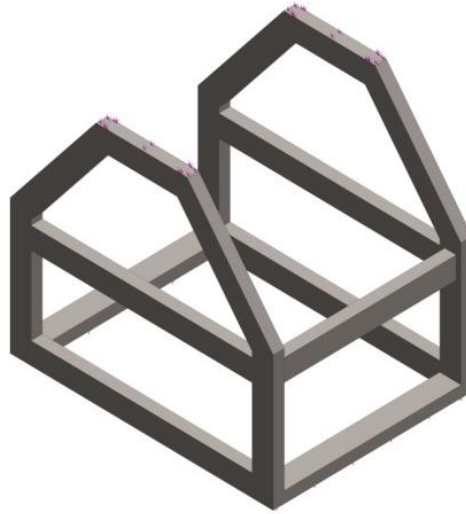
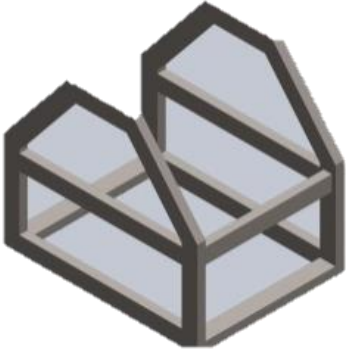
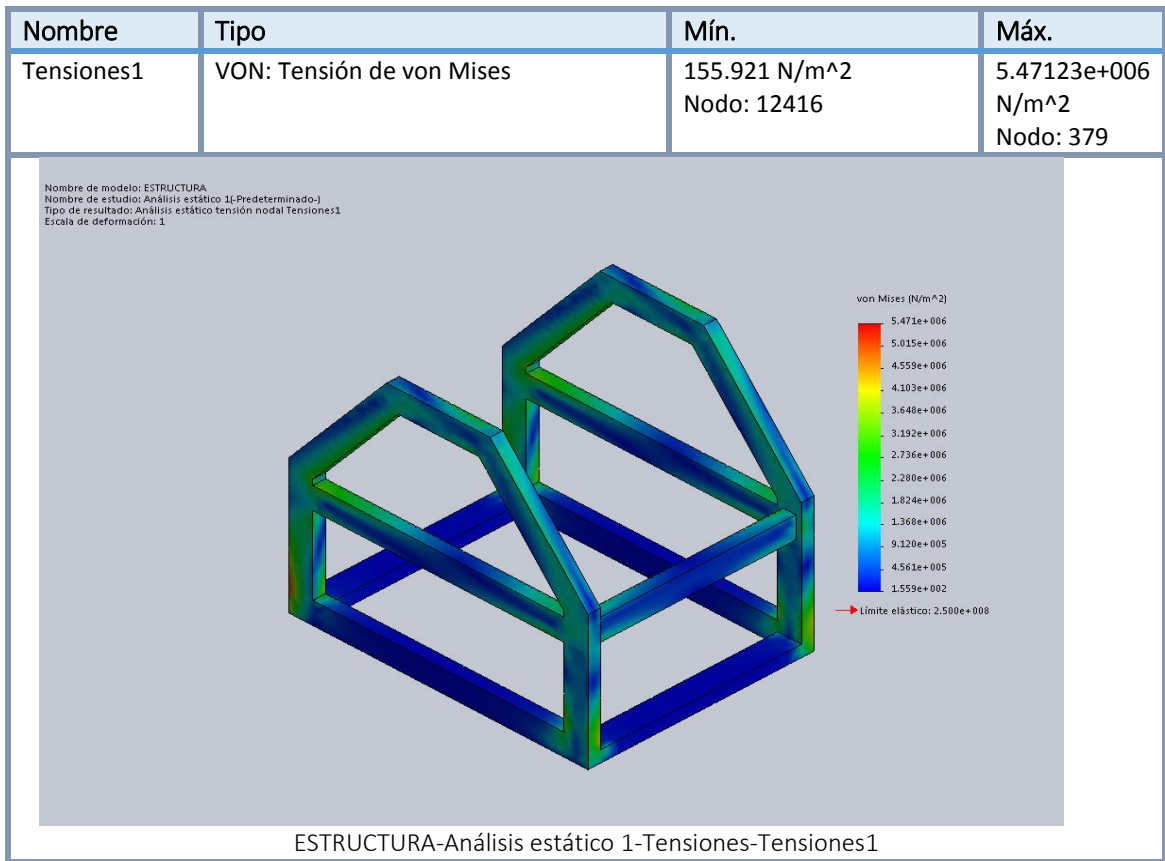


Tabla 15. PROPIEDADES DEL MODELO DE LA ESTRUCTURA

| Referencia de modelo | Propiedades |
|---|--|
|  | <p>Nombre: ASTM A36 Acero Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 2.5e+008 N/m² Límite de tracción: 4e+008 N/m² Módulo elástico: 2e+011 N/m² Coeficiente de Poisson: 0.26 Densidad: 7850 kg/m³ Módulo cortante: 7.93e+010 N/m²</p> |

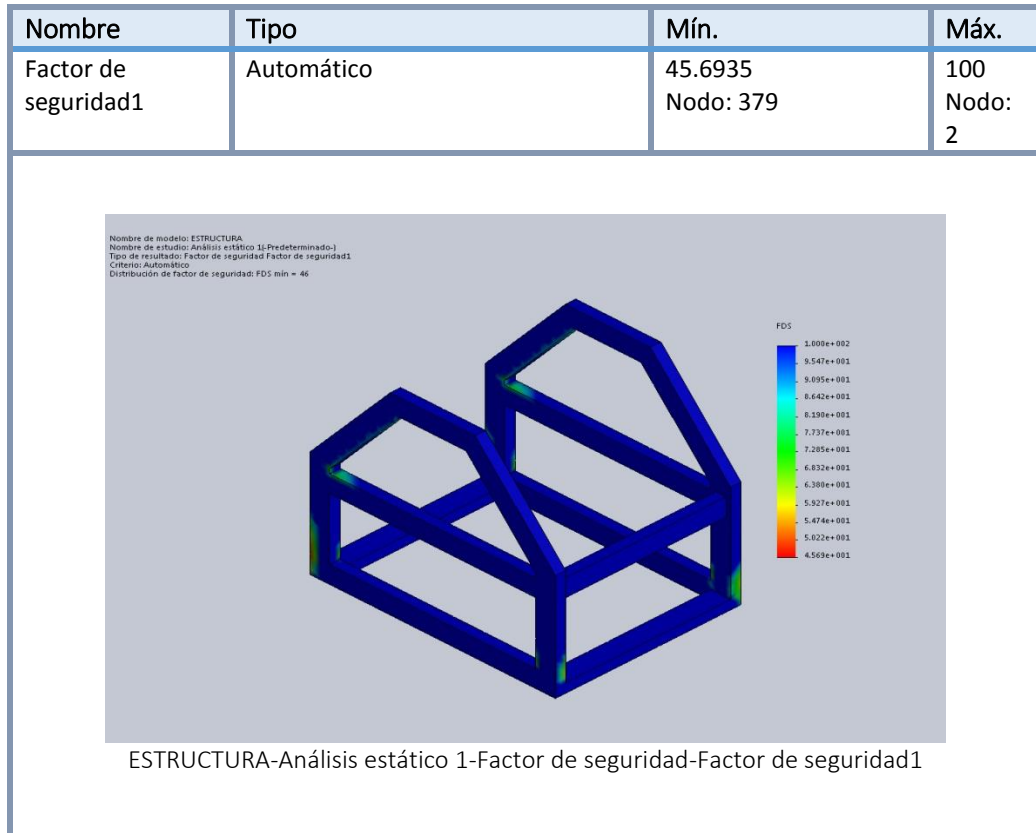
8.1.7 Estudio de esfuerzos. El máximo valor de esfuerzos al que es sometido el conjunto es 6 MPa, comparando este esfuerzo con la resistencia a la fluencia del material ASTM A 36 el cual es de 172 MPa, garantiza que la estructura no fallará con las cargas aplicadas.

Figura 41. Análisis de esfuerzos a la estructura



8.1.8. Estudio de factor de seguridad estructural. La estructura presenta un factor de seguridad superior a 40, por lo cual se garantiza su seguridad y se puede decir que debido a su robustez puede soportar diferente régimen de carga presentando deformaciones despreciables.

Figura 42. Análisis factor de seguridad estructural



8.2 ANÁLISIS DE FATIGA

Para analizar el modelo se supone que el material es uniforme, no se presentan errores de fabricación y las juntas presentan uniones soldadas en excelente condición.

La presión en las paredes del mezclador a causa de material granulado se simulo como un perfil de presión definido por la ecuación $P = \gamma Y$ donde gama es la gravedad específica de material granulado y Y es la altura.

Se hizo uso de la curva ASME (ver figura 50) para análisis de fatiga en aceros al carbono brindada por el software CAD SolidWorks y un factor de reducción a la resistencia a la fatiga igual a 0,6, debido a la diferencias entre el modelo y una probeta de estudio para cargas de fatiga.

Figura 43. Curva de ASME

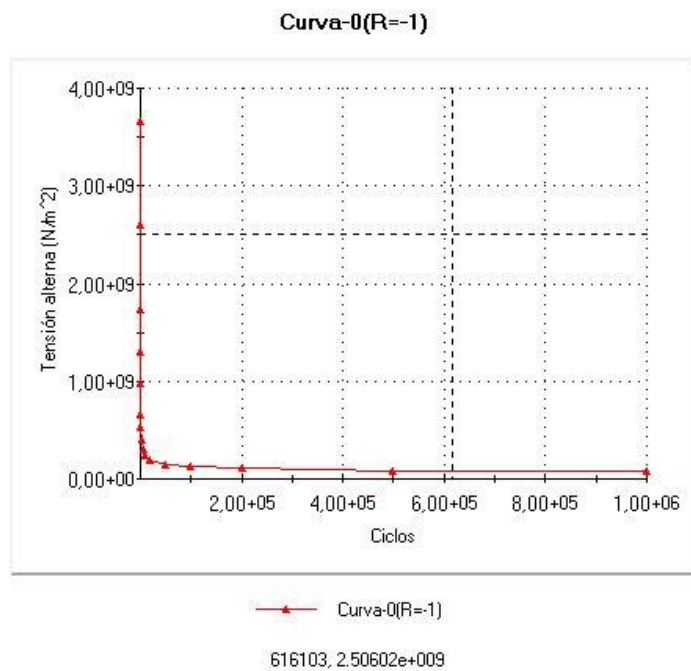
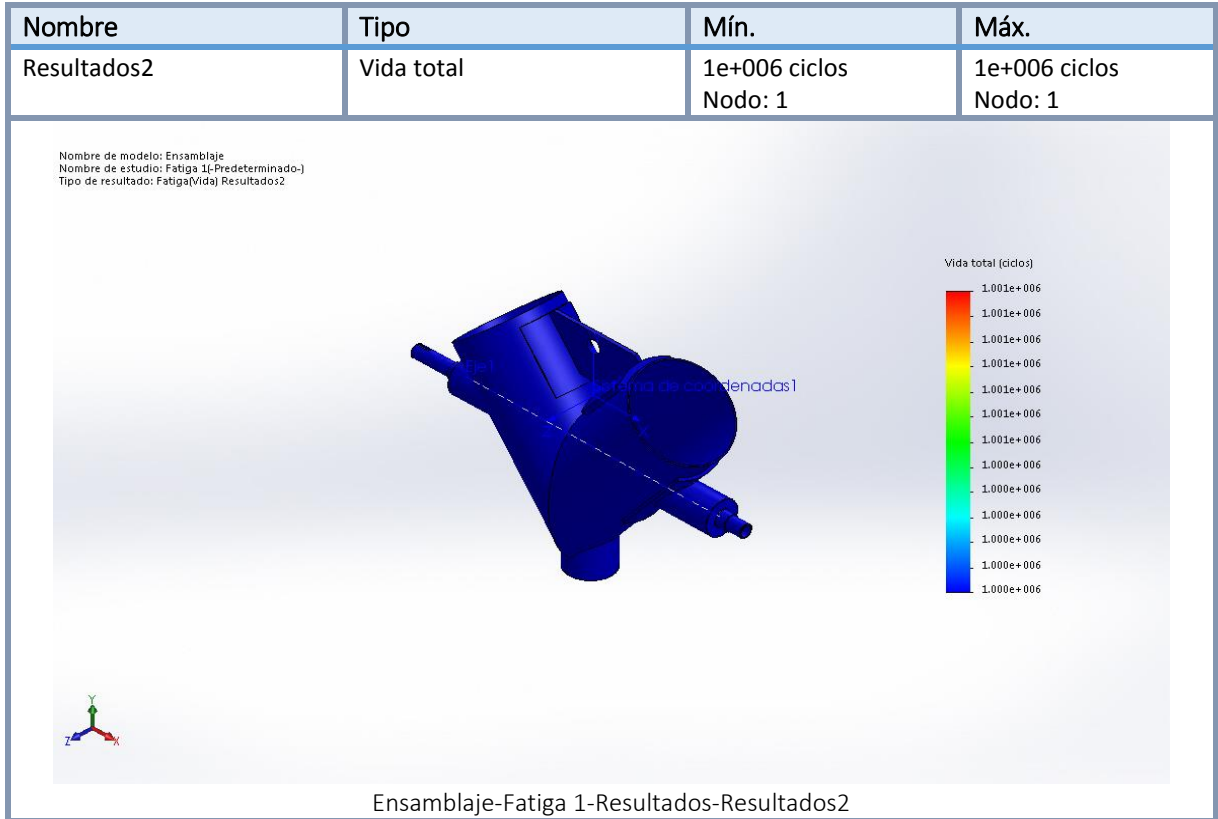


Tabla 16. Propiedades del estudio de fatiga

| | |
|---|---------------------------------|
| Nombre de estudio | Fatiga 1 |
| Tipo de análisis | Fatiga(Amplitud constante) |
| Interacción entre sucesos | Aleatoria |
| Calcular tensiones alternas usando | Tensión equivalente (von Mises) |
| Cara de elemento SHELL | Cara superior |
| Corrección de la tensión media | Goodman |
| Factor de reducción de resistencia a la fatiga | 0.6 |
| Vida infinita | 1e+006 Ciclos |
| Sistema de unidades: | Métrico (MKS) |
| Longitud/Desplazamiento | Mm |
| Temperatura | Kelvin |
| Velocidad angular | Rad/seg |
| Presión/Tensión | N/m ² |

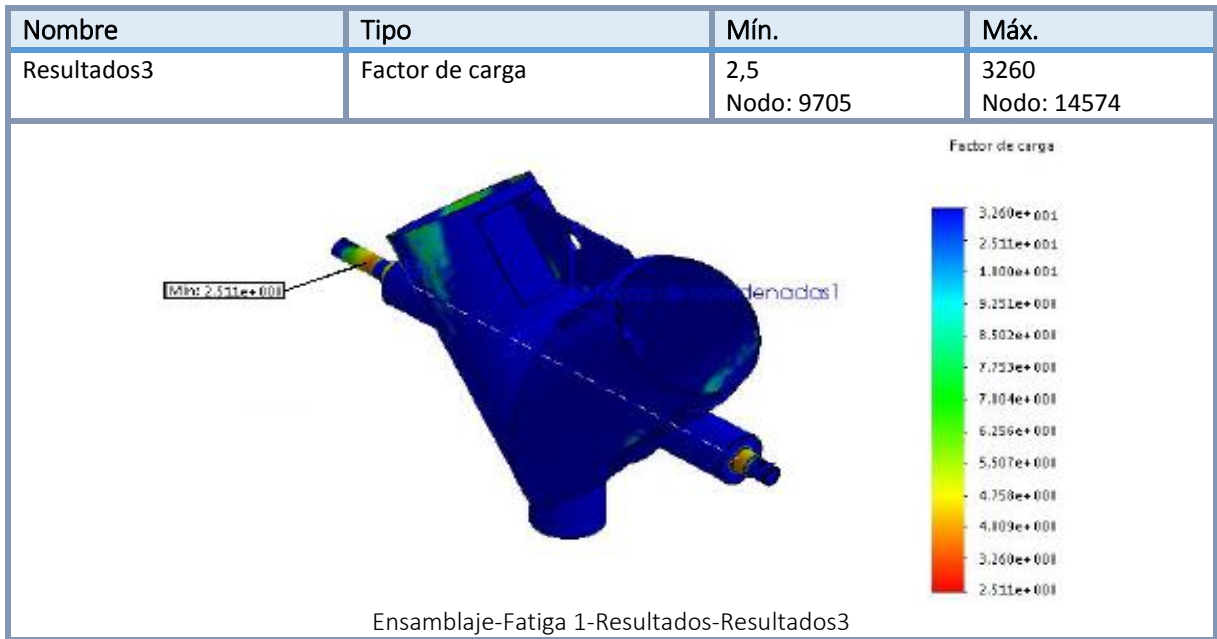
8.2.1. Estudio ciclo de vida. Analizando los resultados de la simulación por fatiga se garantiza que el conjunto tiene un ciclo de vida 1000000 de los esfuerzos que se están aplicando.

Figura 44. Análisis de ciclos de vida



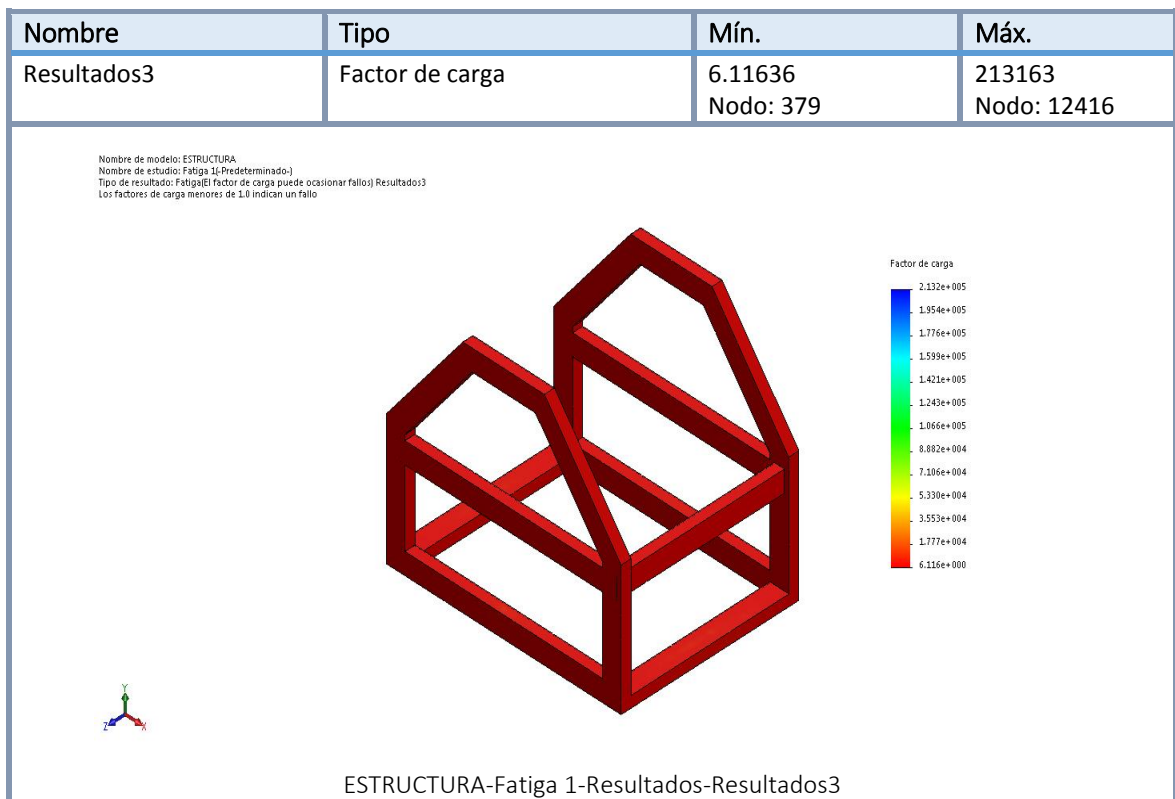
8.2.2. Estudio global factor de seguridad. Como se puede observar en las gráficas, los componentes del mezclador presentan un factor de seguridad global superior a 2.5, en donde la zona crítica se encuentra localizada en las zonas de cambio de sección de los ejes. Además se observa que la vida útil es superior a la vida infinita del material, de esta forma se concluye que la estructura no presentará una falla debido a fatiga.

Figura 45. Análisis factor de seguridad global por fatiga



8.2.3. Estudio factor de seguridad estructura. En este análisis de la estructura por fatiga obtenemos un factor de seguridad mínimo de 6, lo que se asegura un buen comportamiento durante las condiciones de operación.

Figura 46. Análisis factor de seguridad estructura por fatiga



9. CONSTRUCCIÓN

El diseño de la máquina se hizo teniendo en cuenta que los materiales fueran posibles de adquirir en el medio donde se construyera, durante este proceso se llevaron a cabo investigaciones de diferentes tipos de materiales y elementos para ajustarnos al más viable, en el campo de las mezclas de sólidos de acuerdo a los datos calculados.

El proceso de construcción se llevó a cabo en la ciudad de Barranquilla en la planta de mantenimiento de la empresa TICOM S.A, donde con los recursos que disponen se efectuaron la gran mayoría de los procesos realizados a cada componente de la máquina, el corte del desarrollo de los tubos de carga, bridas, tapas de carga se realizó en la empresa RECORTES Y METALES LTDA.

Figura 47. Máquina finalizada



9.1 CILINDRO DE CARGA

Hecho de lámina de acero inoxidable AISI 304, es el más versátil y uno de los más usados de los aceros inoxidable de la serie 300, tiene excelentes propiedades para el conformado y el soldado. Para la fabricación se necesitó de una lámina la cual se le hizo el proceso de rolado para obtener la forma cilíndrica y posteriormente soldada para efectuar los cortes respectivos por medio de plasma, para este proceso fue necesario realizar una proyección del perímetro circular de la parte cilíndrica, la cual se divide en tantas partes como se desee para después proyectarla sobre la vista lateral de la misma sección y así obtener las medidas directamente del dibujo que deberá realizarse a escala natural.

Figura 48. Fabricación cilindros de carga



9.2 TAPAS DE CARGA, BRIDAS Y CIERRE

Para su fabricación se empleó una lámina de acero inoxidable debido a su excelentes propiedades para soldado y especialmente sus acabados, se llevó a cabo este proceso por medio de una máquina cortadora de plasma automatizada, a la cual se le ingresan los parámetros por medio del programa SolidWorks y se efectúa el proceso de cortado.

Figura 49. Fabricación tapas de carga

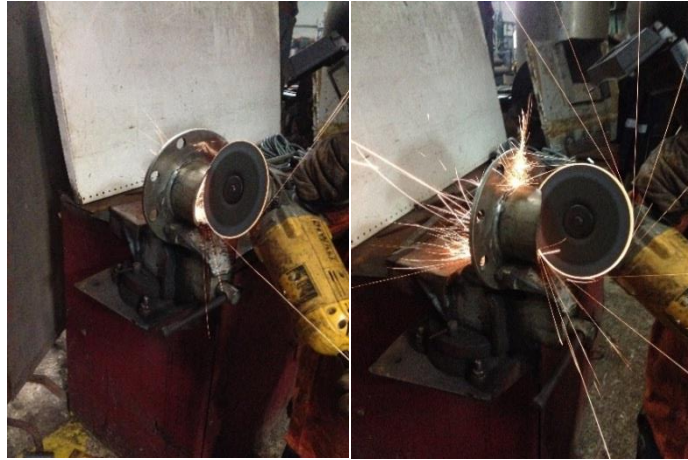


9.3 CILINDRO DE DESCARGA

Construido a partir de un tubo de acero inoxidable de diámetro 10 [cm]. Para su construcción fue necesario hacer el desarrollo de su figura debido a sus cortes en V, donde por medio de una brida soldada apernada a una válvula de descarga tipo lenteja se controla la salida del flujo de mezcla de mortero.

Este tipo de descarga se hizo por practicidad teniendo en cuenta que cuando el mezclador finaliza su ciclo de mezclado queda en posición vertical de acuerdo a la descarga.

Figura 50. Fabricación cilindro de descarga



9.4 CUERPO DEL MEZCLADOR

El contenedor está construido en su totalidad con lámina de acero inoxidable AISI 304, el cual realiza el trabajo de mezclado del mortero por medio de fricción entre el material y las paredes del recipiente, el material corre y cae dentro del recipiente resultando de esto una mezcla de acción difusiva.

Figura 51. Fabricación cuerpo en V



El mezclador en V es de fácil operación, posee una estructura simple, mantenimiento sencillo, no existe contaminación debido a la zona cerrada por las paredes inoxidable, donde por medio de un anillo de cierre hermético instalado entre la brida y el cuerpo del mezclador, se evita tener contacto con el medio ambiente cuando se realiza el mezclado.

Figura 52. Proceso soldado contenedor



9.5 ESTRUCTURA BASE DEL MEZCLADOR.

La estructura es un conjunto de partes que forman un cuerpo, destinadas a soportar los efectos de las fuerzas que actúan en él, cumpliendo con unas condiciones estructurales como la rigidez y resistencia.

Figura 53. Fabricación estructura



9.6 CABINA DE PROTECCIÓN

Construida a partir de fibra de vidrio, para su elaboración fue indispensable el uso de ángulos de soporte para unir la estructura, usando láminas de aluminio que brindan rigidez y protección en la parte posterior de la cabina, cuenta con puertas y ventanas laterales, para facilitar el ingreso de los componentes a mezclar y observar el movimiento de la máquina, respectivamente.

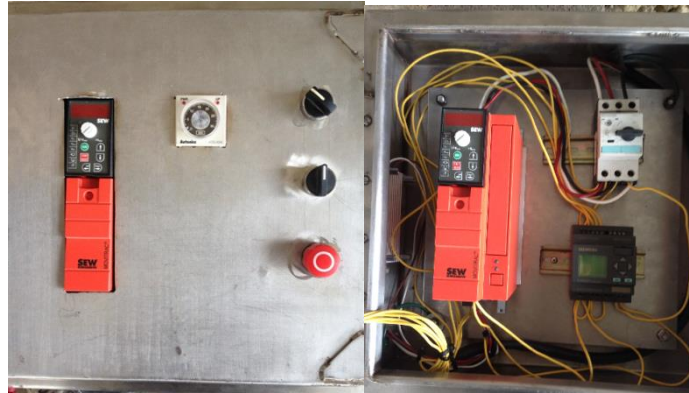
Figura 54. Fabricación cabina de protección



9.7 CAJA DE CONTROL DE MANDO

Construida acero inoxidable, contiene los dispositivos de conexión, maniobra, comando, protección, señalización, con sus cubiertas y soportes correspondientes, su fabricación cumple con los criterios de diseño que permiten su funcionamiento correcto una vez energizado, garantizando la seguridad de los operarios.

Figura 55. Fabricación caja de control



La caja de control está conformada de un botón de encendido y apagado, dando así una energización inicial al sistema, el cual cuenta con un interruptor magneto térmico, especialmente diseñado para la protección de motores eléctricos frente a las sobre intensidades transitorias típicas de los arranques de los motores.

El mezclador se controla principalmente por un selector de tres posiciones el cual activa el modo manual, automático o neutro, al operar el equipo de forma manual se hace indispensable el uso de un temporizador que controle el tiempo de mezclado óptimo y al terminar el ciclo desenergiza el sistema, por medio de la desactivación del Movitrac B, el cual es un variador de frecuencia donde se controla la velocidad de giro del motor por medio de comandos pre establecidos, es necesario ingresar datos de referencia para hacer el control de giro como la potencia del motor, la velocidad angular de giro, voltaje de operación, la frecuencia nominal del motor, la corriente nominal del motor.

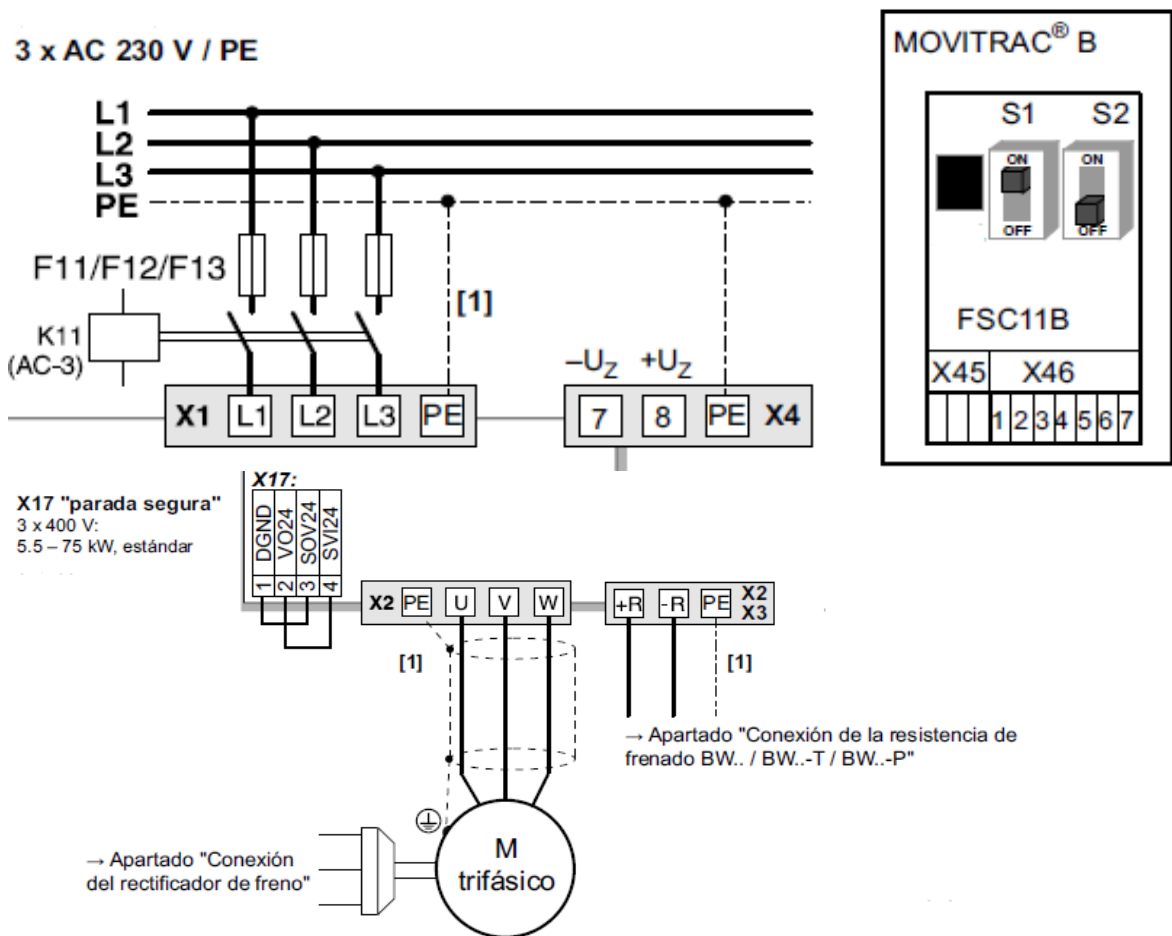
En el modo automático, se cuenta con un LOGO, donde se utiliza un lenguaje de programación de alto nivel funcional y estructurado, sus instrucciones se pueden comprender en diferentes lenguas, siguiendo una secuencia de bloques, esta característica modular y reutilizable de las instrucciones hace que el logo sea muy flexible, recursivo y apto para trabajarse en forma de módulos.⁷

⁷ <https://es.scribd.com/doc/16155171/tableros-electricos>

El tablero de control cuenta con un botón de parada de emergencia el cual desenergiza el circuito de forma inmediata en caso de presentarse alguna alteración o accidente en la manipulación de la máquina⁸.

Se dispone de una conexión a 220 voltios trifásica con puesta a tierra, junto con los bornes de conexión a la red y el motor como se observa en la figura 63, el convertidor de frecuencia va conectado directamente al motor, por medio de una resistencia de frenado se transforma la energía en forma de calor, cuando se dispone a parar la máquina.

Figura 56. Conexiones MOVITRAC® B



⁸ [http://es.wikipedia.org/wiki/Logo_\(lenguaje_de_programaci%C3%B3n\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Logo_(lenguaje_de_programaci%C3%B3n))

10. PROCESOS DE MANUFACTURA

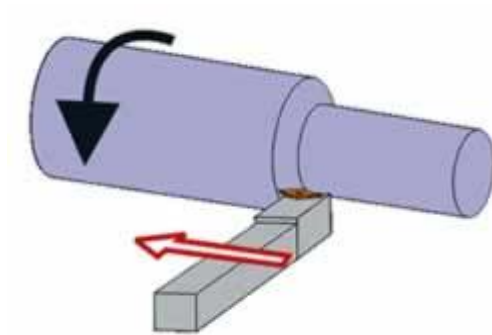
Tabla 17. Procesos de manufactura

| No. | Pieza | Cantidad | Material | Torneado | Taladrado | Roscado | Doblado | Soldado | Corte | Pulido |
|-----|----------------------|----------|-------------------------------------|----------|-----------|---------|---------|---------|-------|--------|
| 1 | CILINDRO CARGA | 2 | AISI 304 | | | | X | X | X | X |
| 2 | CILINDRO DESCARGA | 1 | SCH 4 | | | | | X | X | X |
| 3 | BRIDAS | 3 | AISI 304 | | X | | | X | X | X |
| 4 | TUERCA | 12 | INOX | | | X | | | | |
| 5 | TORNILLO | 12 | INOX | | | X | | | | |
| 6 | VÁLVULA TIPO LENTEJA | 1 | FUNDICIÓN HIERRO | N/A | | | | | | |
| 7 | EMPAQUE | 2 | POLÍMERO | N/A | | | | | | |
| 8 | TAPA | 2 | AISI 304 | X | X | | | X | X | X |
| 9 | ARANDELA | 12 | INOX | N/A | | | | | | |
| 10 | MOTO-REDUCTOR | 1 | | N/A | | | | | | |
| 11 | EJE | 2 | AISI 316 | X | X | X | | | | X |
| 12 | CHAVETA | 2 | AISI 304 | | | | | | X | |
| 13 | BASE ESTRUCTURAL | 1 | ASTM A-36 | | X | | | X | X | X |
| 14 | RODAMIENTO | 4 | CROMO CON ALTO CONTENIDO DE CARBONO | N/A | | | | | | |
| 15 | RETENEDOR | 4 | VITOL | N/A | | | | | | |

10.1 PROCESO DE TORNEADO

El torneado es un proceso de maquinado en el cual una herramienta de una sola punta remueve material de la superficie de una pieza de trabajo cilíndrica en rotación, la herramienta avanza linealmente y en una dirección paralela al eje de rotación. El torneado se realiza tradicionalmente en una herramienta llamada torno, el cual suministra la potencia para poner la pieza a una velocidad de rotación determinada con el avance de la herramienta y profundidad de corte específicos.

Figura 57. Proceso torneado



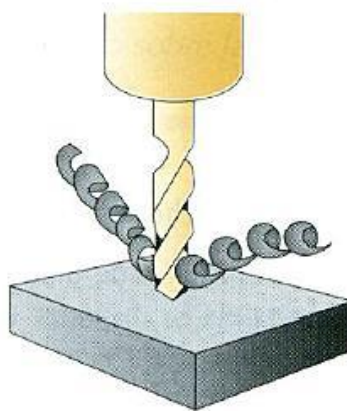
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Proceso-De-Torneado/1289137.html>

El proceso de torneado se aplicó en los ejes y a la tapa de carga de la máquina.

10.2 PROCESO DE TALADRADO

Es una operación de maquinado usada para crear agujeros redondos en una parte del trabajo, por lo general el taladrado se hace con una broca, que tiene dos bordes cortantes en su extremo, la broca avanza en dentro de la pieza de trabajo estacionaria, formando un orificio de igual diámetro de broca.

Figura 58. Proceso taladrado



Fuente: <http://www.imh.es/es/comunicacion/dokumentazio-irekia/manuales/introduccion-a-los-procesos-de-fabricacion/conformacion-por-mecanizado/05-03-taladrado-02.jpg>

El proceso de taladrado se realizó en bridas de carga y descarga, en estructura de montaje.

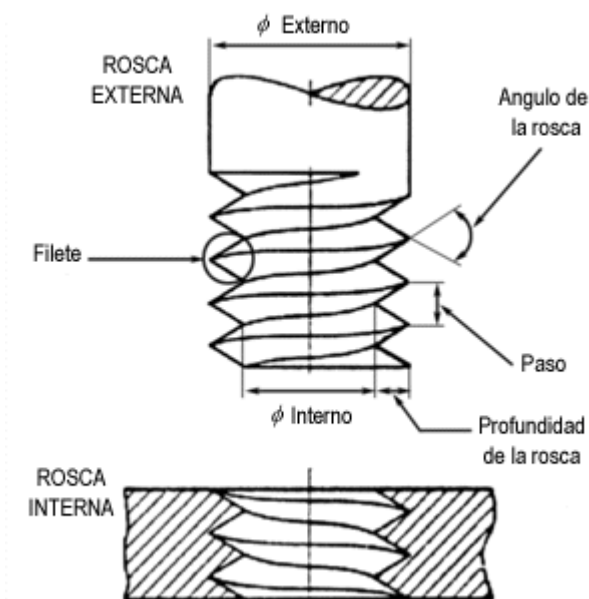
10.3 PROCESO DE ROSCADO

Consiste en la mecanización helicoidal interior (tuercas) y exterior (tornillos) sobre una superficie cilíndrica, esta clase de sistemas de unión y sujeción se encuentra presente en todos los sectores industriales donde se trabaja con materia metálica.

La superficie roscada es una superficie helicoidal, realizada por un perfil determinado, cuyo plano contiene el eje y describe una trayectoria helicoidal cilíndrica alrededor de este eje.

Existen diferentes tipos de rosca que difieren en la forma geométrica de su filete, pueden ser triangulares, cuadradas, trapezoidal, redonda, diente de sierra, las roscas poseen un diámetro exterior que es el diámetro del tornillo.

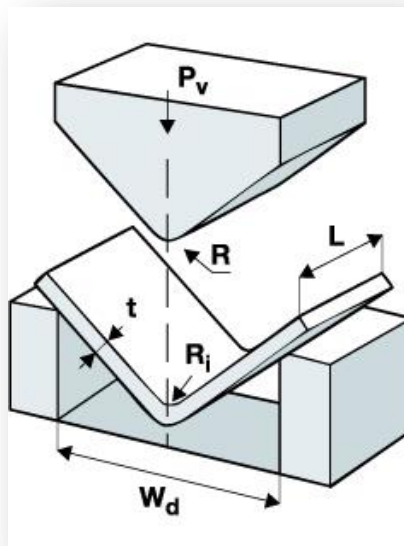
Figura 59. Proceso roscado



10.4 PROCESO DE DOBLADO

El doblado de lámina está definido como la deformación plástica de un acero alrededor de un eje, produciendo poco o ningún cambio en el espesor, durante la operación de doblado el acero por fuera del plano neutral se estira mientras que dentro del plano medio se comprime, adquiriendo un doble permanente al remover las cargas que causaron su deformación.⁹

Figura 60. Proceso de doblado



Los procesos de doblado se realizaron en gran parte de las piezas construidas a partir de lámina de la máquina de mezclador tipo V, este proceso se realizó en una máquina metalmecánica para dobleces de láminas de acero, hierro, entre otros¹⁰.

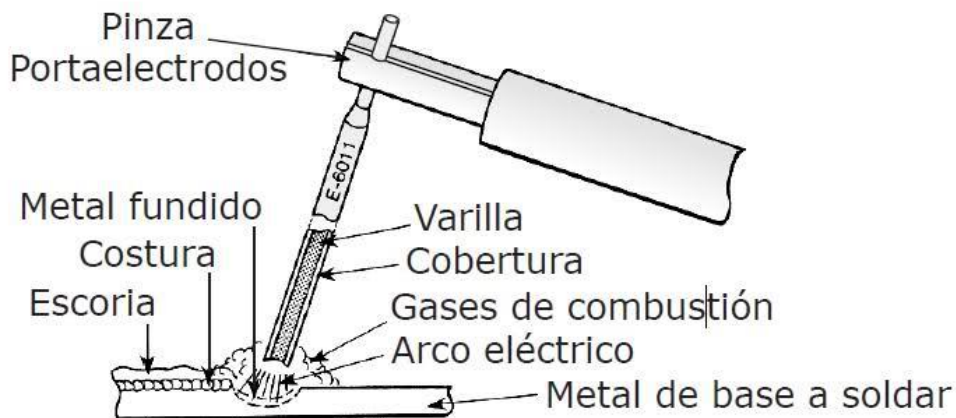
⁹ http://materias.fi.uba.ar/7204/teoricas/conformado_de_laminas_metalicas.pdf

¹⁰ C:\Users\USER\Pictures\ssab_ksc_steelfacts_bending.jpg

10.5 SOLDADURA POR ELECTRODO REVESTIDO

El arco eléctrico se produce entre la pieza y un electrodo metálico recubierto, el recubrimiento protege el interior del electrodo hasta el momento de la fusión, con el calor del arco, el extremo del electrodo se funde y se quema el recubrimiento.

Figura 61. Proceso soldadura por electrodo

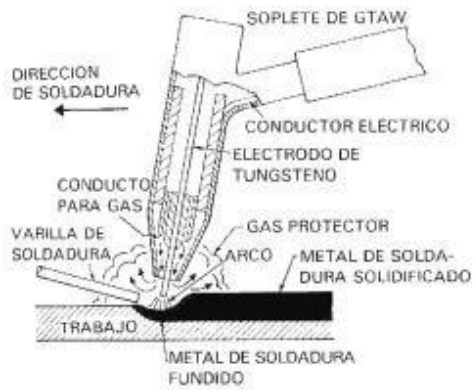


El proceso de soldadura por electrodo revestido se realizó en piezas como: Cilindros de carga, bridas, cilindro de descarga.

10.6 SOLDADURA MIG

Es un proceso de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo de soldadura consumible, el arco se produce mediante un electrodo formado por un hilo continuo y las piezas a unir, quedando este protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte (soldadura MIG).

Figura 62. Proceso soldadura MIG



La soldadura MIG es un proceso versátil, logrando depositar el metal a una gran velocidad y en todas las posiciones, siendo muy utilizado en espesores pequeños y medios en estructura de acero. Las principales características de este proceso son la alta productividad y excelente calidad.¹¹

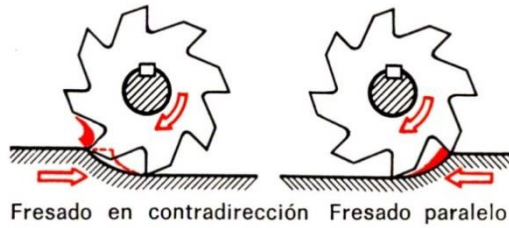
10.7 PROCESO DE FRESADO

Consiste en un corte del material que se va a mecanizar con una herramienta rotativa de varios filos, que se llaman dientes, donde se ejecutan movimientos de avance programados en la mesa de trabajo en casi cualquier dirección de los 3 ejes posibles que se puede desplazar la mesa donde va fijada la pieza que se mecaniza.

El fresado es una operación de corte interrumpido, los dientes de la fresa entran y salen del trabajo, esto interrumpe la acción de corte y sujeta los dientes a un ciclo de fuerzas de impacto y choque térmico.

¹¹ http://mlc-s1-p.mlstatic.com/guia-practica-completa-para-soldadura-electrica-mig-y-tig-964-MLC32872928_3044-O.jpg

Figura 63. Proceso fresado

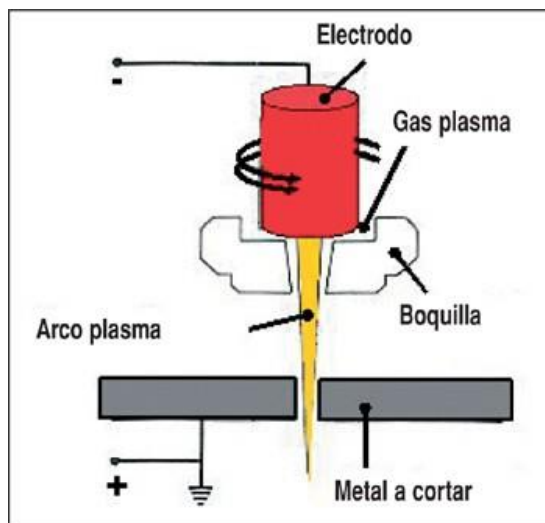


<http://html.rincondelvago.com/000619331.jpg>

10.8 PROCESO DE CORTE POR PLASMA

Se basa en elevar la temperatura del material a cortar de una forma muy localizada y por encima de los 30.000 °C, consiste en provocar un arco eléctrico estrangulado a través de la boquilla del soplete, concentrando la energía cinética del gas, el chorro de plasma lanzado contra la pieza penetra la totalidad del espesor a cortar, fundiendo y expulsando el material, la ventaja principal de este sistema radica en su reducido riesgo de deformaciones debido a la compactación calorífica de la zona de corte.

Figura 64. Proceso corte por plasma



<C:\Users\USER\Pictures\image005.jpg>

El proceso de corte por plasma se realizó en las camisas de sujeción, en los cilindros de carga, lámina de montaje, bridas¹².

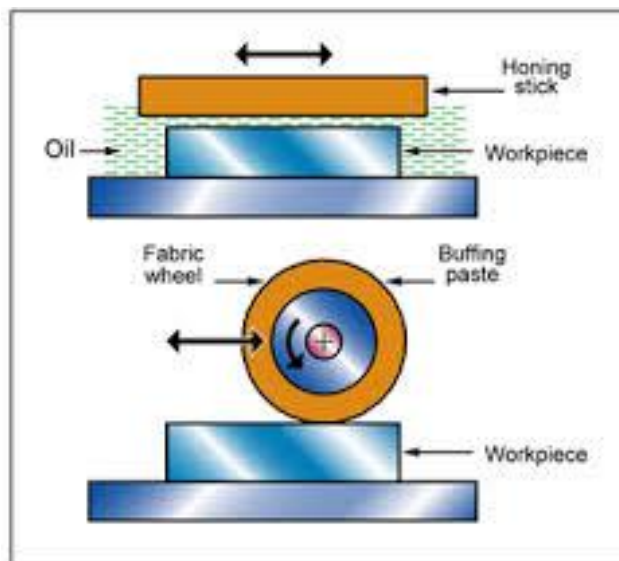
10.9 PROCESO DE PULIDO

Se denomina pulir a una operación mecánica que se realiza en la superficie de varios materiales para mejorar su aspecto visual, su tacto y su funcionalidad.

Las funciones del proceso de pulido son:

- Alisado: se eliminan irregularidades superficiales del metal.
- Abrillantado: remoción de pequeñas irregularidades y afinamiento de la superficie.

Figura 65. Proceso pulido



<http://img840.imageshack.us/img840/2159/pulido.png>

Los procesos de pulido se aplicaron casi a la mayoría de las partes construidas a partir de la lámina de la máquina de mezclado tipo V.

¹² <http://procesoscorteciateq.wikispaces.com/file/view/Corte+por+Plasma.pdf>.

11. RESULTADOS DE LA MUESTRA

Se realizaron pruebas con una velocidad de mezclado de 20 RPM con tres tiempos distintos de tres, seis y nueve minutos respectivamente (ver tabla 18), donde se obtienen mezclas en igual proporción, cada muestra es analizada en el laboratorio de rayos X de la sede de la Universidad Industrial de Santander-Guatiguará.

La preparación de la muestra se llevó a cabo por medio de un mortero de Agata, usado para molienda manual de pequeñas cantidades, los datos se tomaron por medio de un difractómetro de polvo, cuenta con un cargador de muestras de hasta nueve portas, para la realización de análisis de difracción en tiempos más reducidos.

Cada muestra se analizó cuantitativamente mediante el refinamiento por el método de Rietveld del perfil observado, agregándole a la muestra una cantidad conocida de un estándar interno (Aluminum oxide, corundum) correspondiente al 20%.

Tabla 18. Resultado de pruebas

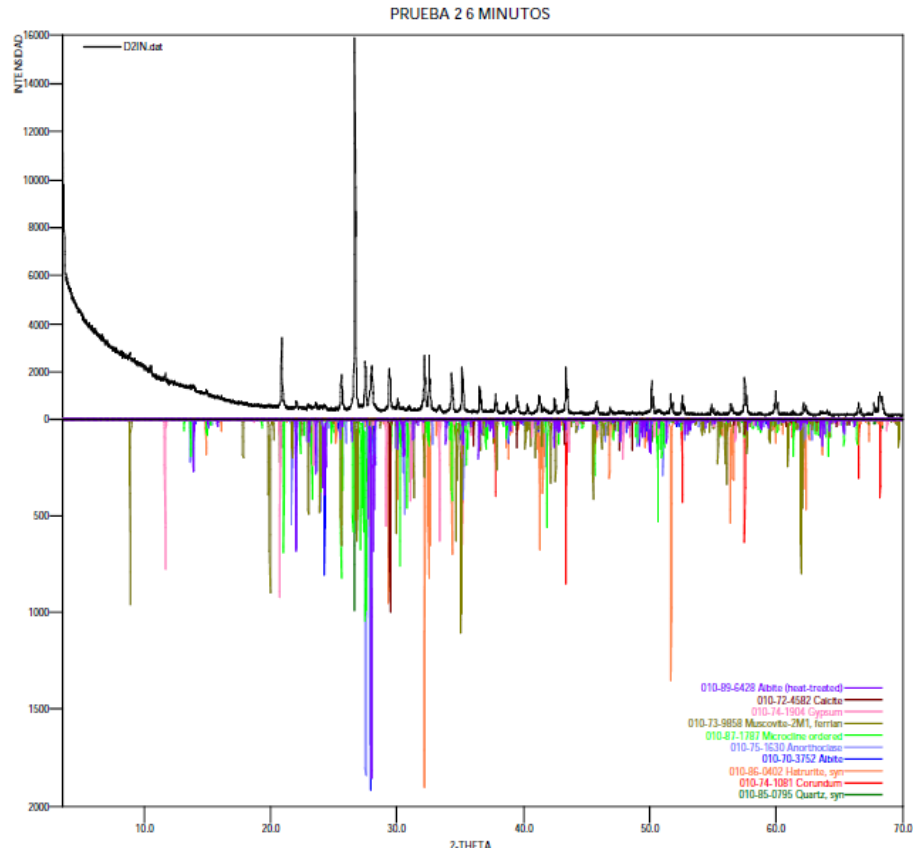
| 1. PRUEBA 1 3 MINUTOS (D2IM) | | | |
|------------------------------|--|------------|--------------------|
| FASE | | NOMBRE | CUANTITATIVO (D.E) |
| Cristalinos | $Ca_2 Si O_6$ | Hatrurita | 27.8 % (0.2) |
| | $Si O_2$ | Cuarzo | 24.3 % (0.2) |
| | $Na (Al Si_3 O_6)$ | Albita | 10.3 % (0.3) |
| | $K Al Si_3 O_6$ | Microclina | 4.2 % (0.1) |
| | $Ca (S O_4) (H_2 O)_2$ | Yeso | 1.7 % (0.1) |
| | $K_{0.07} Na_{0.06} Al_{1.28} Fe_{0.22} (Al_{0.07} Si_{1.18} O_{10}) (OH)_2$ | Moscovita | N.C |
| Total Cristalino | | | 68.3 % |
| Amorfos y otros | | | 31.7 % |

| 2. PRUEBA 2 6 MINUTOS (D2IN) | | | |
|------------------------------|--|-------------|--------------------|
| FASE | | NOMBRE | CUANTITATIVO (D.E) |
| Cristalinos | $Si O_2$ | Cuarzo | 35.5 % (0.2) |
| | $Ca_2 Si O_6$ | Hatrurita | 20.6 % (0.2) |
| | $(Na_{0.06} Ca_{0.02}) (Al Si_3 O_6)$ | Albita | 13.7 % (0.2) |
| | $K (Al Si_3 O_6)$ | Microclina | 6.5 % (0.1) |
| | $(Na_{0.027} K_{0.103}) (Al Si_3 O_6)$ | Anortoclasa | N.C |
| | $Na (Al Si_3 O_6)$ | Albita | N.C |
| | $Ca (C O_3)$ | Calcita | 1.8 % (0.1) |
| | $Ca (S O_4) (H_2 O)_2$ | Yeso | 2.3 % (0.1) |
| | $K_{0.07} Na_{0.06} Al_{1.28} Fe_{0.22} (Al_{0.07} Si_{1.18} O_{10}) (OH)_2$ | Moscovita | 2.3 % (0.2) |
| Total Cristalino | | | 82.7 % |
| Amorfos y otros | | | 17.3 % |

| 3. PRUEBA 3 9 MINUTOS (D2IO) | | | |
|------------------------------|--|------------|--------------------|
| FASE | | NOMBRE | CUANTITATIVO (D.E) |
| Cristalinos | $Ca_2 Si O_6$ | Hatrurita | 20.7 % (0.2) |
| | $Si O_2$ | Cuarzo | 31.5 % (0.2) |
| | $Na (Al Si_3 O_6)$ | Albita | 12.3 % (0.2) |
| | $K Al Si_3 O_6$ | Microclina | 5.5 % (0.1) |
| | $Ca (S O_4) (H_2 O)_2$ | Yeso | 1.8 % (0.1) |
| | $K_{0.07} Na_{0.06} Al_{1.28} Fe_{0.22} (Al_{0.07} Si_{1.18} O_{10}) (OH)_2$ | Moscovita | N.C |
| Total Cristalino | | | 71.8 % |
| Amorfos y otros | | | 28.2 % |

La tabla 18, Nos permite ver que la mejor opción de mezclado se encuentra dada en la prueba dos, donde se invierte un tiempo de 6 minutos a una velocidad de 20 revoluciones por minuto; debido a que los componentes se homogenizan y se observan las proporciones de 8 de arena por 1 de cemento con las cuales se realizó la mezcla, además se realiza una prueba 3 de nueve minutos donde se ratifica que los componentes y la proporciones de mezcla de mantienen, generando un error menos del 4%.

Figura 66. Difracción de rayos X



Los resultados se relacionan únicamente a una muestra analizada, en los perfiles de difracción se observa la fase Corundum- Aluminum Oxide (estándar interno), el cual fue agregado a la muestra en una cantidad conocida para la respectiva cuantificación, se compara el perfil observado con los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del Internacional Centre for Diffraction Data (ICDD).

12. ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo, se presentan los costos en que se incurrió para el diseño y construcción de la máquina mezcladora tipo V para laboratorio, el costo de los elementos y partes que lo constituyen se da a medida del tiempo con que se fue adquiriendo cada uno de ellos.

El costo total de la máquina fue siete millones cuatrocientos cincuenta mil pesos (\$7'450.000). Este precio no tiene incluido el trabajo intelectual de los autores.

A continuación se muestran las tablas donde están consignados todos los costos de fabricación de la máquina mezcladora tipo V.

Tabla 19. Costo de materiales

| ITEM | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO PARCIAL |
|-------------------------------|----------------------------|----------|-----------------|-----------------|
| 1 | orings | 2 | \$ 6.000,00 | \$ 12.000,00 |
| 2 | correas | 1 | \$ 12.000,00 | \$ 12.000,00 |
| 3 | empaques | 4 | \$ 5.000,00 | \$ 20.000,00 |
| 4 | cordón plumaginado | 1 | \$ 15.000,00 | \$ 15.000,00 |
| 5 | eje inoxidable | 5,7 | \$ 18.421,05 | \$ 104.999,99 |
| 6 | mona de bronce | 2,3 | \$ 23.200,00 | \$ 53.360,00 |
| 7 | flanche inoxidable | 2 | \$ 92.201,87 | \$ 184.403,74 |
| 8 | soldadura acero inoxidable | 2 | \$ 62.300,56 | \$ 124.601,12 |
| 9 | acople | 2 | \$ 27.894,00 | \$ 55.788,00 |
| 10 | retenedor 30°40°7 | 4 | \$ 6.960,00 | \$ 27.840,00 |
| 11 | logo siemens | 1 | \$ 336.400,00 | \$ 336.400,00 |
| 12 | temporizador | 1 | \$ 44.080,00 | \$ 44.080,00 |
| 13 | variador | 1 | \$ 1.009.015,00 | \$ 1.009.015,00 |
| 14 | motoreductor | 1 | \$ 700.000,00 | \$ 700.000,00 |
| 15 | disco de pulir | 2 | \$ 7.800,00 | \$ 15.600,00 |
| 16 | tornillo bristol | 4 | \$ 850,28 | \$ 3.401,12 |
| 17 | tornillo inoxidable | 4 | \$ 25.004,66 | \$ 100.018,64 |
| 18 | grasera recta | 2 | \$ 1.400,12 | \$ 2.800,24 |
| 19 | rodamiento | 2 | \$ 106.720,00 | \$ 213.440,00 |
| 20 | broca | 3 | \$ 20.880,00 | \$ 62.640,00 |
| 21 | malla | 3 | \$ 22.894,00 | \$ 68.682,00 |
| 22 | mineral azul | 1 | \$ 3.500,00 | \$ 3.500,00 |
| 23 | cemento blanco | 1 | \$ 20.000,00 | \$ 20.000,00 |
| 24 | arena | 1 | \$ 5.272,00 | \$ 5.272,00 |
| 25 | conectores | 2 | \$ 3.000,00 | \$ 6.000,00 |
| 26 | cable | 1 | \$ 10.800,00 | \$ 10.800,00 |
| | | 52 | | |
| TOTAL COSTO BASICO | | | | \$ 3.211.641,85 |
| VALOR ESTIMADO AJUSTES | | | | \$ 321.164,18 |
| VALOR TOTAL DE LA OBRA | | | | \$ 3.532.806,03 |

Tabla 20. Costo mano de obra

| Costo manufactura | Precio |
|-------------------------------|-----------------------|
| Tubo rolado lamina inoxidable | \$164.999,99 |
| Recorte de tubería inoxidable | \$27.840 |
| Corte tubo | \$46.400 |
| Pintura | \$120.000 |
| acabados finales | \$100.000 |
| Transporte | \$900.000 |
| Otros | \$100.000 |
| Total | \$1.459.239,99 |

Tabla 21. Otros gastos

| Otros gastos | Precio |
|------------------------------------|--------------------|
| Asesoría profesionales | \$1.000.000 |
| Otras asesorías | \$800.000 |
| análisis de pruebas de laboratorio | \$650.000 |
| Papelería | \$307.954 |
| Total | \$2.757.954 |

Tabla 22. Costos totales

| Costos totales | Precio |
|---------------------|-----------------------|
| Costo de materiales | \$3.532.806,01 |
| Costo manufactura | \$1.459.239,99 |
| Otros gastos | \$2.757.954 |
| Total | \$7.750.000,00 |

13. CONCLUSIONES

- Se alcanzó utilizando el método de diseño, construir un mezclador tipo V con las siguientes características: capacidad del mezclador 22 litros totales, densidad máxima de la mezcla conformada por arena, cemento y pigmentos $1700 \frac{kg}{m^3}$, rango de velocidad 15-50 RPM.
- Se logró implementar un sistema de control capaz de variar el rango de velocidad.
- Los sistemas importados vienen limitados a una velocidad específica, se logró implementar un sistema de variación de velocidad, mejorando las propiedades de mezclado.
- La experiencia adquirida durante el desarrollo de este proyecto, fortaleció los criterios en cuanto al diseño, construcción y procesos de manufactura adquiridos en la academia, lo cual permitirá en futuros proyectos mitigar errores y costos.
- Durante la etapa de pruebas que se realizaron a la máquina, se estableció que para 20[RPM], el tiempo óptimo de mezclado de mortero seco es de 6 minutos aproximadamente.
- El mezclador tipo V se diseñó con la opción de instalar un eje agitador interno para mejorar las condiciones de mezcla.

14. RECOMENDACIONES

- Hacer un análisis de muestras, modificando el tamaño de la partícula de los ingredientes, pero manteniendo una similitud entre las densidades de los componentes a mezclar.
- Realizar pruebas de mezclado, colocando un agitador interno para comparar que tanto beneficio se obtiene en el proceso de mezcla, con respecto a las pruebas realizadas en un mezclador en V que no posee estos accesorios.
- Se recomienda trabajar en un lugar limpio, para desarrollar una actitud positiva respecto a la prevención de accidentes y enfermedades que puedan derivarse de la actividad laboral.

BIBLIOGRAFÍA

ARIAS Castro. Gabriel Jaime “rediseño de una central premezcladora de material pulverizado” Medellín – Colombia. Marzo – 2009. 16 paginas. Cuadernos de investigación. Universidad EAFIT artículos [en línea]. Consultado en junio de 2014. Disponible:<http://www.corpoica.org.co/sitioWeb/Documento/JatrophaContrataciones/BODIESEL-EAFIL.pdf#page=87>.

BECKMAN, William y otro, Software desarrollado por dos profesores de la universidad de Wisconsin. [Consultado el agosto 15 de 2014] Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/16155171/tableros-electricos>.

CAIZA Martillo. Raúl Wilfrido “Diseño, construcción y operación de un mezclador para producir abono orgánico a partir de los residuos orgánicos” Guayaquil – Ecuador. Junio – 2013. 122 páginas. Trabajo de grado. Universidad Politécnica Salesiana. Ingeniería industrial. Consultado en junio de 2014. Disponible: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5312/1/UPS-GT000436.pdf>.

FAIRES. V. M. DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS. Editorial Montaner y Simón S.A. Barcelona. 1995. Páginas 411. Pág. 365-388.

FERRER Pérez Alejandro José “Mezclador de partículas sólidas (Anteproyecto)” San Cristóbal – Venezuela. Febrero – 2011. 16 paginas. Anteproyecto de proyecto especial de grado. Universidad Nacional Experimental de Táchira. Ingeniería mecánica. Consultado en junio de 2014. Disponible: http://www.buenastareas.com/ensayos/Mezclador-De-Particulas-Solidas-Anteproyecto/2602509.html?_p=9.

HAMROCK. Bernard J. otros, ELEMENTOS DE MÁQUINAS, Editorial McGraw-Hill. Interamericana de México. Páginas 926. ISBN: 9789701027998. 2.000. págs. 142-149.

Lleal S.A. EQUIPOS DE LABORATORIO, [En línea] “Mezclador de sólidos en v de laboratorio” pagina 15. [Citado en junio de 2014]. Disponible en Internet. http://www.lleal.com/fitxer/855/92_1_vlab.pdf.

PARADA. Corrales Alfredo., FATIGA, fisura progresiva, Edición 1990. Bucaramanga Colombia, pág. 1- 71. Páginas 150.

QuimiNET.com. “los tipos de mezcladores” [En línea] Artículo. QuimiNET.com. [citado en julio de 2014]. Disponible en Internet. http://www.quiminet.com/articulos/los-tipos-de-mezcladores-16423.htm?mkt_source=22&mkt_medium=333854084&mkt_term=66&mkt_content=&mkt_campaign=1.

SERRANO Medrano Román. “diseño de una mezcladora de concreto para un volumen de ½ metro cubico” Michoacán – México. Agosto – 2011. 88 paginas. Trabajo de grado. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. [Consultado en junio de 2014]. Disponible: <http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/123456789/3832/1/DISE%C3%91ODEUNAMEZCLADORADECONCRETOPARAUNVOLUMENMEDIODEPRODUCCION.pdf>.

SIEMENS, Logo: Manual Edición, 06/2003. [En línea] Siemens, 6ED1050-1AA00-0DE5. [Nuernberg, Alemania] Siemens AG 2001 – 2003 [citado 10 octubre de 2014] Disponible en Internet.

https://www.google.com.co/?gfe_rd=cr&ei=6eodVJukB9OEqQXNvICQBg&gws_rd=ssl#q=logo+siemens+230rc