



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

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TAMIZADORA CON UN
SISTEMA DE VAIVEN PARA ARENAS DE MOLDEO EN EL
TALLER DE FUNDICIÓN DE LA EMPRESA MINABRADEC”**

BARRENO BARRENO JUAN ÁNGEL
LEMA LONDO DARWIN SAUL

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2018

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2017-04-18

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

BARRENO BARRENO JUAN ÁNGEL

Titulado:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TAMIZADORA CON UN SISTEMA DE VAIVEN PARA ARENAS DE MOLDEO EN EL TALLER DE FUNDICIÓN DE LA EMPRESA MINABRADEC”

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez
DIRECTOR

Ing. Javier Enrique Orna Chávez
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2017-04-18

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

LEMA LONDO DARWIN SAUL

Titulado:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TAMIZADORA CON UN SISTEMA DE VAIVEN PARA ARENAS DE MOLDEO EN EL TALLER DE FUNDICIÓN DE LA EMPRESA MINABRADEC”

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez
DIRECTOR

Ing. Javier Enrique Orna Chávez
MIEMBRO

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: BARRENO BARRENO JUAN ÁNGEL

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TAMIZADORA CON UN SISTEMA DE VAIVEN PARA ARENAS DE MOLDEO EN EL TALLER DE FUNDICIÓN DE LA EMPRESA MINABRADEC”

Fecha de Examinación: 2018-03-16

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez DIRECTOR			
Ing. Javier Enrique Orna Chávez MIEMBRO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LEMA LONDO DARWIN SAUL

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TAMIZADORA CON UN SISTEMA DE VAIVEN PARA ARENAS DE MOLDEO EN EL TALLER DE FUNDICIÓN DE LA EMPRESA MINABRADEC”

Fecha de Examinación: 2018-03-16

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez DIRECTOR			
Ing. Javier Enrique Orna Chávez MIEMBRO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Barreno Barreno Juan Ángel

Lema Londo Darwin Saul

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Barreno Barreno Juan Ángel y Lema Londo Darwin Saul, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Barreno Barreno Juan Ángel

Cédula de Identidad: 060475622-1

Lema Londo Darwin Saul

Cédula de Identidad: 060347887-6

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primero a mi Dios y a la Virgen de las Mercedes, por guiarme y acompañarme siempre con su protección divina, por permitirme alcanzar una de mis metas propuestas, y ser la luz que siempre guio mi camino cuando tuve momentos difíciles en mi vida personal como académica.

A mis padres Juan Barreno y Gladis Barreno, ya que ellos siempre fueron mi motor y mis ganas de esforzarme cada día más, por siempre estar ahí en todo momento, cuidarme y brindarme su cariño y amor condicional de padres, y por haberme siempre guiado por el camino del bien a través de sus enseñanzas y consejos.

A mis hermanas Leonela y Neiva, por su apoyo y cariño durante toda mi carrera, y a toda mi familia en especial a mis Abuelitos.

Barreno Barreno Juan Ángel

Este trabajo se lo dedico a Dios, a la Virgen María por haber guiarme por el buen camino durante toda mi carrera universitaria, por haberme dado la fuerza para seguir adelante en cumplir mis metas.

A mis padres quienes fueron el pilar fundamental, guiándome y apoyándome en mi educación para ser de mí una persona de bien. A mis hermanos Julio y Luis quienes siempre me apoyaron en tomo momento brindándome cualquier apoyo de forma incondicional.

Lema Londo Darwin Saul

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la Virgen de las Mercedes, por permitirme culminar mi carrera con éxito, siempre cuidarme, darme la fortaleza y la salud en toda mi preparación académica.

A mis padres y familia por darme todo el apoyo necesario en mis estudios, y acompañarme siempre en cada paso de mi carrera universitaria.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por acogerme y enseñarme todos los conocimientos necesarios que me permitirán desempeñarme de la mejor manera en el ámbito profesional, y a la vez ser útil para la sociedad.

Agradezco al Ing. Diego Mayorga y al Ing. Javier Orna, por todo su apoyo brindado y su conocimiento transmitido que me permitieron finalizar con éxito el presente trabajo de titulación.

Barreno Barreno Juan Ángel

El presente trabajo me gustaría agradecer a Dios, a la Virgen María, por bendecirme y por permitirme concluir mi carrera. Por darme la salud, vida y permitirme estar junto con mi familia.

A mis padres por haberme acompañado durante toda mi carrera universitaria, por haberme motivado para culminar mi carrera profesional.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional de bien.

De igual manera agradecer a mi director y asesor de tesis, al Ing. Diego Mayorga, al Ing. Javier Orna, quienes me brindaron su apoyo incondicional

También agradezco a mi gran amiga Mayte por ser una gran persona y estar en los buenos y malos momentos acompañándome

Lema Londo Darwin Saul

CONTENIDO

RESUMEN / ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

	Pág.
1. CAPÍTULO I MARCO REFERENCIAL	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.3 Justificación.....	3
1.3.1 <i>Justificación teórica</i>	3
1.3.2 <i>Justificación metodológica</i>	3
1.3.3 <i>Justificación práctica</i>	3
1.4 Alcance.....	4
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.5.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
2. CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	5
2.1 Fundición en Arena.....	5
2.1.1 <i>Arenas de moldeo</i>	5
2.1.2 <i>Factores que determinan las propiedades de las arenas</i>	8
2.1.3 <i>Propiedades de las arenas de moldeo</i>	8
2.2 Tamizado	8
2.2.1 <i>Estratificación</i>	9
2.2.2 <i>Probabilidad de separación</i>	9
2.2.3 <i>Tipos de Tamizado</i>	10
2.3 Máquinas Tamizadoras	12
2.3.1 <i>Máquina de tamiz oscilante</i>	13
2.3.2 <i>Máquina de tamizado de vaivén</i>	14
2.3.3 <i>Máquina de tamiz rotativo</i>	15
2.3.4 <i>Máquina de tamices estacionarios</i>	15
2.3.5 <i>Máquina de tamiz vibratorio</i>	16
2.4 Componentes principales de una máquina tamizadora.....	17

2.4.1	<i>Tolva</i>	17
2.4.2	<i>Sistemas de transmisión de potencia</i>	18
2.4.3	<i>Energía de entrada a la maquina</i>	19
2.4.4	<i>Tamiz</i>	21
2.4.5	<i>Estructura metálica</i>	22
2.4.6	<i>Carcasa</i>	22
2.5	<i>Diseño</i>	22
2.5.1	<i>Metodología de diseño</i>	24
2.5.2	<i>Herramientas de diseño</i>	26
3.	CAPÍTULO III DISEÑO CONCEPTUAL DE LA MÁQUINA TAMIZADORA PARA ARENAS DE MOLDEO	30
3.1	<i>Metodología para el diseño de la maquina tamizadora de arena</i>	30
3.1.1	<i>Fases del diseño</i>	31
3.2	<i>Determinación de las especificaciones de la máquina</i>	32
3.2.1	<i>Desarrollo de la función de calidad</i>	32
3.2.2	<i>Resultados de la matriz de calidad QFD</i>	37
3.2.3	<i>Especificaciones técnicas</i>	38
3.2.4	<i>Análisis Funcional</i>	40
3.3	<i>Definición de módulos</i>	41
3.3.1	<i>Módulo 1</i>	42
3.3.2	<i>Evaluación de soluciones</i>	46
3.3.3	<i>Criterios de valoración del módulo</i>	47
3.3.4	<i>Características de la solución seleccionada</i>	50
4.	CAPÍTULO IV DISEÑO MECÁNICO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE LA MÁQUINA TAMIZADORA	52
4.1	<i>Mecanismo de movimiento de la máquina</i>	52
4.2	<i>Diseño geométrico y cálculo de las propiedades para los elementos del mecanismo</i>	53
4.2.1	<i>Disco con un eje excéntrico</i>	53
4.2.2	<i>Biela</i>	54
4.2.3	<i>Sistema de tamizaje</i>	54

4.3	Análisis cinemático del mecanismo.....	57
4.3.1	<i>Análisis de posición</i>	58
4.3.2	<i>Análisis de velocidad</i>	59
4.3.3	<i>Análisis de la aceleración:</i>	61
4.4	Aceleraciones de los centros de masas de cada elemento	63
4.5	Análisis de fuerzas dinámicas.....	66
4.5.1	<i>Planteamiento de las ecuaciones dinámicas para cada elemento</i>	68
4.6	Análisis y comparación de fuerzas y torque mediante el software Adams....	72
4.7	Selección del motor	73
4.8	Selección de bandas.	75
4.8.1	<i>Cálculo de la relación de transmisión.</i>	75
4.8.2	<i>Cálculo de la potencia de diseño</i>	75
4.8.3	<i>Selección del perfil de correa.</i>	76
4.8.4	<i>Determinación de los diámetros primitivos de las poleas</i>	76
4.8.5	<i>Determinación de la distancia entre ejes</i>	77
4.8.6	<i>Determinación de la longitud primitiva de la banda</i>	78
4.8.7	<i>Cálculo de la cantidad de correas requeridas</i>	79
4.8.8	<i>Determinación de la distancia mínima y máxima de centros para la instalación</i>	81
4.8.9	<i>Velocidad de la banda.</i>	81
4.8.10	<i>Verificación de los ciclos de flexión</i>	81
4.9	Cálculo de fuerzas en las bandas	82
4.10	Cálculo de cargas que soporta el eje	88
4.11	Diseño del eje de transmisión	91
4.11.1	<i>Calculo de factor de seguridad</i>	94
4.12	Diseño de chavetas.....	97
4.12.1	<i>Diseño por aplastamiento</i>	98
4.13	Selección de Rodamientos y Chumaceras para el eje.....	99
4.13.1	<i>Análisis a carga dinámica</i>	100
4.13.2	<i>Análisis a carga Estática</i>	101
4.13.3	<i>Selección de la chumacera</i>	103
4.14	Disco con un eje excéntrico.	103
4.14.1	<i>Diseño del cordón de soldadura</i>	103
4.15	Diseño de la biela.....	106

4.16	Análisis de la estructura	110
4.17	Sistema de desfogue de la arena	114
4.18	Carcasa.....	115
4.19	Modelación y simulación de la máquina en Adams.	116
4.19.1	<i>Pasos para la modelación.....</i>	<i>117</i>
4.19.2	<i>Resultados de la simulación</i>	<i>120</i>
5.	CAPÍTULO V CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO, MANUAL DE USUARIO, MANTENIMIENTO Y COSTOS DE LA MÁQUINA TAMIZADORA.	122
5.1	Generalidades.....	122
5.2	Sistemas de la máquina tamizadora	122
5.3	Máquinas, Herramientas y Materiales	123
5.4	Procesos y operaciones para la fabricación	125
5.4.1	<i>Flujogramas de construcción</i>	<i>127</i>
5.5	Montaje de la tamizadora.....	129
5.5.1	<i>Flujograma del montaje de los sistemas.....</i>	<i>131</i>
5.6	Pruebas de funcionamiento	132
5.6.1	<i>Prueba de funcionamiento sin carga</i>	<i>132</i>
5.6.2	<i>Prueba de funcionamiento a carga media.....</i>	<i>133</i>
5.6.3	<i>Prueba de funcionamiento a carga máxima</i>	<i>134</i>
5.6.4	<i>Análisis de resultados</i>	<i>134</i>
5.6.5	<i>Pruebas mecánicas de la máquina tamizadora</i>	<i>136</i>
5.7	Verificación de los requerimientos	137
5.8	Manual de operaciones	138
5.8.1	<i>Vista general de la máquina tamizadora de arena.....</i>	<i>138</i>
5.8.2	<i>Características de la máquina tamizadora de arena de moldeo</i>	<i>139</i>
5.8.3	<i>Instalación del equipo.....</i>	<i>140</i>
5.8.4	<i>Instrucciones de operaciones.....</i>	<i>140</i>
5.9	Plan de mantenimiento.....	141
5.9.1	<i>Riesgo y medidas preventivas</i>	<i>142</i>
5.10	Análisis de costos.....	142
5.10.1	<i>Costos directos.....</i>	<i>143</i>
5.10.2	<i>Costos indirectos.....</i>	<i>145</i>

5.10.3	<i>Costos totales</i>	146
5.11	Rentabilidad del equipo	146
5.11.1	<i>Depreciación</i>	146
5.11.2	<i>Cálculo de la depreciación</i>	147

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-3: Matriz QFD (Casa de la calidad)	36
Tabla 2-3: Niveles máximos de ruidos permisibles según uso del suelo	38
Tabla 3-3: Nivel de ruido de Maquinaria	38
Tabla 4-3: Especificaciones técnicas	39
Tabla 5-3: Alternativas para la maquina tamizadora de arena.....	43
Tabla 6-3: Evaluación de criterios.....	48
Tabla 7-3: Evaluación de confiabilidad.....	48
Tabla 8-3: Evaluación del costo	49
Tabla 9-3: Evaluación de Potencia	49
Tabla 10-3: Evaluación de la clasificación diferente.....	49
Tabla 11-3: Conclusión de la elección de alternativas	49
Tabla 12-3: Pre diseño de la máquina.....	50
Tabla 1-4: Dimensiones y propiedades de los elementos del mecanismo.....	65
Tabla 2-4: Tabla de datos para la selección del motor	74
Tabla 3-4: Datos de placa del motor seleccionado	74
Tabla 4-4: Diámetro mínimo de la polea, según el perfil de correa	76
Tabla 5-4: Valores de los parámetros para el cálculo de fuerzas.....	84
Tabla 6-4: Valores de masa por unidad según el perfil de correa	84
Tabla 7-4: Parámetros de bandas en V	87
Tabla 8-4: Parámetros de durabilidad para bandas en V	88
Tabla 9-4: Propiedades Mecánica de acero AISI 1018	91
Tabla 10-4: Datos de la chaveta.....	98
Tabla 11-4: Datos técnicos del rodamiento	103
Tabla 12-4: Datos técnicos de la chumacera	103
Tabla 13-4: Propiedades mínimas del metal de aporte	104
Tabla 14-4: Propiedades Mecánica de acero AISI 1020	106
Tabla 15-4: Cargas presentes en la estructura	111
Tabla 16-4: Propiedades físicas de los materiales	114
Tabla 1-5: Componentes de la máquina tamizadora.....	123
Tabla 2-5: Máquinas, Equipos y elementos para la construcción.....	124
Tabla 3-5: Tiempos de fabricación de cada elemento de la máquina	125

Tabla 4-5: Montaje de la estructura	129
Tabla 5-5: Montaje del sistema de tamizaje	129
Tabla 6-5: Montaje del sistema de transmisión de potencia	130
Tabla 7-5: Montaje del sistema eléctrico.....	130
Tabla 8-5: Tiempos de montaje de cada sistema	130
Tabla 9-5: Prueba de funcionamiento sin carga	133
Tabla 10-5: Prueba de funcionamiento a carga media.....	133
Tabla 11-5: Prueba de funcionamiento a carga máxima	134
Tabla 12-5: Pruebas mecánicas de la máquina.	136
Tabla 13-5: Verificación de los requerimientos del usuario.....	137
Tabla 14-5: Verificación del criterio del ingeniero	137
Tabla 15-5: Vista de la máquina tamizadora de arena.....	138
Tabla 16-5: Vista de la máquina tamizadora de arena.....	139
Tabla 17-5: Inicio de proceso de tamizado	140
Tabla 18-5: Inicio de proceso de tamizado.....	141
Tabla 19-5: Costos de materiales.....	143
Tabla 20-5: Costos de equipos y herramientas	144
Tabla 21-5: Costos de mano de obra	144
Tabla 22-5: Costo total directo	145
Tabla 23-5: Costos indirectos	145
Tabla 24-5: Costos totales	146
Tabla 25-5: Depreciación por años.....	148

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Arena Sílica.....	7
Figura 2-2: Proceso de tamizado	9
Figura 3-2: Probabilidad de separación.....	10
Figura 4-2: Tamizado manual	11
Figura 5-2: Proceso de tamizado giratorio	11
Figura 6-2: Proceso de tamizado vibratorio	12
Figura 7-2: Máquina de Tamizado oscilante	14
Figura 8-2: Máquina de tamizado de vaivén	14
Figura 9-2: Máquina de tamiz rotatorio.....	15
Figura 10-2: Máquina de tamiz estacionario	16
Figura 11-2: Máquina de tamiz vibratorio.....	17
Figura 12-2: Tolva rectangular	17
Figura 13-2: Sistema de transmisión por cadena.....	19
Figura 14-2: Motor eléctrico	20
Figura 15-2: Motor de combustión interna.....	20
Figura 16-2: Mallas metálicas	21
Figura 17-2: Criba metálica oblonga	21
Figura 18-2: Estructura metálica	22
Figura 19-2: Carcasa para sistema de transmisión	22
Figura 1-3: Fases para el diseño de la máquina tamizadora	31
Figura 2-3: Zaranda de la competencia	34
Figura 3-3: Zaranda eléctrica de la competencia.....	35
Figura 4-3: Análisis Funcional-Nivel 0.....	40
Figura 5-3: Análisis funcional-Nivel 1	40
Figura 6-3: Análisis funcional-Nivel 2.....	41
Figura 7-3: Generación del módulo.....	42
Figura 8-3: Alternativa 1	44
Figura 9-3: Alternativa 2	45
Figura 10-3: Alternativa 3	46
Figura 1-4: Mecanismo biela-manivela.....	53
Figura 2-4: Geometría del disco con un eje excéntrico.....	53
Figura 3-4: Geometría de la biela.....	54

Figura 4-4: Marco de la malla	55
Figura 5-4: Soporte de la malla	56
Figura 6-4: Cálculo de las propiedades del sistema de tamizaje	57
Figura 7-4: Mecanismo biela-manivela.....	58
Figura 8-4: Centros de masas de los eslabones de manivela biela	63
Figura 9-4: Mecanismo biela-manivela.....	66
Figura 10-4: Componentes del mecanismo biela-manivela	66
Figura 11-4: Diagramas del cuerpo libre de cada elemento del mecanismo.....	67
Figura 12-4: Geometría en Adams del mecanismo	72
Figura 13-4: Diagrama de Poleas	82
Figura 14-4: Distribución de Fuerzas en la correa	83
Figura 27-4: Componentes de las fuerzas en la correa.....	85
Figura 16-4: Diagrama de fuerzas que actúan sobre el eje.....	89
Figura 17-4: Geometría del eje de Transmisión	94
Figura 18-4: Chaveta del eje de transmisión	97
Figura 19-4: Chaveta del eje de transmisión	98
Figura 20-4: Chaveta del eje de transmisión	99
Figura 38-4: Disco con un eje excéntrico.....	103
Figura 39-4: Biela del mecanismo.....	106
Figura 40-4: Biela del mecanismo.....	107
Figura 24-4: Estructura de la Tamizadora	110
Figura 25-4: Ubicación de las cargas muertas en la estructura	111
Figura 26-4: Ubicación de la carga viva sobre la estructura	112
Figura 27-4: Factores demanda capacidad	112
Figura 28-4: Deformación debido a las cargas.....	113
Figura 29-4: Tolva principal.....	114
Figura 30-4: Tolva secundaria.....	115
Figura 31-4: Geometría de la carcasa	116
Figura 32-4: Modelación de la máquina en el software Adams	116
Figura 33-4: Importación del modelo a Adams.....	117
Figura 34-4: Asignación de material a los componentes.....	118
Figura 35-4: Ubicación de conexiones	118
Figura 36-4: Ubicación del sistema de poleas	119
Figura 37-4: Asignación de la velocidad.....	120

Figura 38-4: Masa total del sistema de tamizaje	120
Figura 1-5: Flujograma de construcción de la estructura	127
Figura 2-5: Flujograma de construcción del sistema de tamizaje	128
Figura 3-5: Flujograma de construcción del sistema de transmisión	128
Figura 4-5: Flujograma de operaciones del sistema eléctrico	128
Figura 5-5: Flujograma del montaje de la máquina.....	131
Figura 6-5: Sistema de tamizaje	131
Figura 7-5: Sistema de transmisión de potencia.....	132
Figura 8-5: Máquina tamizadora	132

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1-4: Determinación de la posición del sistema de tamizaje.....	59
Gráfico 2-4: Determinación de la velocidad angular de la biela	61
Gráfico 3-4: Determinación de la velocidad lineal del sistema tamizaje	61
Gráfico 4-4: Determinación de la aceleración angular de la biela.....	62
Gráfico 5-4: Determinación de la aceleración sistema de tamizaje.....	63
Gráfico 6-4: Aceleración del cm en x del disco	65
Gráfico 7-4: Determinación de la aceleración del cm en x de la biela	66
Gráfico 8-4: Cálculo de la Fuerza F_{Ax}	70
Gráfico 9-4: Cálculo de la Fuerza F_{Cx}	71
Gráfico 10-4: Cálculo del Torque T_A	71
Gráfico 11-4: Cálculo de la fuerza (F_{Ax})	72
Gráfico 12-4: Análisis del torque T_A en el eje de transmisión.....	73
Gráfico 13-4: Fuerzas actuantes en el disco	89
Gráfico 14-4: Diagrama de momento flector en el plano YZ.....	90
Gráfico 15-4: Diagrama de momento flector en el plano XZ.....	90
Gráfico 16-4: Esfuerzo sinusoidal completamente invertido	92
Gráfico 17-4: Torque en el eje en función del ángulo θ_2	92
Gráfico 18-4: Aceleración del sistema de tamizaje	120
Gráfico 19-4: Torque en el eje del motor	121
Gráfico 20-4: Potencia del motor	121

LISTA DE ABREVIACIONES

GEDAR	Gestión de Aguas y Residuo
QFD	Quality function deployment
AMFE	Análisis modal de fallos y efectos
DFX	Diseño por factores
CAD	Diseño asistido por computadora
CAE	Ingeniería asistida por computadora
CAM	Fabricación asistida por computadora
DFMA	Design for manufacturing and assembly
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ANSI	American National Standards Institute
ASME	American Society of Mechanical
AISC	American Institute of Steel Construction

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A. Propiedades de las platinas
- ANEXO B. Selección de la Malla
- ANEXO C. Propiedades de los ángulos estructurales
- ANEXO D. Programación y cálculos en el software Matlab
- ANEXO E. Comportamiento de los tipos básicos de correa ante algunos criterios comparativos
- ANEXO F. Tablas para los factores K_o , K_i y K_e
- ANEXO G. Selección del perfil de correa
- ANEXO H. Longitudes primitivas de las correas
- ANEXO I. Factor de corrección del arco de contacto K_θ
- ANEXO J. Factor de corrección de la longitud de la correa K_ρ
- ANEXO K. Potencia básica y potencia adicional para la relación de velocidad
- ANEXO L. Distancia mínima y máxima entre centros para la instalación
- ANEXO M. Sensibilidad a la muesca q
- ANEXO N. Factor de superficie para el acero K_a
- ANEXO Ñ. Factor de confiabilidad K_e
- ANEXO O. Constante de Neuber para aceros
- ANEXO P. Factores teóricos de concentración de esfuerzo K_t para torsión y flexión
- ANEXO Q. Dimensiones de la chaveta en función al diámetro del eje
- ANEXO R. Factores f_n y f_h
- ANEXO S. Rodamiento seleccionado
- ANEXO T. Carga radial dinámica equivalente
- ANEXO U. Propiedades flexionantes de las soldaduras de filete

RESUMEN

El diseño y construcción de una máquina tamizadora de arenas de molde para implementar en la empresa MINABRADEC, se realizó en base a la necesidad de mejorar el tiempo de tamizado y disminuir el número de operarios que se emplea en este procedimiento, para así sustituir el tamizado manual que se realizaba mediante una zaranda y la utilización de 2 a 3 operarios. Mediante la ingeniería concurrente y la metodología de la matriz QFD, se analizó las necesidades y requerimientos de la empresa para hacer una comparativa con la competencia, posteriormente se analizó las mejores alternativas para conformar la máquina, teniendo en cuenta la calidad, el entorno, costos, apariencia y requerimientos, dando como resultado una máquina de oscilación con el fin de obtener un sistema de vaivén que se asemeja a un tamizado manual, la máquina tamizadora está formada por un motor eléctrico, con una transmisión por banda, cuyo eje se conecta a un disco con un eje excéntrico que permite la oscilación del sistema. Los cálculos se obtuvieron manualmente donde se realizó un análisis dinámico del mecanismo y se aplicó los métodos de diseño para ejes y sistema de transmisión por banda y polea, al final se creó la geometría con ayuda del software Solidworks, y mediante el software Adams se realizó el análisis de fuerzas y esfuerzos del sistema, para validar y verificar el diseño realizado, obteniéndose así una máquina de bajo costo y muy eficiente que cumple con la demanda requerida por la empresa. La capacidad de tamizaje promedio obtenida fue de 120 kg/min, la cual varía según el tipo de malla a utilizar, y la granulometría de arena, además se obtuvo una potencia del motor de 1HP. Finalmente se realizó pruebas a la máquina, concluyendo que el diseño es adecuado para el entorno de trabajo con una alta eficiencia, y que contribuirá a reducir costos de operación ya que solamente se necesita de un solo operario para realizar la tarea de tamizaje.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>
<TAMIZADORA>, <FUNDICIÓN>, <ARENA SÍLICA>, <SISTEMA DE VAIVÉN>, <DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA>.

ABSTRACT

The design and construction of a molding-powder sieving machine to implement in MINABRADEC company was based on the need to reduce the sieving time and reduce the number of people that is employed in this procedure, thus replace the hand sieving that was carried out through a sieve and 2 to 3 people. Through concurrent engineering and the methodology of QFD matrix, the needs and requirements of the Company were analyzed in order to make a comparison with the competitors, subsequently the best alternatives were analyzed to build the machine, taking into account quality, environment, costs, appearance and requirements, resulting in a swing machine in order to obtain a shuttle system that resembles a sieving manual machine. The sieving machine comprises an electric motor with a band, whose shaft is connected to a disc with an eccentric shaft that allows the oscillation of the system. The calculations were obtained manually where a dynamic analysis of mechanism was fulfilled and the design methods for axes, and transmission system by band and pulley were applied. At the end, the geometry was created with the help of Solidworks software. Using Adamas software, the analysis of forces and efforts of the system was conducted in order to validate and verify the resulting design, getting a low-cost and very efficient machine that meets the demand required by the company. The ability of sifting average obtained was 120 kg/min, which varies according to the type of mesh to use, and the particle size of sand, furthermore, an engine power of 1HP was gotten. Finally, the machine was tested concluding that the design is suitable for the working environment with a high efficiency, and it will help to reduce operating costs considering that only one operator will be needed to perform the sifting task.

KEYWORDS: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <TAMICEN>, <MELTING>, <SILICA SAND>, <SWINGING SYSTEM>, <COMPUTER-AIDED DESIGN>.

INTRODUCCIÓN

La empresa MINABRADEC CIA. Ltda., es una Compañía con alto grado de confiabilidad que fue constituida el 27 de abril del 2010, en la ciudad de Riobamba Ecuador ubicada en el centro del país, donde también tiene su matriz principal. Está dedicada al procesamiento de minerales abrasivos en general, que principalmente son destinados a las empresas petroleras.

Para obtener estos materiales abrasivos, la empresa utiliza molinos de trituración, los cuales fueron importados desde china, estos molinos, funcionan con un juego de muelas de un tipo de fundición blanca endurecida por tratamiento térmico, que de igual forma se importa desde china, a un costo elevado.

La empresa en base a este problema decide implementar un taller de fundición, con el objetivo de fabricar ellos mismo las muelas para sus molinos, lo que reducirá los costos, además su visión es expandir más el campo de la fundición y contribuir al país en el campo de la fundición, ya que en el país no está muy desarrollado esta área.

Dentro del proceso de fundición una de las tareas a realizarse es el tamizaje de la arena, en base a esto el presente trabajo de titulación consiste en diseñar y construir una tamizadora con un sistema de vaivén para arenas de moldeo, que contribuirá a la empresa a que el tamizaje ya no sea del tipo manual, sino semiautomático, ayudando así a optimizar el tiempo de tamizaje y a mejor el proceso en general de la fundición.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes.

A nivel mundial China es el país que se destaca y lidera la producción de piezas fundidas como de aluminio, hierro, entre otras. China es el mayor productor y consumidor de acero en el mundo. El crecimiento en la producción elevó la participación de este país en el mercado de mineral de hierro submarino de 4% en 1990 a 16% en 2000, un 60% de todo el crecimiento en este mercado. (MMSD, 2001)

Una de las etapas dentro del área de la fundición es el proceso de tamizaje realizada de forma manual, o mediante tamices vibratorios, tamices vibratorios eléctricos o neumáticos, vibradores rotativos, entre los más usados, cabe destacar que mediante tamices vibratorios el trabajo se lo realiza mejor optimizando tiempo, operarios, una granulometría homogénea.

Las máquinas son una herramienta fundamental para el desarrollo de la industria a nivel mundial en diferentes campos, ya sea en lo relacionado con lo térmico, lo hidráulico, en transporte, en manufactura, y es aquí que la ingeniería mecánica, da el aporte principal, ya que la ingeniería mecánica es la encargada del estudio del diseño y análisis de diversos elementos usados en la actualidad basados en los principios de la termodinámica, la mecánica, la mecánica de fluidos y el análisis estructural.

La Industria fundidora en el país ha tenido poco desarrollo, son pocas las empresas que han optado por procesos eficientes e innovadores con tecnología de punta, ampliando sus servicios y mejorado la calidad de sus productos, la mayor parte de las empresas que la constituyen, realizan productos de baja o mediana complejidad, sin mayor desarrollo tecnológico ni optimización de los procesos, pocas empresas lideran la Industria de la Fundición en el Ecuador. (VILLAMARIN & VOZMEDIANO, 2010)

En el Ecuador los principales metales que se extraen son el oro, la plata, el cobre y el plomo, pero la industria de la fundición no está muy desarrollada, la mayoría de fundidoras del país se encuentran en la capital Quito. En la ciudad de Riobamba existen pocas industrias que se dedican a la fundición las mismas que realizan mediante arenas de moldeo, pero se hace de forma artesanal, y no cuentan con un sistema mecánico.

Específicamente el tamizaje de la arena, aquí en el país dentro de las empresas fundidoras, se realiza de forma manual, no existen estudios sobre este tipo de máquinas, más bien estas máquinas son muy aplicables en el campo de la minería, que son de dimensiones considerables. Entonces existe la necesidad de mejorar la calidad y el desarrollo tecnológico dentro de las empresas implementando máquinas que realicen todos estos procesos dentro de las fundidoras.

La empresa Minabradec CIA Ltda. Situada en el parque industrial de la ciudad de Riobamba, abre sus puertas a sus clientes en noviembre del 2002, es una Compañía con alto grado de confiabilidad que fue constituida el 27 de abril del 2010, está dedicada al procesamiento de minerales abrasivos en general.

Para el procesamiento de estos minerales abrasivos se disponen de grandes molinos para triturar estos minerales, donde se utilizan muelas de fundición blanca por su dureza que se importaba de China, y el costo era muy elevado. La empresa Minabradec decidió fabricar sus propias muelas para los molinos, he implementaron un taller de fundición.

1.2 Formulación del problema.

Las empresas medianas no tienen las herramientas necesarias para cumplir el proceso de tamizado en el área de fundición, debido a que no existe una maquinaria de acuerdo a las características requeridas y en la zona no existe una producción de este tipo de máquina, por lo que se ha plasmado en construir una tamizadora para mejorar el proceso de tamizado de arena para moldes de fundición y disminuir los costos en este proceso.

1.3 Justificación.

1.3.1 *Justificación teórica.*

En la actualidad la industria ha mejorado sus procesos mediante la utilización de máquinas y herramientas que facilitan el trabajo a los operarios optimizando tiempo y reduciendo costos, el propósito de este proyecto es aportar al conocimiento sobre la importancia de las máquinas y su utilización en la actualidad, siendo una de estas máquinas una tamizadora que mejorara el proceso de tamizaje en este proyecto además del diseño y construcción se han de recopilar información necesaria para comprender las propiedades de las arenas.

1.3.2 *Justificación metodológica.*

Para satisfacer la necesidad de mejorar el proceso de tamizado se realizara una investigación cuantitativa, en base a investigaciones anteriores y un estudio de los diferentes procesos para tamizar como la utilización de diferentes máquinas , las técnicas o metodologías propuestas para el desarrollo del producto se basarán en la toma de las necesidades del usuario para transformarlas en ideas en calidad del diseño al fin de lograr un producto que cumpla y satisfaga esas necesidades, al especificar las necesidades se desarrollara algunas opciones del producto lo que permitirá una selección de acuerdo a las necesidades más importantes y la opción que cumpla con todas las características, validando que se optima y confiable.

1.3.3 *Justificación práctica.*

Este proyecto se lo realiza ya que es una necesidad de la empresa en disponer de una maquina tamizadora semiautomática para arenas de moldeo, que cumplirá la función de reducir costos y optimizar el tiempo para el proceso de tamizaje de arenas de moldeo. Además, con este trabajo de diseño y construcción nos acerca más a la vida práctica.

1.4 Alcance.

Con esta propuesta pretendemos llegar a la construcción total de una tamizadora eficiente con un sistema de vaivén realizando todas las pruebas de funcionamiento necesarias la cual contará con mallas intercambiables, requeridas por la empresa, las mismas que son malla 25, 60, 100 y 140, con el fin de obtener una granulometría más fina.

1.5 Objetivos.

1.5.1 *Objetivo general.*

- Diseñar y construir una tamizadora con un sistema de vaivén para el taller de fundición de la empresa Minabradec.

1.5.2 *Objetivos específicos.*

- Analizar el estado del arte correspondiente a un tamizador con un sistema de vaivén para el tamizado de la arena de moldeo.
- Diseñar y modelar el funcionamiento de la tamizadora mediante software.
- Construir la máquina tamizadora con un sistema de vaivén adecuado para el tamizaje de la arena de moldeo.
- Realizar pruebas de funcionamiento de la máquina tamizadora en el taller de fundición de la empresa.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo tiene como objetivo la recopilación de información necesaria referente a arenas de moldeo como a máquinas y sistemas de tamizado, que darán soporte a esta propuesta tecnológica, además consta de los métodos y herramientas de diseño que contribuirán al desarrollo de un óptimo diseño de la máquina, basado en la información obtenida de fuentes bibliográficas primarias.

2.1 Fundición en Arena

La fundición con arena es, por mucho, el proceso que se usa con más amplitud, pues es responsable de la mayoría del total del peso de los fundidos. Casi todas las aleaciones de fundición pueden fundirse con arena; de hecho, es uno de los pocos procesos que pueden usarse para metales con temperaturas de fusión elevadas, tales como aceros, níqueles y titanios. Su versatilidad permite la fundición de piezas cuyo tamaño varía de pequeño a muy grande y en cantidades de producción que van desde uno a millones. (GROOVER, 2007).

La fundición en arena es un proceso, el cual consiste en fabricar piezas de moldes ya existentes, estos pueden ser moldes removibles, o desechables. El procedimiento es colocar arena alrededor del patrón para hacer un molde, estos moldes poseen dos partes un molde macho y hembra, de esta manera se puede retirar el patrón en el caso de ser removible, quedando así una cavidad interna dentro del molde.

2.1.1 Arenas de moldeo

Las arenas de fundición son sílice (SiO_2) o sílice mezclado con otros minerales. La arena debe tener buenas propiedades refractarias, es decir, capacidad de soportar temperaturas altas sin que se funda o sufra algún otro tipo de degradación.

Otras características importantes de la arena son el tamaño del grano, su distribución en la mezcla y la forma de los granos individuales. Los granos pequeños dan una mejor superficie al terminado de la pieza fundida, pero los de tamaño grande son más permeables (para permitir el escape de los gases durante el vertido). Los moldes elaborados con granos irregulares tienden a ser más fuertes que los hechos con granos redondeados debido a la imbricación, aunque ésta tiende a restringir la permeabilidad. (GROOVER, 2007)

Para los procesos de fundición en arena se utiliza arena de sílice (SiO_2), debido a su economía y resistencia a altas temperaturas.

Uno de los factores más importantes en la selección de la arena es el tamaño del grano. Los granos finos permiten un mejor acabado superficial de la cavidad y así de la pieza; sin embargo, los granos finos reducen la permeabilidad del molde. Para lograr una forma estable y mejorar la resistencia del molde la arena se mezcla de forma homogénea con bentonita la cual funciona como aglutinante.

Durante el proceso se tamiza la arena, de tal forma que la arena más fina es la que entra en contacto con el modelo y la arena más gruesa da el cuerpo al molde y permite la salida de gases. También se pueden agregar resinas o aglutinantes orgánicos o inorgánicos a la arena para darle mayor resistencia durante el proceso de fundición.

2.1.1.1 *Arena Sílica (SiO_2)*

Se encuentra en muchos depósitos naturales, y es adecuada para propósitos de moldeo por que puede resistir altas temperaturas sin descomponerse. Esta arena es de bajo costo, tiene gran duración y se consigue en una gran variedad de tamaño y formas de grano. Por otra parte, tiene una alta relación de expansión cuando está sometida al calor y tiene cierta tendencia a fusionarse con el metal.



Figura 1-2: Arena Sílica

Fuente: <http://www.arenasilica.mx/>

2.1.1.2 *Arenas naturales (semisintéticas)*

Estas se han formado por la erosión de las rocas ígneas; se mezclan adecuadamente con arcillas al extraerlos en las canteras y solo se requiere agregarles agua para obtener una arena conveniente para moldeos de piezas fundidas de hierro y metales no ferrosos. La gran cantidad de materia orgánica encontrada en las arenas naturales impiden que sean lo suficientemente refractarias para usos en temperaturas elevadas, tal y como en el modelo de metales y aleaciones con alto punto de fusión.

2.1.1.3 *Arenas de moldeo sintéticas*

Se componen de Sílice lava de granos agudos, a lo que se añade 3 a 5% de arcilla. Con las arenas sintéticas se generan menos gas ya que se requiere menos del 5% de humedad para que desarrolle su resistencia adecuada.

A medida que aumente el tamaño de las piezas a fundir conviene elegir también arena con granos más gruesa, de mayor resistencia y refracción. La arena ideal, sería aquella que se adaptara perfectamente bien para moldes destinados a distintos trabajos.

2.1.1.4 *Arenas usadas*

La arena usada procede del desmolde de fundiciones anteriores, reagrupada en terrones compactos en los puntos que estuvieron en contacto directo con el metal. Esta arena contiene rebabas, escamas y trozos de metal, sobre todo clavos de los que se emplean

para reforzar el moldeo en las zonas más débiles: es conveniente, incluso para proteger las manos de los que han de manipular la arena, quitar estos fragmentos.

En base a lo investigado se concluye que la arena más usada por sus características, abundancia y precio es la arena Sílica, por lo que a continuación explicaremos más sobre este tipo de arena y sus características.

2.1.2 *Factores que determinan las propiedades de las arenas*

- Composición química.
- Forma, tamaño y distribución del grano.
- Tipo y cantidad del aglomerante.
- Cantidad de agua.
- Tipo y cantidad de impurezas.
- Calidad de mezclado.
- Intensidad de apisonado.

2.1.3 *Propiedades de las arenas de moldeo*

- *Refractariedad.* Resistir la acción de las temperaturas altas. Depende de la pureza en su composición química
- *Resistencia, durabilidad o vitalidad.* Debe conservar la reproducción del modelo y soportar los choques térmicos sin fragmentarse, lo cual depende de la estructura de los granos.
- *Permeabilidad.* Permite la rápida evacuación del aire y los gases que se generan durante la colada. La distribución granulométrica debe ser la adecuada.
- *Plasticidad.* Capacidad de reproducir el modelo.
- *Disgregabilidad.* Capacidad de disgregarse fácilmente la arena después de la colada para permitir la extracción de la pieza

2.2 Tamizado

Es un proceso utilizado en diferentes áreas, que consiste netamente en la separación de partículas mediante su diferencia de tamaño, la separación se lo realiza con una superficie

metálica que contiene un cierto número de aperturas como una malla metálica. La malla permite el paso de las partículas pequeñas por sus aperturas, retiene las partículas de mayor tamaño. Este tipo de operación es usado en algunos campos como la agricultura, construcción, etc. En diferentes empresas industriales son ocupadas en diferentes procesos, para la separación de productos alimenticios, en el sector minero se utilizan cribas de mayor tamaño. para la separación de minerales.

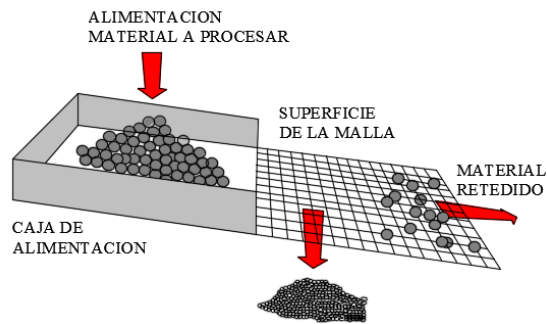


Figura 2-2: Proceso de tamizado

Fuente: (TRIPOD, 2010)

En el tamizado intervienen dos procesos que posibilitan la clasificación:

2.2.1 *Estratificación*

Es un proceso por el cual las partículas más pequeñas o de menor tamaño se filtran por las aberturas mientras que las de mayor tamaño permanecen o descienden sobre la superficie de la malla o criba. Los factores que influyen en este proceso son el flujo del material, el cual esta ocasionado por las características de la malla, su inclinación, el tipo de movimiento que se realice al tamizar. Las características del movimiento que este dado por la dirección, frecuencia, amplitud. La humedad y las características de la arena. (TRIPOD, 2010)

2.2.2 *Probabilidad de separación*

El tamizado va depender de que tan homogéneo sea el tamaño de las partículas con respecto a la abertura de la malla con la que se trabaje, por lo cual la probabilidad de separación va estar dada por la razón entre el tamaño de la arena y la abertura de la malla.

El flujo del material en el tamizado va depender de la estratificación y la probabilidad de separación, también a la cantidad de arena que se abastezca a la malla.

En la figura 3-2 se observa que los puntos “B” y “C” existe una mayor cantidad de partículas pequeñas que han sido separadas, mientras que a medida que la longitud de malla aumenta podemos observar que en el punto “C” y “D” la probabilidad de que pasen por la abertura es mucho menor.

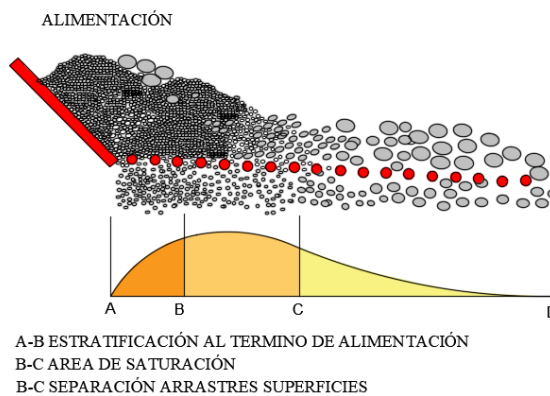


Figura 3-2: Probabilidad de separación

Fuente: (TRIPOD, 2010)

2.2.3 Tipos de Tamizado

Existe varios tipos de tamizado que son ocupados y estos van a depender según la finalidad que se ocupe, capacidad, facilidad y eficiencia en el proceso que se realice, en este caso consideraremos los tipos más comunes y representativos. En la mayoría de procesos las partículas atraviesan las aberturas por efecto de la gravedad, en cambio en otros tipos de tamizado se necesita una fuerza o mecanismos que lo obligue a pasar por la malla metálica o criba. Entre estos tipos tenemos, tamizado manual, tamizado vibratorio, tamizado giratorio, tamizado centrifugo.

2.2.3.1 Tamizado manual

Este proceso ha sido muy usual desde tiempos antiguos, se usaba en el campo de la agricultura para la selección de diferentes cereales como el trigo, etc. Consiste en la utilización de una zaranda que es un pequeño un marco de madera de forma rectangular

que lleva sujeta en su interior una malla metálica, el cual permita separar el cereal de la paja, polvo y otros sólidos con los que se hallaba mezclado el cereal.

Para realizar el tamizado se requiere por lo máximo de dos personas para su manipulación, este tipo de tamizado también ha sido muy usual en las pequeñas construcciones siendo utilizadas para tamizar el material de construcción.

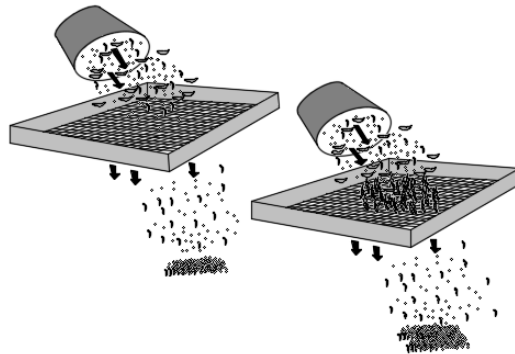


Figura 4-2: Tamizado manual

Fuente: (SANCHEZ, 2013)

2.2.3.2 Tamizado giratorio

Este proceso se lo realiza en un tamiz de forma cilíndrica o cónica, el cual gira sobre su eje, este tipo de tamiz puede disponer de varios tambores en serie permitiendo separar las partículas más grandes primero mientras que las más pequeñas o finas son últimas en quedar. (Capello, 1989).

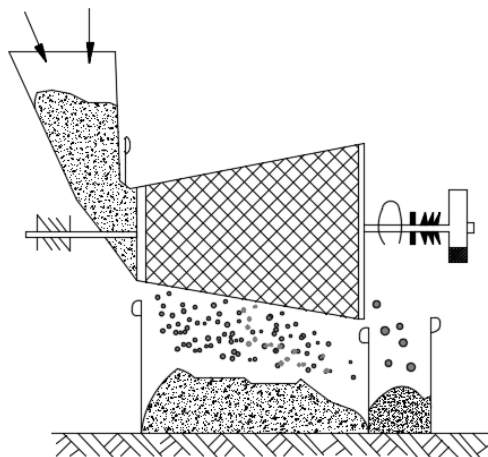


Figura 5-2: Proceso de tamizado giratorio

Fuente: (Capello, 1989, p. 59)

2.2.3.3 Tamizado vibratorio

Es un tamiz muy usual en la clasificación del material seco, en operaciones de reducción metalúrgica, seleccionado de carbón, para material de construcción. Este tipo de tamiz utiliza un eje excéntrico doble, excéntrico bloque. Los tamices de vibración se obstruyen con menos facilidad que los tamices giratorios.

La vibración es producida en las mallas inclinadas por un movimiento circular en un plano vertical donde la amplitud y los ciclos por minuto varían.

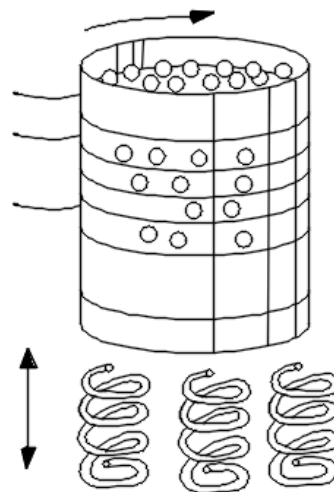


Figura 6-2: Proceso de tamizado vibratorio

Fuente: (CAPPOLA, 2004)

2.3 Máquinas Tamizadoras

En el mundo existe una variedad de máquinas que son utilizadas para diferentes aplicaciones, y estas facilitan el trabajo a las personas.

“La máquina es una combinación de cuerpos rígidos o resistentes agrupados y conectados de tal modo que tenga entre si movimientos relativos determinados y transmitan fuerzas desde la fuente de energía a la resistencia a vencer” (HAM, et al., 1964, p. 3)

“Se llama maquina el mecanismo o el conjunto de mecanismo destinados a realizar un trabajo útil, relacionado con la producción y transformación de la energía o transporte”. (ZINOVIEV, 1969, p. 16)

“Es un dispositivo, que transforma el movimiento en un patrón deseado y por lo general desarrolla fuerzas muy bajas y transmite poca potencia”. (NORTON, 2009, p. 4)

Según las anteriores definiciones podemos decir que una maquina es un mecanismo que permite transformar la energía en trabajo que es aprovechado para diferentes propósitos. Una maquina tamizadora es aquella que realiza el trabajo de clasificación de materiales según la diferencia de tamaño mediante una criba o malla metálica, que se mueve debido a los diferentes mecanismos que posea, estos movimientos pueden ser vibratorios, circulares y oscilantes los cuales permitirán que las partículas sean clasificadas por diferencia de tamaños. En el mercado existe una variedad de máquinas que van a depender tanto de la capacidad, eficiencia y la utilidad que estas dispongan para realizar este tipo de trabajo.

Entre las maquinas más usuales tenemos:

- Máquina de tamiz oscilante
- Máquina de tamiz de Vaivén
- Máquina de tamiz rotatorio
- Máquina de tamices estacionario
- Máquina de tamiz vibratorio

2.3.1 *Máquina de tamiz oscilante*

Los tamices de giro horizontal, los podemos considerar como tamices oscilantes con una minuciosa inclinación que hace girar el extremo de alimentación, este movimiento hace que el material descienda sobre la superficie del tamiz donde las partículas de menor tamaño atraviesan las aberturas.

Entre estos tamices se encuentran bolas limpiadoras, que separa los comportamientos de separación del tamiz, funciona de tal manera que chocan con la superficie provocando una vibración secundaria ayudando que no allá obstrucción (MCKEE & MCKEE, 2003)

Estos tamices se caracterizan por tener una velocidad pequeña de unos 300 a 400 oscilaciones por minuto.

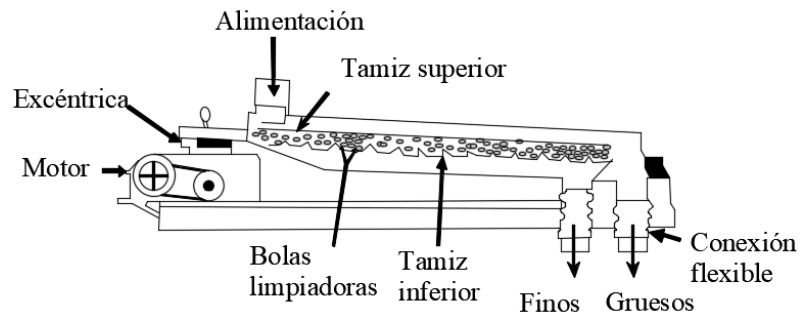


Figura 7-2: Máquina de Tamizado oscilante

Fuente: (MCKEE & MCKEE, 2003)

2.3.2 Máquina de tamizado de vaivén

Las maquinas tamizadoras de vaivén son simplemente una variación de los tamices oscilantes, el moviente de estos es bidireccional a diferencia de los oscilantes que son mediante giros o semi-giros. El funcionamiento de este tipo de máquinas es parecido al oscilante, posee un motor el cual brinda una potencia transmitida por poleas permitiendo deslizar las mallas del tamiz hacia adelante y hacia atrás. Estas máquinas son simples en cuanto al mantenimiento, sus tamaños son adecuados para pequeñas y medianas empresas.

Estos tamices pueden separar partículas entre 12,5mm hasta partículas más finas. Su estructura consta de una armadura de acero, las mallas sacuden por el movimiento generado.



Figura 8-2: Máquina de tamizado de vaivén

Fuente: (TALDEC, 2006)

2.3.3 *Máquina de tamiz rotativo*

El tamiz rotario está diseñado para la filtración y tamizado de líquidos que contengan partículas sólidas además este tipo de máquinas también puede ser utilizado en el tamizado de partículas sólidas.

Según la empresa GEDAR, sus máquinas tienen la capacidad de filtrar partículas desde 0,15mm hasta 5mm generando un gran rendimiento con un tamaño muy reducido.

Estas máquinas están diseñadas con un tambor cilíndrico dinámico el cual permite la clasificación de las partículas más grandes, este tipo de aparatos consta de varios tamices internos acoplados uno a continuación de otro, al giran o rotar cada tamiz las partículas son expulsadas hacia el exterior por conductos.

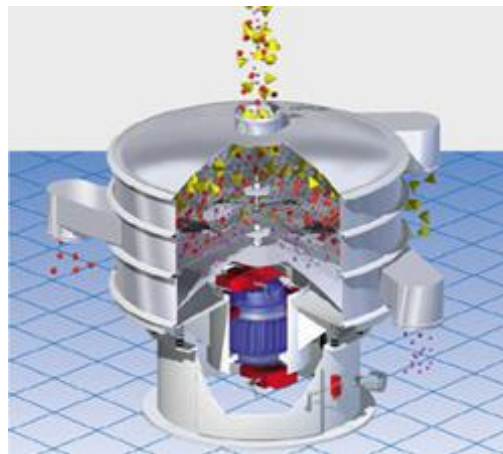


Figura 9-2: Máquina de tamiz rotatorio

Fuente: (KASON, 2010)

2.3.4 *Máquina de tamices estacionarios*

Este tipo de máquina es más común encontrarse en las industrias alimentos y de construcción. Es conocido por este nombre porque posee un tamiz estacionario o fijo en el cual se encuentra inclinado soportado sobre un marco. El material a ser tamizado es administrado desde la parte superior lo hace que el material descienda de forma paralela sobre el tamiz, los trozos grandes ruedan y deslizan hacia el extremo de la descarga mientras las más pequeñas pasan por las aberturas del tamiz hacia abajo.

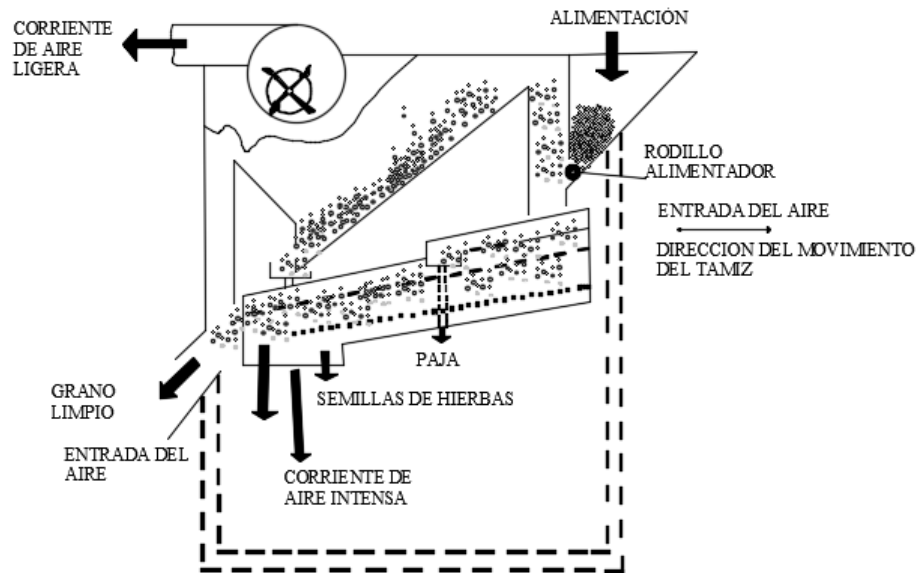


Figura 10-2: Máquina de tamiz estacionario

Fuente: (FAO, 1985)

2.3.5 *Máquina de tamiz vibratorio*

Son máquinas que producen vibración en el tamiz con rapidez y pequeña amplitud, se obstruyen con menos facilidad que los tamices giratorios. Las vibraciones son producidas generalmente por ejes excéntricos o moto vibradores de alta velocidad. Estas máquinas se aplican sobre todo en la clasificación del material seco como en operaciones en la reducción de metalurgia, seleccionado del carbón, material de construcción.

Ventajas:

- Alto rendimiento
- Fácil mantenimiento
- Menos obstrucción

Desventajas

- Tamiz no gira sobre un eje

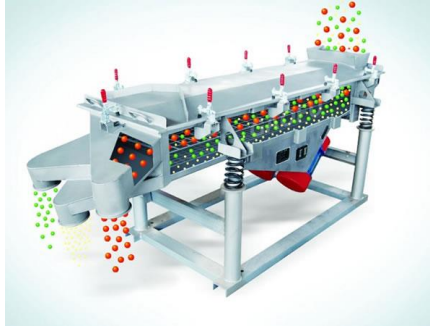


Figura 11-2: Máquina de tamiz vibratorio

Fuente: (MACHINERY, 2005)

2.4 Componentes principales de una máquina tamizadora

En base a las máquinas tamizadoras existentes a nivel mundial, como nacional, las partes, elementos y sistemas principales que integran estas máquinas son:

- Tolva.
- Sistemas de transmisión de potencia.
- Energía de entrada a la máquina.
- Tamiz.
- Estructura.
- Carcasa.

2.4.1 *Tolva*

Es un dispositivo similar a un embudo, cuya función es almacenar o canalizar materiales granulares o pulverizados, por lo general son de gran tamaño, pero pueden ser pequeñas en base a la función y máquina que se le acople, según su forma geométrica se clasifican en tolvas cónicas y rectangulares.



Figura 12-2: Tolva rectangular

Fuente: (CALDERÓN, 1992)

2.4.2 *Sistemas de transmisión de potencia*

Los sistemas de transmisión de potencia cumplen la función de llevar a los diferentes elementos de una máquina la potencia requerida y el movimiento que se genera por un elemento motriz (motor), las más usadas para este tipo de máquinas tamizadoras son las transmisiones por banda o correa, y la transmisión por cadena.

2.4.2.1 *Transmisión por bandas*

Las bandas son elementos de transmisión de potencia, de constitución flexible, que se acoplan sobre poleas que son solidarias a ejes con el objeto de transmitir pares. Su naturaleza flexible va a permitir que su fabricación se realice con una cierta incertidumbre mecánica que puede ser asumida, posteriormente, en su montaje. La correa de transmisión trabaja por rozamiento con la polea sobre la que va montada. Este hecho, junto a su naturaleza flexible, confiere a las correas una función de “fusibles” dentro de las transmisiones, dado que se comportan como amortiguador, reduciendo el efecto de las vibraciones que puedan transmitirse entre los ejes de la transmisión.

En general, el empleo de correas en las transmisiones resulta una opción más barata, pero como contrapartida, este tipo de elementos no pueden garantizar una relación de transmisión siempre constante entre ejes, dado que pueden originarse pequeño deslizamiento de la correa sobre la canaladura de la polea, debido, por ejemplo, a que la tensada inicial no se ha hecho correctamente, o en todo caso, producido por el desgaste con las horas de funcionamiento.

2.4.2.2 *Transmisión por cadena*

“Las características básicas de las transmisiones de cadena incluyen una relación constante puesto que no se involucra al deslizamiento ni el arrastre, vida larga y capacidad para impulsar varios ejes a partir de una sola fuente de potencia” (SHIGLEY & MITCHEL, 2008, p. 887)

La cadena más usual son las de rodillo, estas necesitan catarinas (engrane de dientes en V), para su acoplamiento y así realicen la transmisión de potencia, como se indica en la figura 13-2.

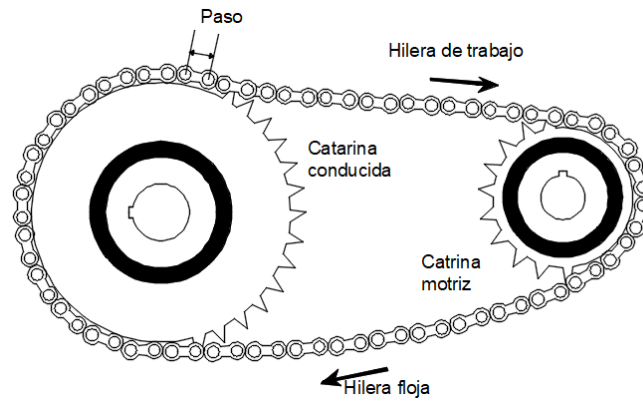


Figura 13-2: Sistema de transmisión por cadena

Fuente: (HERNÁNDEZ, 2014)

2.4.3 *Energía de entrada a la máquina*

Toda máquina necesita una energía de entrada para su funcionamiento, existen varias formas de brindar energía a una máquina, estas pueden ser: mecánica, eléctrica, química o de cualquier otro tipo, según el diseño de la máquina. En este caso las energías más usadas en el campo de las tamizadoras, son los motores de combustión interna para máquinas de gran tamaño, y motores eléctricos para máquinas tamizadoras de menor escala.

2.4.3.1 *Motores eléctricos.*

Un motor eléctrico es un dispositivo rotativo que transforma energía eléctrica en energía mecánica.

En diversas circunstancias presenta muchas ventajas respecto a los motores de combustión, a igual tamaño y peso son más reducidos. Se pueden construir de cualquier tamaño (CAMACHO YANEZ, 2011 pág. 10).

La mayoría de máquinas tamizadoras existentes en el mercado, poseen una potencia que oscila desde un rango de 0.5 HP hasta una potencia de 3 HP, esto es dependiendo de la medida y capacidad de la máquina.

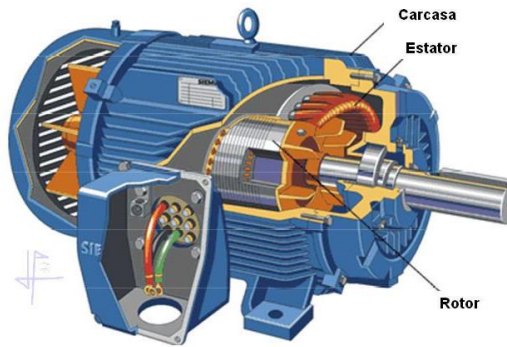


Figura 14-2: Motor eléctrico

Fuente: (RAMONMAR, 2017)

2.4.3.2 Motores de combustión interna

Su funcionamiento como su nombre lo indica, es el quemado de una mezcla comprimida de aire y combustible dentro de una cámara cerrada o cilindro, con el fin de incrementar la presión y generar con suficiente potencia el movimiento lineal alternativo del pistón.

Para estos motores de combustión se utilizan combustibles como gasolina o diésel, como se muestra en la figura 15-2, nos indica las partes principales de un motor de combustión mono cilíndrico, el cual están constituidos de un solo pistón, el cual son utilizados en mayor parte en maquinaria agrícola debido que trabajan en campo abierto donde no existe energía eléctrica, estos tipos de motores utilizan combustibles como el diésel o gasolina. (BIBLIOTECA VIRTUAL LUIS ÁNGEL ARANGO, 2005)

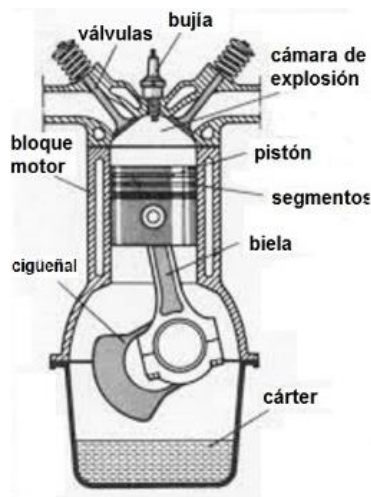


Figura 15-2: Motor de combustión interna

Fuente: (Autonoción, 2011)

2.4.4 Tamiz

2.4.4.1 Malla

Es un tejido de alambres metálicos o hilos de sección circular entrelazados entre si perpendicularmente, dejando entre si aberturas.

El número de alambres o aberturas en 25,4mm lineales, contados a partir del centro de cualquier alambre hasta un punto exactamente a 25,4mm de distancia, incluyendo la fracción de espacio o alambre entre cualquiera de ellos. Según (INEN 1515, 1987)

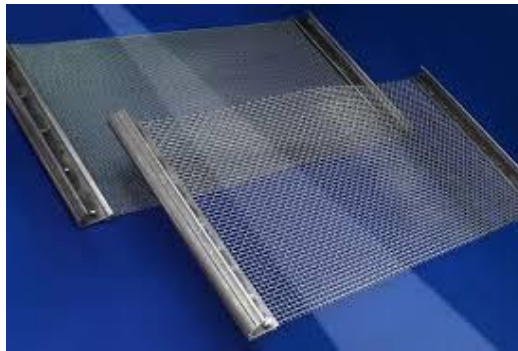


Figura 16-2: Mallas metálicas

Fuente: (BOECKER, 2009)

2.4.4.2 Plancha metálica

Conjunto inalterable rígido formado por una placa o placa metálica perforada en forma ordenada, puesto en un marco o fijada a él. Según (INEN 1515, 1987)

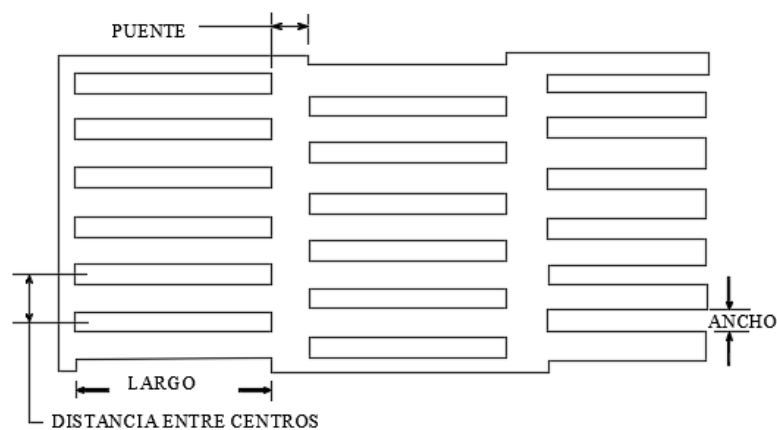


Figura 17-2: Criba metálica oblonga

Fuente: (INEN 1515, 1987)

2.4.5 Estructura metálica

Es una base metálica que permite la estabilidad y sirve de soporte para otros elementos, motor, sistema de transmisión, tamiz. Esta estructura está formada por un conjunto de partes metálicas que deben cumplir las condiciones



Figura 18-2: Estructura metálica

Fuente: (VERDUZCO, 2017)

2.4.6 Carcasa

Es el armazón metálico que cubre las partes de la maquina como mecanismos y sistemas de transmisión sirviendo de protección para el operador de la máquina.

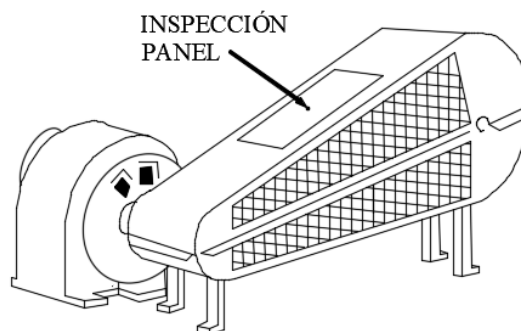


Figura 19-2: Carcasa para sistema de transmisión

Fuente: (HERNÁNDEZ, 2011)

2.5 Diseño

“Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto

debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse. El diseño es un proceso innovador y altamente iterativo. También es un proceso de toma de decisiones. Algunas veces estas deben tomarse con muy poca información, en otras con apenas la cantidad adecuada y en ocasiones con un exceso de información parcialmente contradictoria. Algunas veces las decisiones se toman de manera tentativa, por lo cual es conveniente reservarse el derecho de hacer ajustes a medida que se obtengan más datos. Lo importante es que el diseñador en ingeniería debe sentirse personalmente cómodo cuando ejerce la función de toma de decisiones y de resolución de problemas.” (SHIGLEY & MITCHEL, 2008)

Dym (2002, p.9) propone lo siguiente “es la generación y evaluación sistemática e inteligente de especificaciones para artefactos cuya forma y función alcanzan los objetivos establecidos y satisfacen las restricciones especificadas”

El ICSID (2004) define diseño como “una actividad creativa cuyo propósito es establecer las cualidades multifacéticas de objetivos, procesos, servicios y sus sistemas, en todo su ciclo de vida. Por lo tanto, es el factor principal de la humanización innovadora de las tecnológicas, y el factor crítico del intercambio cultural y económico”

Estas definiciones expuestas son las más representativas y que dan un significado moderno al diseño, en la ingeniería mecánica el diseño está relacionado con la transformación de energía para generar medios de producción, maquinaria. El diseño involucra todas las diferentes áreas de la ingeniería mecánica. El diseño es un grupo de actividades que están destinadas a comprender y definir a un producto en todos los requerimientos necesarios para su utilización, cumpliendo con la función para la cual es requerida y alcanzando los objetivos establecidos. El diseño nace en base a una necesidad o requerimiento, la necesidad de hacer algo con el objetivo de beneficiar y satisfacer alguna necesidad.

Al identificar una necesidad se trata de satisfacerla mediante un proceso iterativo de toma de decisiones en cual se utilizará ciencias de ingeniería, para tratar de alcanzar los objetivos planteados, la mayoría de fases que se realice en el diseño pueden repetirse durante el proceso.

En resumen, el diseño básicamente transforma la información sobre condiciones, requerimientos, necesidades y exigencias, en un producto, estructura o un sistema capaz de satisfacer con esas demandas requeridas en un proceso o a los deseos de un cliente.

2.5.1 *Metodología de diseño*

Nigel Cross define metodología de diseño como “el estudio de los principios, prácticos y procedimientos de diseño en un sentido amplio. Su objetivo central está relacionado con el cómo diseñar, e incluye el estudio de como los diseñadores trabajan y piensan; el establecimiento de estructuras apropiadas para el proceso de diseño; el desarrollo y aplicación de nuevos métodos, técnicas y procedimientos de diseño; y la reflexión sobre la naturaleza y extensión del conocimiento del diseño y su aplicación a problemas de diseño”

Por lo tanto, la metodología es la manera como un ingeniero realiza su tarea de diseño mediante un método, a diferencia de las herramientas que son usadas para aplicar un método.

2.5.1.1 *Métodos de diseño*

Las técnicas, métodos que se proponen como ayuda para el desarrollo de productos, permiten la combinación de principios de trabajo para la generación de soluciones factibles, pero según el tipo de método se van a diferenciar en la manera de desarrollar una solución factible.

En la actualidad y a nivel empresarial los métodos conocidos corresponden a combinaciones de técnicas, las cuales se mencionarán por ser las más representativas para el diseñador, permitiéndole un enfoque más claro en su diseño.

-Diseño colaborativo

Este modelo es una tendencia muy actual ya que se desarrolla por un equipo interdisciplinario en un ambiente presencial y virtual, apreciando la necesidad de ampliar los conocimientos. El diseño colaborativo integra de forma eficiente las diferentes disciplinas que intervienen en el proceso de diseño, con este modelo.

-QFD

QFD (Quality function deployment) Despliegue de la función calidad, es un método que fue desarrollado por Yogi Asao en Kobe, Japón en 1972. Es un método que se basa en transformar las necesidades del usuario en calidad del diseño, implementando funciones y métodos con el fin de lograr el diseño de cada componente y subsistema, así establece una forma sistemática y procesa las necesidades reales del mercado.

Para este método se conforman cuatro matrices principales:

- Casa de calidad
- Despliegue de componentes
- Planificación del proceso
- Planificación de la producción

La primera matriz es la planificación del producto (casa de calidad) en este paso se traduce las demandas de los clientes en características técnicas del producto, se empieza con la recolección de información de los clientes para luego clasificarlas por prioridades. Esta estructura de necesidades es convertida en parámetros técnicos cuantificables para luego establecer la relación entre estas.

La segunda matriz traduce las especificaciones del producto o las características de la matriz anterior para establecer características de los componentes o la conceptualización del diseño.

La tercera matriz se realiza la planificación de fabricación, en donde se realizan alternativas viables para la fabricación del producto, al igual que la cuarta matriz traduce las especificaciones del proceso en procedimientos de planificación de la producción.

-Análisis funcional y del valor

Lawrence Miles propone un método de análisis funcional con el objetivo de reducir costos, identificando la acción que debe ser efectuada por el producto, la mayoría de productos tratan de cumplir con múltiples funciones, funciones que los usuarios designan

como útiles. En este proceso lo que se hace es clasificar las funciones o una construcción de un árbol de funciones. El análisis del valor tiene como objetivo mejorar el valor del producto mediante análisis de funciones y costos asociados a cada uno.

-Análisis modal de fallos y efectos (AMFE)

Es un método que se inició en el campo militar y luego fue adoptado en el campo empresarial, el objetivo de este método es evaluar la fiabilidad de un producto al determinar los fallos que se produzcan en los diferentes componentes. El AMFE tiene como propósito que en el equipo se pueda determinar los componentes críticos para su puesta a prueba y comprobar su fiabilidad, calidad y sobre todo seguridad.

-Diseño por factores, DFX

Los métodos DFX (Design for X) se crean con el fin de centrar el diseño en un solo factor x en el cual la empresa se destaque o sea relevante.

Para el Design for x surge una serie de técnicas que se introducen en la fase preliminar, con el objetivo de que el producto final cumpla una serie de características de calidad, producción, logística, ciclo de vida, puesta en marcha.

2.5.2 Herramientas de diseño

En la actualidad el desarrollo y diseño de nuevos productos, o el mejoramiento de productos ya existentes en el mercado es fundamental para el crecimiento y competitividad de las empresas. Éste es el campo donde el ingeniero mecánico hace su trabajo, y para poder desarrollarlo dispone de una gran variedad de herramientas, que serán de gran importancia en la solución de los problemas de diseño. Una herramienta básica pero muy importante son los libros disponibles sobre ciencia e ingeniería, así como los mismos catálogos que los fabricantes proveen en sus productos.

Como una herramienta importante actual tenemos: “Las microcomputadoras poco caras y los paquetes robustos de software proporcionan herramientas de gran capacidad para diseñar, analizar y simular componentes mecánicos. Además de estas herramientas, el

ingeniero siempre necesita información técnica, ya sea en forma de desempeño básico en ciencias/ingeniería o las características de componentes especiales recién lanzados” (SHIGLEY & MITCHEL, 2008, pp. 6-9)

2.5.3.1 *Herramientas computacionales*

Dentro de estas herramientas básicamente, hablaremos de tres tipos de sistemas, CAD/CAE/CAM. Lo común de estos sistemas es que se manejan desde un ordenador o computadora, pero a la vez se diferencian por el objetivo que estos desempeñan. A continuación, describimos cada uno de estos.

- *Diseño asistido por computadora: CAD*

Es un sistema que permite crear nuevos diseños en 2D y 3D, mediante el uso de computadora, de una manera sencilla desde figuras básicas hasta formas complejas, obtener los planos de detalle, además permite la simulación del comportamiento del modelo antes de su fabricación, con la opción de modificar algún parámetro en caso de ser necesario. Algunos ejemplos de software CAD son: AutoCAD, 3D Max, Catia, Solidworks, etc.

- *Ingeniería asistida por computadora: CAE*

El sistema CAE va un paso más allá que el sistema CAD, ya que esta toma el modelo de diseño obtenido por un sistema CAD, para asignar propiedades, es decir materiales, condiciones a las que está sometido, propiedades mecánicas, etc. En base a esto el sistema hace un análisis de como el diseño del modelo va a comportarse en la vida real, obteniéndose por ejemplo deformaciones, resistencia, rigidez, características térmicas, vibraciones, etc., y de esta forma el diseñador validará si su diseño es factible y adecuado para el cual fue diseñado, y de esta forma se puede hacer modificaciones previas ya a la construcción, lo que representa un beneficio u ahorro económico para el diseño. Algunos ejemplos de software CAE son: Ansys, Sap2000, Autodesk Simulation, Moldflow, Msc.Adams, Simpack, etc.

- *Fabricación asistida por computadora: CAM*

Este sistema mediante el uso de computadores y tecnología de cómputo, ayuda a las fases de fabricación del modelo diseñado, ya sea en el mismo programa o un sistema CAD, aquí se asigna el tipo de operación, herramientas y condiciones de corte, para que el programa genere y defina las líneas de código que utilizan los programas de Control Numérico para fabricar las piezas en máquinas CNC, además que el mismo sistema permite una simulación previa al mecanizado real, y de esta forma hacer correcciones necesarias para llegar así a un mecanizado óptimo. Algunos ejemplos de software CAM son: Solidcam, Surfcam, Cimco edit 6, Siemens NX, etc.

Las herramientas computacionales, en la actualidad son de gran importancia ya que permiten realizar diseños virtuales previos a un real, realizar mejoras, obtener su análisis de cómo sería su comportamiento real, etc. Las herramientas computacionales que consideramos adecuadas para el diseño de la máquina tamizadora serán los sistemas CAD y CAE, de estos sistemas en base a la disponibilidad son SolidWorks, Sap2000, ANSYS, y Msc.Adams.

- *SolidWorks*

Es un software de diseño CAD, que permite el modelado mecánico en 3D de elementos, piezas y conjuntos, para de ellos obtener los planos necesarios para una posterior fabricación, además que cuenta con una amplia librería de materiales y elementos mecánicos.

- *Sap2000*

El SAP2000 es un programa de elementos finitos, con interfaz gráfico 3D orientado a objetos, preparado para realizar, de forma totalmente integrada, la modelación, análisis y dimensionamiento de lo más amplio conjunto de problemas de ingeniería de estructuras. (CSI, 2017)

- *Ansys*

ANSYS es un ecosistema de programas CAE para diseño, análisis y simulación de partes por elementos finitos FEA, incluye las fases de preparación de meshing ó malleo, ejecución y post proceso, el programa ejecuta análisis de piezas sometidas a fenómenos físicos usadas en ingeniería y diseño mecánico, puede resolver problemas físicos sometidos a esfuerzos térmicos, fluidos, vibración y aplicaciones específicas. (SOFTWARE, 2017).

- *Msc.Adams*

Adams es el software de análisis de movimiento y dinámica de masas más utilizado en el mundo. Adams ayuda a los ingenieros a estudiar la dinámica de las piezas móviles, cómo las cargas y fuerzas se distribuyen a lo largo de los sistemas mecánicos, y para mejorar y optimizar el rendimiento de sus productos.

En tal motivo el diseño nace a partir de una necesidad o una idea de mejora, para lo cual se realiza una investigación sobre el problema que permitirá la generación de soluciones. El diseñador tiene la tarea de dar solución a una necesidad o problema para lo cual necesita de modelos de diseño, métodos y herramientas las cuales se han descrito. En los modelos que se han presentado estos muestran elementos importantes como la forma que se diseña y el objeto a diseñarse, la participación de otras disciplinas y la forma en que ayudan a determinar el éxito en el proceso.

Despliegue de la función calidad (QFD) es un método apropiado para el diseño ya que se basa en las necesidades del usuario, lo cual asegura que el producto considere las necesidades y requerimientos del cliente, además toma en cuenta los procesos de maquinado adecuado y es factible por la planificación de la calidad del ciclo de vida del producto desde el diseño hasta su puesta en operación. Para el diseño de la maquina tamizadora se lo realizara mediante QFD.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA MÁQUINA TAMIZADORA PARA ARENAS DE MOLDEO

Un adecuado diseño de concepto de la máquina para el proceso de tamizado se realizará aplicando la Ingeniería concurrente, permitiendo trabajar de forma ordenada y lógica teniendo en cuenta la calidad, tecnología, gama de productos, prototipos rápidos, recursos humanos, etc. Con el fin de cumplir las necesidades y requerimientos del usuario el diseño y construcción de la máquina deberá cumplir con todas las características establecidas con el desarrollo de la función (QFD).

3.1 Metodología para el diseño de la maquina tamizadora de arena

Al realizar una revisión sobre el diseño concurrente (RIBA, 2002), se opta por una nueva perspectiva en el diseño siendo este la fabricación y el montaje (DFMA por sus siglas en inglés design for manufacturing and assembly) que toma muy en cuenta los requerimientos funcionales y de fabricación, con estos principios que han ido mejorando cada día más con el objetivo de optimar los servicios a las necesidades del usuario, integrando nuevas formas organizativas y herramientas se ha formado la ingeniería concurrente.

El diseño concurrente una nueva forma de concebir la ingeniería de diseño, desarrollo de productos y servicios de forma global e integrada en beneficio de los usuarios (RIBA, 2002, pag14). Esta metodología se realizará en cuatro etapas: estudio de las máquinas tamizadoras, diseño de concepto, diseño de detalle y materialización.

En el diseño de concepto se obtendrá los requerimientos, necesidades mediante el despliegue de la función objetivo, determinando los parámetros técnicos de acuerdo a las necesidades del usuario, que se plasmaran en criterios ponderados para una selección adecuada de la mejor solución del producto. En la etapa de diseño de detalle se materializará la mejor solución.

Se realizará los cálculos de los elementos que se requiera diseñar garantizando su funcionalidad y resistencia mecánica, con la ayuda de softwares como SolidWorks, Adams y Ansys, se comprobará dichos cálculos. Por último, se generarán los planos de detalle para su construcción.

3.1.1 Fases del diseño

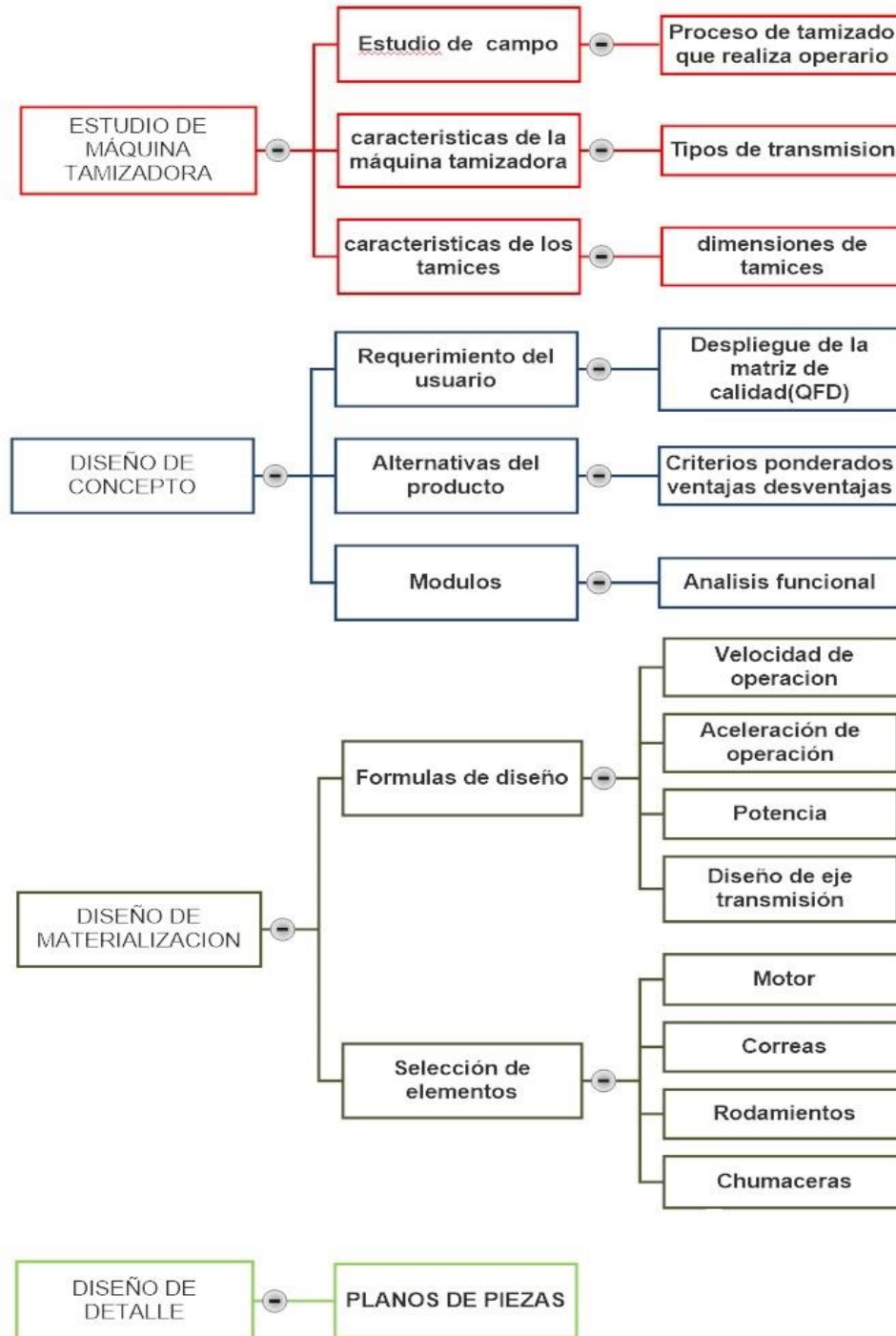


Figura 1-3: Fases para el diseño de la máquina tamizadora

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

3.2 Determinación de las especificaciones de la máquina

Las características técnicas que deberá poseer la máquina tamizadora para cumplir con las funciones requeridas por el patrocinador, la máquina debe ser optima y funcional, se desarrollará un estudio previo de este tipo de máquinas de los aspectos más importantes en el proceso de tamizado.

-Principio de funcionamiento: Los tamices de vaivén se caracterizan por ser una variación de los tamices oscilantes, ya que el movimiento no se da en diagonal ni en semi-giro sino es bidireccional permitiendo que la malla se desplace hacia atrás y adelante adquiriendo mayor o menor velocidad según la rotación del eje.

-Requisitos físicos de un tamiz: Según (INEN 1515, 1987) los alambres o hilos de sección circular deberán ser de un material tal, que no sean afectados ni físicamente, ni químicamente, deben estar entrelazados de modo que el tejido resulte sin deformacion y no presente visibles defectos.

El marco sera de un material inalterable e indeformable, las aberturas de los tamices comprendidos entre 26.5mm y 0.75mm inclusive si el marco es de forma cilíndrica, su diámetro interno, medido a 5mm del borde superior, sera de 203 ± 1 mm y la altura desde el borde superior del marco hasta el tejido sera de 50mm, la parte del marco que queda debajo del tejido permitirá un fácil ajuste con cualquier tamiz de la serie.

3.2.1 Desarrollo de la función de calidad.

La matriz QFD (quality funtion deployment) es un método globalizador cuyo objetivo principal es asegurar que en la definición de un producto o servicio se han considerado las necesidades y requerimientos de los usuarios, a la vez que también constituye una herramienta para la planificación de la calidad durante el ciclo. (RIBA, 2002)

Un método que es manejado por numerosas empresas permitiendo su desarrollo, debido a la implementación de equipos pluridisciplinarios de decisión y asesoramiento, en el que se asegura que el producto cumpla con todas las necesidades del usuario y trabaje sin ningún inconveniente.

3.2.1.1 *Voz del usuario:* Se detalla las exigencias, demandas y deseos del usuario para la máquina.

A continuación, se detalla los requerimientos que debe cumplir la máquina, los cuales fueron proporcionado por el dueño de la empresa Minabradec y operarios del área de fundición.

- Fácil operación
- Fácil movilización
- Fácil Mantenimiento
- Encendido rápido
- Maquina ligera de peso
- Bajo Consumo de Energía
- Granulometría Adecuada
- Evite accidentes
- Trabaje adecuadamente
- Que no sea Ruidoso

3.2.1.2 *Voz del ingeniero:* En esta fase se describirán o se traducen las demandas de los clientes en especificaciones técnicas los requerimientos dados por el usuario, cada demanda genera una especificación técnica

- Ergonomía
- dimensiones
- Intercambio de piezas
- Tiempo de encendido
- Materiales
- Energía
- Dimensiones de la malla
- Carga máxima
- Nivel de ruido
- Seguridad

3.2.1.3 Análisis de competitividad.

En esta fase de la matriz QFD se estableció el grado de aceptación de cada una de las demandas del producto de la competencia, según el cumplimiento de las demandas, estos indicadores son calificados del 1 al 5 según su cumplimiento y se exponen en la matriz QFD

- Competencia 1

La metalúrgica San Carlos ubicada en Santa Fe-Argentina, especializada en la fabricación de máquinas y herramientas, dispone de zarandas para arena como se muestra en la figura 2-3.



Figura 2-3: Zaranda de la competencia

Fuente: (SAN CARLOS, 2009)

Costo: \$ 1300

Ubicación: Argentina-Buenos Aires

- Competencia 2

Zaranda para todo tipo de productos, desde alimenticios hasta arena, las especificaciones de la zaranda según el fabricante son:

-Dimensiones: ancho 60cm, largo 100 cm, alto 100 cm

- Tamiz 64cm x 50cm

- Motor czerweny 1/2 hp

- Estructura perfil 40x40mm

Costo: \$ 1500

Ubicación: Argentina-Buenos Aires



Figura 3-3: Zaranda eléctrica de la competencia

Fuente: (Libre, 1999)

- *Correlaciones*

En esta fase se evaluará la satisfacción de las demandas o requerimientos con las especificaciones técnicas, el resultado se establecerá en tres niveles: fuerte, mediano y débil (simbolizados por un círculo con punto, círculo, triángulo), si no existe ninguna relación se deja en blanco.

- *Evaluación técnica*

Este paso consiste en la valoración de la incidencia de cada una de las características técnicas. Para ello se calculó la importancia de cada especiación técnica mediante la siguiente expresión.

$$Imp = \sum I_d \cdot S_{dt}$$

Donde:

Imp =Importancia del criterio evaluado

I_d =Incidencia de la característica técnica

S_{dt} =Valor de ponderación

- *Compromisos técnicos*

Los compromisos técnicos se ubican en el techo de la casa de la calidad en esta parte se determinan las correlaciones entre cada una de las especificaciones técnicas. Se establecen cuatro niveles de correlación.

- Correlación positiva: Establece que, al mejorar la característica técnica, también mejora la otra
- Correlación negativa: Establece que, al mejorar una característica la otra empeora
- Sin correlación: Establece que, la variación de dos características técnicas no tiene influencia mutua.

El análisis realizado se muestra en la tabla 1-3, detalladamente se muestra el desarrollo de la casa de la calidad.

El Resultado de la matriz QFD. Después de conocer y analizar las necesidades del usuario y haberlas transformado en características técnicas del producto podemos cumplir con el propósito de adecuarlo a un modelo eficiente, adecuado y ergonómico.

Tabla 1-3: Matriz QFD (Casa de la calidad)

VOZ DEL USUARIO	COMPROMISOS										Ponderación en %
	A	B	C	D	E	F	G	H	I		
	Propia empresa	Competencia 1	Competencia 2	Objetivos	Índice de mejora	Factor de venta	Importancia	Ponderación	Ponderación en %		
FACIL OPERACIÓN	1	3	3	4	4	●	5	30	17,92		
FACIL TRANSPORTAR	1	2	2	3	3	●	4	14,4	8,6		
FACIL MANTENIMIENTO	1	3	3	3	3	●	4	14,4	8,6		
ENCENDIDO RAPIDO	1	4	4	4	4	●	3	12	7,17		
MAQUINA LIGERA DE PESO	1	3	2	2	2	●	3	7,2	4,3		
CONSUMO DE ENERGIA	1	3	3	3	3	●	4	18	10,75		
GRANULOMETRIA ADECUADA	1	4	5	4	4	●	4	24	14,34		
EVITE ACCIDENTES	1	3	3	4	4	●	3	14,4	8,6		
TRABAJE ADECUADAMENTE	1	4	5	4	4	●	5	24	14,34		
QUE NO SEA RUIDOSA	1	2	2	3	3	●	3	9	5,38		
Propia empresa	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Competencia 1	4	3	2	4	4	4	3	3	3		
Competencia 2	4	3	2	3	4	3	4	3	3		
Incidencia	505,2	356,4	216	176,4	194,4	378	284,4	393,6	202,2		
Incidencia en %	17,31	12,21	7,4	6	6,7	7,3	12,9	13,5	6,9		
ANÁLISIS DE LA COMPETENCIA	100										
VOZ DEL INGENIERO	ERGONOMIA	DIMENSIONES	INTERCAMBIO DE PIZAS	TIEMPO DE ENCENDIDO	MATERIALES	CONSUMO DE ENERGIA	DIMENSION DE MALLAS	SEGURIDAD	CARGA MAXIMA	NIVEL DE RUIDO	
VALORES DE REFERENCIA	MANIPULACION POR UN OPERARIO	ALTURA MAX. DE MAQ. 1m	TIEMPO DE MONTAJE 30MINUTOS	3 SEGUNDOS	MATERIALES INOXIDABLES RESISTENTE A LA CORROSION	110-220 V	ABERTURAS ENTRE 26,5 mm y 0,75 mm	PROTECCION Y RESGUARDO A MECANISMOS MOVILES	30 KG	45-70dba	

●	Muy Positiva
○	Positiva
×	Negativa
⊗	Muy negativa

○	4
○	3
○	2
○	1

○	B= BÁSICO
○	O= UNIDIMENSIONAL
○	E= ESTIMULANTE

●	Factor de Venta Fuerte=1,5
○	Posible=1,2
○	Ningún=1

○	Factor de Incidencia Fuerte =9
○	Medio=3
○	Bajo=1

3.2.2 *Resultados de la matriz de calidad QFD.*

Los resultados más importantes que se deben tomar de la matriz QFD para el diseño de la maquina tamizadora son los siguientes:

- *Operación:* el objetivo de la maquina es facilitar el proceso de tamizaje, disminuyendo el número de personas que se ocupaba para este proceso.
- *Costos:* para el diseño de la maquina se debe optimizar todos los recursos necesarios para que nuestra propuesta sea la mejor en la producción de máquinas tamizadoras, económica y el producto sea dirigido a empresas pequeñas y medianas.
- *Mantenimiento:* la facilidad de mantenimiento para los operarios, así como el montaje y desmontaje de la máquina, en un tiempo menor a una hora para el cambio de tamices.
- *Materiales:* la maquina debe ser capaz de resistir los trabajos en las jornadas laborables de la empresa, se debe seleccionar materiales que resistan las cargas que estén sometidas y al ambiente que este expuesto, el material que está en contacto con la arena de ser resistente a la corrosión.
- *Dimensiones:* las dimensiones de la maquina deben estar acorde al proceso y a la comodidad del operario, la altura de la maquina debe estar entre 1m ya que no debe ser muy alta puesto que se debe colocar la arena sobre el tamiz y si este está muy alto el operario realizara mayor trabajo de lo necesario.
- *Fuente de energía:* La máquina debe funcionar con un motor eléctrico entre 110 a 220V.
- *Peso:* El peso de la máquina tiene que ser moderado ya que esto facilitara la transportación de este hacia cualquier sitio.
- *Nivel de ruido:* Son valores de sonidos adecuados en ambientes de trabajo con lo que las personas de trabajar estos valores se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 2-3: Niveles máximos de ruidos permisibles según uso del suelo

TIPO DE ZONA SEGÚN USO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE NPS eq [dB(A)]	
	NPS	dB(A)
Zona Hospitalaria	45	35
Zona Residencial	50	40
Zona Residencial mixta	55	45
Zona Comercial	60	50
Zona Comercial mixta	65	55
Zona industrial	70	65

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

Fuente: (espol, s.f.)

Tabla 3-3: Nivel de ruido de Maquinaria

NIVEL DE RUIDO EN MAQUINARIA			
Equipo	[dB(A)]	Equipo	[dB(A)]
Martillo neumático	103-113	Aplanadora de tierra	90-96
Perforador neumático	102-111	Grúa	90-96
Sierra de cortar concreto	99-102	Retroexcavadora	84-93
Martillo	87-95	Sierra industrial	88-102
Niveladora	87-94	Soldador de pernos	101
Cargador de tractor	86-94	Bulldozer	93-96

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

Fuente: (espol, s.f.)

3.2.3 Especificaciones técnicas

Después de haber analizado la matriz QFD se especificará los datos técnicos que tendrá la maquina tamizadora de arena, estos criterios técnicos se presentan en la tabla 2-3.

Tabla 4-3: Especificaciones técnicas

Empresa Cliente: MINABRADEC CIA. LDTA		Producto: Tamizadora para arena de moldeo		Fecha inicial: 2017-08-25 Última versión: 2018-01-07
Diseñadores: -Juna Barreno -Darwin Lema				Hoja N ^o 1
Especificaciones:				
Denominación	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función		D	R	Tamizaje de arena para moldes de arena para taller de fundición
Dimensión		D	R	Altura máxima 1.2m
Energía		C	R	Energía eléctrica 110v
Material		C	R	Acero
Mantenimiento		D	R	Desmontaje y montaje rápido para mantenimiento
Señales y control		D	R	Botonera on / off
Transporte		C	D	La máquina debe ser transportada con facilidad
Tabla 4-3 (continuación)				
Vida útil		D	D	De operar sin ninguna novedad, en los primeros años de uso.
Ergonomía y seguridad		D	R	Fácil operación, el ruido no debe exceder de un máximo de 60 DB
Propone: C = Cliente; I= Ingeniería; D=Deseo R/D: R = Requerimiento; MR = Modificación de Requerimiento; NR = Nuevo req; D = Diseño				

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

3.2.4 *Análisis Funcional*

El objetivo del análisis funcional es desarrollar dos funciones primarias y secundarias, con el propósito de identificar la acción que efectúa el mecanismo. La función principal de la maquina es tamizar la arena para obtener una granulometría uniforme y sin impurezas, para que esta acción se realice se necesita acciones secundarias que permitirán que esta operación se efectuée.

En el análisis de la función primaria las señales y variantes que ingresan son: Arena triturada que es el material a tamizar, energía eléctrica, señal puesta en marcha. Las variables de salidas son: Arena tamizada.

El diagrama funcional primario de la maquina tamizadora se muestra en la figura 20.

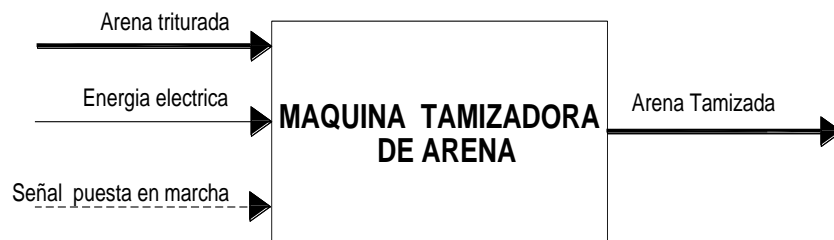


Figura 4-3: Análisis Funcional-Nivel 0

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

Se identificó las funciones principales que se ejecutaran para alcanzar el funcionamiento total. En la siguiente figura se muestra el nivel de estructura funcional.

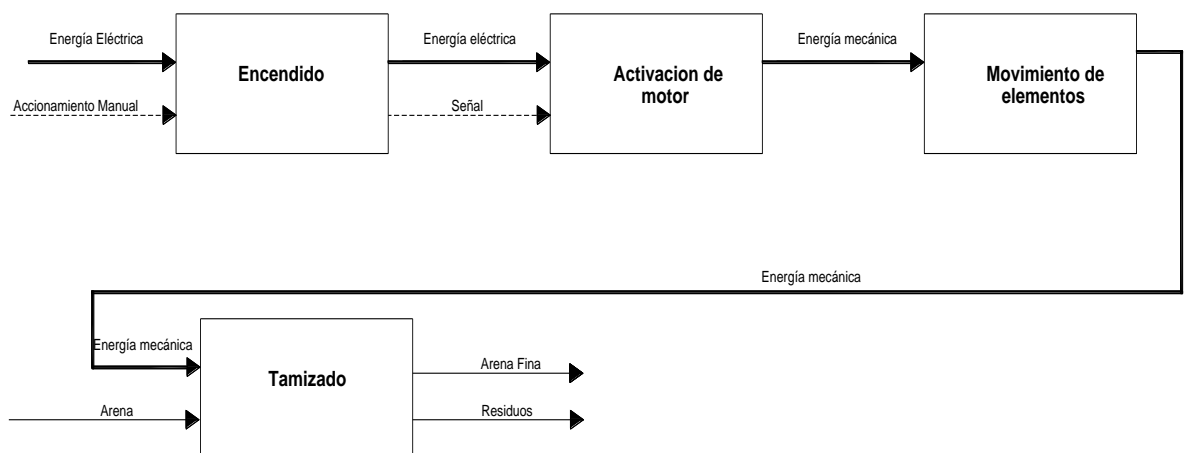


Figura 5-3: Análisis funcional-Nivel 1

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

En el siguiente nivel de análisis funcional se establecieron las sub-funciones de la tamizadora que se muestra en la figura 6-3.

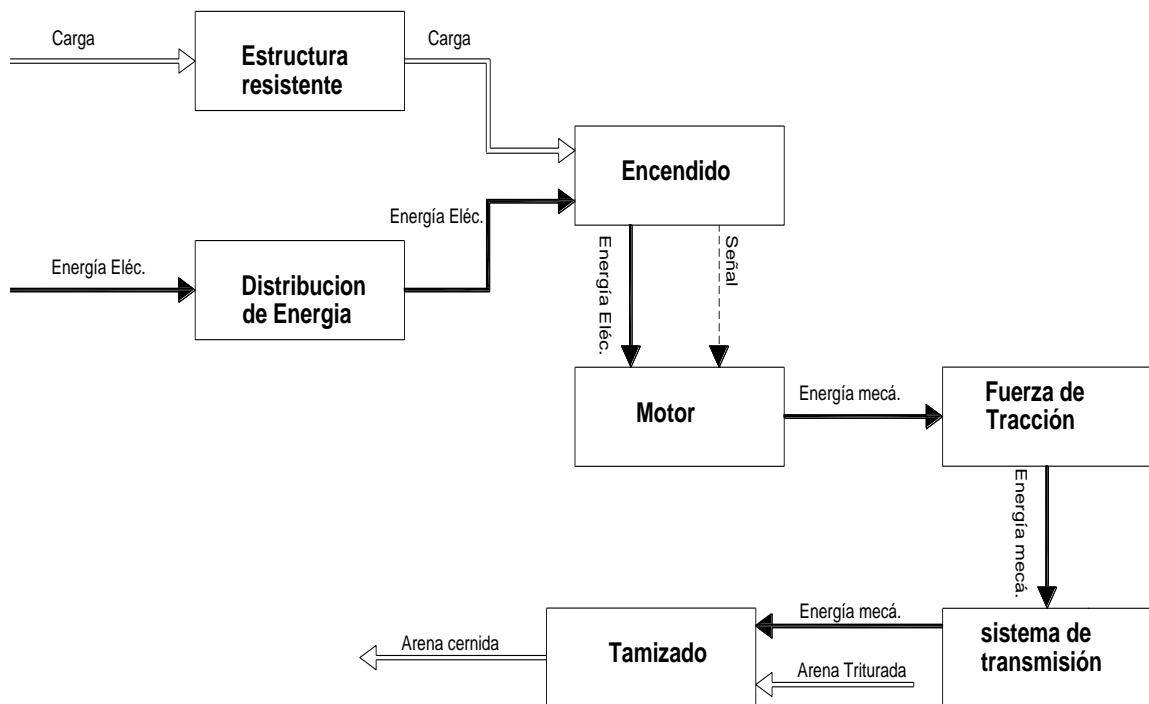


Figura 6-3: Análisis funcional-Nivel 2

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

3.3 Definición de módulos

La estructura modular dividirá el producto principal en varios bloques funcionales lo que permitirá una mayor comprensión del funcionamiento del producto y facilitara su mantenimiento, como el proceso de tamizaje es simple se utilizara un solo modulo.

La estructura modular permitirá una facilidad con el mantenimiento y una mejor comprensión con el funcionamiento del producto, contribuyendo a la reducción de costos. Se dividirá en un bloque funcional ya que la máquina solo presenta un proceso simple para tamizar la arena.

En la figura 7-3, se muestra el módulo que poseerá la máquina con el propósito de sintetizar el proyecto, cada uno de los elementos que conforman la máquina cumplirán un proceso y función que trabajan sincrónicamente, con lo cual se facilitara la visualización de cada proceso. (CHANGUAN GONZALES & YANCHALIQUIN TIXILEMA, 2016)

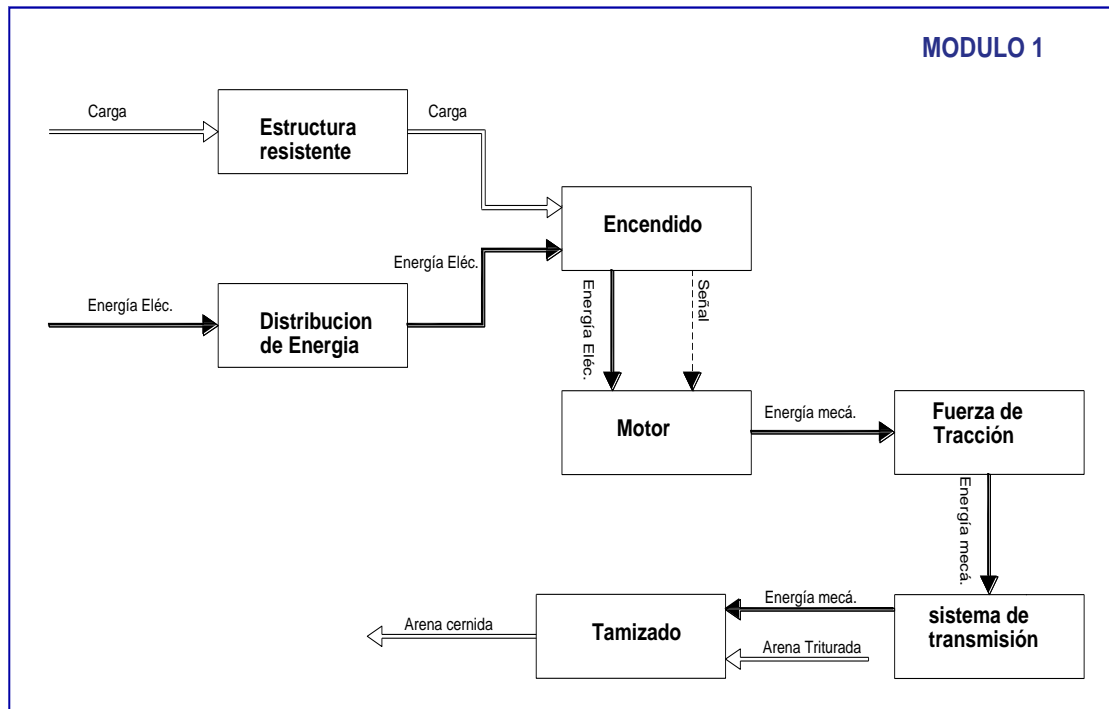


Figura 7-3: Generación del módulo

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

El módulo 1 corresponde tanto a la parte mecánica y eléctrica, el siguiente modulo que se detalla a continuación:

3.3.1 *Módulo 1*

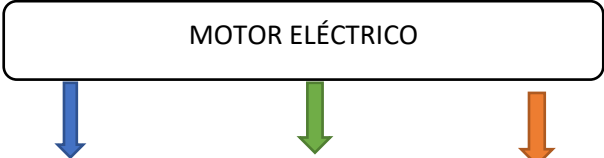
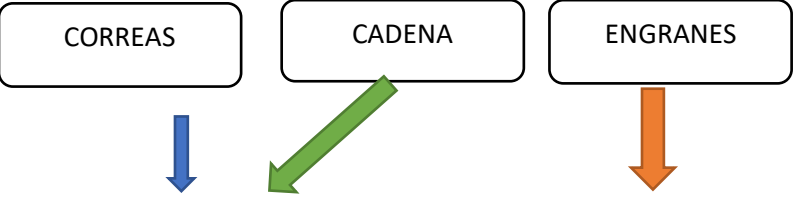
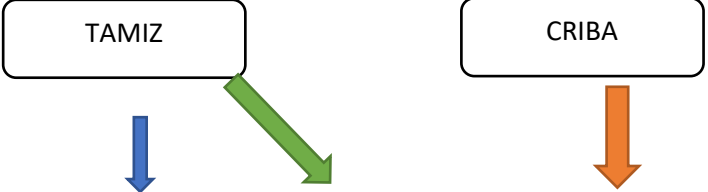
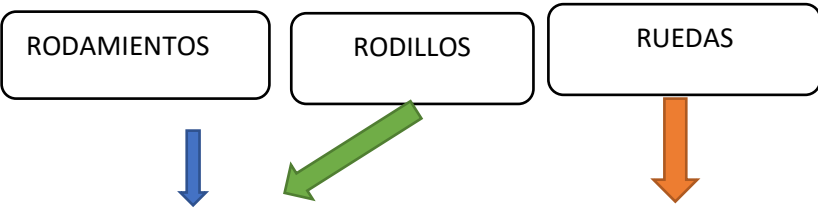

- Estructura resistente
- Puesta en marcha
- Sistema de transmisión
- Tamizado
- Recepción de arena

Solución para el módulo 1

Las alternativas nombradas anteriormente se combinarán entre sí, dando lugar a soluciones posibles que se analizarán cada una, para poder verificar su óptimo funcionamiento y el cumplimiento de las necesidades del usuario.

Como resultado de estas combinaciones se obtiene 3 alternativas de solución, estas alternativas deben considerar las características y requerimientos del usuario plasmado en la casa de la calidad. Las alternativas a analizar se presentan en la tabla 5-3.

Tabla 5-3: Alternativas para la maquina tamizadora de arena

Función	Componente		
PUESTA EN MARCHA			
TRASMISIÓN DE MOVIMIENTO			
TAMIZADO			
MOVIMIENTO DE TAMIZ			
RECEPCIÓN			
SOLUCIONES	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

Las propuestas presentadas anteriormente están basadas en los requerimientos para el proceso de tamizaje. A continuación, se especificará cada alternativa.

3.3.1.1 Alternativa 1.

La tamizadora tendrá un motor eléctrico con la potencia necesaria para generar el movimiento máquina, un sistema de transmisión por correas será el encargado de

transmitir el movimiento a un eje el cual esta acoplado a un disco con eje excéntrico el cual generará el movimiento de vaivén en el sistema de tamizaje, produciendo una oscilación hacia adelante y atrás. El sistema de tamizaje se moverá mediante rodamientos acoplados en las paredes laterales del soporte del tamiz, la arena es colocado sobre la malla de forma manual mediante una pala por el operario, la arena pasará por las aberturas hacía abajo por efecto de la gravedad, cayendo sobre una la tolva la cual dirigirá la arena hacia el exterior de la máquina para su posterior recolección.

Ventajas

- Mediante las poleas y bandas se puede operar a altas velocidades de rotación
- Montaje y mantenimiento sencillo
- Económica y Ergonómica
- Fácil trabajo

Desventajas

- Capacidad limitada

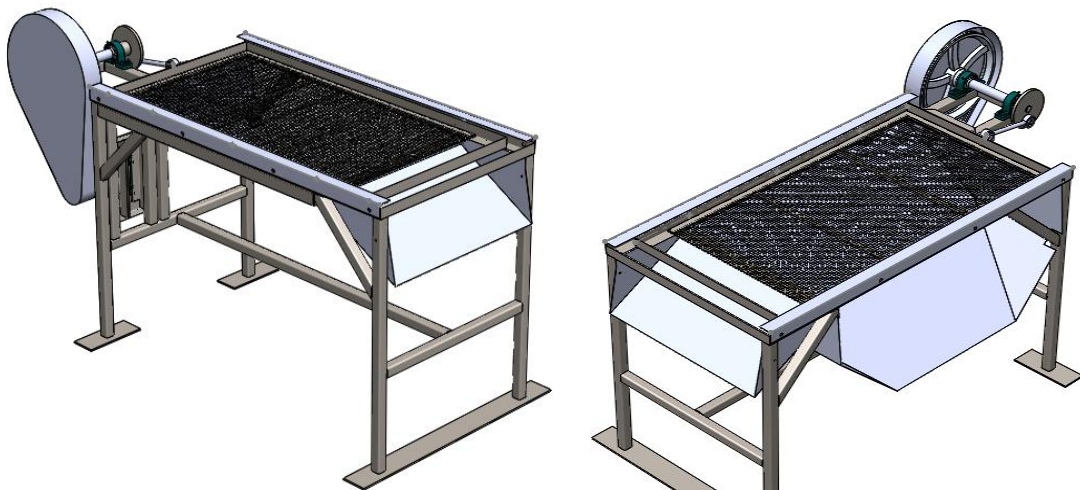


Figura 8-3: Alternativa 1

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

3.3.1.2 Alternativa 2.

Esta alternativa está compuesta de un motor eléctrico, que desempeña la función motriz de la máquina, conectado a un sistema de transmisión por cadena, el mismo que mediante un eje acoplado en su otro extremo un disco con un eje excéntrico, generará un

movimiento de vaivén en el tamiz. El tamiz se desliza sobre rodillos colocados en la parte inferior del sistema de tamizaje, y la arena a procesarse por efecto de la gravedad, y el movimiento de vaivén caerá sobre una tolva que guiará la arena al exterior de la máquina.

Ventajas

- En la transmisión de potencia no existe deslizamiento
- Gran capacidad
- Ergonómica

Desventajas

- Costo es elevado por los elementos de transmisión
- Mayor mantenimiento, lubricación de los elementos
- Apoyos para los rodillos

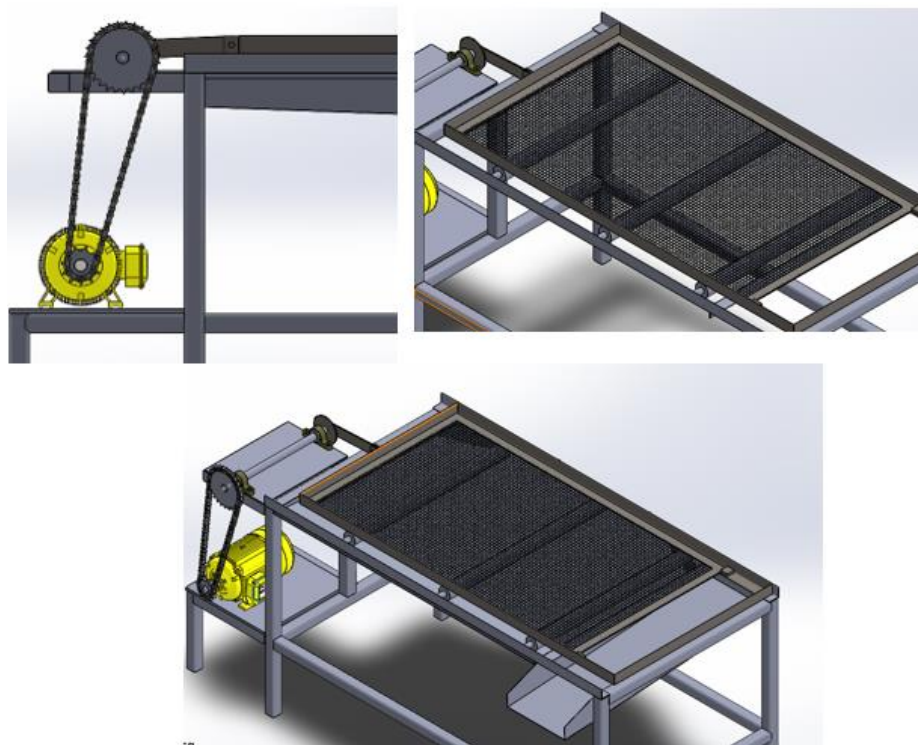


Figura 9-3: Alternativa 2

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

3.3.1.3 Alternativa 3.

A diferencia de las anteriores alternativas el mecanismo de transmisión de potencia y movimiento se lo realiza mediante engranes y el tamiz se desliza sobre ruedas acopladas a los lados del soporte del tamiz, de tal forma que el tamiz se desplace sobre la bancada

de forma oscilatoria horizontalmente, realiza el tamizaje de la arena. La arena cae debajo de la máquina por la gravedad quedando las partículas más grandes sobre la malla.

Ventajas

- Relación de transmisión es constante
- Mayor capacidad de trabajo
- El peso es menor comparado con las anteriores alternativas

Desventajas

- Mayor mantenimiento
- Incomodidad al momento de extraer la arena cernida

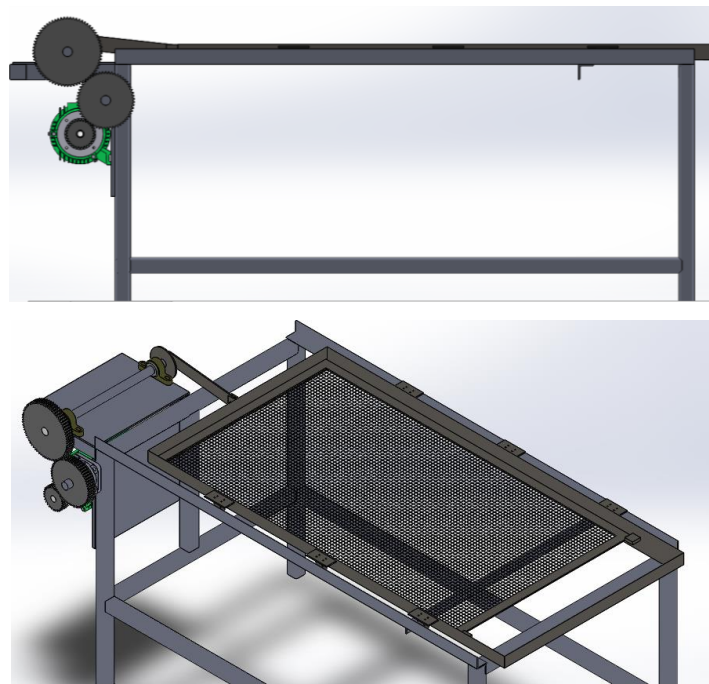


Figura 10-3: Alternativa 3

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

3.3.2 *Evaluación de soluciones*

Después de un despliegue de alternativas, corresponde hacer una evaluación de las mismas que sirva de base para la posterior toma de decisiones. Estas evaluaciones deben ponderar distintos aspectos del sistema en base a criterios que a menudo implican juicios de valor. (RIBA, 2002)

Para la toma de decisiones debe estar presente lo siguiente.

-*Alternativas*. Como mínimo debe de disponerse de dos alternativas, lo adecuado es entre 3 y 6 cuyas características deben ser diferentes (RIBA, 2002)

-*Criterios*. Hay que establecer los criterios en base a los cuales las alternativas deberán ser evaluadas, así como también la ponderación relativa entre ellas. En las soluciones de ingeniería intervienen múltiples aspectos que se debe de considerar de forma global, en todos los métodos de evaluación aparece el problema de la ponderación de criterios. (RIBA, 2002)

Existe numerosos métodos de evaluación, pero el método se va ocupar es el método ordinal.

-*Método ordinal corregido de criterios ponderados*. Se recomienda este método, cuando la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar el peso de cada criterio, permitiendo obtener resultados globales suficientemente significativos. Este método se basa en unas tablas donde cada solución para un determinado criterio es evaluado con los demás criterios o soluciones asignando los siguientes valores. (RIBA, 2002)

- 1 si el criterio de las filas es superior que el de las columnas
- 0.5 si el criterio de las filas es igual al de las columnas
- 0 si el criterio de las filas es inferior que el de las columnas. (RIBA, 2002)

Con cada uno de estos valores se evaluará los criterios de mayor relevancia o influencia cada criterio obtenido de la matriz QFD.

3.3.3 Criterios de valoración del módulo.

-*Confiabilidad*. Es un criterio importante, ya que debe ser amigable con el usuario es decir su fácil operación además debe funcionar adecuadamente y tenga una alta vida con los mantenimientos adecuados.

-*Costo*. Se consideró el costo puesto que debe ser competitiva en el mercado y asequible para empresas pequeñas y medianas.

-*Potencia*. La potencia se consideró ya que es un factor importante ya que involucra el consumo de energía y la capacidad para el tamizaje.

-*clasificación diferente*. Puede tamizar para diferentes granulometrías dependiendo de la clase de malla o las dimensiones de la abertura, según el requerimiento del usuario puede intercambiar el tipo de malla.

Tabla 6-3: Evaluación de criterios.

confiabilidad>costo=potencia>clasificación diferente						
Criterio	Confiabilidad	Costo	Potencia	Clasificación diferente	$\Sigma+1$	Ponderación
Confiabilidad		1	1	1	4	0,4
Costo	0		0.5	1	2,5	0,25
Potencia	0	0.5		1	2,5	0,25
Clasificación diferente	0	0	0		1	0,1
TOTAL					10	1

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

Tabla 7-3: Evaluación de confiabilidad

Solución 1=solución 2>solución					
CONFIABILIDAD	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0.5	1	2,5	0,5
Solución 2	0.5		1	1,5	0,3
Solución 3	0	0		1	0,2
TOTAL				5	1

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

Tabla 8-3: Evaluación del costo

Solución 1 > solución 2 > solución 3					
COSTO	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0,5
Solución 2	0		1	2	0,333
Solución 3	0	0		1	0,166
TOTAL				6	1

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

Tabla 9-3: Evaluación de Potencia

Solución 1 = solución 2 = solución 3					
POTENCIA	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0,5	2	0,333
Solución 2	0,5		0,5	2	0,333
Solución 3	0,5	0,5		2	0,333
TOTAL				6	1

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

Tabla 10-3: Evaluación de la clasificación diferente

Solución 1 = solución 2 > solución 3					
CLASIFICACIÓN DIFERENTE	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	1	2,5	0,4166
Solución 2	0,5		1	2,5	0,4166
Solución 3	0	0		1	0,1666
TOTAL				6	1

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

Tabla 11-3: Conclusión de la elección de alternativas

Conclusión	Confiabilidad	Costo	Potencia	Clasificación diferente	Σ	Prioridad
Solución 1	0,2	0,125	0,0832	0,0416	0,408	1
Solución 2	0,12	0,0832	0,0832	0,0416	0,328	2
Solución 3	0,08	0,0415	0,0832	0,0416	0,2463	3

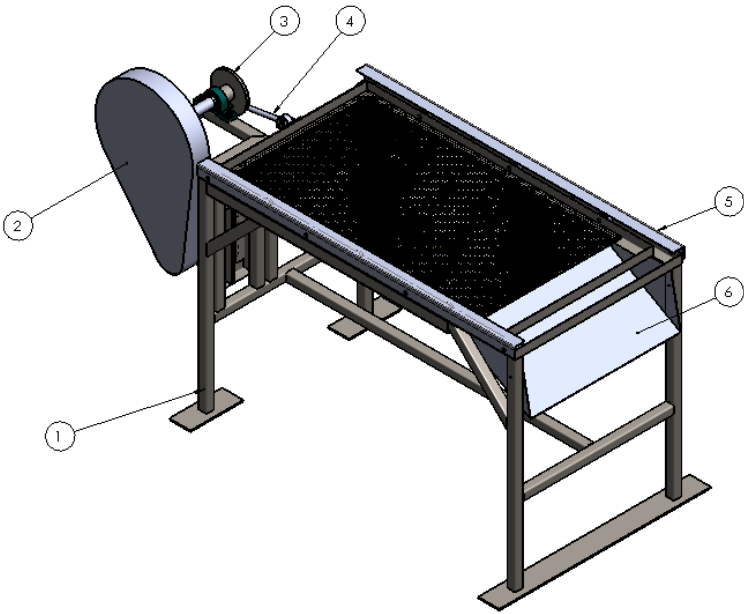
Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

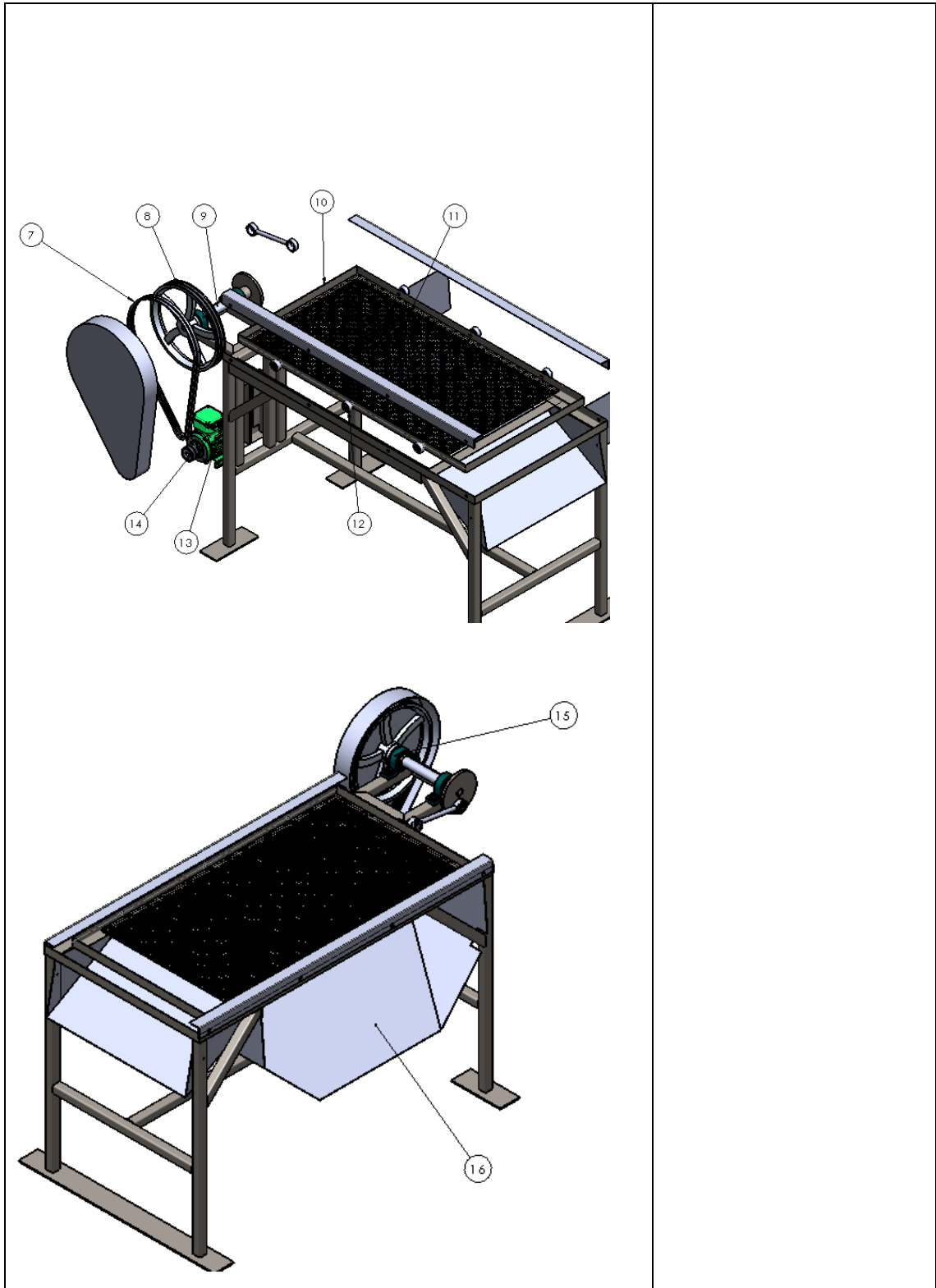
-*Conclusiones:* Mediante el análisis de criterios ponderados hemos analizado las tres alternativas, concluyendo que la alternativa 1 es la más adecuada para el proceso de tamizaje, esta alternativa está compuesta por una dosificación manual, el sistema motriz es eléctrico, el mecanismo de transmisión está conformado por bandas y poleas, el tamizado se realiza mediante una malla metálica que puede ser intercambiable.

3.3.4 Características de la solución seleccionada.

La alternativa 1 cumple con los requerimientos mencionados por el usuario, todos estos requerimientos son traducidos a criterios técnicos los cuales serán diseñados y seleccionados.

Tabla 12-3: Pre diseño de la máquina

Esquema	Nombre
	1. Estructura
	2.Carcasa de la polea
	3.Disco excéntrico
	4.Biela
	5.Correderas
	6.Tolva secundaria
	7.Bandas
	8.Polea conducida
	9.Eje de transmisión
	10.Soporte de tamiz
	11.Tamiz
	12.Ruedas
	13.Motor
	14.Polea motriz
	15. Chumaceras
	16.Tolva principal



Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO MECÁNICO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE LA MÁQUINA TAMIZADORA

Al obtener la alternativa para la máquina tamizadora de arena, en el presente capítulo se procedió al diseño mecánico y a la selección de elementos. Para el diseño se empezó definiendo las condiciones y los requerimientos necesarios para la máquina que son los siguientes:

- La capacidad requerida para la tamizadora es de 60 Kg por minuto, además que debe soportar una carga directa de 30 Kg.
- Las dimensiones de la máquina deberán ser de una altura máxima de 1m, ancho máximo de 1 m y 1,80 m de largo.

Para la realización del diseño se utilizó los siguientes softwares, Solidworks, Ms Adams, Matlab, Sap2000 y AutoCAD.

4.1 Mecanismo de movimiento de la máquina.

El mecanismo principal de la máquina se basa en el sistema biela-manivela, este transmitirá la potencia requerida y las condiciones de movimiento. El mecanismo biela-manivela que se muestra en la figura 1-4, convierte un movimiento circular en un movimiento rectilíneo alternativo, ejerciendo fuerzas variables en todos los puntos de unión, dependiendo de la posición a la que se encuentre el mecanismo, en este mecanismo las oscilaciones son simétricas.

La función de la manivela es realizada por un disco con un eje excéntrico, mientras la biela es una barra que en sus extremos posee rodamientos, que se une con el sistema de tamizaje, como se indica en la figura 1-4. Las medidas del mecanismo están en base a la disponibilidad de espacio y según los requerimientos establecidos.

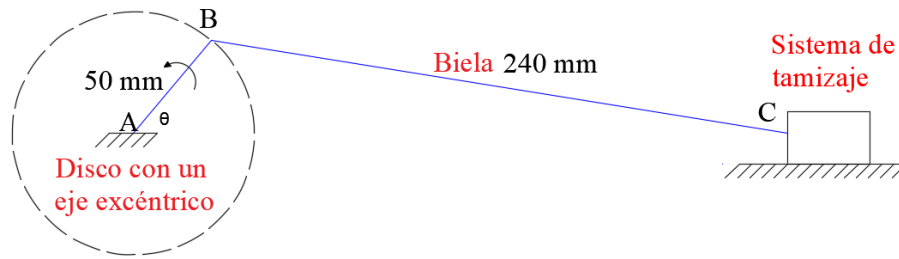


Figura 1-4: Mecanismo biela-manivela

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

El diseño empieza por un análisis dinámico del mecanismo para obtener las máximas fuerzas y torque requerido para mover el sistema de tamizaje, y en base a esto una correcta selección del motor, diseño y selección de las demás partes de la máquina, para esto primero se diseñó la geometría de los componentes principales del mecanismo, debido a que cada elemento presenta sus dimensiones específicas, y en base a esto obtuvimos sus propiedades como son masas, momentos de inercia respecto al eje de rotación, y centros de masa.

4.2 Diseño geométrico y cálculo de las propiedades para los elementos del mecanismo.

Como ya se mencionó el mecanismo consta de un disco con un eje excéntrico, de una biela, y del sistema de tamizaje, todos estos elementos fueron diseñados en base a las dimensiones requeridas, el diseño de su geometría se realizó en el software solidworks, el mismo que nos permitió obtener sus propiedades, con lo que posteriormente en base a las fuerzas resultantes del análisis dinámico se verificará si sus dimensiones son adecuadas para soportar dichas cargas.

4.2.1 Disco con un eje excéntrico

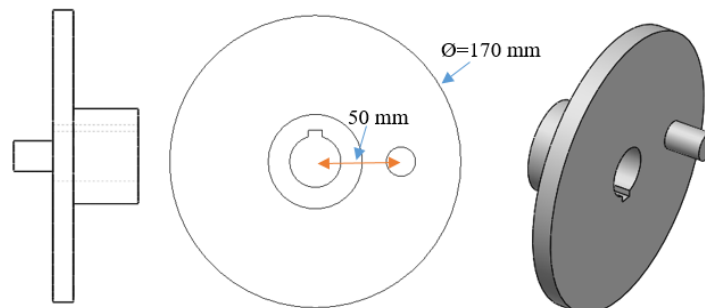


Figura 2-4: Geometría del disco con un eje excéntrico

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. SolidWorks.

Las propiedades del disco, son:

$$m_{disco} = 2,6 \text{ Kg}$$

$$I_{disco} = 8060,63 \text{ Kg} * \text{mm}^2$$

$$R_{G2} = 0,8 \text{ mm}$$

4.2.2 Biela

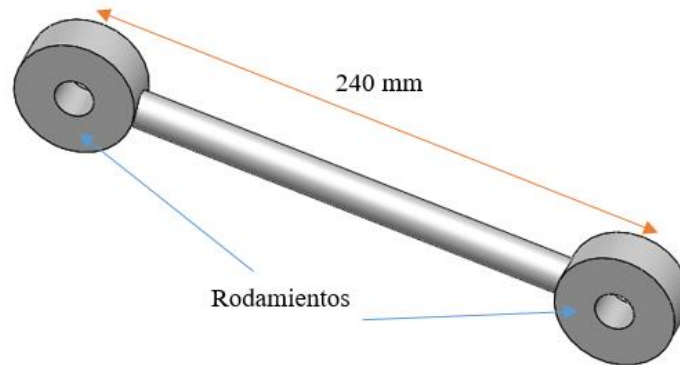


Figura 3-4: Geometría de la biela

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. SolidWorks.

Propiedades de la biela son:

$$m_{biela} = 0,9 \text{ Kg}$$

$$I_{biela} = 9686,37 \text{ Kg} * \text{mm}^2$$

$$R_{G3} = 120 \text{ mm}$$

4.2.3 Sistema de tamizaje

El sistema de tamizaje consta de dos partes principales, la malla y el soporte de la malla que se encuentra apoyada por seis ruedas que permitirán el deslizamiento sobre la bancada.

4.2.3.1 Malla

➤ *Marco de la malla:*

La función del marco será para asegurar la malla, y fijar contra el soporte, para su construcción se usará platinas de 30x3mm, según el ANEXO A, del mismo anexo se obtiene el peso por metro de la platina.

El marco consta de dos partes, de la base y la tapa, como se indica en la figura 2-4.



Figura 4-4: Marco de la malla

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. SolidWorks.

Para su diseño se utilizará un total de 7,95 m de platina.

$$Masa_{marco} = Longitud[m] * Peso \left[\frac{Kg}{m} \right]$$

$$Masa_{marco} = 7,95 m * 0,71 \frac{Kg}{m}$$

$$Masa_{marco} = 5,64 Kg$$

➤ Selección y masa de la malla:

La selección de la malla se realizó según el requerimiento de la empresa, las dimensiones de la malla a ubicarse en la máquina son 1,2m x 0,69m obteniéndose así un área de 0,828 m².

Del ANEXO B seleccionamos la malla tejida con apertura de ¼”, para calcular su masa aplicamos una regla de tres simple, empleando la masa de todo el rollo.

$$27m^2 = 26,7 Kg$$

$$0,828m^2 = X Kg$$

$$Masa_{malla} = 0,82 Kg$$

4.2.3.2 Soporte de la malla

La función del soporte es para el anclaje de la malla, el mismo que va a estar en movimiento sobre la estructura por medio de las seis ruedas unidas al soporte. Este estará diseñado con un ángulo estructural de 40x3mm según el ANEXO C.

La longitud total para su construcción es de 4,8 m.

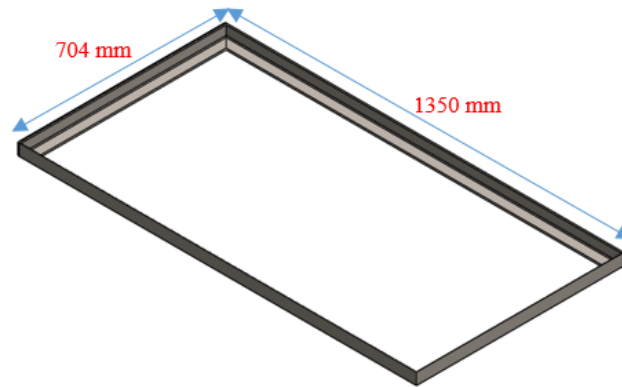


Figura 5-4: Soporte de la malla

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. SolidWorks.

$$Masa_{soporte} = Longitud[m] * Peso \left[\frac{Kg}{m} \right]$$

$$Masa_{soporte} = 4,8 m * 1,81 \frac{Kg}{m}$$

$$Masa_{soporte} = 8,7 Kg$$

➤ *Masa de las ruedas:*

El diseño contará con seis ruedas para el deslizamiento de la zaranda. Las ruedas seleccionadas del mercado tienen una dimensión de $1 \frac{1}{4}$ in de diámetro y poseen una masa de 170 g cada una.

$$Masa_{rueda} = 0,17 Kg$$

$$Masa_{ruedas} = 0,17 Kg * 6$$

$$Masa_{ruedas} = 1,02 Kg$$

La masa total del sistema de tamizaje, es la suma de todas las masas calculadas.

$$Masa_{sistema} = Masa_{marco} + Masa_{malla} + Masa_{soporte} + Masa_{ruedas}$$

$$Masa_{sistema} = 5,64Kg + 0,82Kg + 8,7Kg + 1,02Kg$$

$$Masa_{sistema} = 16,18 Kg$$

4.2.3.3 Cálculo de la masa del sistema mediante SOLIDWORKS.

Mediante el software SOLIDWORKS, se realizó el ensamble de cada elemento del sistema de tamizaje, para comprobar la masa obtenida y además obtener sus propiedades, dando como resultado una masa muy cercana a la ya obtenida.

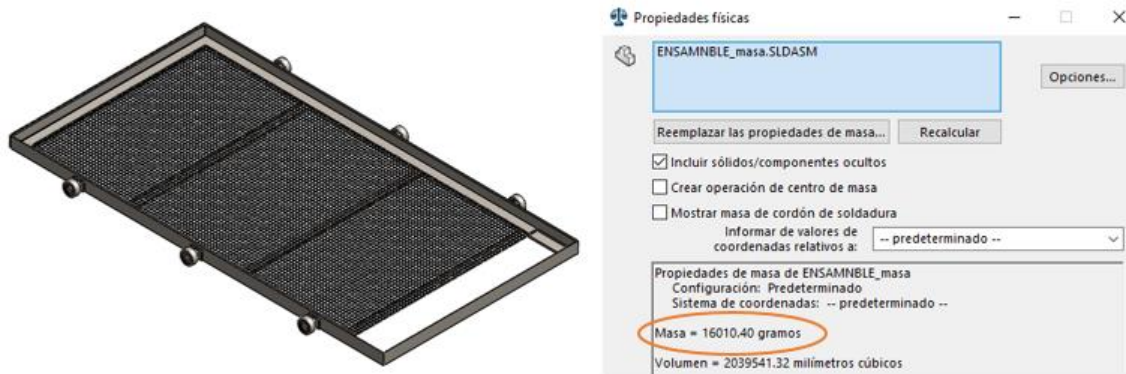


Figura 6-4: Cálculo de las propiedades del sistema de tamizaje

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. SolidWorks

Masa del sistema calculado por el software Solidworks= 16010,40g

$$Masa_{sistema} = 16,01 \text{ Kg}$$

Para el diseño se consideró adicionalmente una masa de arena de 30 Kg, ya que, la carga máxima es de 25 Kg de arena en el taller, este dato se obtuvo mediante mediciones. Por lo tanto, la masa total de diseño será:

$$m_t = Masa_{sistema} + Masa_{arena}$$

$$m_t = 16,2 \text{ Kg} + 30 \text{ Kg}$$

$$m_t = 46,2 \text{ Kg}$$

La masa total obtenida cuando la máquina esté trabajando a carga máxima es de 46,2 Kg, en base a esto el diseño se realizó con una masa total de 46 Kg para el sistema de tamizaje.

4.3 Análisis cinemático del mecanismo

El análisis cinemático del mecanismo, básicamente es el inicio del análisis dinámico, aquí se detalla el cálculo de velocidades y aceleraciones, sin considerar fuerzas ni masas, la velocidad angular que será transmitida al mecanismo es de 180 RPM. El esquema

representativo del mecanismo se muestra en la figura 7-4, del cual se obtuvieron las ecuaciones correspondientes para la posición, velocidades, y aceleraciones de cada elemento.

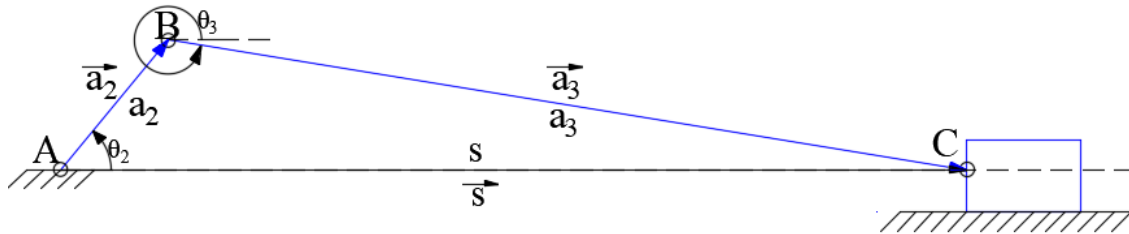


Figura 7-4: Mecanismo biela-manivela.

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

4.3.1 *Análisis de posición*

En base a la figura 7-4, vectorialmente se obtiene que:

$$\vec{a}_2 + \vec{a}_3 = \vec{s} \quad (1)$$

Mediante la descomposición de los vectores en sus componentes x, y obtenemos las ecuaciones escalares, en donde los ángulos $\theta_2, \theta_3, \theta_s$ son ángulos absolutos, siendo $\theta_s = 0$, la manivela es el elemento motriz por lo tanto θ_2 es un dato de entrada.

$$a_2(\cos\theta_2 + \text{sen } \theta_2) + a_3(\cos\theta_3 + \text{sen } \theta_3) = s(\cos\theta_s + \text{sen } \theta_s)$$

Separando cada componente escalar de la ecuación anterior y reemplazando el valor de θ_s se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$a_2 \cos\theta_2 + a_3 \cos\theta_3 = s \quad (2)$$

$$a_2 \text{sen } \theta_2 + a_3 \text{sen } \theta_3 = 0 \quad (3)$$

Donde se debe notarse $\theta_2, \theta_s, a_3, a_2, \theta_s$ son parámetros conocidos, mientras las variables son θ_3 y s , las ecuaciones (2) y (3) expresado como función de θ_3 y s están dadas por.

$$f_1(\theta_3, s) = a_2 \cos\theta_2 + a_3 \cos\theta_3 - s \quad (4)$$

$$f_2(\theta_3, s) = a_2 \text{sen } \theta_2 + a_3 \text{sen } \theta_3 \quad (5)$$

El sistema de ecuaciones resultante es un sistema no lineal, el cual se resolverá mediante la matriz jacobina, obteniendo así:

$$J(\theta_3, s) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \theta_3} & \frac{\partial f_1}{\partial s} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \theta_3} & \frac{\partial f_2}{\partial s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_3 \text{sen} \theta_3 & -1 \\ a_3 \text{cos} \theta_3 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

En base a las ecuaciones 4, 5 y 6 ya se puede realizar un análisis de posición, para la resolución del sistema se empleó Matlab, debido a que es un proceso iterativo, el resultado obtenido del análisis de posición se muestra en el gráfico 1-4, aquí se muestra la posición del sistema de tamizaje con respecto al ángulo θ_2 .

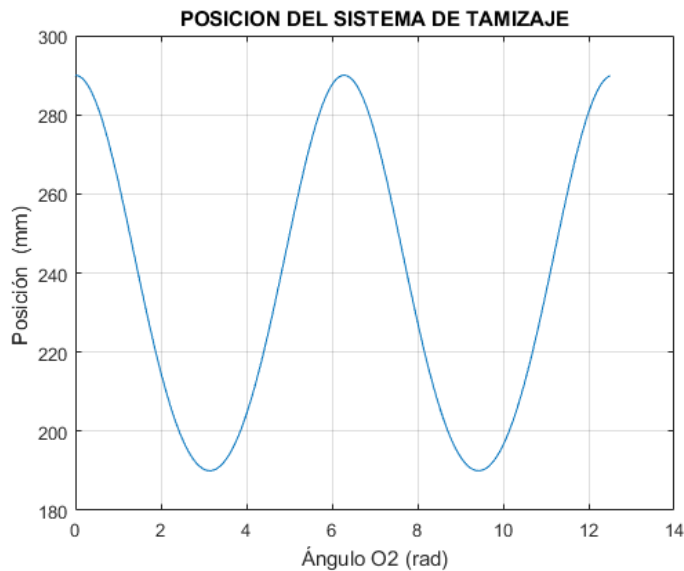


Gráfico 1-4: Determinación de la posición del sistema de tamizaje

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. Matlab.

4.3.2 *Análisis de velocidad*

Para el análisis de velocidad se derivó las ecuaciones (4) y (5) con respecto al tiempo, de tal manera que ahora las variables serían $\dot{\theta}_3$ y \dot{s} , las cuales representan la velocidad angular de la biela y la velocidad lineal del sistema de tamizaje respectivamente.

$$f'_1(\dot{\theta}_3, \dot{s}) = -a_2 \text{sen} \theta_2 \dot{\theta}_2 - a_3 \text{sen} \theta_3 \dot{\theta}_3 - \dot{s} = 0 \quad (7)$$

$$f'_2(\dot{\theta}_3, \dot{s}) = a_2 \text{cos} \theta_2 \dot{\theta}_2 + a_3 \text{cos} \theta_3 \dot{\theta}_3 = 0 \quad (8)$$

Las ecuaciones (6) y (7) son ecuaciones lineales con dos incógnitas $\dot{\theta}_3$ (velocidad angular de la biela) y \dot{s} (velocidad del sistema de tamizaje) por lo tanto el sistema de ecuaciones se resolverá mediante determinantes. Además que $\dot{\theta}_2$, representa la velocidad angular del disco, que en este caso, es una velocidad angular constante de 18,85 rad/s.

$$\begin{aligned} -a_2 \operatorname{sen} \theta_2 \dot{\theta}_2 - a_3 \operatorname{sen} \theta_3 \dot{\theta}_3 - \dot{s} &= 0 \\ a_2 \operatorname{cos} \theta_2 \dot{\theta}_2 + a_3 \operatorname{cos} \theta_3 \dot{\theta}_3 &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} -a_3 \operatorname{sen} \theta_3 & -1 \\ a_3 \operatorname{cos} \theta_3 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_3 \\ \dot{s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_2 \operatorname{sen} \theta_2 \dot{\theta}_2 \\ -a_2 \operatorname{cos} \theta_2 \dot{\theta}_2 \end{bmatrix}$$

$$\dot{\theta}_3 = \frac{\begin{vmatrix} a_2 \operatorname{sen} \theta_2 \dot{\theta}_2 & -1 \\ -a_2 \operatorname{cos} \theta_2 \dot{\theta}_2 & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -a_3 \operatorname{sen} \theta_3 & -1 \\ a_3 \operatorname{cos} \theta_3 & 0 \end{vmatrix}} = -\frac{\dot{\theta}_2 a_2 \operatorname{cos} \theta_2}{a_3 \operatorname{cos} \theta_3}$$

$$\dot{s} = \frac{\begin{vmatrix} -a_3 \operatorname{sen} \theta_3 \dot{\theta}_2 & a_2 \operatorname{sen} \theta_2 \dot{\theta}_2 \\ a_3 \operatorname{cos} \theta_3 \dot{\theta}_2 & -a_2 \operatorname{cos} \theta_2 \dot{\theta}_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -a_3 \operatorname{sen} \theta_3 & -1 \\ a_3 \operatorname{cos} \theta_3 & 0 \end{vmatrix}} = \frac{\dot{\theta}_2 a_2 \operatorname{sen}(\theta_3 - \theta_2)}{\operatorname{cos} \theta_3}$$

$$\dot{\theta}_3 = -\frac{\dot{\theta}_2 a_2 \operatorname{cos} \theta_2}{a_3 \operatorname{cos} \theta_3} \quad (9)$$

$$\dot{s} = \frac{\dot{\theta}_2 a_2 \operatorname{sen}(\theta_3 - \theta_2)}{\operatorname{cos} \theta_3} \quad (10)$$

Los resultados del análisis de velocidades del mecanismo manivela biela se muestran en los gráficos 2-4 y 3-4. El gráfico 2-4 muestra los valores de la velocidad angular de la biela en función del ángulo θ_2 , mientras que el gráfico 3-4 muestra la velocidad lineal del sistema de tamizaje en función del ángulo θ_2 .

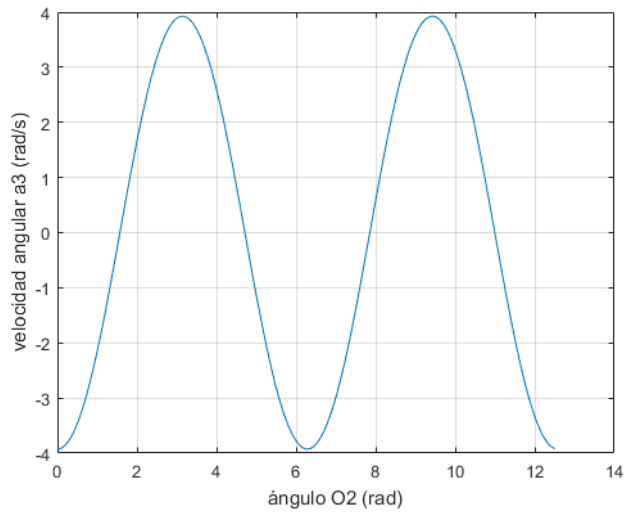


Gráfico 2-4: Determinación de la velocidad angular de la biela

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. Matlab.

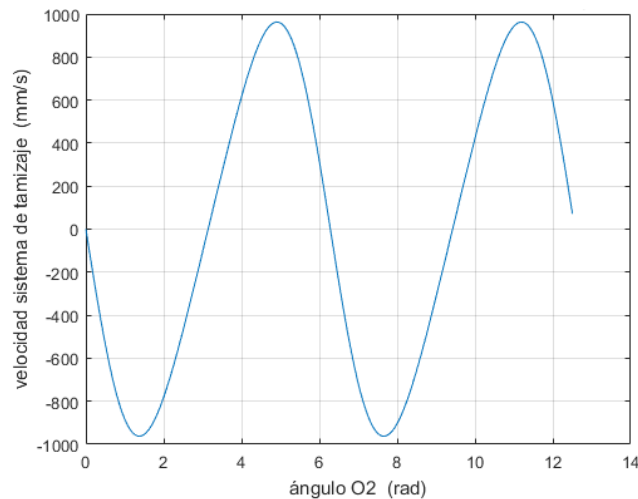


Gráfico 3-4: Determinación de la velocidad lineal del sistema tamizaje

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. Matlab.

4.3.3 *Análisis de la aceleración:*

Al derivar las ecuaciones (7) y (8) con respecto al tiempo se obtiene las ecuaciones para el análisis de la aceleración del mecanismo. Estas ecuaciones están dadas por:

$$-a_2 \text{sen} \theta_2 \ddot{\theta}_2 - a_2 \text{cos} \theta_2 \dot{\theta}_2^2 - a_3 \text{sen} \theta_3 \ddot{\theta}_3 - a_3 \text{cos} \theta_3 \dot{\theta}_3^2 - \ddot{s} = 0 \quad (11)$$

$$a_2 \text{cos} \theta_2 \ddot{\theta}_2 - a_2 \text{sen} \theta_2 \dot{\theta}_2^2 + a_3 \text{cos} \theta_3 \ddot{\theta}_3 - a_3 \text{sen} \theta_3 \dot{\theta}_3^2 = 0 \quad (12)$$

Las ecuaciones (11) y (12) representan las ecuaciones de la aceleración siendo ecuaciones lineales en donde $\ddot{\theta}_2$, $\ddot{\theta}_3$ son las aceleraciones angulares de la manivela y biela

respectivamente, donde $\ddot{\theta}_2 = 0$ y la aceleración del sistema de tamizaje está dado por \ddot{s} . Para determinar los valores de $\ddot{\theta}_3$ y \ddot{s} se empleó el método de determinantes para la resolución del sistema de ecuaciones lineales.

$$\begin{bmatrix} -a_3 \operatorname{sen} \theta_3 & -1 \\ a_3 \operatorname{cos} \theta_3 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_3 \\ \ddot{s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_2 \operatorname{sen} \theta_2 \ddot{\theta}_2 + a_2 \operatorname{cos} \theta_2 \dot{\theta}_2^2 - a_3 \operatorname{sen} \theta_3 \ddot{\theta}_3 + a_3 \operatorname{cos} \theta_3 \dot{\theta}_3^2 \\ a_2 \operatorname{cos} \theta_2 \ddot{\theta}_2 - a_2 \operatorname{sen} \theta_2 \dot{\theta}_2^2 + a_3 \operatorname{cos} \theta_3 \ddot{\theta}_3 - a_3 \operatorname{sen} \theta_3 \dot{\theta}_3^2 \end{bmatrix}$$

$$\ddot{\theta}_3 = \frac{\begin{vmatrix} a_2 \operatorname{sen} \theta_2 \ddot{\theta}_2 + a_2 \operatorname{cos} \theta_2 \dot{\theta}_2^2 - a_3 \operatorname{sen} \theta_3 \ddot{\theta}_3 + a_3 \operatorname{cos} \theta_3 \dot{\theta}_3^2 & -1 \\ a_2 \operatorname{cos} \theta_2 \ddot{\theta}_2 - a_2 \operatorname{sen} \theta_2 \dot{\theta}_2^2 + a_3 \operatorname{cos} \theta_3 \ddot{\theta}_3 - a_3 \operatorname{sen} \theta_3 \dot{\theta}_3^2 & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -a_3 \operatorname{sen} \theta_3 & -1 \\ a_3 \operatorname{cos} \theta_3 & 0 \end{vmatrix}} \quad (13)$$

$$\ddot{s} = \frac{\begin{vmatrix} -a_3 \operatorname{sen} \theta_3 & a_2 \operatorname{sen} \theta_2 \ddot{\theta}_2 + a_2 \operatorname{cos} \theta_2 \dot{\theta}_2^2 - a_3 \operatorname{sen} \theta_3 \ddot{\theta}_3 + a_3 \operatorname{cos} \theta_3 \dot{\theta}_3^2 \\ a_3 \operatorname{cos} \theta_3 & a_2 \operatorname{cos} \theta_2 \ddot{\theta}_2 - a_2 \operatorname{sen} \theta_2 \dot{\theta}_2^2 + a_3 \operatorname{cos} \theta_3 \ddot{\theta}_3 - a_3 \operatorname{sen} \theta_3 \dot{\theta}_3^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -a_3 \operatorname{sen} \theta_3 & -1 \\ a_3 \operatorname{cos} \theta_3 & 0 \end{vmatrix}} \quad (14)$$

Los resultados del análisis de la aceleración del mecanismo manivela biela se muestran en los gráficos 4-4 y 5-4, estos resultados son consecuencia de los cálculos anteriores en donde la aceleración angular del disco es cero ($\ddot{\theta}_2 = 0$) ya que la velocidad angular del disco es constante.

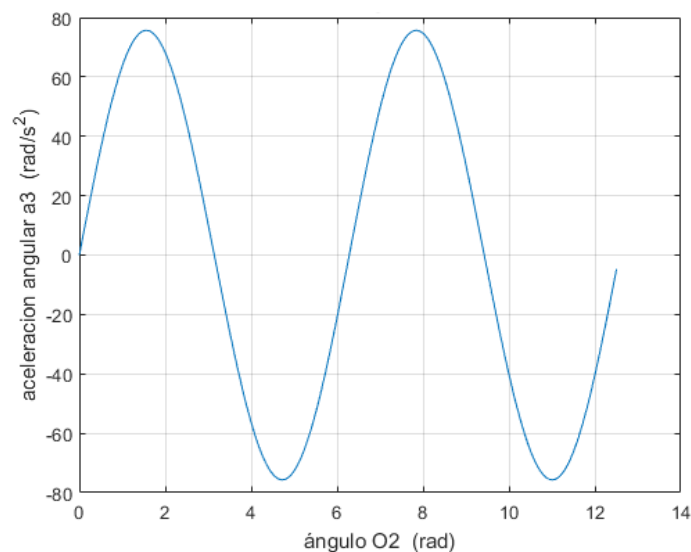


Gráfico 4-4: Determinación de la aceleración angular de la biela

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. Matlab.

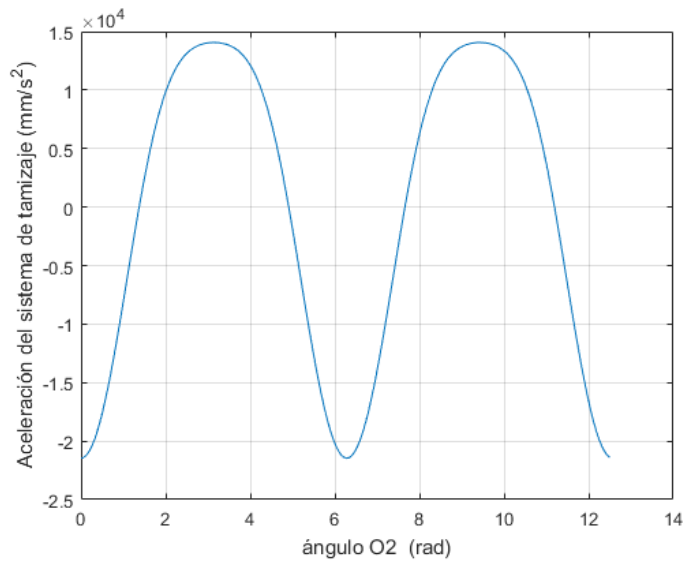


Gráfico 5-4: Determinación de la aceleración sistema de tamizaje

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. Matlab.

4.4 Aceleraciones de los centros de masas de cada elemento

Una vez concluido con el análisis cinemático, es necesario el cálculo de las aceleraciones que se producen en los centros de masa en los elementos del mecanismo. Este cálculo es necesario para el análisis dinámico de cada elemento del mecanismo biela manivela.

En este análisis, los eslabones o elementos se consideran como cuerpos dentro de los cuales se determinará la posición de los centros de masas, en la figura 8-4 se muestra la posición de los centros de masas.

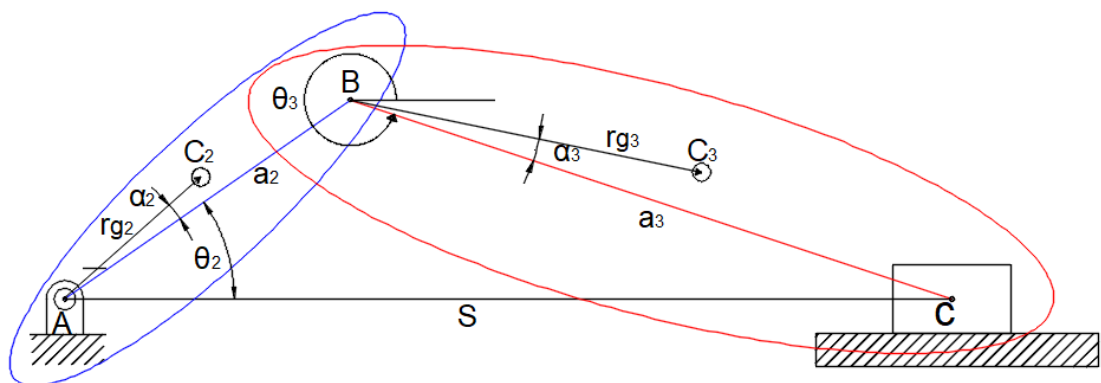


Figura 8-4: Centros de masas de los eslabones de manivela biela

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Las aceleraciones en los centros de masas del disco con un eje excéntrico, en la biela y en el sistema de tamizaje están dadas por las siguientes ecuaciones:

➤ Para el disco con un eje excéntrico:

$$\vec{a}_{G2} = \vec{\ddot{\theta}}_2 * \vec{r}_{G2} - \dot{\theta}_2^2 * \vec{r}_{G2} \quad (15)$$

Para este análisis la aceleración angular en el disco es cero, además descomponiendo la aceleración del centro de masa en cada componente tenemos lo siguiente:

$$\vec{a}_{G2x} = -w_2^2 * \vec{r}_{G2} * \cos(\theta_2 + \alpha_2) \quad (16)$$

$$\vec{a}_{G2y} = -w_2^2 * \vec{r}_{G2} * \sen(\theta_2 + \alpha_2) \quad (17)$$

➤ Para la biela:

$$\vec{a}_{G3} = \vec{\ddot{\theta}}_2 * \vec{a}_2 - \dot{\theta}_2^2 * \vec{a}_2 + \vec{\ddot{\theta}}_3 * \vec{r}_{G3} - \dot{\theta}_3^2 * \vec{r}_{G3} \quad (18)$$

Reemplazando los valores correspondientes, resulta que:

$$\vec{a}_{G3} = -w_2^2 * \vec{a}_2 + \vec{\ddot{\theta}}_3 * \vec{r}_{G3} - w_3^2 * \vec{r}_{G3}$$

$$\vec{a}_{G3} = -w_2^2 [50(\cos\theta_2 i + \sen\theta_2 j)] + \vec{\ddot{\theta}}_3 k [r_{G3}(\cos\theta_3 i + \sen\theta_3 j)] - w_3^2 [r_{G3}(\cos\theta_3 i + \sen\theta_3 j)]$$

De aquí separamos en sus componentes, para x e y.

$$\vec{a}_{G3x} = -w_2^2 [50(\cos\theta_2)] - \vec{\ddot{\theta}}_3 [120(\sen\theta_3)] - w_3^2 [120(\cos\theta_3)] \quad (19)$$

$$\vec{a}_{G3y} = -w_2^2 [50(\sen\theta_2)] + \vec{\ddot{\theta}}_3 [120(\cos\theta_3)] - w_3^2 [120(\sen\theta_3)] \quad (20)$$

➤ Para el sistema de tamizaje:

Esta aceleración es la misma aceleración del sistema de tamizaje que ya se calculó anteriormente, por lo tanto:

$$\vec{a}_{G4} = \dot{\zeta} \quad (21)$$

Para el cálculo de las aceleraciones en los centros de masas de cada elemento es necesario localizar un sistema de coordenadas locales, es decir sistemas fijos en cada uno de los eslabones, para la determinación de los radios y momentos de inercia. Los resultados obtenidos de Solidworks se muestran en la tabla 1-4.

Tabla 1-4: Dimensiones y propiedades de los elementos del mecanismo

Disco con un eje excéntrico	Biela	Sistema de tamizaje
$R_{12x} = 0,8 \text{ mm}$ $R_{12y} = 0,07 \text{ mm} \approx 0$ $R_{32x} = 49,2 \text{ mm}$ $R_{32y} = 0,07 \text{ mm} \approx 0$ $m_2 = 2,6 \text{ Kg}$ $I_{G_2} = 8060,63 \text{ Kg} * \text{mm}^2$	$R_{23x} = 120 \text{ mm}$ $R_{23y} = 0 \text{ mm}$ $R_{43x} = 120 \text{ mm}$ $R_{43y} = 0 \text{ mm}$ $m_3 = 0,9 \text{ Kg}$ $I_{G_3} = 9686,37 \text{ Kg} * \text{mm}^2$	$R_{34x} = 626 \text{ mm}$ $R_{34y} = -10 \text{ mm}$ $m_3 = 46 \text{ Kg}$ I_{G_3} $= 4482150 \text{ Kg} * \text{mm}^2$

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Los ángulos que se desfazan los centros de masas son: $\alpha_2 = 5.12^\circ$ y $\alpha_3 = 0$.

Los gráficos 6-4 y 7-4 muestran los resultados obtenidos de las componentes en x de la aceleración en el centro de masa en el disco y en la biela respectivamente.

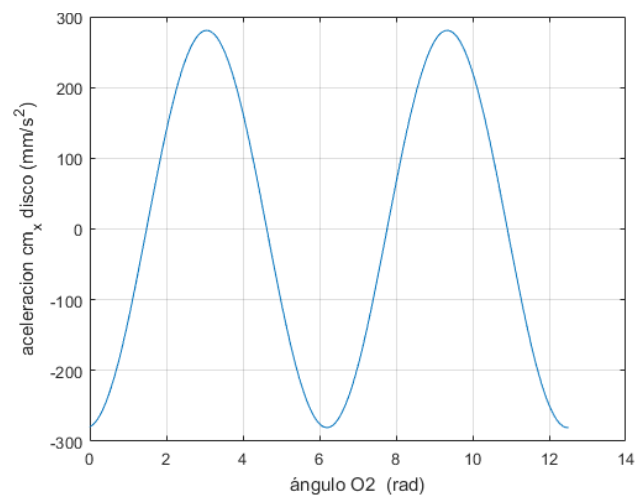


Gráfico 6-4: Aceleración del cm en x del disco

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. Matlab.

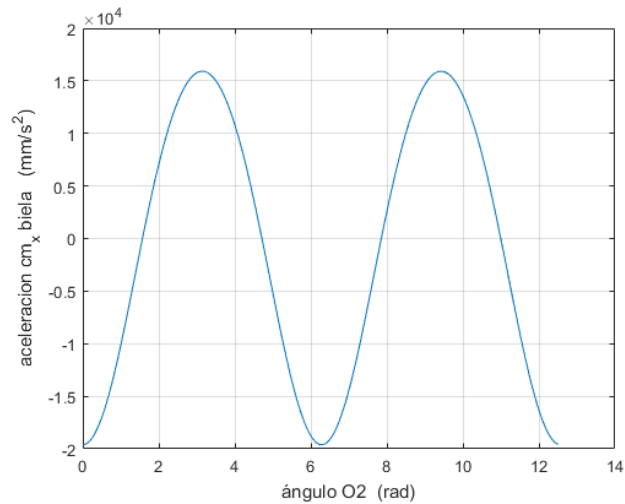


Gráfico 7-4: Determinación de la aceleración del cm en x de la biela

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. Matlab.

4.5 Análisis de fuerzas dinámicas

Una vez ya establecido las velocidades y aceleraciones correspondientes, el análisis dinámico se realizó en base al método de Newton-Euler. Para esto realizamos un diagrama de los elementos del mecanismo y las variables a considerar, tomando así una posición arbitraria, como se muestra en la figura 10-4.

En la figura 9-4 se puede observar los centros de masas de cada elemento, que fueron obtenidos mediante el software solidworks.



Figura 9-4: Mecanismo biela-manivela

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. SolidWorks.

A continuación, detallamos los parámetros para el análisis de fuerzas:

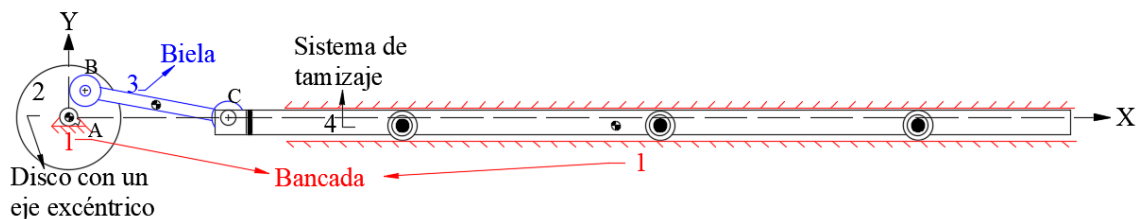


Figura 10-4: Componentes del mecanismo biela-manivela

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

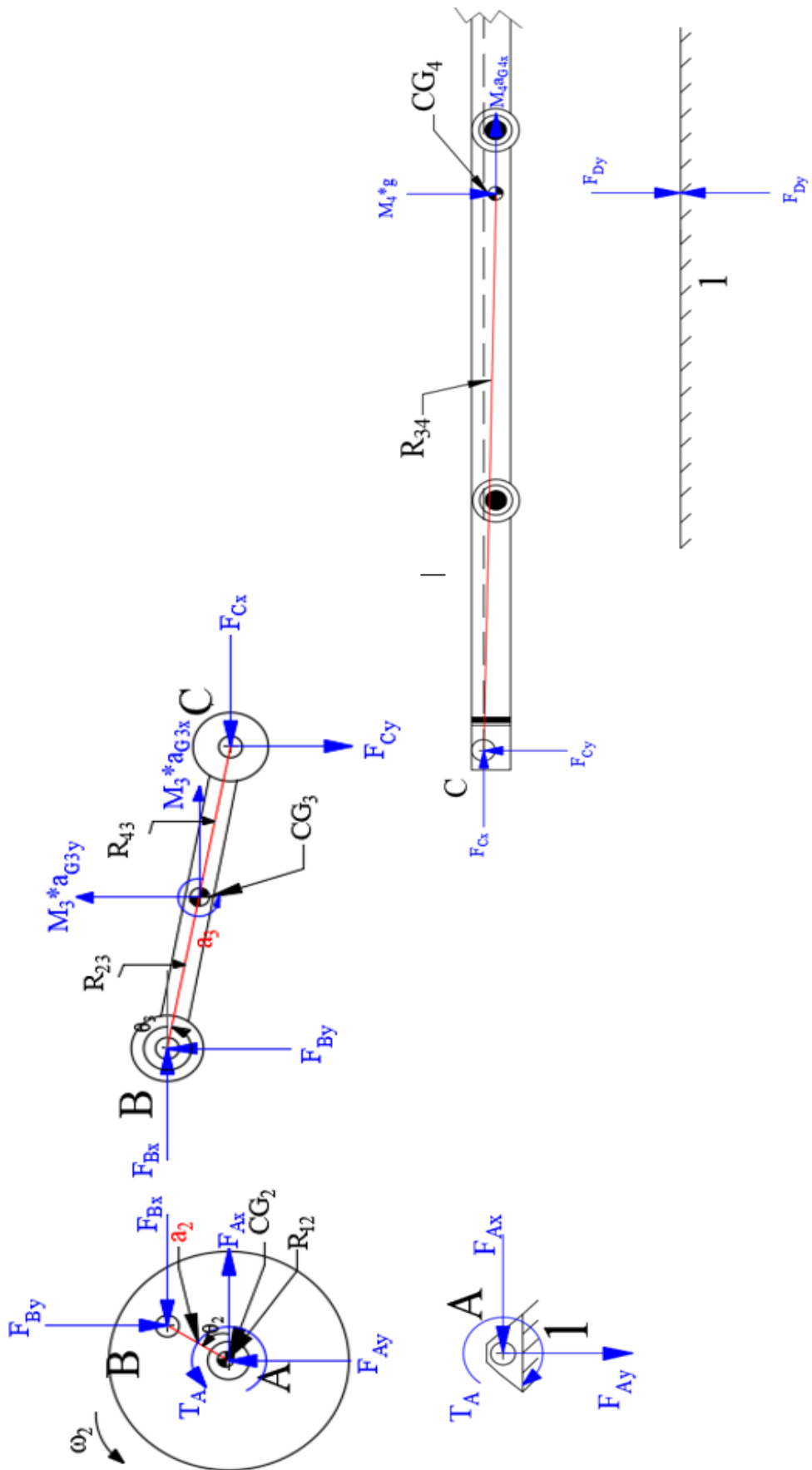


Figura 11-4: Diagramas del cuerpo libre de cada elemento del mecanismo

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

4.5.1 *Planteamiento de las ecuaciones dinámicas para cada elemento*

El método de Newton-Euler, se fundamenta en:

$$\sum F = m * a \quad (22)$$

$$\sum T = I_G * \alpha \quad (23)$$

4.5.1.1 *Análisis del disco con un eje excéntrico:*

$$\begin{aligned} \sum F_x &= m_2 * a_{G_{2x}} \\ F_{Ax} - F_{Bx} &= m_2 * a_{G_{2x}} \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \sum F_y &= m_2 * a_{G_{2y}} \\ F_{Ay} - M_2g - F_{By} &= m_2 * a_{G_{2y}} \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \sum T_{Az} &= I_A * \alpha_2 \\ -M_2g * r_{g_{2x}} * \cos(\theta_2 + \alpha_2) - F_{By} * a_2 * \cos\theta_2 + F_{Bx} * a_2 * \sin\theta_2 + T_A &= I_{G_2} \alpha_2 \end{aligned}$$

Como la velocidad angular del disco es constante, $\alpha_2 = 0$, entonces nos queda que:

$$\begin{aligned} -F_{By} * a_2 * \cos\theta_2 + F_{Bx} * a_2 * \sin\theta_2 + T_A & \quad (26) \\ = M_2g * r_{g_{2x}} * \cos(\theta_2 + \alpha_2) & \end{aligned}$$

4.5.1.2 *Análisis en la biela:*

$$\begin{aligned} \sum F_x &= m_3 * a_{G_{3x}} \\ F_{Bx} - F_{Cx} &= m_3 * a_{G_{3x}} \end{aligned} \quad (27)$$

$$\sum F_y = m_3 * a_{G3y}$$

$$F_{B_y} - M_3g - F_{C_y} = m_3 * a_{G3y} \quad (28)$$

$$\sum T_{G3z} = I_{G3} * \alpha_3$$

$$120 \sin \theta_3 * F_{B_x} + 120 \cos \theta_3 * F_{B_y} - 120 \sin(\theta_3 - \pi) F_{C_x} - 120 \cos(\theta_3 - \pi) * F_{C_y} = I_{G3} \alpha_3 \quad (29)$$

4.5.1.3 Análisis del sistema de tamizaje:

$$\sum F_x = m_4 * a_{G4x}$$

$$F_{C_x} = m_4 * a_{G4x} \quad (30)$$

$$\sum F_y = m_4 * a_{G4y}$$

$$F_{C_y} - M_4g - F_{D_y} = m_4 * a_{G4y} \quad (31)$$

Como el sistema de tamizaje tiene un movimiento lineal, debido a que posee restricciones al giro, entonces no se analiza el torque para este elemento.

En base a las ecuaciones planteadas se obtiene la siguiente matriz, que de igual manera se resolvió el análisis para cada posición con los datos del análisis cinemático realizado.

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 50\sin\theta_2 & 0 & 0 & -50\cos\theta_2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 120\sin\theta_3 & -120\sin(\theta_3 - \pi) & 0 & 120\cos\theta_3 & -120\cos(\theta_3 - \pi) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} F_{A_x} \\ F_{B_x} \\ F_{C_x} \\ F_{A_y} \\ F_{B_y} \\ F_{C_y} \\ T_A \\ F_{D_y} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} m_2 * a_{G_{2x}} \\ m_2 * a_{G_{2y}} \\ M_2 g * r_{g2x} * \cos(\theta_2 + \alpha_2) \\ m_3 * a_{G_{3x}} \\ m_3 * a_{G_{3y}} \\ I_{G_3} \alpha_3 \\ m_4 * a_{G_{4x}} \\ 0 \end{bmatrix}$$

El sistema de ecuaciones obtenido, se analizó en el primer análisis de Matlab, para así conseguir el análisis de fuerzas y Torque en cada instante del trayecto, consiguiendo así las fuerzas máximas y el torque máximo requerido para impulsar el mecanismo.

Los resultados obtenidos del análisis dinámico realizado en Matlab, se presentan a continuación en los gráficos 8-4, 9-4, y 10-4, presentan la componente de la fuerza en x para el punto A y para el punto C, además el torque resultante en el punto A, respectivamente. Estos resultados se compararán con los resultados de la simulación a realizarse en Adams.

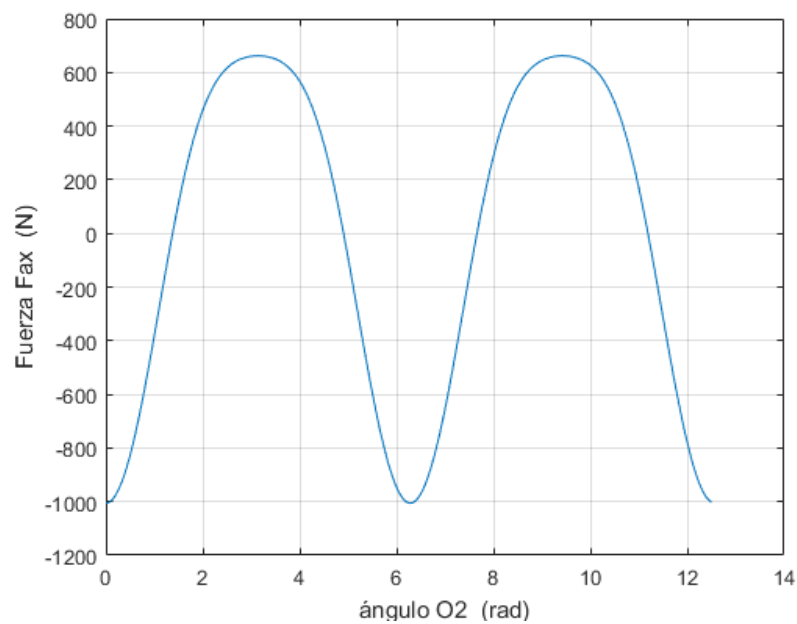


Gráfico 8-4: Cálculo de la Fuerza F_{Ax}

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. Matlab.

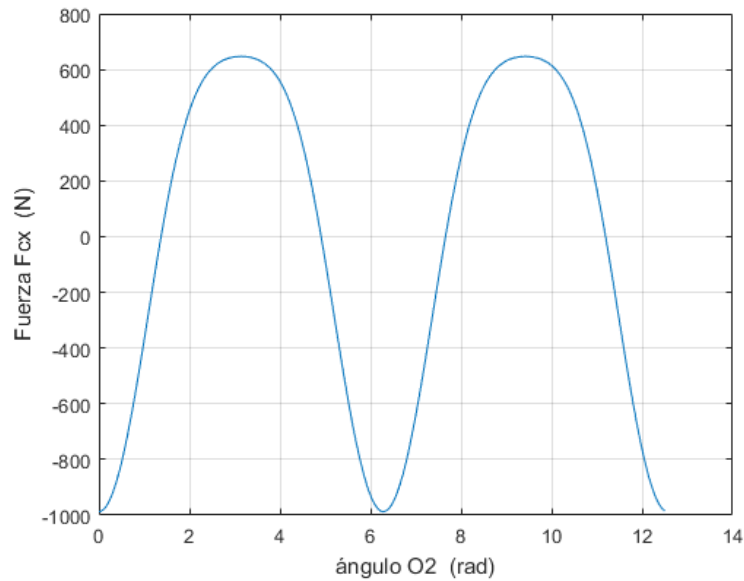


Gráfico 9-4: Cálculo de la Fuerza F_{Cx}

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. Matlab.

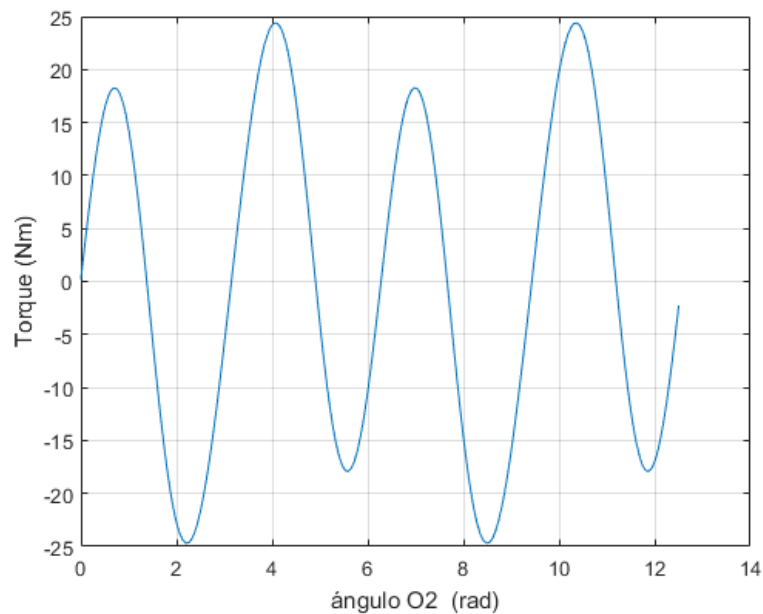


Gráfico 10-4: Cálculo del Torque T_A

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. Matlab.

En base al análisis cinemático y dinámico realizado con la ayuda del software Matlab, se pudo determinar las fuerzas máximas en las uniones, y el Torque máximo que experimenta el mecanismo, a continuación, se presenta los valores máximos obtenidos del análisis, para las fuerzas F_{Ax} , F_{Bx} , F_{Cx} y el torque T_A . Estas fuerzas se comprobarán con la simulación mediante Adams.

$$F_{Ax} = 1006 N$$

$$F_{B_x} = 1005 \text{ N}$$

$$F_{C_x} = 987,5 \text{ N}$$

$$T_A = 24,69 \text{ Nm}$$

La programación y hoja de cálculo para el análisis cinemático y dinámico realizado en Matlab se presenta en el ANEXO D.

4.6 Análisis y comparación de fuerzas y torque mediante el software Adams.

Con la geometría diseñada en solidworks, generamos el ensamble con las posiciones correspondientes, y pasamos su geometría a Adams para su simulación, obtención de fuerzas y torque requerido. El ensamble del mecanismo se muestra en la siguiente figura.

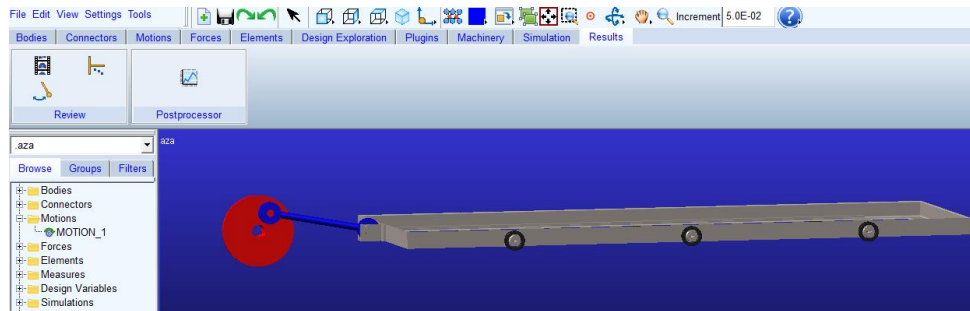


Figura 12-4: Geometría en Adams del mecanismo

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. MSC Adams.

En base a este pre-diseño, se estableció las conexiones necesarias, y propiedades de cada elemento, logrando así los siguientes resultados:

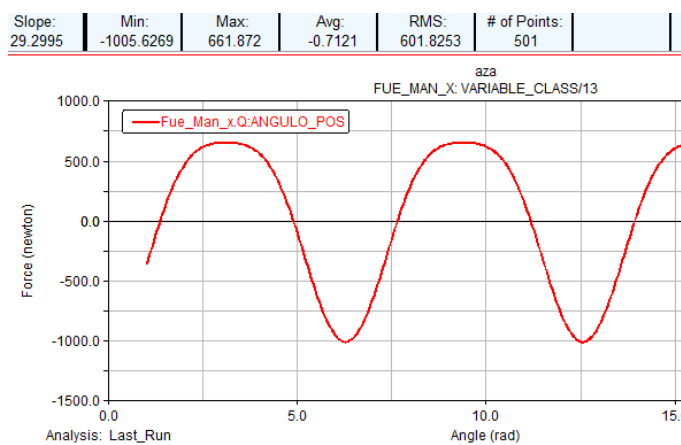


Gráfico 11-4: Cálculo de la fuerza (F_{Ax})

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. MSC Adams.

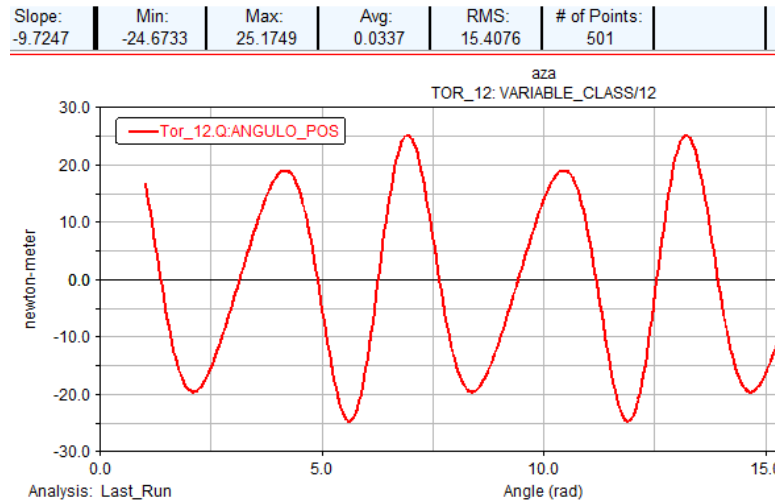


Gráfico 12-4: Análisis del torque T_A en el eje de transmisión

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. MSC Adams.

Para la comprobación de resultados, solo se tomó la fuerza F_{Ax} y el torque T_A , debido a que esta fuerza es una de las más grandes del sistema según el análisis realizado y el torque que es fundamental para el cálculo de la potencia requerida para el motor.

Los resultados del análisis en el software Adams fueron los siguientes:

$$F_{Ax} = 1005,63 \text{ N}$$

$$T_A = 25,17 \text{ Nm}$$

Estos resultados obtenidos son similares a los calculados en el análisis dinámico, por lo que se justifica y se valida los cálculos realizados anteriormente. En base a esto el torque máximo para el diseño será el de 25,17 Nm, con el cual conseguimos la potencia máxima.

$$P_{max} = T_{max} * \omega_{eje} \quad (32)$$

$$P_{max} = 25,17 \text{ N} \cdot \text{m} * 18,85 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_{max} = 474 \text{ W}$$

$$P_{max} = 0,64 \text{ HP}$$

4.7 Selección del motor

$$P_t = P_{max} * C_s \quad (33)$$

$$P_m = \frac{P_t}{n_{general}} \quad (34)$$

Donde:

P_t : Potencia de trabajo

C_s : Coeficiente de seguridad

P_m : Potencia del motor

$n_{general}$: Rendimiento general

Tabla 2-4: Tabla de datos para la selección del motor

C_s	1,2	
n_{bandas}	0,96	ANEXO E
Otros	0,85	

Fuente: Autores

$$P_t = 0,64 \text{ Hp} * 1,2$$

$$P_t = 0,768 \text{ Hp}$$

$$P_m = \frac{P_t}{n_{general}}$$

$$P_m = \frac{0,768}{0,96 * 0,85}$$

$$P_m = 0,94 \approx 1 [\text{HP}]$$

Con esta potencia obtenida se procedió a la selección del motor, tomando en cuenta el mercado nacional, un factor importante es su velocidad, ya que se necesita una baja velocidad, por esto el motor debe ser máximo de 1200 RPM, que si existe en el mercado.

Tabla 3-4: Datos de placa del motor seleccionado

Marca	Siemens
Frecuencia	60 Hz
Potencia	1 HP
RPM	1200
Voltaje	220/380/440
Peso	16 kg

Fuente: Autores (INGELCOM, 2001, p. 31)

4.8 Selección de bandas.

4.8.1 Cálculo de la relación de transmisión.

$$SR = \frac{n_1}{n_2} \quad (35)$$

Donde:

SR: Relación de transmisión.

n_1 : velocidad angular de la polea motriz

n_2 : velocidad angular de la polea conducida

$$SR = \frac{1105 [RPM]}{180 [RPM]}$$

$$SR = 6,14$$

4.8.2 Cálculo de la potencia de diseño

$$P_D = P_m * K_s \quad (36)$$

$$K_s = K_o + K_i + K_e \quad (37)$$

Dónde:

P_D = Potencia de diseño

P_m = Potencia del motor

K_s = Factor de servicio

K_o = Factor de corrección de servicio

K_i = Factor de corrección de la marcha lenta

K_e = Factor de corrección del entorno

Los factores K_o , K_i y K_e , se obtienen del ANEXO F, además $P_m = 1$ [HP]

$$K_o = 1,1 \quad K_i = 0 \quad K_e = 0,2$$

Por lo tanto:

$$K_s = K_o + K_i + K_e$$

$$K_s = 1,1 + 0 + 0,2$$

$$K_s = 1,3$$

$$P_D = 1 * 1,3$$

$$P_D = 1,3 \text{ [HP]} = 0,97 \text{ KW}$$

4.8.3 Selección del perfil de correa.

El perfil de la correa logrado según el ANEXO G es de tipo A.

4.8.4 Determinación de los diámetros primitivos de las poleas

En base a la tabla el diámetro primitivo mínimo para una correa tipo A es de 67 mm.

Tabla 4-4: Diámetro mínimo de la polea, según el perfil de correa

Tipo de correa	M	A	B	C	D	E
Diámetro mínimo recomendado [mm]	50	95	150	224	355	560
Diámetro mínimo permitido [mm]	40	67	118	180	300	450

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Fuente: (Catálogo_mitsuboshi, 2014)

$$D_p = d_p * SR \quad (38)$$

Dónde:

D_p = Diámetro de la polea - conducida

d_p = Diámetro de la polea menor – motriz

$$D_p = (67 \text{ mm}) * 6,14$$

$$D_p = 411 \text{ mm}$$

El diámetro comercial cercano y disponible es de 406 mm, en base a esto se recalcula la relación de transmisión.

4.8.4.1 Relación de transmisión corregida.

$$SR = \frac{D_p}{d_p}$$

$$SR = \frac{406 \text{ mm}}{67 \text{ mm}}$$

$$SR = 6,1$$

Como la relación de transmisión varía un poco, la velocidad de la polea conducida también cambia, por lo tanto, recalculamos esta velocidad (n_2).

$$SR = \frac{n_1}{n_2}$$

$$n_2 = \frac{n_1}{SR}$$

$$n_2 = \frac{1105 [RPM]}{6,1}$$

$$n_2 = 181[RPM]$$

4.8.5 *Determinación de la distancia entre ejes*

La distancia entre ejes está en función a la relación de transición, así se tiene que:

➤ Para i entre 1 a 3, la distancia es:

$$C \geq \frac{(i + 1)d_p}{2} + d_p \quad (39)$$

➤ Para i mayor a 3, la distancia es:

$$C \geq D_p \quad (40)$$

Además, la distancia máxima debe ser menor o igual a $3(d_p + D_p)$.

$$C \geq 406mm$$

$$C \leq 3(d_p + D_p)$$

$$C \leq 3(67 + 406)$$

$$C \leq 1419mm$$

La distancia entre ejes está en el siguiente intervalo:

$$406mm \leq C \leq 1419mm$$

En base al espacio disponible tomamos una distancia de $C = 420mm$.

4.8.6 *Determinación de la longitud primitiva de la banda*

Con los valores obtenidos, determinamos una longitud de banda aproximada, mediante la siguiente ecuación:

$$L'_p = (2 * C) + \frac{\pi}{2}(D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4 * C} \quad (41)$$

Donde:

L'_p : Longitud de la correa

C : Distancia tentativa entre ejes

D_p, d_p : Diámetros primitivos de las poleas

$$L'_p = (2 * 420) + \frac{\pi}{2}(406 + 67) + \frac{(406 - 67)^2}{4 * 420}$$
$$L'_p = 1651,4mm$$

Según el L'_p calculado; del ANEXO H seleccionamos una correa adecuada, obteniéndose así:

$$L_p = 1651mm, A65$$

$$C = \frac{b + \sqrt{b^2 - 8(D_p - d_p)^2}}{8}$$

Donde:

C = Distancia entre centros (mm)

L_p = Longitud de la correa (mm)

$$b = 2L_p - \pi(D_p + d_p)$$

$$b = 2 * 1651 - \pi(406 + 67)$$

$$b = 1816,02$$

$$C = \frac{1816,02 + \sqrt{(1816,02)^2 - 8(406 - 67)^2}}{8}$$

$$C = 419,78 mm$$

4.8.7 Cálculo de la cantidad de correas requeridas

$$n_b = \frac{P_D}{P_c} \quad (42)$$

$$P_c = (P_s + P_a) * K_c \quad (43)$$

$$K_c = K_\theta * K_\ell \quad (44)$$

$$\text{Para } K_\theta, \text{ se calcula: } \frac{D_P - d_P}{C} \quad (45)$$

Donde:

P_D : Potencia de diseño

P_c : Clasificación de potencia de corrección

n_b : Número de correas requeridas

P_s : Clasificación de potencia básica

P_a : Potencia adicional para la relación de velocidad

K_c : Factor de corrección de la potencia nominal

K_θ : Factor de corrección del arco de contacto

K_ℓ : Factor de corrección de la longitud de la correa

$$\frac{D_P - d_P}{C}$$

$$\frac{406 - 67}{419,78}$$

$$0,81$$

El arco de contacto menor tiene que ser superior a 102° , se determina con:

$$\theta = 2 * \cos^{-1} \left(\frac{D_P - d_P}{2 * C} \right) = 180 - 57 * \left(\frac{D_P - d_P}{C} \right) \quad (46)$$

$$> 120$$

$$\theta = 2 * \cos^{-1} \left(\frac{406 - 67}{2 * 419,78} \right)$$

$$\theta = 132,4^\circ$$

Del ANEXO I se obtiene el valor de $K_\theta = 0,87$, para un arco de contacto de $132,4^\circ$.

Del ANEXO J, se obtiene el valor de $K_\ell = 0,98$

Por lo tanto, se obtiene que:

$$K_c = 0,87 * 0,98 = 0,853$$

4.8.7.1 Clasificación de potencia básica (P_s)

Del ANEXO K, se obtiene los siguientes valores:

[RPM]	POTENCIA [Kw]
950	0,62
1105	P_s
1450	0,80

$$\frac{P_s - 0,62}{0,80 - 0,62} = \frac{1105 - 950}{1450 - 950}$$

$$P_s = 0,68KW$$

4.8.7.2 Potencia adicional para la relación de velocidad P_a

Los valores también se obtuvieron del ANEXO K, que son los siguientes:

[RPM]	POTENCIA [Kw]
950	0,20
1105	P_a
1450	0,31

$$\frac{P_a - 0,20}{0,31 - 0,20} = \frac{1105 - 950}{1450 - 950}$$

$$P_a = 0,23KW$$

$$P_c = (0,68 + 0,23) * 0,853$$
$$P_c = 0,78$$

De la ecuación (42), resulta que:

$$n_b = \frac{P_D}{P_c}$$

$$n_b = \frac{0,97 \text{ KW}}{0,78 \text{ KW}}$$

$$n_b = 1,24$$

Por lo tanto, se aproxima al inmediato superior, solicitando así 2 correas.

4.8.8 *Determinación de la distancia mínima y máxima de centros para la instalación.*

Del ANEXO L se obtienen los valores para las condiciones y tipo de banda seleccionado, donde se tienen que:

- Mínima distancia entre centros

$$419,78\text{mm} - 20\text{mm}$$

$$399,78\text{mm}$$

- Máxima distancia entre centros

$$419,78\text{mm} + 50\text{mm}$$

$$469,78\text{mm}$$

4.8.9 *Velocidad de la banda.*

$$v = \frac{n1 * \pi * d_p}{6000} \leq v_{max} \tag{47}$$

$$v = \frac{1105 * \pi * 67}{60000} \leq v_{max}$$

$$v = 3,88 \leq v_{max}$$

Donde:

$$v_{max} = 25 \dots 30 \text{ m/s} \text{ para correa de perfil normal.}$$

$$v_{max} = 35 \dots 45 \text{ m/s} \text{ para correa de perfil estrecho.}$$

4.8.10 *Verificación de los ciclos de flexión*

$$i_f = 1000 * n_p * \frac{v}{Ln} \tag{48}$$

Donde:

i_f : Flexiones por segundo de un segmento de correa (s^{-1})

n_p : Cantidad de poleas en contacto con la correa.

v : Velocidad de la correa (m/s).

Ln : Longitud normalizada de la correa (mm).

$$i_f = 1000 * 2 * \frac{3,88}{1651}$$

$$i_f = 4,7 s^{-1}$$

Donde i_f para un perfil normal no debe superar los $30 s^{-1}$.

4.9 Cálculo de fuerzas en las bandas

El principio de transmisión mediante correa se basa en la tensión de un elemento flexible que envuelve a las poleas, las fuerzas están aplicadas en los extremos de las correas como se muestra en la figura 13-4.

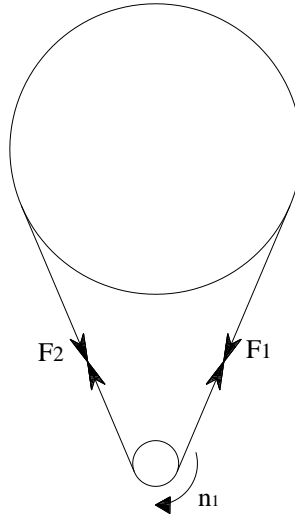


Figura 13-4: Diagrama de Poleas

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

La correa al estar sometido a un movimiento curvilíneo este sujeto a una fuerza centrífuga que actúa sobre todos los elementos del movimiento, esta fuerza provoca tensiones complementarias en ambas ramas de la correa, la fuerza centrífuga esta expresado por la siguiente ecuación.

$$F_c = \rho \cdot v^2 \quad (49)$$

Para el cálculo de las fuerzas existentes en la correa trapecial se tomará la Ecuación de Euler.

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\frac{f\theta}{\text{sen}(\varphi/2)}} \quad (50)$$

Tomando en cuenta la Fuerza centrífuga la ecuación será la siguiente:

$$\frac{F_1 - F_c}{F_2 - F_c} = e^{\frac{f\alpha_1}{\text{sen}(\theta/2)}} \quad (51)$$

El movimiento por correas sufre tensiones y distensiones como se muestra en la figura 26-4, de manera que la tensión aumenta en una rama de la correa (F_1) lo cual ocasiona que en la otra rama la tensión disminuya (F_2), manteniéndose constante la suma de tensiones.

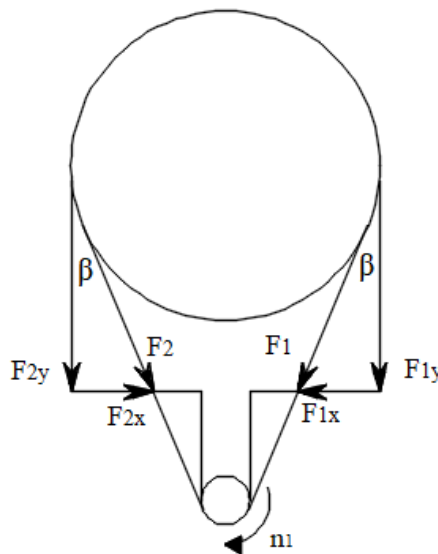


Figura 14-4: Distribución de Fuerzas en la correa

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

Para el cálculo de las fuerzas se tomará en cuenta los siguientes valores.

Tabla 5-4: Valores de los parámetros para el cálculo de fuerzas

DATOS	VALOR
D_p	406mm
d	67mm
C_c	419,78mm
V	3,88 m/s
<i>perfil de correa</i>	<i>PERFIL A</i>

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

Tabla 6-4: Valores de masa por unidad según el perfil de correa

Perfil de la correa	Coeficientes			
	$\rho [Kg/m]$	C_B	C_B	$T_F [N]$
		Flexión normal	Flexión normal	
SPZ	0.7	563	732	474
SPA	0.12	2105	4320	858
SPB	0.19	4659	8926	1242
SPC	0.36	6304	12077	1680
A	0.11	399	479	418
B	0.20	1701	1943	727
C	0.33	5069	8926	1288
D	0.68	21561	25873	2664

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017

Fuente: (GONZÁLES, et al., 2009)

El valor de la fuerza centrífuga es:

$$F_c = \rho \cdot v^2 \quad (52)$$

$$F_c = \left(0.11 \frac{kg}{m}\right) \left(3,88 \frac{m}{s}\right)^2$$

$$F_c = 1,66 N$$

El coeficiente de fricción (f) entre la banda y el metal es de 0.13 mientras que el ángulo de ranura es de 34° . (SHIGLEY & MITCHEL, 2008, p. 880)

El arco de contacto α_1 es igual a 2,46. Remplazando los valores en la ecuación, se obtiene:

$$\frac{F_1 - 1,66}{F_2 - 1,66} = e^{\frac{(0.13)(2.46)}{\sin(34/2)}} \quad (53)$$

$$\frac{F_1 - 1,66}{F_2 - 1,66} = 2,98$$

$$F_1 - 2,98F_2 = -3,27 \quad (54)$$

La potencia transmitida viene dada por la siguiente ecuación:

$$P_D = (F_1 - F_2) * v \quad (55)$$

Donde:

P_D =Potencia de diseño

v = Velocidad de banda

$$970 \text{ W} = (F_1 - F_2) * (3,88 \frac{\text{m}}{\text{s}})$$

$$F_1 - F_2 = 250 \quad (56)$$

Sustituyendo la ecuación (54) en la ecuación (56) encontramos el valor de las tensiones F_1 y F_2 .

$$F_1 = 377,91 \text{ N}$$

$$F_2 = 127,91 \text{ N}$$

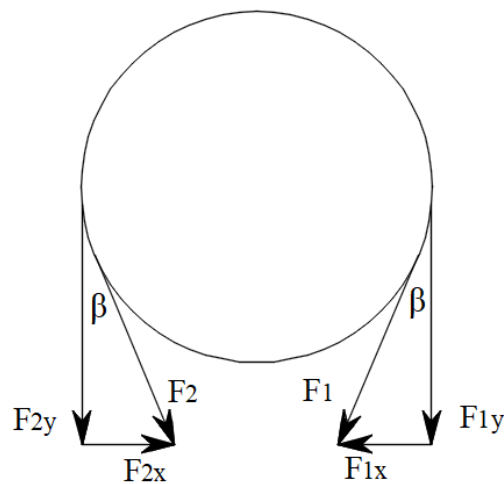


Figura 15-4: Componentes de las fuerzas en la correa

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

El ángulo de contacto en la polea está dado por la siguiente ecuación:

$$\beta = \frac{180 - \alpha_1}{2} \quad (57)$$

$$\beta = \frac{180 - 132,4}{2}$$

$$\beta = 23,8^\circ$$

Las componentes de las tensiones F_1 y F_2 se determinan mediante las funciones seno y coseno, para el ángulo de contacto β .

$$F_{1x} = F_1 \sen \beta = 377,91 \text{ N} * \sen 23,8^\circ = 152,50 \text{ N} \quad (58)$$

$$F_{1y} = F_1 \cos \beta = 377,91 \text{ N} * \cos 23,8^\circ = 345,77 \text{ N} \quad (59)$$

$$F_{2x} = F_2 \sen \beta = 127,91 \text{ N} * \sen 23,8^\circ = 51,61 \text{ N}$$

$$F_{2y} = F_2 \cos \beta = 127,91 \text{ N} * \cos 23,8^\circ = 117,03 \text{ N}$$

Las fuerzas resultantes en la polea son:

$$F_{Rx} = F_{1x} - F_{2x} = 152,50 \text{ N} - 51,61 \text{ N} = 100,89 \text{ N}$$

$$F_{Ry} = F_{1y} + F_{2y} = 345,77 \text{ N} + 117,03 \text{ N} = 462,8 \text{ N}$$

Las fuerzas de tensión mayor F_1 y la tensión menor F_2

$$F_1 = 377,91 \text{ N} = 84,96 \text{ lb}$$

$$F_2 = 127,91 \text{ N} = 28,76 \text{ lb}$$

$$\Delta F = F_1 - F_2 = 250 \text{ N}$$

La tensión inicial se obtiene mediante:

$$F_i = \frac{F_1 + F_2}{2} - F_c = \frac{377,91N + 127,91N}{2} - 1,66N = 251,25N \quad (60)$$

La vida útil o la durabilidad de la banda se da por la flexión inducida por los esfuerzos de flexión en la banda.

Tabla 7-4: Parámetros de bandas en V

Belt Section	K_B	K_C
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1600	1.716
D	5680	3.498
E	10850	5.041
3V	230	0.425
5V	1098	1.217
8V	4830	3.2800

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Fuente: (SHIGLEY & MITCHEL, 2008, p. 883)

$$T_1 = F_1 + (fb)_1 = F_1 + \frac{K_b}{d} = 84,96lb + \frac{220}{2,64} = 168,29lb \quad (61)$$

$$T_2 = F_1 + (fb)_2 = F_1 + \frac{K_b}{D} = 84,96lb + \frac{220}{15,98} = 98,73lb \quad (62)$$

El tiempo de vida útil de la banda se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$t = \frac{N_p * L_p}{720 * V} \quad (63)$$

Donde N_p es el número de pasadas, si calcula mediante:

$$N_p = \left[\left(\frac{k}{T_1} \right)^{-b} + \left(\frac{k}{T_2} \right)^{-b} \right]^{-1} \quad (64)$$

Tabla 8-4: Parámetros de durabilidad para bandas en V

Sección de la banda	10^8 a 10^9 Picos de fuerza		10^9 a 10^{10} Picos de fuerza		Diámetro mínimo de polea, pulg
	K	b	K	b	
A	674	11.089			3.0
B	1193	10.926			5.0
C	2038	11.173			8.5
D	4208	11.105			13.0
E	6061	11.100			21.6
3V	728	12.464	1062	10.153	2.65
5V	1654	12.593	2394	10.283	7.1
8V	3638	12.629	5253	10.319	12.5

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Fuente: (SHIGLEY & MITCHEL, 2008, p. 884)

$$N_p = \left[\left(\frac{674}{168,29} \right)^{-11.089} + \left(\frac{674}{98,73} \right)^{-11.089} \right]^{-1} = 4,80 \times 10^6$$

El tiempo de vida útil de la banda es:

$$t = \frac{4,80 \times 10^6 * 67in}{720 * 763,77 \frac{ft}{min}} = 584,82h$$

4.10 Cálculo de cargas que soporta el eje

Para el diseño del eje es necesario determinar las fuerzas actuantes sobre el eje, las fuerzas actuantes en el eje son producidas por las tensiones de la banda y las producidas en el disco con el eje excéntrico. Los valores de las fuerzas se tomaron del análisis dinámico realizado, además que se verificó con la simulación en Adams.

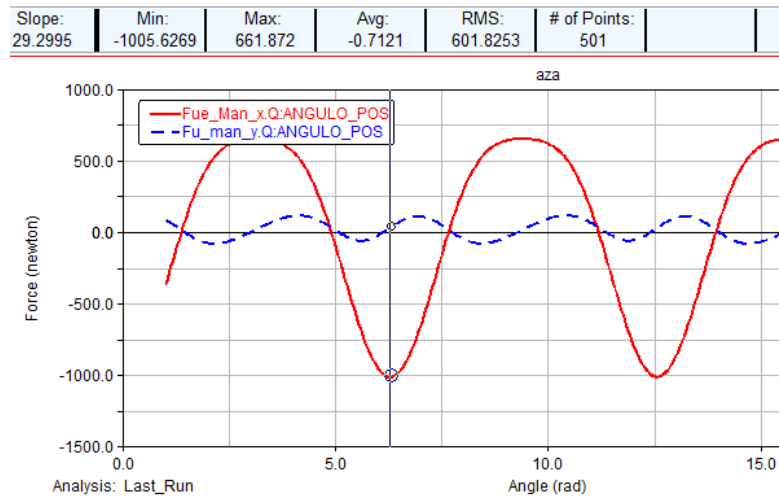


Gráfico 13-4: Fuerzas actuantes en el disco

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. MSC Adams.

$$F_{Dx} = 1006N$$

$$F_y \approx 0 N$$

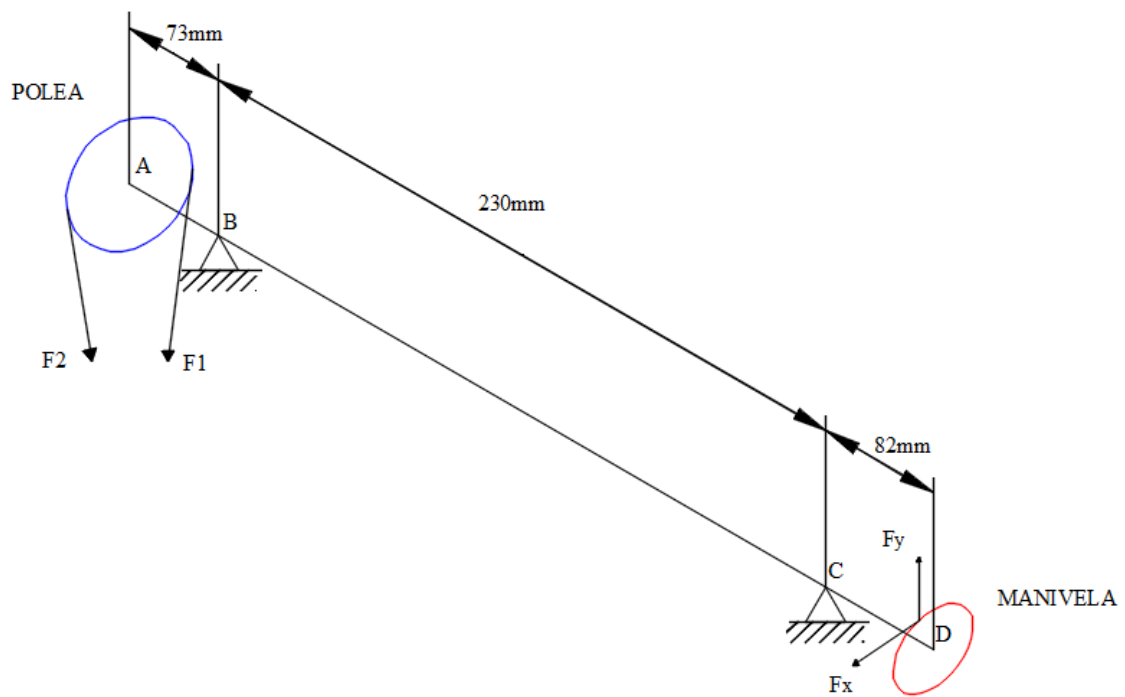


Figura 16-4: Diagrama de fuerzas que actúan sobre el eje

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

PLANO YZ

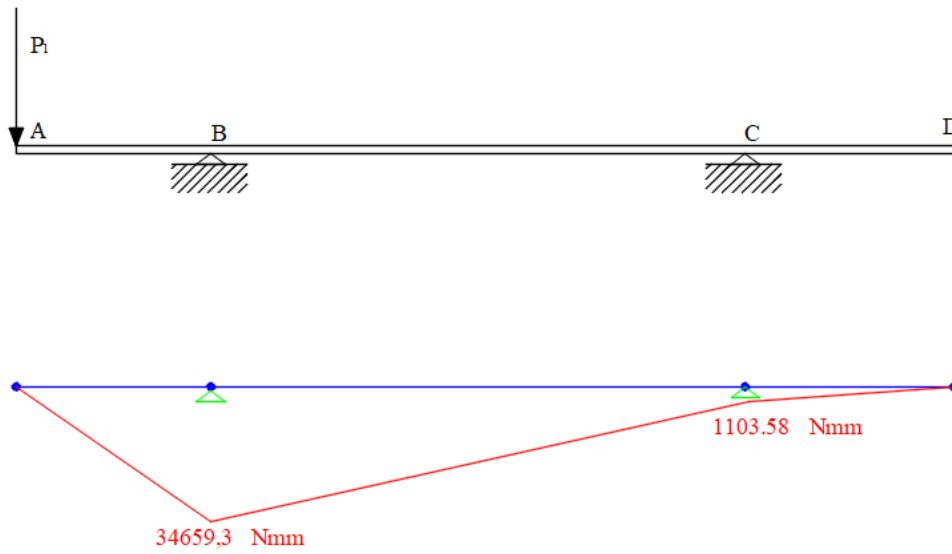


Gráfico 14-4: Diagrama de momento flector en el plano YZ

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

$$M_{yzB} = 34659,3 \text{ Nmm}$$

$$M_{yzC} = 1103,58 \text{ Nmm}$$

PLANO XZ

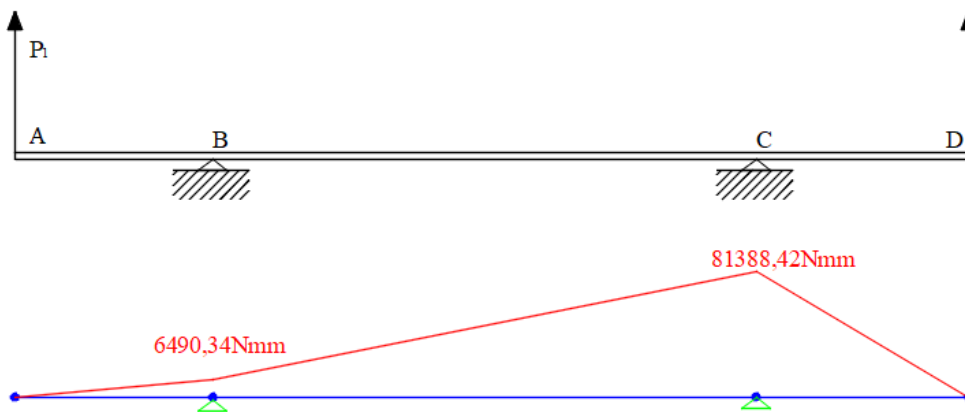


Gráfico 15-4: Diagrama de momento flector en el plano XZ

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

$$M_{xzB} = 6490,34 \text{ Nmm}$$

$$M_{xzC} = 81388,42 \text{ Nmm}$$

$$M_{RB} = \sqrt{M_{y_z B}^2 + M_{x_z B}^2} \qquad M_{RC} = \sqrt{M_{y_z C}^2 + M_{x_z C}^2}$$

$$M_{RB} = \sqrt{(34659,3)^2 + (6490,34)^2} \qquad M_{RC} = \sqrt{(1103,58)^2 + (81388,42)^2}$$

$$M_{RB} = 35261,7 \text{ Nmm} \qquad M_{RC} = 81395,90 \text{ Nmm}$$

$$M_{RB} = 35,26 \text{ Nm} \qquad M_{RC} = 81,39 \text{ Nm}$$

Mediante el análisis realizado se determinó que el punto C es el más crítico, debido a que el momento en este punto es mayor en relación al punto B, por lo tanto, se calculó el valor del diámetro para el punto C.

4.11 Diseño del eje de transmisión

Los ejes de transmisión son utilizados para transferir el par de torsión, estos elementos están sometidos a esfuerzos de flexión, torsión o axiales. Para el análisis, podemos combinar los diferentes tipos de esfuerzos, para determinar el diámetro del eje utilizaremos la norma para el diseño de árboles de transmisión ANSI/ASME B106.1M

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{k_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{k_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (65)$$

Para el diseño del eje se tomará las propiedades mecánicas de un eje de transmisión AISI 1018.

Tabla 9-4: Propiedades Mecánica de acero AISI 1018

Tipo de material	AISI 1018
Límite de elasticidad S_y	370 MPa
Limite ultimo a la ruptura S_{ut}	440 MPa

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

En el análisis de fluctuaciones la inversión es completa al igual que el torque como se muestra en el gráfico 16-4 y gráfico 17-4.

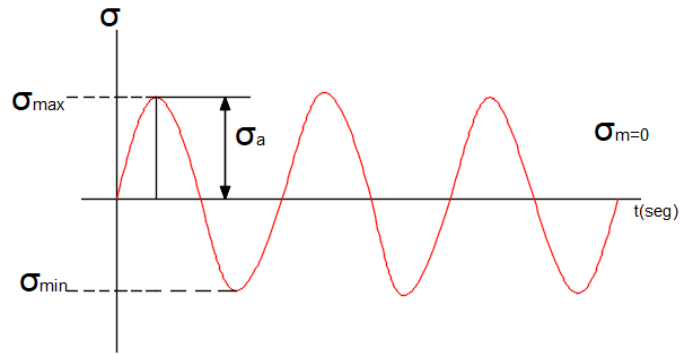


Gráfico 16-4: Esfuerzo sinusoidal completamente invertido

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Fuente: (SHIGLEY & MITCHEL, 2008, p. 293)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (66)$$

$$\sigma_m = 0 \quad (67)$$

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right| \quad (68)$$

$$\sigma_a = 81395,90 \text{ Nmm}$$

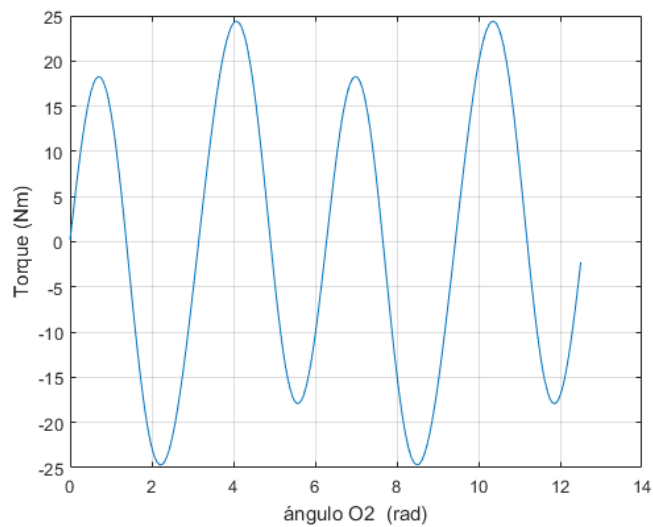


Gráfico 17-4: Torque en el eje en función del ángulo θ_2

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. Matlab.

$$T_m = 0$$

$$T_a = \left| \frac{T_{max} - T_{min}}{2} \right| \quad (69)$$

$$T_a = 24550 \text{ Nmm}$$

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{k_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{k_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_a}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Para la flexión el límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria viene dada por la siguiente ecuación:

$$S_e' = 0,5 S_{ut} \quad (70)$$

El límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica está dada por:

$$S_e = K * S_e' \quad (71)$$

Para el cálculo de S_e el valor de k se encuentra entre los valores de 0,3 a 0,6, en base a esto asumimos un valor de $K = 0,5$

$$S_e = 0,5(0,5 \times 440)$$

$$S_e = 110 \text{ MPa}$$

Para determinar el factor de concentración del esfuerzo a la fatiga K_f y K_{fs}

Flexión:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (72)$$

Torsión:

$$K_{fs} = 1 + q(K_t - 1) \quad (73)$$

Para la flexión asumimos un $K_t = 1,6$ y para la torsión $K_t = 1,4$, el valor $q = 0,8$ según el ANEXO M.

Flexión:

$$K_f = 1,48$$

Torsión:

$$K_{fs} = 1,32$$

$$d = \left\{ \frac{16(2)}{\pi} \left[4 \left(\frac{1,48 \times 81395,90}{110} \right)^2 + 3 \left(\frac{1,32 \times 24550}{370} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} = 28,17 \text{ mm} \approx 30 \text{ mm}$$

4.11.1 Cálculo de factor de seguridad

Para determinar si el diámetro del eje es el adecuado verificaremos con el factor de seguridad

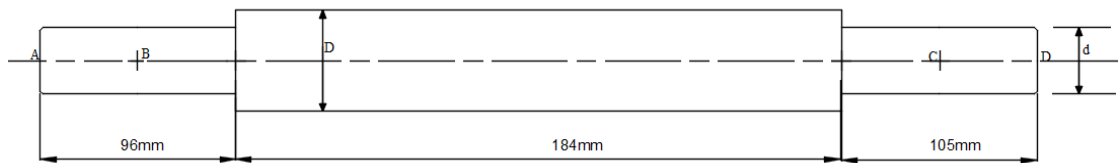


Figura 17-4: Geometría del eje de Transmisión

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Para el recálculo del valor del límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica tenemos que Se mediante la ecuación (71) es:

$$Se = K * Se'$$

Mediante la ecuación de Marín tenemos que:

$$Se = K_a K_b K_c K_d K_e K_f * Se' \quad (74)$$

$$K = K_a K_b K_c K_d K_e K_f \quad (75)$$

Donde:

K_a = Factor de modificación de la condición superficial

K_b = Factor de modificación del tamaño

K_c = Factor de modificación de la carga

K_d =Factor de modificación de la Temperatura

K_e =Factor de confiabilidad

K_f =Factor de modificación de efectos varios

El valor del Factor de superficie K_a depende de la calidad del acabado de la superficie y de la resistencia a la tensión. Mediante la ANEXO N determinaremos el valor de K_a .

Factor de superficie

$$K_a = 0.8$$

Factor de tamaño para la flexión y torsión se pueden expresar como

$$\left\{ \begin{array}{ll} K_b = 1 & \text{si } d_e \leq 8\text{mm}(0.3\text{in}) \\ K_b = 1.189 d_e^{-0.097} & \text{si } 8\text{mm} < d_e \leq 250\text{mm} \\ K_b = 0.869 d_e^{-0.097} & \text{si } 0.3\text{in} < d_e \leq 10\text{in} \\ K_b = 0.6 & \text{si } d_e > 250\text{mm}(10\text{in}) \end{array} \right\} \quad (76)$$

Donde d_e es el diámetro del eje sometido a flexión giratorio, para nuestro diámetro utilizaremos

$$K_b = 1,189d_e^{-0,097} \quad (77)$$

$$K_b = 0,85$$

El factor de modificación de la carga está dado por los valores:

$$K_c = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ flexion} \\ 0.85 \text{ axial} \\ 0.59 \text{ torsion} \end{array} \right\} \quad (78)$$

$$K_c = 1$$

El factor de temperatura K_d en el límite de fatiga permanece más o menos constante entre la temperatura ambiente

$$K_d = 1 \quad \text{si } T_{ex} \leq 450^\circ\text{C}$$

Para el Factor de confiabilidad se tiene del ANEXO Ñ.

$$\text{con } 99\% \text{ de confiabilidad} \rightarrow K_c = 0,814$$

Factor de efectos varios K_f

$$K_f = 1$$

$$K = K_a K_b K_c K_d K_e K_{car} \rightarrow K = 0,55$$

$$Se' = 0,5Sut$$

$$Se' = 220MPa$$

$$Se = K * Se'$$

$$Se = 121MPa$$

Para determinar la sensibilidad de la muesca se tiene que:

$$q = \frac{1}{1 + \sqrt{a}/\sqrt{r}} \quad (79)$$

Mediante el ANEXO O por interpolación el valor de \sqrt{a} es de 0.515 para flexión, mientras que para la torsión \sqrt{a} es de 0.382, y para el cálculo de r el valor de h es 4,05 mm.

$$r = \frac{h}{3}$$

$$r = 1,35$$

Flexión:

$$q = \frac{1}{1 + \sqrt{a}/\sqrt{r}}$$

$$q = 0.69$$

Torsión:

$$q = \frac{1}{1 + \sqrt{a}/\sqrt{r}}$$

$$q = 0.75$$

El valor de K_t para la flexión y torsión se obtiene según el ANEXO P.

D=38.10mm

d=30mm

$$\frac{r}{d} = \frac{1,35}{30} = 0,045$$

$$\frac{D}{d} = \frac{38,10}{30} = 1,27$$

$$\text{Flexion: } K_t = 1.9$$

$$\text{Torsion: } K_t = 1.62$$

Cálculo de los factores de concentración del esfuerzo a la fatiga:

Flexión:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \rightarrow K_f = 1,62$$

Torsión:

$$K_{fs} = 1 + q_T(K_t - 1) \rightarrow K_{fs} = 1,46$$

Factor de seguridad:

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi(30)^3} \left[4 \left(\frac{1,62 \times 81395,90}{121} \right)^2 + 3 \left(\frac{1,46 \times 24550}{370} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$n = 2,42$$

4.12 Diseño de chavetas

Como el eje de transmisión es solidario con la polea se debe colocar una chaveta en una ranura realizada en el eje denominada chavetero. Lo primero en realizar es el diseño de la chaveta en base al diámetro del eje mediante la tabla del ANEXO Q para un diámetro de 30 mm.

$$h = 10\text{mm} ; b = 8\text{mm}$$

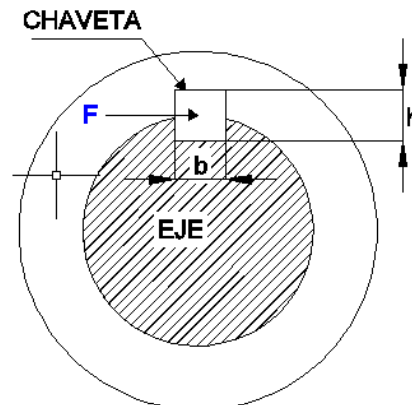


Figura 18-4: Chaveta del eje de transmisión

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Para determinar la longitud de la chaveta se realizó un análisis por aplastamiento y corte para determinar los esfuerzos generados en la chaveta.

4.12.1 Diseño por aplastamiento

El análisis se lo realiza por el aplastamiento que existe entre el eje y la chaveta en una de las caras laterales.

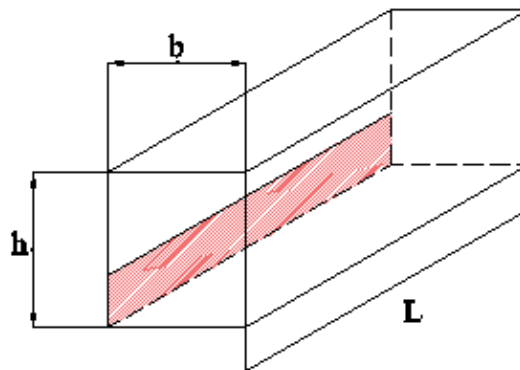


Figura 19-4: Chaveta del eje de transmisión

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

$$T = 24,55 N.m$$

$$T = F * \frac{d}{2}$$

$$F = \frac{2T}{d} = 1636,67 N$$

$$\eta = 2$$

Las cuñas o chavetas comúnmente se fabrican de acero fundido con una resistencia, mayor tenacidad de los elementos que va unir, el acero fundido posee una resistencia a la tracción de unos 700 MPa.

Tabla 10-4: Datos de la chaveta

Tipo de material	AISI 1045
Límite de elasticidad S_y	310 MPa
Altura (h)	10 mm
Ancho (b)	8 mm

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

$$\frac{2F}{h * l_{aplas}} = \frac{S_y}{\eta} \quad (80)$$

$$l_{aplas} = \frac{2 * F * \eta}{S_y * h}$$

$$l_{aplas} = 2,11 \text{ mm}$$

4.12.1.1 Diseño por Corte

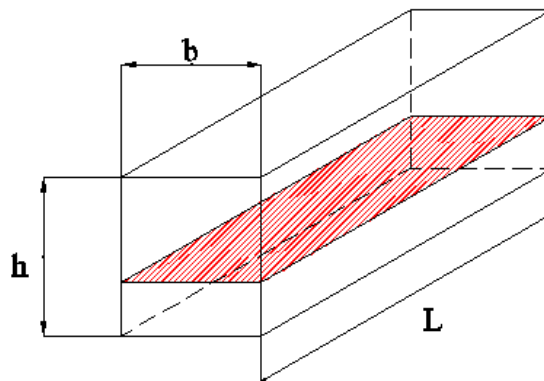


Figura 20-4: Chaveta del eje de transmisión

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

$$\frac{F}{b * l} = \frac{S_y}{\sqrt{3} * \eta} \quad (81)$$

$$l_{corte} = \frac{\sqrt{3} * F * \eta}{S_y * b}$$

$$l_{corte} = 2,28 \text{ mm}$$

4.13 Selección de Rodamientos y Chumaceras para el eje

Mediante el diámetro de 30 mm del eje de transmisión se seleccionará el rodamiento adecuado para ese punto, para la selección se tomará en consideración las siguientes características como cargas y horas de trabajo que se detallan a continuación:

- 3 h diarias de trabajo
- Un promedio de 200 días al año
- 10 años de vida útil

➤ $w = 181 \text{ rpm}$

4.13.1 *Análisis a carga dinámica*

Para la selección de los rodamientos se analizará en base a la carga radiales que se encuentra en el punto C del eje, los valores de las cargas a considerar son las calculadas para el diseño del eje.

$$F_{Cx} = 1006N$$

$$F_{Cy} \approx 0$$

Como solo están presentes cargas radiales se seleccionará un rodamiento de bolas, ya que tienen una mayor resistencia a fuerzas radiales.

$$F_{radial} = 1006N$$

La vida nominal básica

$$L^{10} = \text{horas} * \text{dias} * \text{años} \quad (82)$$

$$L^{10} = 3 * 200 * 10 = 6000 \text{ h}$$

Mediante la vida nominal y 181 rpm según el ANEXO R.

$$f_n = 0,56 \quad f_h = 2,3$$

El rodamiento de bolas seleccionado según el ANEXO S es un rodamiento tipo 6906 ZZ se tiene los siguientes datos:

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$F_r = 1006N$$

$$C_r = 7,25 \text{ KN}$$

$$f_o = 15,8$$

$$C_{or} = 5 \text{ KN}$$

Para un rodamiento rígido de bolas se tiene la siguiente ecuación

$$Pr = XFr + YFa \quad (83)$$

Donde:

X = Coeficiente radial del rodamiento

F_r = Carga radial

Y = Coeficiente axial del rodamiento

F_a = Carga axial

$$\frac{f_o * F_a}{c_{or}} \quad (84)$$

$$\frac{f_o * F_a}{c_{or}} = \frac{15,8 * 0}{5} = 0$$

Mediante el ANEXO T se obtiene un valor de e:

$$\frac{f_a}{f_r} > e$$

Se obtiene los valores de x e y

$$X = 1 \quad Y = 0$$

Reemplazando en la ecuación (83) se tiene:

$$Pr = XF_r + YF_a$$

$$P = (1)(1,006 \text{ KN}) + 0 = 1,006 \text{ KN}$$

Para determinar la capacidad dinámica requerida utilizamos la siguiente ecuación:

$$C' = \frac{f_h}{f_n} P \quad (85)$$

$$C' = \frac{f_h}{f_n} P = \frac{2,3}{0,56} 1,006 = 4,13 \text{ KN}$$

Se verifica que

$$C' < C_r$$

4.13.2 *Análisis a carga Estática*

Datos:

$$F_r = 1006N$$

$$C_r = 7,25 KN$$

$$f_o = 15,8$$

$$C_{or} = 5 KN$$

Para rodamientos radiales, la carga radial equivalente estática se puede hallar mediante la ecuación:

$$P_{or} = X_0 * Fr + Y_0 * Fa \quad (86)$$

Por datos del fabricante del catálogo NTN el valor de $X_0 = 0,6$ e $Y_0 = 0,5$

$$P_{or} = 0,6 * 1032,59 + 0,5 * 0 = 619,55 N$$

Se considera que:

$$P_{or} < F_r$$

La ecuación para el factor estático:

$$C_{OREQ} = f_s * P_o \quad (87)$$

Donde:

C_{OREQ} = Carga inicial requerida

f_s = Factor de esfuerzos estáticos

P_o = Carga estática equivalente

Para exigencias normales el valor de f_s es 1,2, para la carga estática equivalente P_o se obtiene mediante la relación (FAG, 2000, p. 148)

$$C_{OREQ} = 1,2 * 1006N = 1207,2 N$$

La carga máxima de la chumacera se compara con la carga calculada la cual debe ser menor para que la selección sea correcta

$$C_{OREQ} < C_{OR}$$

Con un diámetro $d=30$ mm y los valores de C_{OR} y C_r del catálogo se seleccionó un rodamiento de bolas NTN 6906 ZZ con tapas.

Tabla 11-4: Datos técnicos del rodamiento

RODAMIENTO DE BOLAS 6906 ZZ		
d	30	mm
D	47	mm
B	9	mm
r	0,3	mm
C_r	7,25	KN
C_{or}	5	KN

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Fuente: (NTN, 2000, p. 116)

4.13.3 Selección de la chumacera

Mediante el catálogo NTN, y rodamiento de bolas tipo 6906 ZZ se seleccionó una chumacera tipo puente, alojamiento de acero fundido con tornillo de fijación (Prisionero).

Tabla 12-4: Datos técnicos de la chumacera

CHUMACERA UCP 206D1		
Diámetro eje	30	mm
Longitud	165	mm
Tamaño de perno	M14	mm

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Fuente: (NTN, 2009, p. 60)

4.14 Disco con un eje excéntrico.

4.14.1 Diseño del cordón de soldadura

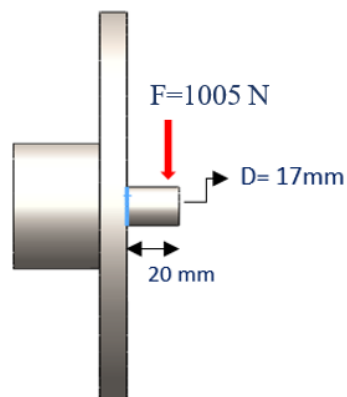


Figura 21-4: Disco con un eje excéntrico

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. SolidWorks.

Este cordón de soldadura es la que resistirá la fuerza transmitida por la biela al disco excéntrico. El cordón de soldadura se realiza con electrodo de la serie E6018.

Tabla 13-4: Propiedades mínimas del metal de aporte

Número de electrodo AWS	Resistencia a la tensión, Kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, Kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62(427)	50(345)	17-25
E70xx	70(482)	57(393)	22
E80xx	80(551)	67(462)	19
E90xx	90(620)	77(531)	14-17
E100xx	100(689)	87(600)	13-16
E120xx	120(827)	107(737)	14

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Fuente: . (Budynas & Keith., 2008, p. 472)

En base a esta tabla tenemos para nuestro caso:

$$S_{y_{elect}} = 345 \text{ MPa}$$

Del ANEXO U obtenemos la fórmula del segundo momento unitario del área, y el área de la garganta, para una sección circular.

➤ *Segundo momento unitario del área:*

$$I_u = \pi * r^3 \quad (88)$$

➤ *Área de la garganta:*

$$A = 1,414 * \pi hr \quad (89)$$

$$I_u = \pi(8,5\text{mm})^3$$

$$I_u = 1929,33 \text{ mm}^3$$

En base a la aplicación de la fuerza tenemos que analizar a corte primario debido a la fuerza y corte secundario debido al momento que se produce en función a la distancia:

F= Corte primario (τ')

M= Corte secundario (τ'')

$$M = Fuerza * distancia \quad (90)$$

$$M = 1005 N * 20mm$$

$$M = 20100 N.mm$$

4.14.1.1 *Análisis a corte primario:*

$$\tau' = \frac{F}{A} \quad (91)$$

$$\tau' = \frac{1005N}{1,414 * \pi hr}$$

Donde:

A: Área de la garganta

h: Espesor de la soldadura.

r: Radio

$$\tau' = \frac{1005N}{1,414 * \pi * h * 8,5mm}$$

$$\tau' = \frac{26,6}{h}$$

4.14.1.2 *Análisis a corte secundario:*

$$\tau'' = \frac{M * r}{0,7070 * h * I_u} \quad (92)$$

$$\tau'' = \frac{20100 N.mm * 8,5mm}{0,707 * h * 1929,33 mm^3}$$

$$\tau'' = \frac{125,3}{h}$$

Para el caso de flexión y corte (Budynas & Keith., 2008), propone la siguiente formula:

$$\tau_s = \frac{0,5 * S_{y_{elect}}}{n_s} \quad (93)$$

$$\tau_s = \frac{0,5 * 345 MPa}{4}$$

$$\tau_s = 43,125 \frac{N}{mm}$$

De donde reemplazando en la siguiente fórmula se determinó el espesor de la soldadura:

$$\tau_s = [\tau'^2 + \tau''^2]^{\frac{1}{2}} \quad (94)$$

$$\tau_s = \left[\left(\frac{26,6}{h} \right)^2 + \left(\frac{125,3}{h} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\tau_s = \left[\frac{707,56}{h^2} + \frac{15700,1}{h^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\tau_s = \left[\frac{16407,65}{h^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$43,125 = \frac{128,1}{h}$$

$$h = \frac{128,1}{43,125}$$

$$h = 2,97 \text{ mm}$$

4.15 Diseño de la biela

La biela es un elemento largo que permite una unión articulada entre la manivela y el marco de la malla. Este elemento debe resistir los esfuerzos de trabajo que está sometido.

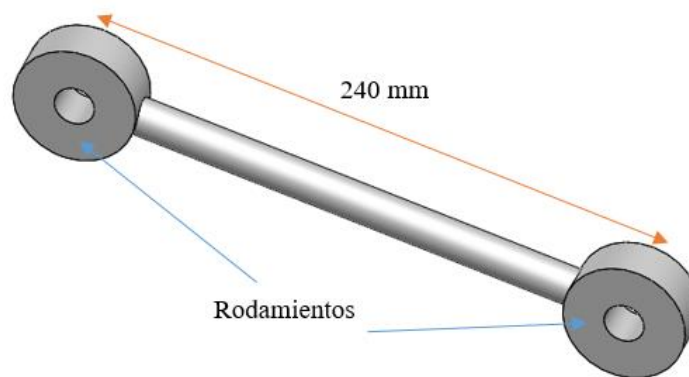


Figura 22-4: Biela del mecanismo

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. SolidWorks.

Tabla 14-4: Propiedades Mecánicas de acero AISI 1020

Tipo de material	AISI 1020
Límite de elasticidad S_y	207 MPa
Límite ultimo a la ruptura S_{ut}	379 MPa

Fuente: Autores

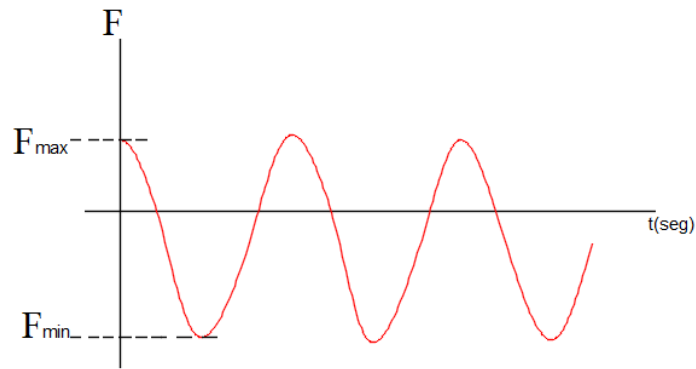


Figura 23-4: Biela del mecanismo

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

En base al análisis dinámico tenemos las fuerzas máxima y mínima a la que está sometida la biela.

$$F_{max} = 661,3 \text{ N}$$

$$F_{min} = -1006 \text{ N}$$

Por lo tanto:

$$F_a = \left| \frac{F_{max} - F_{min}}{2} \right| \quad (95)$$

$$F_a = \left| \frac{661,3 - (-1006)}{2} \right| = 833,65 \text{ N}$$

$$F_m = \left| \frac{F_{max} + F_{min}}{2} \right| \quad (96)$$

$$F_m = \frac{661,3 + (-1006)}{2} = -172,35 \text{ N}$$

El esfuerzo a tracción está dado por la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (97)$$

La biela es de sección circular:

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (98)$$

Los esfuerzos a los que está sometido son:

$$\sigma_a = \frac{4 \cdot F_a}{\pi \cdot d^2} \quad (99)$$

$$\sigma_m = \frac{4 \cdot F_m}{\pi \cdot d^2} \quad (100)$$

$$\sigma_a = \frac{4 \cdot 833,65}{\pi \cdot d^2} = \frac{1061,43}{d^2}$$

$$\sigma_m = \frac{4 \cdot -172,35}{\pi \cdot d^2} = -\frac{219,44}{d^2}$$

Según Soderberg:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n} \quad (101)$$

El límite de resistencia:

$$S_e' = 0,5S_{ut}$$

Donde:

$$S_e = K * S_e'$$

$$K = K_a K_b K_c K_d K_e K_f$$

$$K = K_a K_b K_c K_d K_e K_f$$

Los valores de k están entre 0,3 y 0,6 nos asumimos un valor 0,5

$$S_e = 0,5 * 0,5 * 379 = 94,75 \text{ MPa}$$

Reemplazando en la ecuación, con un factor de seguridad de 3

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

$$\frac{\frac{1061,43}{d^2}}{94,74} + \frac{-\frac{219,44}{d^2}}{207} = \frac{1}{3}$$

$$d = 5,52 \text{ mm}$$

Para el recalcu del valor del límite de resistencia se lo analiza Mediante la ecuación de Marín:

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f * S_e'$$

Donde

$$K = K_a K_b K_c K_d K_e K_f$$

El valor del Factor de superficie K_a depende de la calidad del acabado de la superficie y de la resistencia a la tensión. Mediante la ANEXO N determinaremos el valor de K_a .

Factor de superficie

$$K_a = 0.8$$

Factor de tamaño para una carga axial es

$$K_b = 1$$

Factor de modificación de la carga está dado por los valores:

$$K_c = \begin{cases} 1 \text{ flexion} \\ 0.85 \text{ axial} \\ 0.59 \text{ torsion} \end{cases}$$

$$K_c = 0.85$$

Factor de temperatura K_d el límite de fatiga permanece mas o menos constante entre la temperatura ambiente:

$$K_d = 1 \quad \text{si } T_{ex} \leq 450^\circ\text{C}$$

El factor de confiabilidad se obtiene del ANEXO Ñ

$$\text{con } 99\% \text{ de confiabilidad} \rightarrow K_e = 0,814$$

Factor de efectos varios K_f

$$K_f = 1$$

$$K = K_a K_b K_c K_d K_e K_{car} \rightarrow K = 0,55$$

$$S_e' = 0,5 S_{ut}$$

$$Se' = 189,5MPa$$

$$Se = K * Se'$$

$$Se = 104,225MPa$$

El diámetro mínimo de la biela es de 5,52 mm, y el diámetro que se utilizó es de 16 mm, por lo tanto, calculamos el factor de seguridad, obteniendo:

$$n = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y}} \quad (102)$$

$$n = \frac{1}{\frac{4276562}{104,225 * 10^6} + \frac{858984,37}{207 * 10^6}}$$

$$n = 27$$

4.16 Análisis de la estructura

La estructura se diseñó de manera que soporte todos los elementos que están sobre la misma, el material utilizado para su construcción es acero estructural de sección cuadrada de 40mm con un espesor de 3mm, y ángulo estructural de 40mm con 3 mm de espesor.

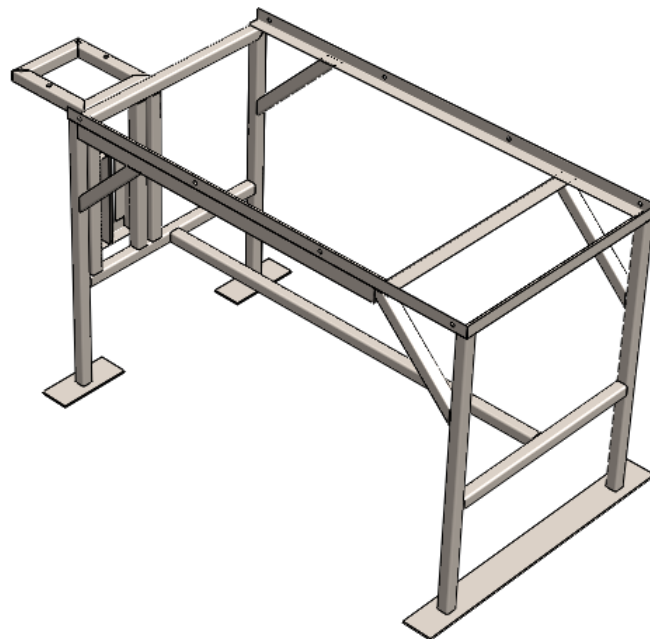


Figura 24-4: Estructura de la Tamizadora

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. SolidWorks.

A continuación, se muestran las cargas a la cual está sometida la estructura.

Tabla 15-4: Cargas presentes en la estructura

TIPO	ELEMENTOS	CANTIDAD	MASA	CARGA
Muerta	Motor	1	16 kg	156,8 N
	Sistema de tamizaje	1	16 kg	156,8 N
	Tolva principal	1	1,62 Kg	15,87 N
	Tola secundaria	1	0,44 kg	4,31 N
Viva	Arena	---	30 Kg	294 N

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

El análisis de la estructura se realizó mediante el software SAP 2000.

En la figura 25-4, se muestra las cargas muertas presentes en la estructura, la carga del sistema de tamizaje que es de 156,8 N la misma que se divide para 6 debido a que esta carga está soportada por las seis ruedas del sistema, además se distribuyó las cargas de las tolvas en los puntos de anclaje.

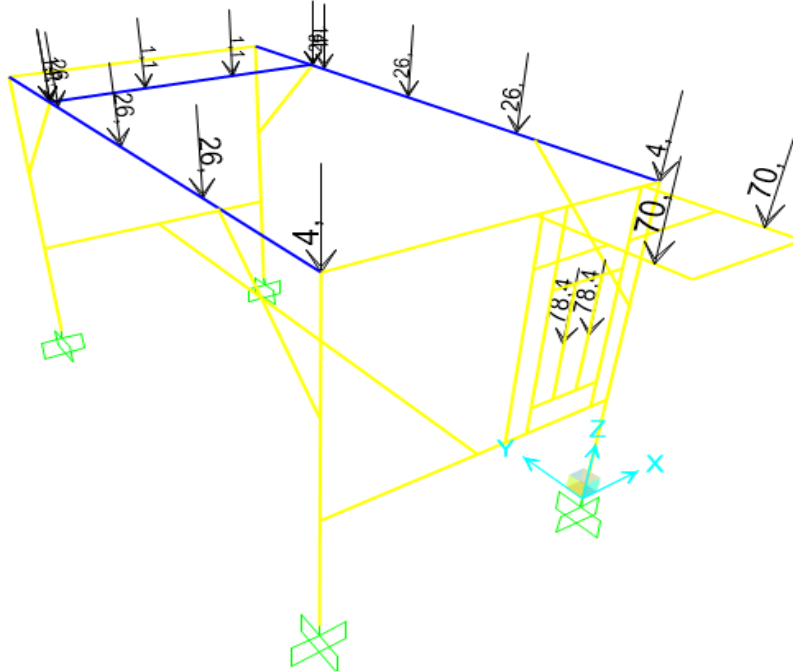


Figura 25-4: Ubicación de las cargas muertas en la estructura

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. SAP 2000.

En la figura 26-4, se muestra la carga viva, que es debido a la arena de entrada a la máquina, para este análisis se consideró la carga de arena máxima que entra, que de la misma manera se distribuye para las seis ruedas del sistema de tamizaje

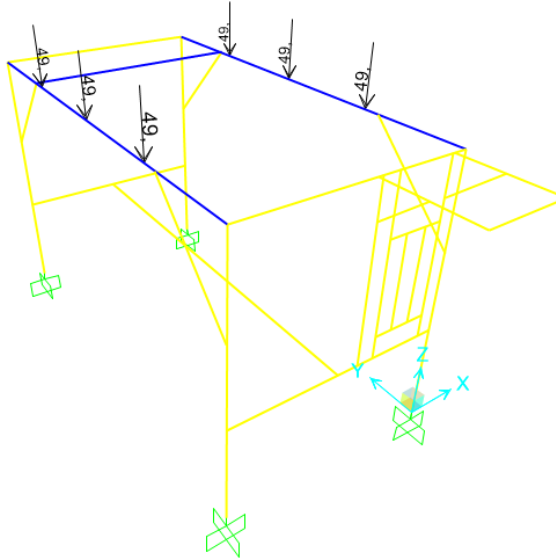


Figura 26-4: Ubicación de la carga viva sobre la estructura

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. SAP 2000.

Establecido la sección del perfil, el material ASTM A-36 y las cargas en el SAP 2000 se procedió a correr el programa para analizar si la estructura soporta las cargas actuantes. El análisis se muestra en la figura 27-4.

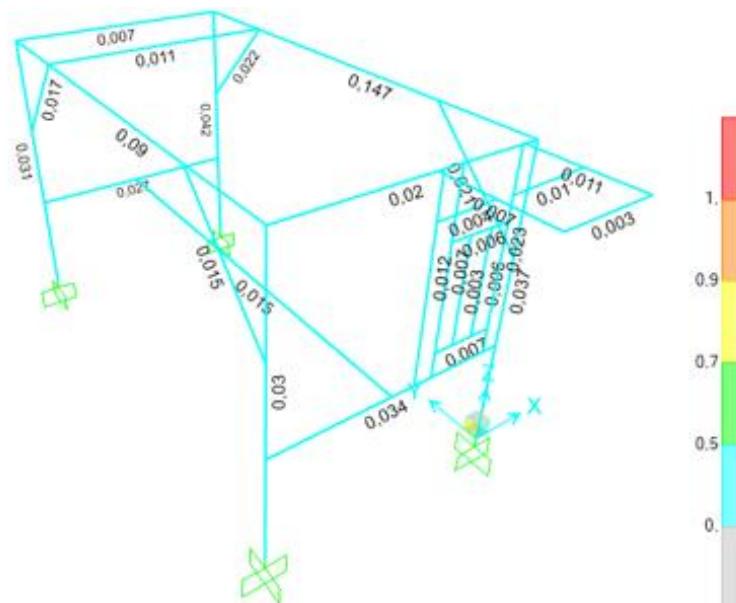


Figura 27-4: Factores demanda capacidad

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. SAP 2000.

Según la figura 27-4 se tiene que las razones de demanda capacidad de esfuerzos no sobrepasan los valores de 0,147 esto indica que la estructura soporta todas las cargas actuantes.

Mediante la AISC 360 para una carga viva permite una deformación menor a L/360. Para este análisis de la deformación permisible tomaremos de la sección más larga de la estructura, que es el perfil superior donde se asienta el sistema de tamizaje.

$$\delta = \frac{L}{360} \tag{103}$$

$$\delta = \frac{860 \text{ mm}}{360}$$

$$\delta = 2,38 \text{ mm}$$

En la figura 28-4 se observa que en el elemento que se aplicó la carga, la deformación máxima es de 0,18mm, con lo que cumple satisfactoriamente la condición de deformación.



Figura 28-4: Deformación debido a las cargas

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. SAP 2000.

4.17 Sistema de desfogue de la arena

El objetivo de utilizar una tolva es para que la arena tamizada, y los desechos no se acumulen en el interior de la máquina, ni tampoco se mezclen. El desfogue de la arena tamizada se realiza por la tolva principal que está debajo de la malla, esta tolva se encuentra anclada a la estructura o base de la máquina, el ancho y el largo de la tolva cubre toda el área de la malla. Mientras los desechos resbalan por la tolva secundaria. El material de las tolvas es de un espesor de 1.1mm

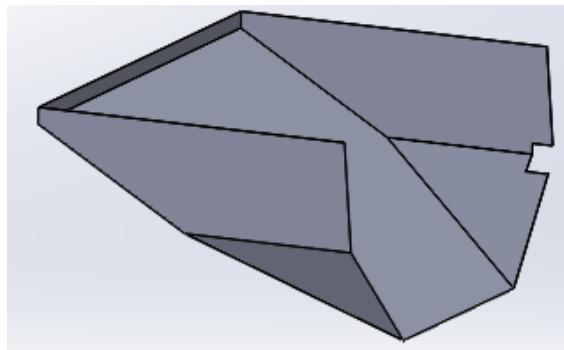


Figura 29-4: Tolva principal

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. SolidWorks.

Tabla 16-4: Propiedades físicas de los materiales

MATERIAL	Densidad		Ángulo efectivo de rozamiento interno en grados		Ángulo de rozamiento con la pared(grados)				Ángulo de reposo en grados
					Pared lisa		Pared rugosa		
	Baja	Alta	Baja	Alta	Limite Super.	Limite Infer.	Limite Super.	Limite Infer.	
TRIGO	800	900	15	25	24	14	30	22	30
MAIZ	750	850	15	25	24	14	30	22	25
CEBADA	750	850	23	30	20	5	25	18	20
HARINA	700	750	23	30	20	14	25	19	40
AZUCAR	900	1000	33	40	27	23	30	25	25
ARENA	1500	1700	35	40	22	15	26	20	30
GRAVA	1600	1800	36	40	23	16	26	20	35
PIEDRA CALIZA	1250	1600	33	40	26	22	26	30	40
CEMENTO	1300	1600	40	45	27	22	30	24	30
ALUMINA	1000	1200	30	38	22	16	25	20	30
CENIZA MUY FINA	800	1000	30	34	20	14	25	18	35
CAL	600	800	35	45	28	20	30	22	40

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Fuente: (Ravenet, 1992)

Se debe tener en cuenta las características físicas para el diseño de la tova como el tipo de material, además del ángulo de reposo.

El ángulo de reposo se determina mediante una muestra que se deja caer desde cierta altura, sin presión alguna, el ángulo que forma el talud con respecto al piso se denomina ángulo de piso. La inclinación que permita que el material fluya adecuadamente es aproximadamente el ángulo de reposos más 15 grados.

$$\beta = \alpha + 15 \quad (104)$$

Donde:

β = ángulo de inclinación

α = ángulo de reposo

Según la tabla 16-4 el ángulo de reposo de la arena es de 30°.

$$\beta = 30 + 15 = 45^\circ$$

La tolva principal como la tolva secundaria tiene la forma de paralelepípedo con un ángulo de inclinación mayor de 45° , para que la arena puede resbalar fácilmente y no se acumule en la tolva.

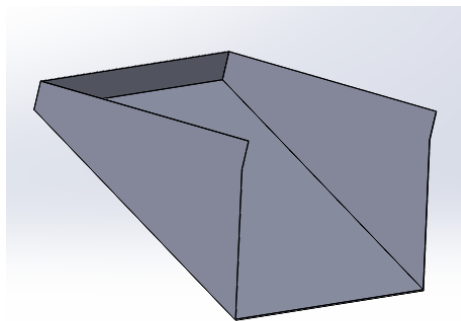


Figura 30-4: Tolva secundaria

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. SolidWorks.

4.18 Carcasa

La función principal que desempeña la carcasa será para la seguridad de la máquina, específicamente para el sistema de poleas que se diseñó, ya que estas se encuentran en constante movimiento y podrían ocasionar accidentes.

La carcasa básicamente no va a estar sometida a esfuerzos, por lo que su diseño se realizó con el mismo material de las tolvas, de una plancha de acero galvanizado de 1,1 mm de espesor.

El modelo de la carcasa se basa en el contorno que rodea a las poleas.

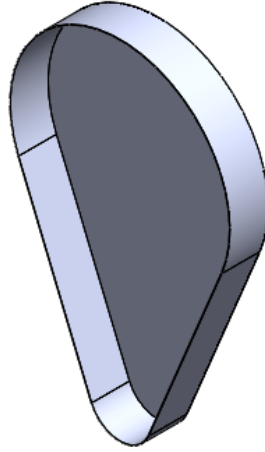


Figura 31-4: Geometría de la carcasa

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. SolidWorks.

4.19 Modelación y simulación de la máquina en Adams.

Finalmente, en base al diseño realizado, se verificó los resultados mediante el software Adams, para realizar la simulación, primero se diseñó toda la máquina en solidworks, para posteriormente importar su geometría al software Adams, como se observa en la figura 32-4.

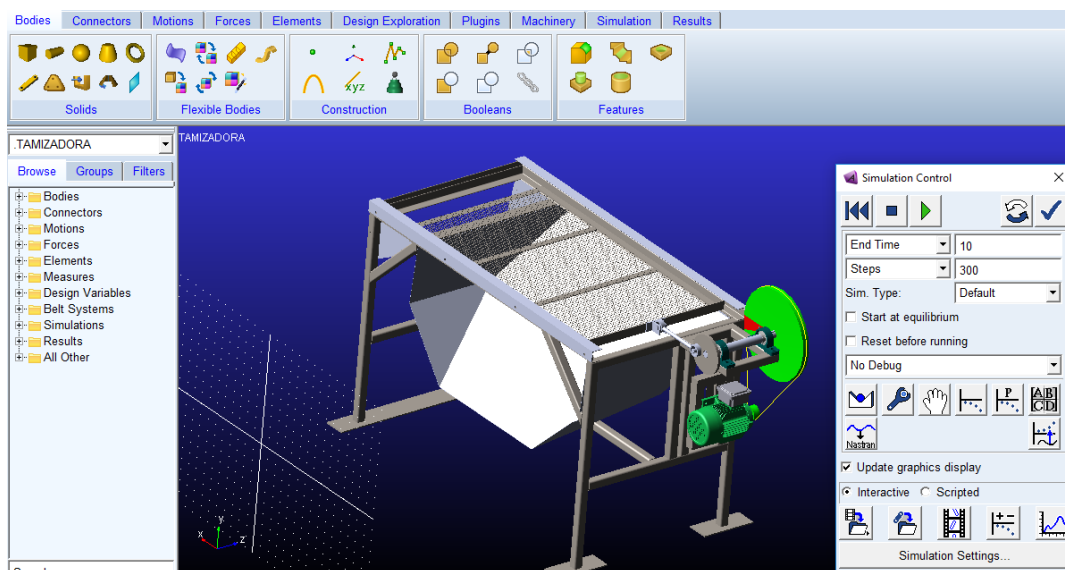


Figura 32-4: Modelación de la máquina en el software Adams

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. MSC Adams.

4.19.1 Pasos para la modelación

4.19.1.1 Importación de la máquina al software

El ensamble realizado en solidworks, se guarda en formato (. IGS) y posteriormente en un nuevo modelo del software Adams se le importa con la opción de **Import**, como se detalla en la figura.

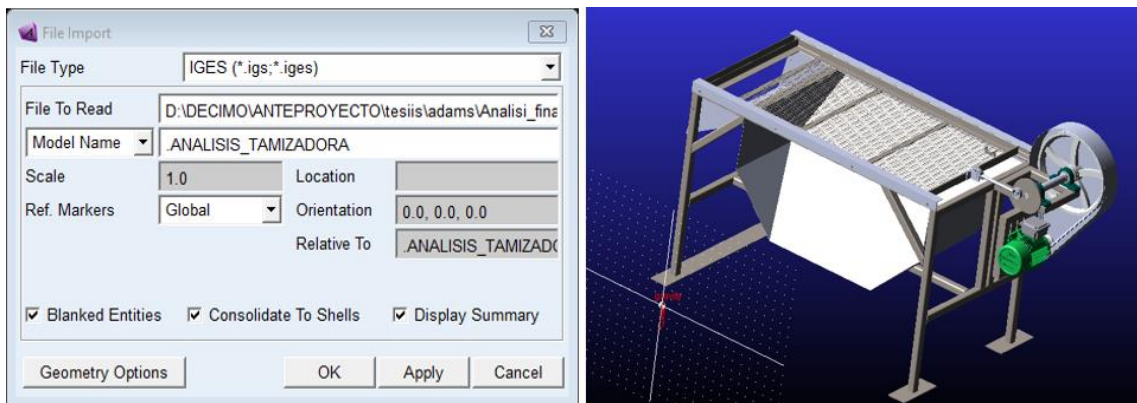


Figura 33-4: Importación del modelo a Adams

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. MSC Adams.

4.19.1.2 Asignación del material correspondiente

A cada elemento de la máquina se le asignó el material correspondiente, y al mismo tiempo eliminamos los elementos que no intervienen en la simulación y que no son relevantes para el análisis, como por ejemplo las carcasas y tornillos.

Además, se eliminó las poleas, por motivo que el mismo software tiene una herramienta para transmisión por correas, el cual posteriormente se ubicó en la máquina para la simulación.

En la siguiente figura se muestra la máquina con los elementos principales para la simulación, y ya eliminado los elementos innecesarios.

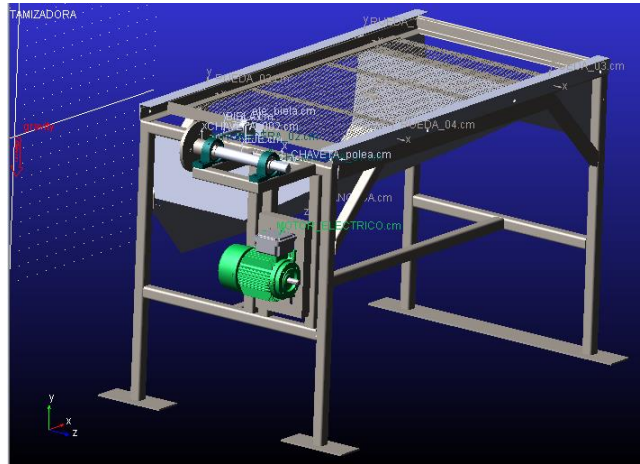


Figura 34-4: Asignación de material a los componentes

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. MSC Adams.

4.19.1.3 Ubicación de las conexiones

Según la función y los grados de libertad se asignó las conexiones correspondientes a los puntos necesarios, para que la máquina cumpla con su función de un movimiento lineal para el sistema de tamizaje.

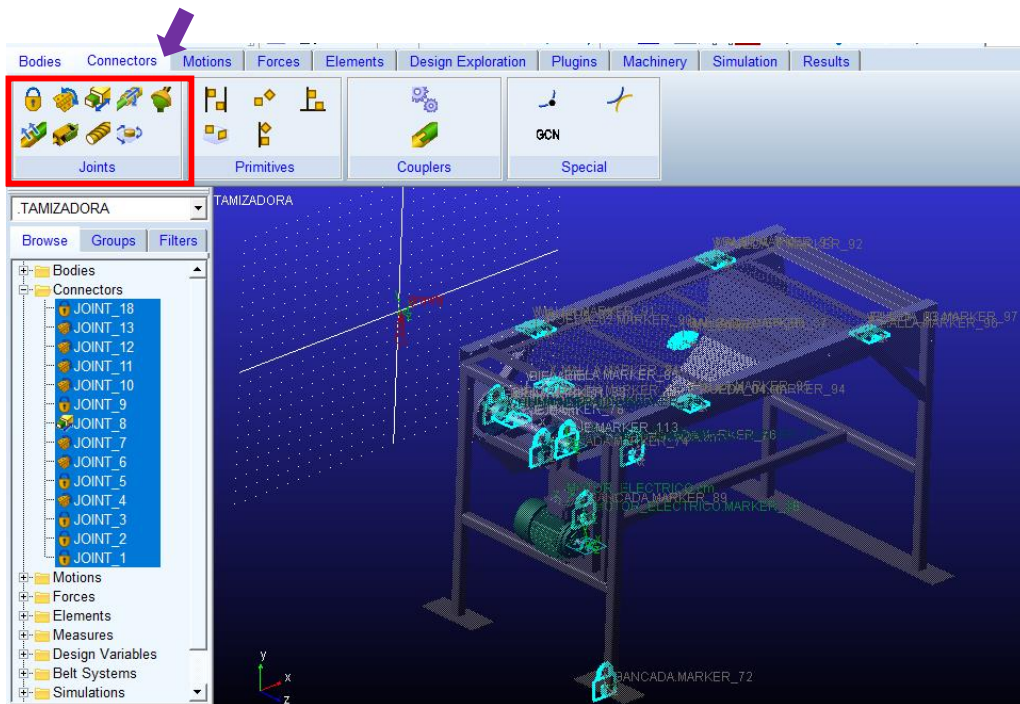


Figura 35-4: Ubicación de conexiones

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. MSC Adams.

Además, a cada conexión se le asignó coeficientes de fricción para obtener medidas más cercanas a las reales.

4.19.1.4 Ubicación del sistema de poleas y perfil de correa para la transmisión.

De la barra de herramientas con la opción **Machinery**, en la sección **Belt**, creamos las poleas correspondientes con los diámetros seleccionados en el diseño, y además creamos un perfil de correa para la transmisión.

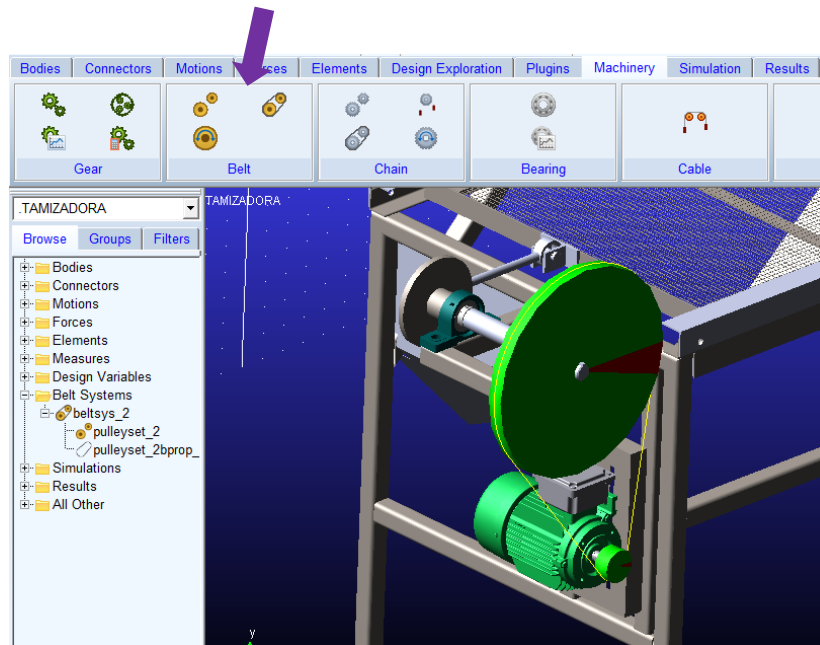


Figura 36-4: Ubicación del sistema de poleas

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. MSC Adams.

4.19.1.5 Asignación de movimiento

La máquina será impulsada por un motor que gira a una velocidad angular de 1105 RPM, este motor en la simulación se reemplazó por un **Rotational Joint Motion**, el cual reemplaza la función del motor, y de esta manera se puede analizar la potencia máxima a la cual está sometido esta junta en la simulación, y que nos permitirá comprobar de esta manera la potencia necesaria para la máquina que no debe sobrepasar el 1 Hp de potencia. Las 1105 RPM, es equivalente a 115,7 rad/s.

Además, se modifica la masa del sistema de tamizaje, la cual debe ser de 46Kg para realizar el análisis cuando la máquina llegue a estar a su máxima capacidad.

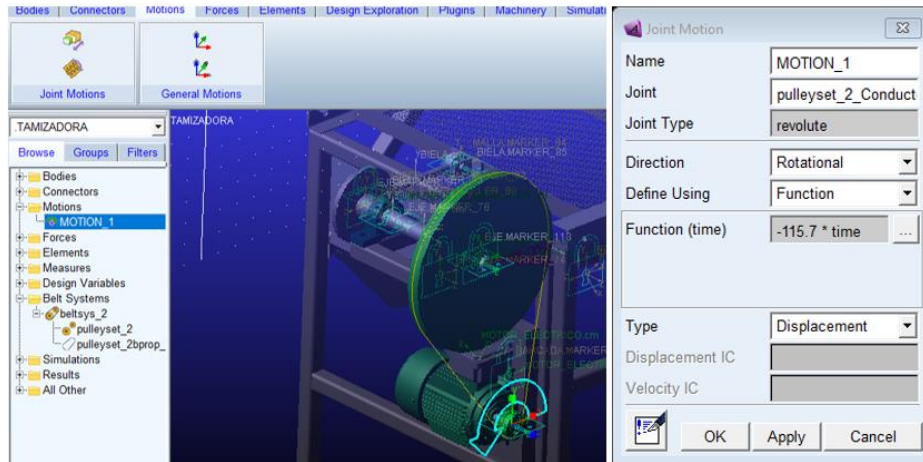


Figura 37-4: Asignación de la velocidad

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. MSC Adams.

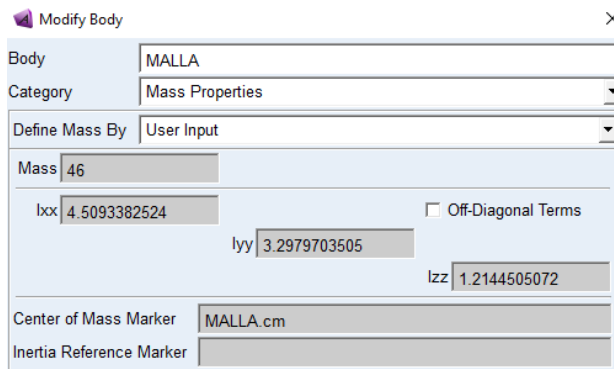


Figura 38-4: Masa total del sistema de tamizaje

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. MSC Adams.

4.19.2 Resultados de la simulación

Los resultados que se van a verificar con la simulación son principalmente el torque que llega al eje del motor, la potencia requerida en el mismo y la aceleración del sistema de tamizaje.

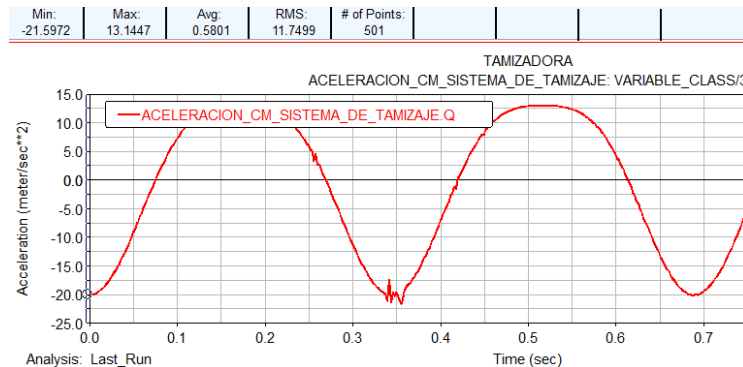


Gráfico 18-4: Aceleración del sistema de tamizaje

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. MSC Adams.

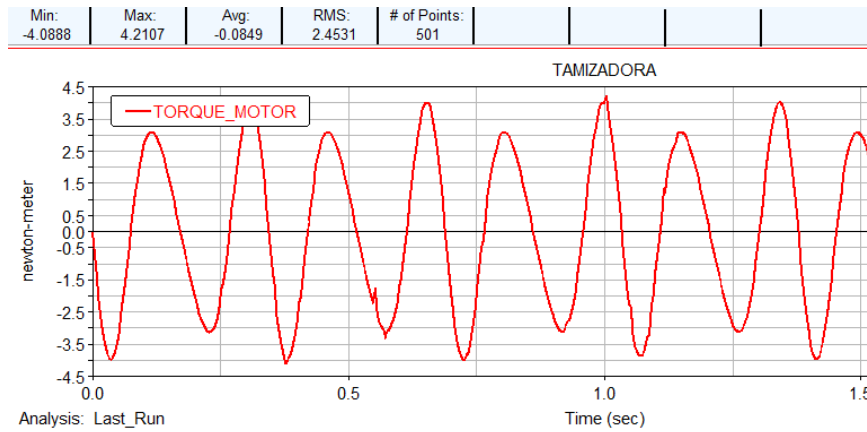


Gráfico 19-4: Torque en el eje del motor

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. MSC Adams.

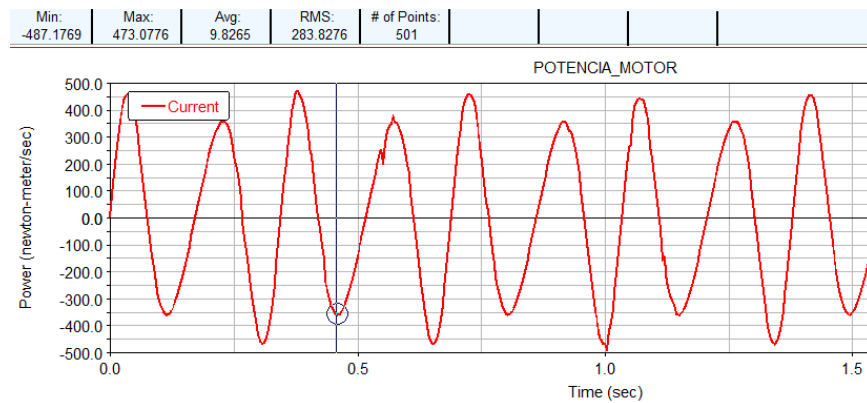


Gráfico 20-4: Potencia del motor

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017. MSC Adams.

Con esta simulación se verifica y se corrobora los cálculos realizados en el presente capítulo, la potencia requerida inicialmente fue de 474 W, y en este caso en base a la simulación, la potencia resultante fue de 487 W, observando así que no existe mucha diferencia en los valores obtenidos.

Además, se observó que el torque en el eje del motor disminuye debido a que el eje del motor tiene una velocidad angular mayor, obteniéndose así un torque en el eje del motor con un valor máximo de 4,21 Nm.

CAPÍTULO V

5. CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO, MANUAL DE USUARIO, MANTENIMIENTO Y COSTOS DE LA MÁQUINA TAMIZADORA.

En el presente capítulo se indicará paso a paso la construcción y ensamble de la máquina tamizadora, para así complementar el diseño y aprobar los cálculos obtenidos, además al final de la construcción se realizará pruebas para así verificar y validar un diseño optimo y eficaz de la máquina.

5.1 Generalidades

Para la construcción de la máquina tamizadora, se requiere de un taller mecánico industrial adecuado, que cumpla con las condiciones necesarias, y la disponibilidad de las máquinas para la construcción de los elementos constitutivos de la máquina a construirse.

La máquina se compone tanto de partes a construirse, como de elementos seleccionados por lo que es importante para la construcción disponer de múltiples herramientas de construcción y personal capacitado y con experiencia para el correcto uso de las mismas, además se construye mediante los planos de taller. Y con respecto a los elementos seleccionados, hay que tomar en cuenta que existan en el mercado nacional, y del mismo modo para la materia prima.

5.2 Sistemas de la máquina tamizadora

La construcción de la máquina tamizadora es muy importante, ya que una vez conformada la máquina podremos validar los cálculos obtenidos del capítulo de diseño, y verificar que los elementos cumplan con los requerimientos establecidos, y sobre todo que cumpla con la capacidad, para la cual fue diseñada.

Para efectuar la construcción, dividiremos a la máquina tamizadora en sistemas estableciendo la cantidad de elementos que constituirán a los mismos, los sistemas se detallan en la tabla 1-5.

Tabla 1-5: Componentes de la máquina tamizadora

Denominación	Componentes principales	Cantidad
Estructura	Estructura de tubo estructural cuadrado	1
	Ángulos estructurales	1
	Tolvas	2
Sistema de tamizaje	Soporte de la malla	1
	Marco de la malla	2
	Malla	1
	Ruedas tipo rodamiento	6
	Protecciones de los canales para las ruedas	2
	Acople del sistema de transmisión	1
	Anillos de retención	2
	Eje del acople	1
Sistema de transmisión de potencia	Eje de transmisión	1
	Chumaceras	1
	Rodamientos	1
	Biela	2
	Disco Excéntrico	2
	Poleas	2
	Banda trapezoidal	2
	Motor eléctrico	1
	Carcasa	1
Sistema eléctrico	Botonera	1
	Cable trifásico	1

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

5.3 Máquinas, Herramientas y Materiales

Para la construcción de los componentes de la máquina necesitamos disponer de una gran cantidad de máquinas y equipos en buenas condiciones, además de herramientas, materiales, elementos ya seleccionados en el diseño, etc. Todos estos elementos se especificarán en la tabla 2-5 clasificados en grupos según corresponda.

Tabla 2-5: Máquinas, Equipos y elementos para la construcción

Tipo	Descripción
Máquinas y Equipos	Torno
	Fresadora
	Esmeril
	Dobladora
	Cizalla
	Amoladora
	Sierra alternativa
	Soldadora eléctrica
	Taladro
	Compresor
	Equipo de Pintura
Herramientas	Brocas
	Herramientas de tornear
	Martillo
	Llaves
	Lima
	Entenalla
	Tijeras
	Playo manual
	Sierra de arco
	Juego de destornilladores
Instrumentos de medición	Calibrador pie de rey
	Flexómetro
	Escuadra
	Nivel
	Compás
Materia prima	Tubo estructural cuadrado de 20x3mm
	Ángulo estructural de 40x3mm
	Ángulo estructural de 50x3mm
	Platina de 30x3mm
	Platina de 100x9mm
	Plancha
Elementos normalizados	Arandelas planas
	Arandelas de presión
	Pernos
	Tuercas
	Chumaceras
	Rodamientos
	Bandas
Elementos seleccionados	Poleas
	Motor eléctrico
	Malla metálica

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

5.4 Procesos y operaciones para la fabricación

La fabricación se llevará a cabo por partes, y en un determinado orden de sistema en sistema, hasta completar todos los cuatro sistemas que conforman a la máquina. En la tabla 15-3 se detalla cada sistema, y cada parte que conforma el mismo, además se define la operación a la que estará sometido cada elemento de la máquina, con su tiempo promedio de construcción en el taller.

Este análisis detallado es muy importante, ya que al final en base a estos tiempos de fabricación podremos obtener un tiempo estimado para la construcción de la máquina, cabe aclarar que solo se toma en cuenta los tiempos en construcción, sin añadir los tiempos que transición entre cada operación que siempre están presentes.

Tabla 3-5: Tiempos de fabricación de cada elemento de la máquina

Denominación	Componentes Principales	Operaciones	Nº	Tiempo (h)
ESTRUCTURA	Estructura de tubo estructural cuadrado	Medir y trazar	1	0,30
		Cortar	2	5
		Esmerilar	3	0,80
		Pre-soldar	4	1,50
		Nivelar y escuadrar	5	1
		Soldar	6	1
		Ensamblar	7	0,50
	Ángulos	Medir y trazar	8	0,20
		Cortar	9	0,80
		Esmerilar	10	0,20
		Pre-soldar	11	0,30
		Escuadrar	12	0,30
		Soldar	13	0,30
	Tolvas	Medir y trazar	14	0,50
		Cortar	15	2
		Esmerilar	16	0,70
		Pre-soldar	17	0,60
		Escuadrar	18	0,30
		Soldar	19	0,80
		Taladrar	20	0,80
		Ensamblar	21	0,70
SISTEMA DE TAMIZAJE	Soporte de la malla	Medir y trazar	22	0,20
		Cortar	23	0,50
		Esmerilar	24	0,30
		Pre-soldar	25	0,20
		Escuadrar	26	0,10
		Soldar	27	0,30

Tabla 3-5. (Continua): Tiempos de fabricación de cada elemento de la máquina

	Marco de la malla	Medir y trazar	28	0,10
		Cortar	29	0,30
		Esmerilar	30	0,10
		Pre-soldar	31	0,20
		Escuadrar	32	0,10
		Soldar	33	0,20
		Taladrar	34	0,30
	Malla	Medir y trazar	35	0,20
		Cortar	36	0,40
		Taladrar	37	0,30
		Ensamblar	38	0,30
	Ruedas tipo rodamiento	Medir y trazar	39	0,30
		Cortar	40	1,50
		Esmerilar	41	0,50
		Nivelar	42	0,40
		Ensamblar	43	0,30
	Protecciones de los canales para las ruedas	Medir y trazar	44	0,10
		Cortar	45	0,30
		Esmerilar	46	0,20
		Medir y taladrar	47	0,30
		Ensamblar	48	0,40
	Acople del sistema de transmisión	Medir y trazar	49	0,15
		Cortar	50	0,35
		Taladrar	51	0,20
		Esmerilar	52	0,10
		Pre-soldar	53	0,20
		Escuadrar	54	0,10
		Soldar	55	0,20
	Anillos de retención	Medir y trazar	56	0,10
		Tornear	57	0,20
		Ensamblar	58	0,20
Eje del acople	Medir y trazar	59	0,10	
	Tornear	60	0,20	
	Ensamblar	61	0,20	
SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA	Eje de transmisión	Medir y trazar	62	0,10
		Cortar	63	0,10
		Tornear	64	0,50
		Fresar	65	0,40
	Chumaceras	Medir y trazar	66	0,20
		Ensamblar	67	0,50
	Poleas	Medir y trazar	68	0,20
		Tornear	69	0,60
		Cortar	70	0,20
		Ensamblar	71	0,20
	Biela	Medir y trazar	72	0,10
		Cortar	73	0,10
		Tornear	74	0,60

Tabla 3-5. (Continua): Tiempos de fabricación de cada elemento de la máquina

		Soldar	75	0,20
		Ensamblar	76	0,20
	Disco excéntrico	Medir y trazar	77	0,10
		Taladrar	78	0,30
		Cortar	79	0,20
	Motor eléctrico	Ensamblar	80	0,40
		Medir y ubicar	81	0,30
	Banda trapezoidal	Ensamblar a las poleas	82	0,20
		Ajustar	83	0,10
	Carcasa	Medir y trazar	84	0,20
		Cortar	85	0,50
		Soldar	86	1
		Taladrar	87	1
	SISTEMA ELÉCTRICO	Botonera	Medir	88
Taladrar			89	0,10
Cable Trifásico		Medir	90	0,30
		Cortar	91	0,05
		Preparar el cable	92	0,05
Tiempo total (h)			93	0,30
				39

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

5.4.1 *Flujogramas de construcción*

Los flujogramas son muy importantes para la construcción, ya que aquí se sintetiza todas las operaciones que se efectuará en cada sistema, para fabricar cada elemento de la tamizadora.

Para la obtención de los flujogramas se toma el número asignado a cada operación de la tabla 5-3, se realizará un flujograma por cada sistema de la máquina.

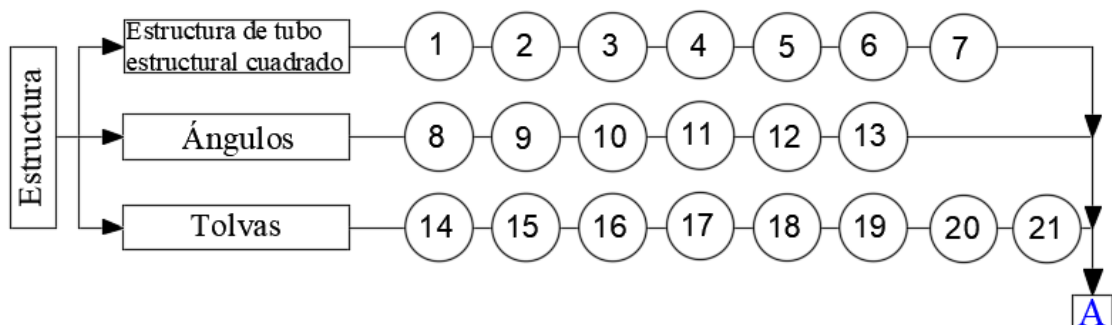


Figura 1-5: Flujograma de construcción de la estructura

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

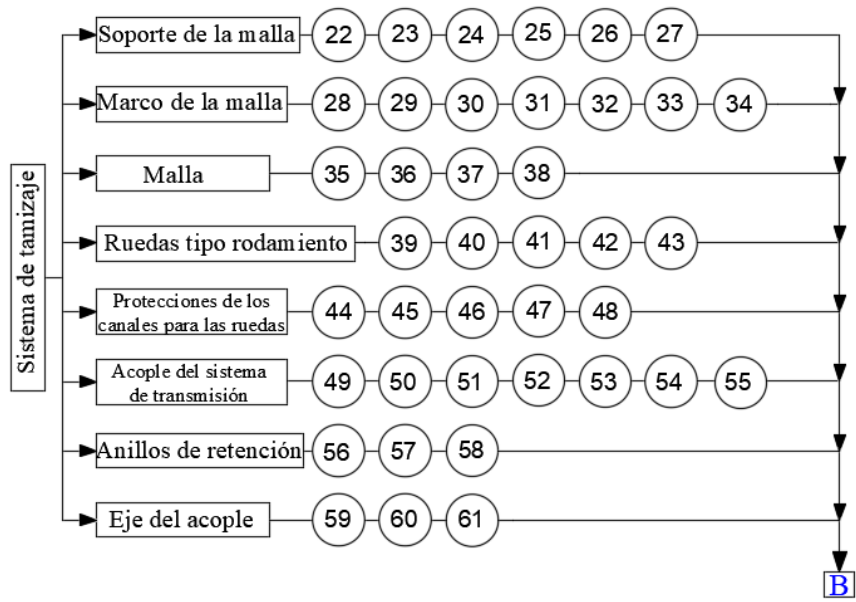


Figura 2-5: Flujograma de construcción del sistema de tamizaje

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

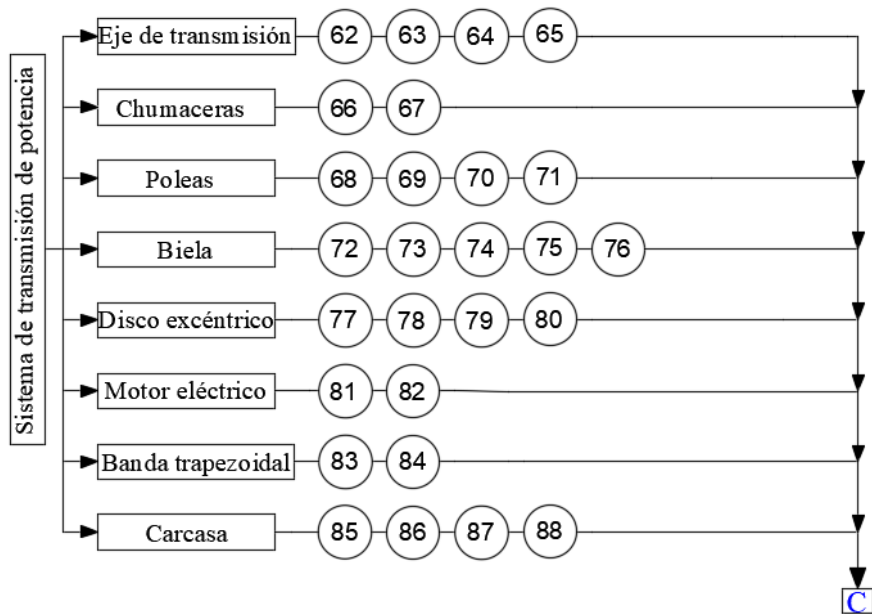


Figura 3-5: Flujograma de construcción del sistema de transmisión

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

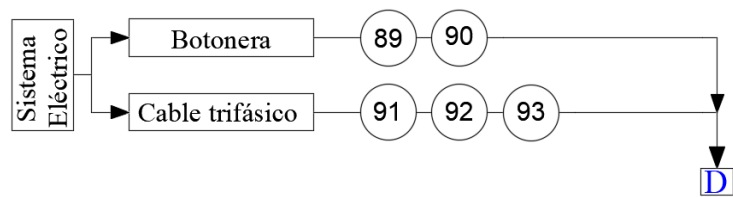


Figura 4-5: Flujograma de operaciones del sistema eléctrico

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

5.5 Montaje de la tamizadora

Para el montaje de la tamizadora de igual manera se especificará cada sistema que conforma la máquina, y a cada operación se le asignará un código, con el fin de crear el diagrama de flujo correspondiente, además que se ubicará el tiempo estimado en cada operación, para al final obtener un tiempo promedio para el montaje de la tamizadora en horas. De igual manera el montaje se realiza sistema por sistema hasta conformar toda la máquina.

Tabla 4-5: Montaje de la estructura

Operación	Código	Tiempo (h)
Traslado de materiales y elementos seleccionados al taller	M1	2
Ensamble de la estructura	M2	5
Montaje de la base de las chumaceras	M3	1,50
Montaje de la base del motor	M4	2
Montaje de las placas base	M5	2
Montaje de las tolvas	M6	2,50
Subtotal		15

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Tabla 5-5: Montaje del sistema de tamizaje

Operación	Código	Tiempo (h)
Montaje del soporte de la malla	M7	1
Soldar las ruedas al soporte de la malla	M8	1,50
Ensamble del marco de la malla	M9	1,50
Dimensionado y ensamble de la malla en el marco y soporte	M10	1,50
Montaje sobre la estructura	M11	0,30
Montaje de las protecciones de los canales	M12	0,70
Montaje del acople del sistema de transmisión	M13	0,80
Subtotal		7,30

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Tabla 6-5: Montaje del sistema de transmisión de potencia

Operación	Código	Tiempo (h)
Montaje del eje de transmisión y las chumaceras a la estructura	M14	1,5
Montaje del disco excéntrico y la biela	M15	0,80
Montaje de las poleas al eje de transmisión y al eje del motor	M17	1
Ubicación de chavetas y prisioneros	M18	0,80
Montaje del motor a la estructura	M19	0,40
Montaje de las bandas y ajuste	M20	0,30
Montaje de la biela al sistema de tamizaje.	M21	0,50
Montaje de la carcasa a la estructura	M22	0,30
Subtotal		5,3

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Tabla 7-5: Montaje del sistema eléctrico

Operación	Código	Tiempo (h)
Montaje de la botonera a la estructura	M23	0,40
Ubicación del cableado del motor a la botonera	M24	0,50
Subtotal		0,90

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Tabla 8-5: Tiempos de montaje de cada sistema

Sistemas	Tiempo (h)
Estructura	15
Sistema de tamizaje	7,30
Sistema de transmisión de potencia	5,30
Sistema eléctrico	0,90
Total	28,80

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

5.5.1 *Flujograma del montaje de los sistemas*

En base a los códigos asignados para los diferentes ensambles de los sistemas de la máquina, se sintetiza todo en el siguiente flujograma de montaje.

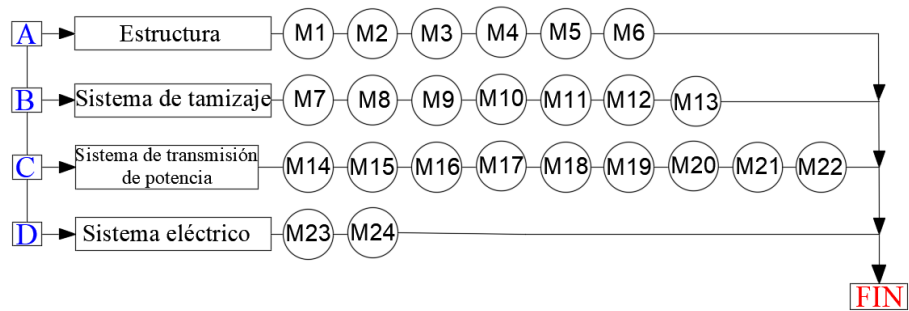


Figura 5-5: Flujograma del montaje de la máquina

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Para obtener el tiempo total de construcción debemos sumar el tiempo total de fabricación y el tiempo total de montaje, hay que tomar en cuenta que en estos tiempos establecidos son sin considerar los lapsos de tiempo entre cada operación, además no consta aún el tiempo de pintado de la máquina, por tanto, en base a estos detalles se añadirá un tiempo de 10h adicionales para la construcción.

El tiempo de fabricación 39h mas el tiempo de montaje de 28,80h, mas 10h, dan como resultado un tiempo total de 77,80h. Entonces si consideramos jornadas de 8h diarias de trabajo, resulta un total de 9 días con 5,80h; aproximadamente 10 días de construcción para toda la máquina, es decir, 2 semanas completas de 5 días de construcción.

El resultado final de la máquina se muestra a continuación.



Figura 6-5: Sistema de tamizaje

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.



Figura 7-5: Sistema de transmisión de potencia

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.



Figura 8-5: Máquina tamizadora

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

5.6 Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento se realizaron sin carga, carga media, y carga máxima, para cada análisis se realizó 5 mediciones para obtener un promedio y comprobar y validar los resultados obtenidos.

Además, se analizó los factores mecánicos de la máquina, para certificar un correcto diseño, y se evaluó si la máquina cumple con los requerimientos del usuario, y los criterios del ingeniero.

5.6.1 Prueba de funcionamiento sin carga

La primera prueba fue sin carga para verificar que la máquina no presente algún problema en su desarrollo, y además analizar las partes principales que cumplan su función con normalidad, y en el caso de encontrar algún tipo de inconveniente solucionarlo. Los resultados fueron los siguientes.

Tabla 9-5: Prueba de funcionamiento sin carga

Carga (kg)	Velocidad (rpm)	Tiempo de tamizado (s)	Arena tamizada	Cantidad de residuo
0	270	---	---	---
0	271	---	---	---
0	269	---	---	---
0	270	---	---	---
0	271	---	---	---
Promedio	270,2			

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

En esta prueba se tomó en cuenta y se realizó 5 mediciones de la velocidad en rpm, para obtener un promedio de la velocidad a la que el sistema se encuentra trabajando, esta velocidad no varía mucho y en promedio se obtiene una velocidad de 270,2 rpm.

5.6.2 Prueba de funcionamiento a carga media

Es importante analizar a esta carga, ya que por lo general en la empresa se estará trabajando máximo a esta carga, debido a que el abastecimiento de arena a la máquina es de forma manual, por lo que mediante mediciones entre dos operarios pueden abastecer a la máquina de 10 kg cada intervalo de tiempo.

Tabla 10-5: Prueba de funcionamiento a carga media

Carga (kg)	Velocidad (rpm)	Tiempo de tamizado (s)	Cantidad de arena tamizada (kg)	Cantidad de residuo (kg)
15	270	8	14,70	0,30
15	270	8,9	14,75	0,25
15	270	8,5	14,85	0,15
15	270	8,8	14,80	0,20
15	270	8,1	14,80	0,20
Promedio		8,46	14,78	0,22

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

5.6.3 Prueba de funcionamiento a carga máxima

Según las dimensiones del sistema de tamizaje la masa de arena máxima que se puede abastecer directamente a la máquina es de 30 a 32 Kg, en base a esto se analizó con 30 kg como carga máxima.

Tabla 11-5: Prueba de funcionamiento a carga máxima

Carga (kg)	Velocidad (rpm)	Tiempo de tamizado (s)	Cantidad de arena tamizada (kg)	Cantidad de residuo (kg)
30	270	16,5	29,55	0,45
30	270	15,5	29,40	0,60
30	270	15,5	29,30	0,70
30	270	16	29,60	0,40
30	270	15	29,65	0,35
Promedio		15,7	29,5	0,5

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

5.6.4 Análisis de resultados

Analizamos el porcentaje de arena útil, y la capacidad de la máquina por minuto para cada carga, para así obtener cual sería la capacidad total de tamizaje por minuto de la máquina.

5.6.4.1 A carga media

➤ Porcentaje de arena útil

Arena (Kg)	%
15	100
14,78	X

$$X = \frac{100 * 14,78}{15}$$

$$X = 98,53\%$$

Para una carga de 15 kg, se obtuvo que el porcentaje que se obtiene de arena útil es del 98,53%, y el resto que sería del 1,47% son los residuos de fundición que queda entre la arena y parte de arena compactada que no pasa la malla, además un porcentaje mínimo se queda en la misma máquina.

- Arena tamizada por minuto

Tiempo (s)	Arena (Kg)
8,46	14,78
60	X

$$X = \frac{14,78 * 60}{8,46}$$

$$X = 104,8 \text{ Kg}$$

Trabajando a esta carga el total de arena tamizada sería de 104,8 Kg en un minuto.

5.6.4.2 A carga máxima

- Porcentaje de arena útil

Arena (Kg)	%
30	100
29,5	X

$$X = \frac{100 * 29,5}{30}$$

$$X = 98,3\%$$

A carga máxima (30kg), el porcentaje que se obtiene de arena útil es del 98,3%.

- Arena tamizada por minuto

Tiempo (s)	Arena (Kg)
15,7	29,5
60	X

$$X = \frac{29,5 * 60}{15,7}$$

$$X = 112,7Kg$$

En base a esto se obtiene una capacidad de 112,7 Kg en un minuto, trabajando a carga máxima, lo que cumple satisfactoriamente con la capacidad solicitada en la empresa.

5.6.5 Pruebas mecánicas de la máquina tamizadora

Mientras se realizó las pruebas también se analizó los detalles mecánicos de la máquina, como la estabilidad, el ruido, etc. Todos estos detalles se examinan en la tabla 12-5.

Tabla 12-5: Pruebas mecánicas de la máquina.

Elementos	Ruido	Calentamiento	No presenta problemas	Observaciones
Motor		X		Ligero calentamiento después de un tiempo prolongado y un ruido menor.
Chumaceras			X	
Ejes			X	
Poleas			X	
Bandas			X	
Carcasa			X	Evitar el contacto con las poleas
Pernos			X	
Ruedas	X			Ruido un poco ligero, debido al desplazamiento

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Debido a que la máquina tiene un movimiento oscilatorio, tiende a producir un poco de vibración e inestabilidad, por lo que se recomienda que la máquina debe estar en un lugar plano y bien asentada al suelo, para evitar una vibración excesiva. Con respecto a los demás elemento la máquina no presentó ningún fallo, y su desarrollo fue adecuado y satisfactorio.

5.7 Verificación de los requerimientos

Finalmente es importante evaluar los criterios ya establecidos en el capítulo 3, con respecto a los requerimientos del usuario, y los criterios del ingeniero, para verificar que se haya cumplido con los parámetros solicitados.

Tabla 13-5: Verificación de los requerimientos del usuario

Requerimientos del usuario	Cumple	No cumple
Fácil operación	X	
Fácil movilización	X	
Fácil mantenimiento	X	
Encendido rápido	X	
Máquina ligera de peso	X	
Bajo consumo de energía	X	
Granulometría adecuada	X	
Evite accidentes	X	
Trabaje adecuadamente	X	
Que no sea ruidosa	X	

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Tabla 14-5: Verificación del criterio del ingeniero

Criterio del ingeniero	Cumple	No cumple
Ergonómica	X	
Dimensiones	X	
Tiempo de encendido	X	
Intercambio de piezas	X	
Materiales	X	
Energía	X	
Dimensiones de la malla	X	
Carga máxima	X	
Nivel de ruido	X	
Seguridad	X	

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

Se analizó cada parámetro solicitado y cada criterio del ingeniero, obteniendo resultados satisfactorios, y de esta forma se comprobó que la máquina si cumple con los requerimientos del usuario, y se adapta a los criterios del ingeniero, y de esta manera se validó todo el diseño realizado para la máquina tamizadora.

5.8 Manual de operaciones

El manual de operación de la máquina ayuda al operador a manipular de forma correcta, manejar adecuadamente el funcionamiento de la máquina, y sobre todo a tener en cuenta las medidas de precaución cuando la máquina se encuentre operativa.

5.8.1 Vista general de la máquina tamizadora de arena

En la tabla se muestra los elementos que está constituido la máquina.

Tabla 15-5: Vista de la máquina tamizadora de arena

	<p>SISTEMA MOTRIZ</p>
	<p>SISTEMA DE TRANSMISIÓN</p>
	<p>SISTEMA DE CLASIFICACIÓN</p>

Tabla 15-5. (Continua): Vista de la máquina tamizadora de arena



Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

5.8.2 Características de la máquina tamizadora de arena de moldeo

La máquina tiene las siguientes características como se muestra en la tabla.

Tabla 16-5: Vista de la máquina tamizadora de arena

Máquina tamizadora de arena	
Características Generales	Dimensiones generales
	Alto: 1m Ancho: 1m Longitud: 1,8 m
	Carga Máxima: 30 kg
	Capacidad de Tamizado: 60 kg/min
	Material de construcción: Acero estructural ASTM A36
	Motor: 1 Hp trifásico 1200 rpm 220V
	Tamiz: Malla #8 Aberturas de 2,38 mm Acero Inoxidable

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

5.8.3 *Instalación del equipo*

Con el fin de que la máquina cumpla su función y no se vea afectado por factores externos se hace las siguientes recomendaciones:

- La máquina debe ser colocada en una superficie plana para que este nivelada.
- Se debe verificar que las bandas estén tensadas, de no ser así se debe tensar moviendo los pernos de la base del motor para obtener un tensado adecuado.
- Verificar que ningún objeto extraño se encuentre en guía del sistema de tamizado.
- Conectar el equipo a una Fuente de energía de 220 V trifásica.

5.8.4 *Instrucciones de operaciones*

Son las indicaciones que debe seguir el operario para realizar el proceso de tamizado con el objetivo que la máquina funcione correctamente.


5.8.4.1 *Puesta en marcha de la máquina*

Para el inicio del proceso de tamizado debemos tomar en cuenta los siguientes pasos, que se indican en la tabla.

Tabla 17-5: Inicio de proceso de tamizado

1. Verificar que no se encuentre ningún objeto extraño que pueda obstruir el sistema de tamizaje	
2. Conectar el equipo a la fuente de corriente eléctrica	

Tabla 17-5. (Continua): Inicio de proceso de tamizado

<p>3. Para encender el equipo pulsar el botón ON</p>	
<p>4. colocar la arena nueva o usada ya triturada sobre el tamiz</p>	

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

5.9 Plan de mantenimiento

Al estar en contacto con la arena algunos elementos se corroen, como también al pasar el tiempo sufren desgaste por lo que se puede producir un mal funcionamiento de los mecanismos y elementos y esto conlleva a tener un plan de mantenimiento para ayudar con la vida del equipo y prolongar la vida útil de cada uno de los elementos.

Tabla 18-5: Inicio de proceso de tamizado

Plan de mantenimiento preventivo de la maquina tamizadora						
Parte	Nº	Actividad	Recurso	Tiempo	Insumos y herramientas	Frecuencia
Estructura	1	Limpieza	1 Operario	15 min	Brocha, franela	Diario
Sistema de tamizado	1	Limpieza	1 Operario	30min	Brocha, llaves hexagonales	Diario
Poleas	2	Verificar y ajustar	1 Operario	20 min	Inspección visual, llaves hexagonales	Diario
correas	2	Tensar	1 Operario	20min	Llaves hexagonales	Mensual
Chumaceras	2	Revisar y ajustar	1 Operario	10 min	Llaves hexagonales	Mensual
Motor	1	Revisar y ajustar	1 electricista	10 min	Llaves hexagonales Multímetro	Mensual

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

5.9.1 *Riesgo y medidas preventivas*

Es un muy importante tomar en cuenta la seguridad del usuario o operador al momento de manipular la máquina para lo cual se debe tener muy en cuenta la siguiente información y evitar accidentes.

5.9.1.1 *Riesgo ergonómico*

Estos factores de riesgo involucran la forma de trabajar el sobre esfuerzo físico, el manejo de cargas la postura al momento de realizar una actividad, el entorno de trabajo y la relación de trabajo además del ambiente de trabajo. El factor de riesgo que se tomo es la acción de levantar la pala de arena hacia el tamiz.

El peso máximo que se recomienda no sobrepasar en condiciones ideales un peso de 30 Kg, para trabajadores jóvenes y mayores no se debe manejar cargas superiores a 15 Kg, en circunstancias especiales, si se manipula cargas superiores esto debe ser de forma esporádica (RUIZ RUIZ, 2011)

5.9.1.2 *Riesgo de atrapamiento*

En el momento que la máquina se encuentre en operación una parte de nuestro brazo se quede enganchada o atrapada en el sistema de tamizado.

- Debemos tener cuidado con el atrapamiento entre las poleas o en el sistema de tamizaje.
- No se debe quitar la protección de las guías del sistema de tamizaje, ni la carcasa de la polea.

5.10 **Análisis de costos**

En este análisis económico se da a conocer una descripción generalizada de los gastos que se realizaron para la obtención de la maquina tamizadora en base a la información de los proveedores de los materiales utilizados para la construcción.

5.10.1 Costos directos

Son todos los valores que incurren directamente en la producción y elaboración de la maquina tamizadora, en los cuales están los gastos por materiales, equipos, maquinas o herramientas, mano de obra y transporte.

5.10.1.1 Costos de materiales

Estos costos son aquellos que son de importancia ya que se emplean para la fabricación de la maquina tamizadora, los materiales y los costos se detallan en la tabla 19-5.

Tabla 19-5: Costos de materiales

DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO UNITARIO [\$]	CANTIDAD	SUB. TOTAL [\$]
Angulo 40x3 [mm]	6[m]	11,10	2	22,20
Botonera para cable #12	Unidad	6,0	1	6,0
Banda A 67	Unidad	5,50	2	11
Broca 3/4''	Unidad	2,10	1	2,10
Chumacera UCP	Unidad	16,50	2	33
Disco de corte	Unidad	1,90	2	3,80
Cable Conductor flexible	[m]	1,90	3	5,70
Eje de transmisión SAE 1018 $\varnothing = 1,5''$	[Kg]	3,80	1	3,80
Guantes de pupo		3,00	2	6,00
Lima redonda	Unidad	5,00	1	5,00
Motor trifásico Siemens 1 HP 220V	Unidad	220,00	1	220,00
Plancha de tol 1220x2440 mm	m ²	28,20	1	28,20
Platina 30x3 mm	6[m]	5,42	2	10,84
Platina 100x9 mm	3[m]	18,75	1	18,75
Pernos 3/4x1''	Unidad0,	0,09	14	1,26
Polea de doble canal de aluminio $\varnothing = 400mm$	unidad	22,50	1	22,50
Polea de doble canal de aluminio $\varnothing = 65mm$	Unidad	5,00	1	5,00
Tubo cuadrado 40x 3 mm	6[m]	19,80	2	39,6
Pintura anticorrosiva unidas	[Ltrs]	4,80	2	9,60
Tiñer	[Ltrs]	1,50	2	3,00
Rodamiento rígido de bolas 6203 SKF	Unidad	2,10	2	4,20
Rodamientos Grandes Platina	unidad	7,70	6	46,20
TOTAL				507,75

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

5.10.1.2 Costo de equipos y herramientas

Estos costos están referenciados a la maquinaria y equipos que fueron utilizados para la construcción de los elementos de la máquina, los mismos se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 20-5: Costos de equipos y herramientas

Descripción	Costo/hora	Horas de Equipo	Subtotal
Amoladora	3,95	7	27,65
Calibrador pie de rey	1,25	1	1,25
Compresor	3,00	4	12
Dobladora de Tol	1,25	1	1,25
Escuadra	1,20	2	2,40
Esmeril	1,25	2	2,50
Flexómetro	1,15	2	2,30
Soldadora eléctrica	3,00	6	18
Sierra eléctrica	1,20	1	1,20
Torno	6,50	4	26
Taladro de pedestal	1,75	4	7
Taladro manual	1,30	3	3,90
Tronzadora	2,50	3	7,50
Herramientas menores	1,10	10	11
TOTAL			123.95

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

5.10.1.3 Costo de mano de obra

Este tipo de costo se basa en el personal que ha trabajado en la construcción de la máquina, su esfuerzo físico, como mental durante el proceso de construcción.

Para establecer los costos se consideró el salario mínimo del sector metalmecánico.

Tabla 21-5: Costos de mano de obra

Descripción	Cant.	Salario Real/hora	Horas-Hombre	Subtotal
Maestro mecánico	1	3,50	40	140
Tornero	1	3,50	4	14
Soldador	1	3,50	6	21
Ayudantes en general	1	3,25	20	65
TOTAL				240

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

5.10.1.4 Costo por transporte de materiales

El costo por transporte se ha tomado en cuenta por el consumo de combustible, por la movilización de materiales desde el sitio de adquisición de los materiales hacia el taller de construcción, con un aproximado de 2 viajes por los materiales, con un aproximado 20 USD.

5.10.1.5 Costo total directo

Es el costo total obtenido de la suma de los costos anteriormente nombrados. Los cuales se representa en la siguiente tabla.

Tabla 22-5: Costo total directo

Descripción	Costo
Materiales	507,75
Equipos y herramientas	123,95
Mano de obra	240
Transporte	20
Total	891,70

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

5.10.2 Costos indirectos

Estos costos están relacionados indirectamente, en los cuales actúan los costos ingenieriles estos costos afectan y tienen un valor agregado que está envuelto en la construcción de la máquina, en la supervisión y también el diseño de la maquina tamizadora.

Estos costos se toman en cuenta del 10% al 15% del costo total.

Tabla 23-5: Costos indirectos

Costos Ingenieriles	Precio unitario	Precio total
Ingenieriles	10 %	89,17
Imprevistos	5%	44,58
Utilidad	0%	0,00
Otros	1%	8,92
TOTAL		142,67

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

5.10.3 *Costos totales*

Es costo total es la suma de los costos directos y el valor de los costos indirectos, cabe resaltar que en estos precios el IVA del 12 % está incluido.

Tabla 24-5: Costos totales

Costos	Precio total
Directos	891,70
Indirectos	142,67
TOTAL	1034,3

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

El costo final de la maquina tamizadora para arena de moldeo es \$1034,3(mil treinta y cuatro dólares americanos, con treinta centavos).

5.11 **Rentabilidad del equipo**

La rentabilidad del equipo está dada por el beneficio que brinda la maquina al usuario en el trabajo que está destinado a realizar.

5.11.1 *Depreciación*

Es la disminución del valor total de la máquina, la depreciación de la maquina se da en un (10% anual), la vida normal de los activos antes mencionados (máquinas y herramientas) es de 10 años; el 100% se reduce una décima parte cada año, la décima parte del 100% es el 10% (SRI, 2017).

Las causas de la depreciación pueden ser por:

- Deterioro físico
- Desgaste funcional
- Depreciación económica
- Daños ocasionados por siniestros (incendios, inundaciones)

5.11.2 *Cálculo de la depreciación*

Para calcular la depreciación se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La vida útil
- Valor de salvamento
- Método a aplicar

Vida útil: Es el tiempo estimado de duración en la cual es aprovechada en la empresa, para determinar la vida útil se basa en la capacidad de producción y el tiempo en años.

Valor de salvamento: Es el valor estimado que tendrá la empresa una vez que la maquina haya cumplido su vida útil, este valor surgirá por la diferencia del precio de venta estimado y todas las erogaciones.

El valor de salvamento se determina mediante la ecuación:

$$V_{\text{salvamento}} = V_{\text{inicial}} - \frac{V_{\text{inicial}} * n}{N} \quad (105)$$

Donde:

$V_{\text{salvamento}}$: Valor de salvamento [\\$]

V_{inicial} : Valor de costo inicial [\\$]

n : Tempo de vida útil 96 meses

N : Tiempo de depreciación en 120 meses

$$V_{\text{salvamento}} = 1034,3 - \frac{1034,3 * 96}{120} = \$ 206,86$$

Método de depreciación: Determinado el valor a despreciar y establecido la vida útil, se elige el método para distribuir ese valor.

5.11.2.1 Método de la línea recta

Este método es sencillo ya que consiste en dividir el valor inicial menos el valor de salvamento para la vida útil.

La ecuación para calcular la depreciación anual es la siguiente:

$$D_{anual} = \frac{V_{inicial} - V_{salvamento}}{N} \quad (106)$$

Donde:

D_{anual} : Depreciación anual [\\$]

$V_{inicial}$: Valor de costo inicial [\\$]

$V_{salvamento}$: Valor de salvamento [\\$]

N : Tiempo de depreciación en 10 años

$$D_{anual} = \frac{1034,3 - 206,86}{10} = 82,74$$

Tabla 25-5: Depreciación por años

Tiempo	Depreciación anual
1 año	951,56
2 año	868,82
3 año	786,08
4 año	703,34
5 año	620,6
6 año	537,86
7 año	455,12
8 año	372,38
9 año	289,64
10 año	206,9

Realizado por: Barreno Juan, Lema Darwin. 2017.

El valor de salvamento en 120 meses de vida útil es de 206,9 (doscientos seis dólares americanos con noventa centavos) y su depreciación es de 82,74 (ochenta y dos dólares americanos con setenta y cuatro centavos).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La selección del modelo de la tamizadora se efectuó aplicando los criterios de diseño concurrente, con una matriz de calidad QFD (Quality Function Deployment) en la cual se relaciona las necesidades del usuario y criterios del ingeniero, evaluando cada aspecto en diferentes alternativas seleccionando la opción que cumpla con las características que necesita el usuario, mejorando el tiempo de tamizado y la facilidad de manipulación de la máquina.

El movimiento de vaivén de la máquina tamizadora se obtuvo mediante el mecanismo biela manivela, debido a que este tipo de mecanismo transforma un movimiento circular en un movimiento rectilíneo alternativo, por lo que el mecanismo es muy adecuado para este tipo de trabajo.

Se realizó con éxito el diseño y construcción de la máquina tamizadora para arenas de moldeo, consiguiendo resultados esperados, debido a que si evaluamos con la competencia existen en el mercado máquinas tamizadoras de 0,5 Hp, 1 Hp y hasta de 1,5 Hp, y en nuestro caso la máquina posee un motor de 1 Hp, con una elevada capacidad de tamizaje, ya que sus dimensiones son mayores con respecto a la mayoría de máquinas de la competencia.

La modelación y verificación del funcionamiento de la máquina se realizó en el software Adams, y se comprobó los resultados obtenidos en el análisis dinámico, consiguiendo así un torque máximo aproximado de 25 Nm en el eje principal, para mover una masa total de 46 Kg en el sistema de tamizaje.

Las pruebas realizadas a la máquina fueron satisfactorias, logrando así una capacidad promedio de tamizaje de 112 Kg/minuto a carga máxima, con lo que satisface el requerimiento de la empresa, que solo fue de 60 Kg/min.

El costo final de fabricación de la máquina no resultó ser tan elevado, obteniéndose así un costo total de \$1034,30.

El diseño de la máquina tamizadora de arena permite que pueda ser desmontada si se requiere dar mantenimiento o transportar de un lugar a otro lugar.

Recomendaciones

Antes del uso de la máquina tamizadora, verificar que no exista algún elemento extraño a la máquina que pueda afectar al buen funcionamiento del mecanismo.

La máquina puede ser empotrada si va a trabajar en un lugar fijo, esto mejoraría a la estabilidad de la misma.

Si la máquina no va a trabajar en un lugar fijo, se recomienda que la ubicación de la máquina tamizadora sea sobre un piso plano para que pueda apoyarse correctamente, en caso contrario existiría una vibración alta y esto puede afectar al funcionamiento y además podría originarse esfuerzos excesivos en algunos elementos de la máquina, pudiendo llegar así a un fallo.

Si la arena a utilizarse sobre la máquina ya es reutilizada, se recomienda que antes del proceso de tamizado, esa arena sea triturada previamente.

La máquina puede iniciarse ya con arena cargada sobre la malla, pero se recomienda que mejor primero se prenda la máquina, y una vez ya en movimiento abastecer de arena a la máquina para el proceso de tamizaje correspondiente.

Se recomienda que después de cada jornada de trabajo se realice una limpieza general, ya que debido a que estará destinada a trabajar con arena, esta puede almacenarse en los rieles de las ruedas, y podría ocasionar fallos en la máquina.

BIBLIOGRAFÍA

Autonoción. *Motores de combustión vs. motores eléctricos.* [en línea]. 2011. [Consulta: 26 Mayo 2017]. Disponible en: <https://www.autonocion.com/motores-combustion-diesel-gasolina-vs-electricos-par/>

Boecker, H. Y. *Tamices.CL.* [en línea]. 2009. [Consulta: 30 Mayo 2017]. Disponible en: <http://www.tamices.cl/>

Budynas, R; & Keith., N. *Shigley's Mechanical Engineering Desing.* 9ª ed. s.l.:Mc Graw Hill, 2008, pp.125-130

Gimenez, J. S.L. *Tolvas.* [en línea]. Murcia. 1992. [Consulta: 20 Abril 2017]. Disponible en: <http://www.caldereriajgimenez.com/productos-tolvas.html>

Capello, E. *Tecnología de la Fundición.* Barcelona: Gustavo Gili S.A. 1989, pp.58-60.

Cappola, M. *Patentados.com.* [en línea]. 2004. [Consulta: 28 Abril 2017]. Disponible en: <https://patentados.com/img/2004/aparato-para-separar-particulas-de-un-material-cohesivo-segun-su-tama.png>

Catálogo de correas Mitsubishi. *Design Manual V-Belt,* Matual trust and confidence. 2014, pp.2-9

Changuan gonzales, J. E. & Yanchaliquin Tixilema, E. E. Diseño y fabricación de una máquina desgranadora de frejol seco para implementar en la parroquia Pinllopata perteneciente al cantón Pangua (Trabajo de titulación).(Ingeniería). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica. Ecuador-Riobamba. 2016.

Comercial Vera. *Perfiles estructurales.* [en línea]. Riobamba. 2017. [Consulta: 23 Octubre 2017]. Disponible en: <http://comercialverariobamba.com/>

Csi Spain. *Software Sap2000.* [en línea] . 2017 [Consulta: 06 Junio 2017]. Disponible en: <http://www.csiespana.com/software/2/sap2000>

Catálogo de rodamientos FAG. *Rodamientos de bolas.* España. 2000, pp. 155-170.

Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. *Tamizado manual.* [en línea]. 1985. [Consulta: 25 Mayo 2017]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x5037s/x5037S08.HTM>

González, R; et al. *Elementos de máquinas. Correas y Poleas. Transmisiones mecánicas.* [En línea]. 2009. [Consulta: 26 Junio 2017]. Disponible en: http://www.pellegrinioscarv.com.ar/documentacion/CORREAS_CLASE_2.pdf

Groover, M. P. *Fundamentos de manufactura moderna.* 3ª ed. México: McGraw Hill, 2007, pp.194-197.

Ham, C. Crane, E. & Rogers, W. *Mecánica de Máquinas.* New York, McGraw-Hill, 1964, pp. 3.

Hernández, E. *Transmision de potencia.* [en línea]. 2014. [Consulta: 2 Mayo 2017]. Disponible en: <http://equipo3401edumarentojo.blogspot.com/2014/05/catarinas.html>

Hernández, J. P. *ACSIO Consultores.* [en línea]. 2011. [Consulta: 3 Junio 2017]. Disponible en: <http://acsio-consultores.blogspot.com/2011/02/guardas-en-maquinariasuna-necesidad.html?view=snapshot>

INEN 1515, N. *Granos y cereales. Cribas metalicas o zarandas y tamices. Tamaño nominal de la abertura.*

INGELCOM. *Catálogo Siemens.*[en línea]. 2001, (Quito-Ecuador), p.31. [Consulta: 16 Octubre 2017]. Disponible en:https://issuu.com/frogcreativos/docs/cat__logo_ingelcom_siemens?workerAddress=ec2-107-22-128-5.compute-1.amazonaws.com

Mercado libre. *Zaranda eléctrica.* [En línea]. 1999. [Consulta: 20 Junio 2017]. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-677277632-zaranda-electrica-oferta-_JM

Machinery, H. H. M. *Hjcrusher.* [En línea]. 2005. [Consulta: 18 Abril 2017]. Disponible en: <http://hjcrusher.es/linear-vibrating-screen.html>

Mckee, T. & Mckee, J. *Bioquímica La base molecular de la vida.* Madrid: Mc-GRAW-Hill, 2003, pp.145

MMSD Proyecto minería, minerales y desarrollo sustentable. *Producción y venta de los minerales.* [En línea]. 2001. [Consulta: 17 Abril 2017]. Disponible en: https://www.google.com.ec/search?dcr=0&source=hp&ei=JqdWvqjOIqZ_QbluJ3YCQ&q=de+mineral+de+hierro+submarino+de+4%25+en+1990+a+16%25+en+2000%2C+un+60%25+de+todo+el+crecimiento+en+este+mercado.+%28MMSD%2C+2002%29.&oq=de+mineral+de+hierro+submarino+de+4%25+e

Norton, R. *Diseño de Maquinaria.* Mexico: Mc Graw Hill, 2009, pp. 4.

Catálogo NTN. *Catálogo de Rodamientos de bolas y rodillos,* 2000. pp. 23-27

Nuñez, E. *Selección de tamices.* [En línea]. 2008. [Consulta: 20 Abril 2017]. Disponible en: <http://www.cenunez.com.ar/archivos/55Enrelacina>

Ramonmar. *Apuntes de máquinas eléctricas.* [En línea]. 2017. [Consulta: 20 Mayo 2017]. Disponible en: http://ramonmar.mex.tl/844503_clasificacion-de-motores-electricos.html

Ravenet, J. *Silos.* Barcelona: IMGESZA, 1992. pp. 185-186.

Riba, C. *Diseño Concurrente.* Barcelona, 2002, pp. 19-20, 72-75.

MSC Metalurgia San Carlos. *Zaranda para arena.* [En línea]. Argentina, 2009. [Consulta: 16 Junio 2017]. Disponible en: http://www.met-sancarlos.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=67&Itemid=106

Sanchez, Jorge. *La materia.* [En línea]. 2013, p.21. [Consulta: 25 Abril 2017]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/jorgesanmers/unidad-01-la-materia>

Shigley, G. & Mitchel, L. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.* Mexico: McGraw-Hill, 2008 pp.884-887.

3D cad portal. *Ansys categoría CAE.* [En línea]. 2017. [Consulta: 15 Junio 2017]. Disponible en: <http://www.3dcadportal.com/ansys.html>

Tripod. *Teoría del tamizado.*[En línea]. 2010. [Consulta: 10 Abril 2017]. Disponible en: <http://ecfacl.tripod.com/teoria.htm>

Villamarin, D. & Vozmediano, B. *Proyecto de implementación, adecuación e instalaciones para los equipos del laboratorio de fundición ce la ESPE.* Sangolqui. 2010. pp. 7.

Zinoviev, V. *Teoría de los Mecanismos y Máquinas.* Moscu: MIR, 1969, pp. 16.