



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
EXTENSIÓN LATACUNGA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA  
BLOQUERA ADOQUINERA AUTOMATIZADA SUSTENTADA  
EN UN PROGRAMA DE ANÁLISIS POR ELEMENTOS  
FINITOS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
EN ELECTROMECAÁNICA**

**POLO VINICIO FERNÁNDEZ CHICA**

**GERMÁNICO SINCHIGUANO MOLINA**

**Latacunga, diciembre 2010**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por los señores: FERNÁNDEZ CHICA POLO VINICIO con cédula No. 070461420-5 y SINCHIGUANO MOLINA GERMÁNICO con cédula No. 050278605-6, como requisito parcial para la obtención del título de Ingeniero Electromecánico.

Latacunga, diciembre 2010

---

Ing. Fausto Acuña  
DIRECTOR

---

Ing. Oscar Arteaga  
CODIRECTOR

## DECLARACIÓN

Quienes suscriben, Fernández Chica Polo Vinicio, portador de la cédula de identidad N° 070461420-5 y Sinchiguano Molina Germánico, portador de la cédula de identidad N° 050278605-6, libre y voluntariamente declaramos que el presente tema de investigación: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA BLOQUERA ADOQUINERA AUTOMATIZADA SUSTENTADA EN UN PROGRAMA POR ELEMENTOS FINITOS”, su contenido, ideas, análisis, conclusiones y propuestas son originales, auténticas y personales.

En tal virtud, declaramos la autenticidad de este contenido y para los efectos legales y académicos que se desprenden del presente proyecto de grado, es y será de nuestra propiedad exclusiva, responsabilidad legal y académica.

Para respetar el derecho intelectual del autor de la información secundaria utilizada a manera de bibliografía, la misma se muestra en el documento como pie de página.

La información contenida en el documento es principalmente el soporte intelectual del conocimiento adquirido en el transcurso de nuestra carrera.

Latacunga, diciembre 2010

---

Polo Vinicio Fernández Chica

---

Germánico Sinchiguano Molina

## **AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

### **CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

Nosotros, Fernández Chica Polo Vinicio y Sinchiguano Molina Germánico, autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército, la publicación en la Biblioteca Virtual y/o revistas de la Institución nuestro trabajo de investigación, titulado:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA BLOQUERA ADOQUINERA AUTOMATIZADA SUSTENTADA EN UN PROGRAMA DE ANÁLISIS POR ELEMENTOS” FINITOS”

Cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, diciembre 2010

---

Polo Vinicio Fernández Chica

---

Germánico Sinchiguano Molina

## DEDICATORIA

Principalmente a DIOS, a toda la familia Fernández Buele y Chica Ordóñez, a mis padres Luis y Narcisa, a mis hermanos Milena, Robinson y Adán quienes estuvieron a mi lado cuando más los necesite y siempre serán el pilar fundamental en mi vida, a mis abuelitos que tengo la dicha de tenerlos a mi lado, a mis amigos y a todas las personas que creyeron siempre en la culminación exitosa de este proyecto.

Polo

Con todo cariño admiración y respeto dedico éste trabajo a toda mi familia, de manera especial a mis padres Germánico y Marlene y a mi hermana Edith, quienes con su dedicación, esfuerzo, comprensión y sacrificio hicieron realidad éste sueño. A mi abuelita Luz Ofelia quien siempre espera la superación de sus nietos, y a mí abuelito Julio que desde el cielo ha sido mi guía y mi imagen de superación. A una mujer maravillosa y sumamente importante en mi vida, que con su amor y cariño desde hace tres años ha sido mi apoyo, mi fortaleza y mi complemento, pero que por circunstancias de la vida no puede estar a mi lado (29-V-10). A todas aquellas personas que confiaron en mí y estuvieron conmigo en alguna etapa de mi carrera formando mi carácter, experiencia y pensamiento

Germánico

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a tí DIOS, por darme la fuerza, carácter y salud para alcanzar las metas y sueños de mi vida, a mis padres y hermanos que siempre están presentes en mi mente y en mi corazón, a los señores ingenieros directores de tesis, a la familia Gallo Santacruz por el apoyo desinteresado para la finalización de éste proyecto, y a todas las personas que mediante su experiencia y conocimientos aportaron con un granito de arena para cumplir el objetivo y llegar a la meta trazada.

Polo

Agradezco a Dios que me dio salud, vida y fortaleza para alcanzar mis metas, a mis padres quienes me apoyaron a lo largo de toda mi existencia y a todos quienes colaboraron y prestaron su atención desinteresadamente para llegar a culminar cada uno de mis pasos. A todos y cada uno de los ingenieros y a todas las personas que con su buena voluntad y conocimientos aportaron con la realización de éste proyecto. Un agradecimiento especial a la empresa ESCOING Cia. Ltda. representada por el Ing. René Porrás quien nos extendió su mano y nos brindó todas las facilidades para que ésta tesis llegue a un feliz término.

Germánico

## ÍNDICE DE GENERAL

<b>CAPÍTULO I</b> .....	- 1 -
<b>FUNDAMENTO TEÓRICO</b> .....	- 1 -
1.1.    Generalidades .....	- 1 -
1.1.1. Antecedentes.....	- 1 -
1.2.    Bloques y adoquines. ....	- 2 -
1.2.1. Características de construcción de un bloque y de un adoquín .....	- 2 -
a. Propiedades físico – mecánicas.....	- 2 -
b. Aspectos visuales .....	- 4 -
c. Formas y dimensiones .....	- 6 -
1.2.2. Técnicas de construcción de varios modelos, moldes o matrices. ....	- 8 -
a. Adoquines.....	- 8 -
b. Bloques.....	- 10 -
1.2.3. Cómo mejorar la calidad del bloque y el adoquín .....	- 13 -
a. Antes del proceso .....	- 14 -
b. Durante el proceso .....	- 15 -
c. Después del proceso.....	- 16 -
1.2.4. Optimización de los materiales empleados en la construcción de ésta máquina .....	- 18 -
a. Bloques.....	- 18 -
b. Adoquines.....	- 26 -
1.2.5. Características y tipos de máquinas para fabricar bloques y adoquines. -	31 -
a. Máquinas bloqueras y máquinas adoquineras.....	- 32 -
1.2.6. Descripción del software para el diseño y análisis de la máquina bloquera – adoquinera.....	- 35 -
a. El análisis por elementos finitos: (fea: finite element analysis) .....	- 35 -
b. Modelo de plasticidad de von mises.....	- 36 -
c. Método de los elementos finitos (fem) .....	- 38 -
d. Diseño o detalle .....	- 41 -
1.3.    Elementos mecánicos .....	- 46 -
1.3.1. Geometría del movimiento .....	- 46 -
1.3.2. Ventaja mecánica .....	- 46 -
a. Mecanismos de línea recta.....	- 47 -
b. Mecanismo de retorno rápido.....	- 47 -

1.3.3.	Posición y desplazamiento .....	- 48 -
a.	Movimiento curvilíneo .....	- 48 -
b.	Vector velocidad .....	- 48 -
c.	Vector aceleración .....	- 50 -
d.	Movimiento circular .....	- 51 -
1.3.4.	Fuerzas estáticas.....	- 52 -
a.	Fuerzas estructurales .....	- 52 -
b.	Indeterminación estática y cinemática.....	- 54 -
1.3.5.	Fuerzas dinámicas.....	- 59 -
a.	Dinámica de sistemas mecánicos .....	- 59 -
b.	Dinámica de la partícula .....	- 60 -
c.	Dinámica del sólido rígido .....	- 60 -
d.	Conceptos relacionados con la dinámica .....	- 61 -
1.3.6.	Diseño para distintos tipos de carga .....	- 62 -
1.3.7.	Armazones o bastidores de máquinas, conexiones y ensamblajes soldados.....	- 64 -
a.	Soldadura .....	- 64 -
a.1.	Especificación del procedimiento de soldadura (WPS) .....	- 65 -
1.4.	Automatización .....	- 68 -
1.4.1.	Neumática.....	- 68 -
a.	Tubo o manguera .....	- 69 -
b.	Racores .....	- 70 -
c.	Manómetros de presión .....	- 71 -
d.	Filtro regulador.....	- 71 -
e.	Válvulas antirretorno.....	- 72 -
f.	Electroválvulas.....	- 73 -
g.	Cilindros neumáticos .....	- 74 -
h.	Compresor .....	- 75 -
1.4.2.	PLC.....	- 76 -
a.	Lenguaje de programación.....	- 78 -
1.4.3.	Circuitos lógicos secuenciales.....	- 78 -
1.4.4.	Características de operación.....	- 79 -
1.4.5.	Tiempos de operación .....	- 79 -
1.4.6.	Frecuencia de operación .....	- 80 -

<b>CAPÍTULO II</b> .....	- 81 -
<b>DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES</b> .....	- 81 -
2.1.    Parámetros de diseño .....	- 81 -
2.1.1.  Características específicas para el diseño y selección de los elementos mecánicos de la máquina .....	- 82 -
a.    Sistema de elevación .....	- 82 -
b.    Sistema de alimentación de la mezcla .....	- 83 -
c.    Sistema de alimentación de tableros.....	- 84 -
d.    Sistema de vibración .....	- 85 -
e.    Sistema de compresión .....	- 85 -
f.    Sistema de desmoldeo .....	- 86 -
2.2.    Diseño mecánico .....	- 89 -
2.2.1.  Diseño del sistema de elevación por cangilones .....	- 89 -
a.    Determinación de las cargas que soporta el sistema de elevación .....	- 90 -
b.    Dimensionamiento y modelado computacional de los componentes del sistema de elevación .....	- 91 -
c.    Análisis de esfuerzos del sistema de elevación .....	- 106 -
2.2.2.  Diseño del sistema de alimentación de la mezcla.....	- 112 -
a.    Determinación de las cargas que soporta el sistema de alimentación de la mezcla .....	- 113 -
b.    Dimensionamiento y modelado computacional de los componentes del sistema de alimentación de la mezcla.....	- 117 -
c.    Análisis de esfuerzos del sistema de alimentación de la mezcla.....	- 121 -
2.2.3.  Diseño del sistema de alimentación de tableros .....	- 127 -
a.    Determinación de las cargas que soporta el sistema de alimentación de tableros .....	- 128 -
b.    Dimensionamiento y modelado computacional de los componentes del sistema de alimentación de la mezcla.....	- 130 -
c.    Análisis de esfuerzos del sistema de alimentación de tableros .....	- 132 -
2.2.4.  Diseño del sistema de vibración .....	- 139 -
a.    Determinación de las cargas que soporta el sistema de vibración .....	- 139 -
b.    Dimensionamiento y modelado computacional de los componentes del sistema de vibración.....	- 140 -
c.    Análisis de esfuerzos del sistema de vibración.....	- 144 -
2.2.5.  Diseño de los sistemas de compresión y de desmoldeo .....	- 148 -

a.	Determinación de las cargas que soportan los sistemas de compresión y desmoldeo .....	- 149 -
b.	Modelado de los componentes de los sistemas de compresión y desmoldeo .....	- 151 -
c.	Análisis de esfuerzos del sistema de compresión y desmoldeo .....	- 152 -
2.3.	Diseño neumático .....	- 160 -
2.3.1.	Características y requisitos específicos para el diseño y selección de los elementos neumáticos que conforman la máquina .....	- 160 -
a.	Sistema neumático .....	- 161 -
2.3.2.	Determinación de las cargas que actúan sobre el circuito neumático ...	- 163 -
2.3.3.	Dimensionamiento y selección de los elementos neumáticos .....	- 163 -
a.	Cilindro neumático de la compuerta de la tolva .....	- 164 -
b.	Cilindro neumático de la barredora .....	- 166 -
c.	Cilindro neumático de alimentación de los tableros .....	- 168 -
d.	Cilindro neumático de compresión de los bloques o adoquines .....	- 170 -
e.	Cilindro neumático de desmolde de los bloques o adoquines .....	- 172 -
f.	Selección de racores .....	- 174 -
g.	Selección de la manguera de conexión .....	- 174 -
h.	Selección de las electroválvulas.....	- 174 -
2.3.4.	Diseño del circuito neumático y modelado computacional .....	- 175 -
a.	Selección del compresor .....	- 177 -
2.4.	Diseño eléctrico .....	- 180 -
2.4.1.	Características y requisitos específicos para el diseño y selección de los elementos eléctricos que conforman la máquina .....	- 180 -
2.4.2.	Determinación de las cargas que actúan sobre el sistema eléctrico. ....	- 181 -
2.4.3.	Diseño del sistema eléctrico para la máquina bloquera adoquinera.....	- 181 -
2.4.4.	Dimensionamiento y selección de los elementos eléctricos .....	- 182 -
a.	Selección de conductores .....	- 182 -
b.	Selección de elementos de protección.....	- 183 -
c.	Elección del contactor .....	- 184 -
d.	Accesorios: .....	- 184 -
2.4.5.	Modelado y simulación de los elementos eléctricos .....	- 185 -
2.4.6.	Selección y programación del plc.....	- 186 -

<b>CAPÍTULO III</b> .....	- 190 -
<b>CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS</b> .....	- 190 -
3.1.    Construcción y pruebas .....	- 190 -
3.1.1.  Construcción.....	- 190 -
3.1.2.  Construcción de la estructura.....	- 191 -
3.1.3.  Construcción y montaje de los elementos mecánicos .....	- 193 -
a.    Sistema de elevación .....	- 193 -
b.    Sistema de alimentación de la mezcla .....	- 194 -
c.    Sistema de alimentación de tableros.....	- 195 -
d.    Sistema de compresión y de desmolde .....	- 196 -
e.    Sistema de vibración .....	- 198 -
3.1.4.  Montaje de los elementos del sistema neumático.....	- 200 -
a.    Sistema de alimentación de la mezcla .....	- 201 -
b.    Sistema de alimentación de tableros.....	- 201 -
c.    Sistema de compresión y de desmolde .....	- 202 -
3.1.5.  Montaje de los elementos del sistema eléctrico y electrónico .....	- 204 -
3.1.6.  Calibración y puesta a punto de la máquina .....	- 207 -
3.2.    Pruebas .....	- 210 -
3.2.1.  Pruebas mecánicas .....	- 210 -
a.    Sistema de elevación .....	- 210 -
b.    Sistema de alimentación de la mezcla .....	- 211 -
c.    Sistema de alimentación de tableros.....	- 212 -
d.    Sistema de vibración .....	- 213 -
e.    Sistema de compresión y desmolde.....	- 213 -
3.2.2.  Pruebas neumáticas.....	- 214 -
a.    Sistema de alimentación de la mezcla .....	- 215 -
b.    Sistema de alimentación de tableros.....	- 215 -
c.    Sistema de compresión y desmolde.....	- 216 -
3.2.3.  Pruebas eléctricas .....	- 217 -
a.    Pruebas del sistema de elevación y alimentación de la mezcla .....	- 218 -
b.    Pruebas del sistema de alimentación de tableros .....	- 218 -
c.    Pruebas del sistema de vibración.....	- 219 -
d.    Pruebas del sistema de compresión y de desmolde.....	- 219 -
e.    Pruebas del sistema de alimentación de la mezcla. ....	- 219 -
3.3.    Verificación del producto final.....	- 220 -
3.3.1.  Resultados y discusión .....	- 221 -

3.4.	Análisis económico .....	- 223 -
3.4.1.	Análisis costo - beneficio .....	- 232 -
<b>CAPÍTULO IV</b>	.....	- 233 -
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	.....	- 233 -
4.1.	Conclusiones .....	- 233 -
4.2.	Recomendaciones .....	- 235 -
4.3.	Bibliografía .....	- 237 -
4.4.	Enlaces web .....	- 239 -
4.5.	Anexos .....	- 242 -

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

Figura 1.1: Rotura del adoquín .....	2
Figura 1.2. Antideslizamiento y antirresbalamiento .....	3
Figura 1.3: Cubierta exterior de tejado .....	4
Figura 1.4: Conductividad térmica .....	4
Figura 1.5: Textura .....	5
Figura 1.6: Porcentaje de absorción .....	5
Figura 1.7: Relleno .....	7
Figura 1.8: Geometría del adoquín .....	9
Figura 1. 9: Adoquín machimbrado multidireccional, Adoquín machimbrado bidireccional, adoquín clásico.....	10
Figura 1.10: Bloque hueco de diferente matriz .....	11
Figura 1.11: Bloques de concreto .....	11
Figura 1.12: Geometría del bloque .....	12
Figura 1.13: Bloques más utilizados .....	25
Figura 1.14: Máquinas bloqueras y máquinas adoquineras manuales .....	32
Figura 1.15: Máquina bloquera y máquina adoquinera semiautomáticas .....	33
Figura 1.16: Máquina bloquera y máquina adoquinera automáticas.....	35
Figura 1.17: Curva de tensión-deformación unitaria.....	37
Figura 1.18: Modelo CAD de un soporte y modelo subdividido en piezas pequeñas (elementos) .....	38
Figura 1.19: Elemento tetraédrico.....	39
Figura 1.20: Modo de mallado para el FEA .....	45
Figura 1.21: Vector desplazamiento .....	48
Figura 1.22: Vector velocidad .....	48
Figura 1.23: Vector velocidad media .....	49
Figura 1.24: Vector aceleración .....	50
Figura 1.25: Métodos de fuerzas o flexibilidad .....	57
Figura 1.26: Método de desplazamiento o rigidez .....	58
Figura 1.27: Ejemplo de formato WPS .....	67
Figura 1.28: Manguera poliamida .....	70
Figura 1.29: Racores.....	70
Figura 1.30: Manómetros de presión .....	71

Figura 1.31: Filtro regulador NewDeal .....	72
Figura 1.32: Válvulas antirretorno .....	72
Figura 1.33: Electroválvulas .....	73
Figura 1.34: Cilindros neumáticos .....	74
Figura 1.35: Compresor .....	75
Figura 1.36: Organigrama para desarrollar el control de un proceso .....	76
Figura 1.37: PLC .....	77
Figura 1.38: Lenguaje FUP .....	78

## **CAPÍTULO II**

Figura 2.1: Sistema de elevación por banda .....	83
Figura 2.2: Sistema de elevación por cangilón .....	83
Figura 2.3: Abastecedor de mezcla .....	84
Figura 2.4: Dotación de tableros .....	84
Figura 2.5: Motor vibrador .....	85
Figura 2.6: Ruedas excéntricas .....	85
Figura 2.7: Molde macho rectangular .....	86
Figura 2.8: Molde macho redondo .....	86
Figura 2.9: Desmolde del bloque o adoquín .....	87
Figura 2.10: Bloque hueco .....	87
Figura 2.11: Adoquín rectangular .....	88
Figura 2.12: Cangilón auto descargable .....	92
Figura 2.13: Diagrama de fuerzas que actúan sobre la estructura del sistema de elevación del cangilón .....	93
Figura 2.14: Modelo en SolidWorks de la estructura del sistema de elevación .....	95
Figura 2.15: Tensión de Von Mises .....	97
Figura 2.16: Distribución del factor de seguridad .....	98
Figura 2.17: Diagrama del cuerpo libre .....	101
Figura 2.18: Modelo en SolidWorks de la polea .....	102
Figura 2.19: Diagrama de fuerzas en el brazo de sujeción .....	103
Figura 2.20: Modelo en SolidWorks del brazo de sujeción .....	104
Figura 2.21: Sistema de elevación ensamblado .....	108
Figura 2.22: Mallado del sistema de elevación .....	109
Figura 2.23: Tensión de Von Mises en el sistema elevador de la mezcla .....	110
Figura 2.24: Desplazamientos resultantes en el sistema de elevación .....	111
Figura 2.25: Distribución del factor de seguridad .....	112

Figura 2.26: Modelo en SolidWorks de la tolva .....	117
Figura 2.27: Diagrama de fuerzas de la compuerta .....	118
Figura 2.28: Modelo en SolidWorks de la compuerta .....	120
Figura 2.29: Modelo en SolidWorks de la barredera .....	120
Figura 2.30: Modelo en SolidWorks de la estructura .....	121
Figura 2.31: Sistema de alimentación de la mezcla .....	122
Figura 2.32: Mallado del sistema de alimentación de la mezcla .....	124
Figura 2.33: Tensión de Von Mises en el sistema de alimentación de la mezcla .....	125
Figura 2.34: Desplazamientos resultantes en el sistema de alimentación de la mezcla .....	126
Figura 2.35: Distribución del factor de seguridad en el sistema de alimentación de la mezcla .....	127
Figura 2.36: Diagrama de fuerzas del tablero.....	130
Figura 2.37: Diagrama de fuerzas del pie de empuje .....	131
Figura 2.38: Sistema de alimentación de tableros.....	133
Figura 2.39: Mallado del sistema de alimentación de la mezcla .....	135
Figura 2.40: Tensión de Von Mises en el sistema de alimentación de tableros.....	136
Figura 2.41: Desplazamientos resultantes en el sistema de alimentación de los tableros.....	137
Figura 2.42: Distribución del factor de seguridad en el sistema de alimentación de tableros.....	138
Figura 2.43: Modelo en SolidWorks y propiedades físicas de las excéntricas .....	141
Figura 2.44: Modelo en SolidWorks del eje .....	141
Figura 2.45: Modelo en SolidWorks de la mesa vibratoria .....	142
Figura 2.46: Sistema de vibración .....	144
Figura 2.47: Mallado del sistema de vibración.....	146
Figura 2.48: Tensión de Von Mises en el sistema de vibración .....	146
Figura 2.49: Desplazamientos resultantes en el sistema de vibración.....	147
Figura 2.50: Distribución del factor de seguridad en el sistema de vibración .....	148
Figura 2.51: Medidas estándar de un bloque hueco de (100x200x400) mm. ....	150
Figura 2.52: Componentes del sistema de compresión y desmoldeo .....	152
Figura 2.53: Sistema de compresión y desmoldeo.....	153
Figura 2.54: Mallado del sistema de compresión y desmoldeo.....	155
Figura 2.55: Tensión de Von Mises en el sistema de compresión y desmoldeo.....	156
Figura 2.56: Desplazamientos resultantes en el sistema de compresión y desmoldeo. ....	157
Figura 2.57: Distribución del factor de seguridad en el sistema de compresión y desmoldeo.....	158
Figura 2.58: Ensamblaje completo de la máquina.....	159

Figura 2.59: Cilindros neumáticos utilizados .....	163
Figura 2.60: Circuito neumático .....	175
Figura 2.61: Simulación del circuito neumático .....	176
Figura 2.62: Diagrama espacio – espacio de ciclos del sistema neumático .....	177
Figura 2.63: Control manual eléctrico y de fuerza .....	185
Figura 2.64: Simulación del sistema eléctrico.....	186
Figura 2.65: Programación del PLC (FUP) .....	188

### **CAPÍTULO III**

Figura 3.1: Construcción de la estructura .....	191
Figura 3.2: Tipo de soldadura especificado WPS.....	192
Figura 3.3: Sistema de elevación.....	194
Figura 3.4: Sistema de alimentación de la mezcla .....	195
Figura 3.5: Sistema de alimentación de tableros.....	196
Figura 3.6: Sistema de compactación y de desmolde .....	197
Figura 3.7: Sistema de vibración .....	198
Figura 3.8: Estructura SolidWorks .....	199
Figura 3.9: Ensamble total de la máquina .....	200
Figura 3.10: Sistema neumático para la alimentación de la mezcla .....	201
Figura 3.11: Sistema neumático de alimentación de tableros .....	202
Figura 3.12: Sistema neumático de compresión y de desmolde .....	203
Figura 3.13: Componentes del tablero de mando .....	204
Figura 3.14: Circuito de control .....	205
Figura 3.15: Circuito de mando para el cangilón .....	206
Figura 3.16: Electroválvulas.....	206
Figura 3.17: Sensores magnéticos .....	207
Figura 3.18: PLC .....	207
Figura 3.19: Ensayo de compresión realizado al bloque y al adoquín .....	221
Figura 3.20: Punto crítico de la resistencia a la compresión para el adoquín 300.1 KN	222
Figura 3.21: Punto crítico de la resistencia a la compresión para el bloque 153.4 KN ..	222

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO I

Tabla 1.1: Uso típico de adoquines .....	3
Tabla 1.2: Tolerancias.....	6
Tabla 1.3: Dosificación para bloques .....	16
Tabla 1.4: Dosificación para adoquines .....	16
Tabla 1.5: Dimensiones de los bloques más utilizados .....	20
Tabla 1.6: Condiciones que debe cumplir el bloque .....	22
Tabla 1.7: Grado de absorción del bloque.....	23
Tabla 1.8: Granulometría de la arena .....	29
Tabla 1.9: Granulometría de la arena para sello .....	30
Tabla 1.10: Ecuaciones para calcular deformaciones .....	63

### CAPÍTULO II

Tabla 2.1: Materiales asignados a los componentes del sistema de elevación .....	107
Tabla 2.2: Cargas asignadas al sistema de elevación de la mezcla .....	108
Tabla 2.3: Restricciones del sistema de elevación de la mezcla.....	109
Tabla 2.4: Materiales asignados a los componentes del sistema de alimentación .....	122
Tabla 2.5: Cargas asignadas al sistema de alimentación de la mezcla .....	123
Tabla 2.6: Restricciones del sistema de alimentación de la mezcla .....	123
Tabla 2.7: Materiales asignados a los componentes del sistema de alimentación de tableros.....	133
Tabla 2.8: Cargas asignadas al sistema de alimentación de tableros .....	134
Tabla 2.9: Restricciones del sistema de alimentación de tableros .....	134
Tabla 2.10: Materiales asignados a los componentes del sistema de vibración .....	144
Tabla 2.11: Cargas asignadas al sistema de vibración .....	145
Tabla 2.12: Restricciones del sistema de vibración.....	145
Tabla 2.13: Materiales asignados a los componentes del sistema .....	154
Tabla 2.14: Cargas asignadas al sistema de compresión y desmoldeo .....	154
Tabla 2.15: Restricciones del sistema de compresión y desmoldeo .....	155
Tabla 2.16: Comparación neumática – hidráulica .....	161
Tabla 2.17: Fuerzas y carreras establecidas para la selección de cilindros .....	163
Tabla 2.18: Selección de racores .....	174

Tabla 2.19: Selección de electroválvulas.....	175
Tabla 2.20: Cargas que actúan en el sistema eléctrico .....	181

### **CAPÍTULO III**

Tabla 3.1: Peso máximo que soporta el cangilón .....	211
Tabla 3.2: Pesos máximo que soporta la tolva, su tapa y la barredora.....	212
Tabla 3.3: Caudal con diferentes presiones .....	215
Tabla 3.4: Caudal con diferentes presiones .....	215
Tabla 3.5: Caudal con diferentes presiones .....	216
Tabla 3.6: Parámetros generales de óptimo funcionamiento .....	217
Tabla 3.7: Análisis costo - beneficio .....	231

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A-1: Elementos mecánicos .....	243
Anexo A-2: Elementos mecánicos .....	244
Anexo A-3: Elementos mecánicos .....	245
Anexo A-4: Elementos mecánicos .....	246
Anexo A-5: Elementos mecánicos .....	247
Anexo A-6: Elementos mecánicos .....	248
Anexo A-7: Cilindros neumáticos .....	249
Anexo A-8: Calibre de conductores .....	250
Anexo A-9: Tuberías y mangueras .....	251
Anexo A-10: Manómetro de presión .....	252
Anexo A-11: Filtro regulador .....	253
Anexo A-12: Electroválvulas .....	254
Anexo A-13: Tuberías y mangueras .....	255
Anexo A-14: Optimización.....	256
Anexo A-15: Optimización.....	257
Anexo A-16: Optimización.....	258
Anexo A-17: Optimización.....	259
Anexo A-18: Optimización.....	260
Anexo A-19: Optimización.....	261
Anexo A-20: Optimización.....	262
Anexo A-21: Círculo de Mohr.....	263
Anexo A-22: Neumática, clasificación del aire comprimido.....	264
Anexo A-23: Neumática, consumo de aire para cilindros neumáticos .....	265
Anexo A-24: WPS .....	266
Anexo A-25: WPS .....	267
Anexo A-26: WPS .....	268
Anexos B: Planos	
Anexo C: Manual de operación	

## RESUMEN

La idea fundamental de éste proyecto de tesis es mejorar el proceso de fabricación bloques y adoquines, tomando en cuenta el desarrollo tecnológico de los artesanos que se desenvuelven en nuestro medio, el cual apunta a la comercialización no solo dentro del Ecuador sino también a otros países latinoamericanos, evitando mano de obra innecesaria y desperdicio de materia prima.

El proyecto toma en cuenta principalmente la velocidad del proceso de producción, dando paso a la automatización que mejorara la calidad del producto, reduciendo el tiempo de fabricación de un bloque o de un adoquín, optimizando recursos con una tecnificación adecuada de la máquina.

Se procura diseñar un mecanismo que reproduzca los movimientos realizados por el hombre para construir un bloque o un adoquín y otro mecanismo que acelere el proceso, sin obviar ningún paso para así obtener un producto final de calidad, rápido y en grandes cantidades.

El diseño y la construcción de una máquina para la fabricación de bloques y adoquines, tiene como fin innovar el proceso artesanal para convertirlo en industrial e impulsar la creación de microempresas que generen empleo ofertando un producto garantizado.

Este proyecto se desarrolla en cuatro capítulos. El capítulo I, comienza explicando los conceptos generales acerca de las máquinas bloqueras y máquinas adoquineras, que se dividen en manuales, semiautomáticas y automáticas, además del proceso de su fabricación.

El capítulo II, referente al diseño de la máquina, muestra los cálculos realizados para definir los esfuerzos a los que van a estar sometidos distintos puntos o partes de la máquina, la resistencia de sus materiales, los métodos de selección de sus elementos de máquinas, esto en la parte mecánica. En la parte eléctrica consta el diseño del circuito de control y fuerza para el accionamiento del motorreductor y del vibrador, los cuales impulsan dos fases del proceso con una selección adecuada y cuidadosa de los elementos que la conforman, con su descripción técnica y todas las características del PLC empleado como cerebro del sistema, y como controlador principal del proceso.

Aplica los diseños para realizar la construcción de la máquina, empezando por la parte mecánica mediante los procesos de mecanizado necesarios para darle la forma y tamaño previamente diseñados. Las etapas de la máquina: Mecánica, Neumática y Eléctrica, tiene un determinado software, que se encarga de la simulación de cada una de éstas etapas, analizando sus fallas y defectos antes de concretar su realización.

El capítulo III, hace referencia a la construcción, a las pruebas y puesta a punto de la máquina. Se realizan determinadas pruebas de cada parte del equipo de manera individual para detectar cualquier anomalía y corregirla, para luego realizar la prueba del conjunto y realizar la sincronización entre cada fase del proceso y realizar la medición de la capacidad real de la máquina, para levantar un registro con los resultados obtenidos.

El capítulo IV, detalla las conclusiones derivadas de la realización del proyecto en cada uno de sus capítulos así como también las recomendaciones dadas en función de la experiencia obtenida por todas las dificultades que se presentaron a lo largo del proyecto, además de

ilustrar la máquina con anexos que dan a conocer los planos constructivos de la máquina, y de cada una de las fases que la conforman.

## ANTECEDENTES

Es verdad que las innovaciones tecnológicas han influido de una u otra manera en la vida cotidiana de cada uno de nosotros. La comodidad y un mejor estilo de vida es a donde se apunta con cada una de éstas innovaciones.

Se ha comprobado que con un sencillo asfaltado en las calles o con un simple cambio de piedras en aceras o en parques, nuestra vida diaria se vuelve más llevadera.

Muchas ciudades han adornado sus aceras, paredes, pisos, piletas, iglesias, parques, etc. con adoquines ornamentales, al igual que los bloques han hecho que la construcción de edificios y casas sea más fácil. Desde el año 2000 hasta la presente fecha la producción de adoquines y bloques simples ha aumentado notablemente, generando en las constructoras pequeñas una falta de abastecimiento del adoquín propiamente dicho. Y si hablamos de adoquines decorativos la demanda se ha triplicado desde el año 2006 así como los bloques para la construcción.

Debido a esto se vio la necesidad de construir ésta máquina la cual se encargara de producir adoquines y bloques ornamentales, que servirán para la mejorar la presentación de parque o de ciudades enteras, con una alta producción de calidad, evitando en lo posible la presencia humana en ésta máquina.

## **IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN**

La creación de éste proyecto es muy importante debido a que mejorará la producción de bloques y adoquines, desde la fase de transporte de material, hasta la finalización del producto propiamente dicho, con un debido control de calidad.

Es muy común ver en nuestro país, específicamente en la zona alta, una producción deficiente y trabajosa que involucra mucha mano de obra. El desarrollo de la máquina que se propone construir, es una innovación tecnológica para la evolución de la producción artesanal de bloques y adoquines, garantizando así una manufactura rápida y de excelente calidad.

La propuesta es mejorar el método de producción de bloques y adoquines, utilizando una serie de herramientas escolásticas aprendidas en el transcurso de la carrera como: elementos de máquinas, mecanismos y la automatización en sí, elevando un escalón tecnológico a la producción en serie, para convertir microempresas simples en microempresas tecnificadas. De acuerdo con estudios realizados en la ciudad de Latacunga un artesano promedio produce de 1000 a 2000 entre bloques y adoquines, según el requerimiento, en un día y si se toma en cuenta el desperdicio de material que eso implica y el exceso de mano de obra; se obtiene poca ganancia y pérdida de tiempo. Es por esto que la máquina que se sugiere construir, se centra en la velocidad de la producción en serie y en la optimización de tiempo y espacio.

Al observar ésta anomalía en la manufactura de bloques y adoquines, se decidió atacar el problema de raíz, al construir una máquina bloquera – adoquinera automática, que hace exactamente lo mismo que el artesano

pero en menor tiempo y sin desperdicio de material, ahorrando recursos humanos y recursos materiales.

Es importante saber que la construcción de ésta máquina proveerá a muchas microempresas de tecnología de punta, además de ser una máquina de bajo costo si se toma en cuenta la cantidad de producción que se tendrá al finalizar el día, haciendo más barato el producto final pero con mayor venta en el mercado.

## **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir una máquina Bloquera - Adoquinera automatizada.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar y construir un mecanismo automático para la producción de bloques y/o adoquines manufacturados en cadena.
- Mejorar la velocidad de producción de bloques y adoquines ornamentales y no ornamentales.
- Satisfacer las necesidades de los clientes en cuanto se refiere a acabados y calidad del bloque o adoquín.
- Reducir el tamaño de una máquina grande semejante a las demás, sin perder las características de calidad y fiabilidad.
- Seleccionar y dimensionar correctamente todos los elementos que intervienen en la máquina.
- Diseñar el circuito de control eléctrico de la máquina para el cumplimiento de la secuencia del proceso.

## **METAS**

Éste proyecto inicia por investigar cómo se desarrolla el proceso artesanal para la producción de bloques y adoquines, como punto de partida para diseñar los mecanismos necesarios que reemplacen la mano del hombre en: El sistema de elevación, el Sistema de Alimentación de la Mezcla, el Sistema de Alimentación de Tableros, el Sistema de Vibración, el Sistema de Compresión, el Sistema de Desmoldeo, destacando la selección de materiales y el dimensionamiento de las partes constitutivas de la máquina para un correcto funcionamiento.

El sistema mecánico trabaja comandado por un sistema de control eléctrico el cual será diseñado para que mediante un PLC controlar la secuencia de funcionamiento de cada etapa, cabe destacar que el sistema de alimentación de la mezcla funcionara independientemente de la sincronización del resto de sistemas que conforman la máquina bloquera – adoquinera.

En consecuencia, el alcance del proyecto está en desarrollar una máquina que destaque la producción de bloques y adoquines en nuestro país, con manufactura de calidad conservando la normativa correspondiente del producto final.

# **CAPÍTULO I**

## **FUNDAMENTO TEÓRICO**

### **1.1. GENERALIDADES**

#### **1.1.1. ANTECEDENTES**

En las construcciones civiles actuales, nos encontramos en la mayoría de los casos con distintos tipos de hormigón. Éste es una mezcla íntima entre un cementante, un árido fino y un árido grueso, más agua y eventualmente aditivos, que al endurecer a través de un proceso químico denominado fragüe adquiere una consistencia similar a las mejores piedras naturales.

Toda empresa exitosa requiere de un proceso productivo que se controle de forma sistemática a fin de medir su desempeño, y a su vez elevar el nivel de calidad de sus productos y/o servicios.

Por ello se realizó un estudio previo que determina la situación actual de la empresa que se dedican a la construcción de bloques y adoquines por medio de un diseño que se adecúe a la producción, para analizar las posibles deficiencias presentes e incrementar la productividad aportando soluciones viables como una simple automatización o la construcción completa de una máquina.

Las empresas que se dedican a la fabricación de bloques y adoquines, se encuentra ubicadas en la zonas rurales no industrializadas en su totalidad de la ciudad de Latacunga. Estas microempresas en la actualidad

requieren de asesoría técnica para evaluar y concretar un plan de producción, a fin de optimizar la productividad.

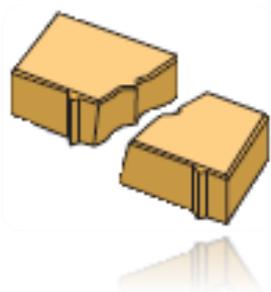
Mediante éste estudio previo se pretende iniciar cambios significativos que conduzcan al mejoramiento de la calidad de los productos ofrecidos por estas pequeñas empresas, en este sentido se formulan proposiciones luego de haber evaluado y analizado la situación actual, con el fin de contribuir con el mejoramiento de la misma.

## **1.2. BLOQUES Y ADOQUINES.**

### **1.2.1. CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN DE UN BLOQUE Y DE UN ADOQUÍN**

#### **a. Propiedades físico – mecánicas**

**a.1. Resistencia a la rotura (T) Fig. 1.1:** El valor medio de la muestra no debe ser inferior a 3.6 MPa.<sup>1</sup>



**Figura 1.1: Rotura del adoquín**

**a.2. Resistencia a la abrasión:** El uso típico para la clase 4 es para áreas sujetas a tráfico de vehículos intensivo, como muestra la tabla 1.1.<sup>1</sup>

---

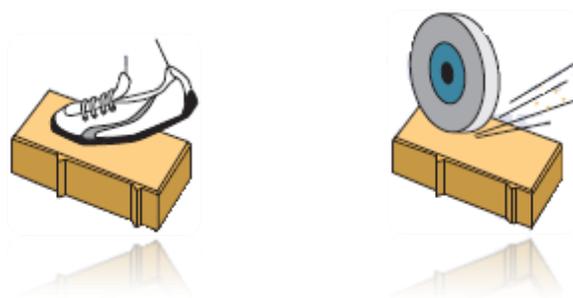
<sup>1</sup> [http://www.bigmat.es/pdfs/03\\_adoquin.pdf](http://www.bigmat.es/pdfs/03_adoquin.pdf)

**Tabla 1.1: Uso típico de adoquines**

CLASE	MARCADO	REQUISITOS
1	F	No necesario
3	H	$\leq 23$ mm.
4	I	$\leq 20$ mm.

**a.3. Resistencia al deslizamiento y al resbalamiento:** Los adoquines presentan una adecuada resistencia al resbalamiento y al deslizamiento como se muestra en la figura 1.2, siempre y cuando no hayan sido sometidos a un tratamiento secundario tales como rectificado, pulido, para producir una superficie lisa. Es necesario un valor de la resistencia al resbalamiento y deslizamiento, pero el mínimo valor será 45.<sup>1</sup>

Bajo condiciones normales los adoquines cumplen satisfactoriamente la resistencia al resbalamiento deslizamiento, durante el tiempo de vida del producto sometido a un mantenimiento normal, salvo que la mayor porción de áridos haya sido expuesta a un pulido excesivo en su cara vista.



**Figura 1.2. Antideslizamiento y antirresbalamiento**

**a.4. Reacción al fuego:** Los de la clase 1 no necesitan ser ensayados.<sup>1</sup>

**a.5. Comportamiento frente al fuego externo:** Los utilizados como cubiertas de tejado se considera que satisfacen las condiciones de comportamiento frente al fuego externo sin necesidad de ensayo como se indica en la figura 1.3.<sup>1</sup>



**Figura 1.3: Cubierta exterior de tejado**

**a.6. Conductividad térmica:** Si contribuyen a las características térmicas de un elemento, entonces el fabricante declarará la conductividad térmica o que atraviesa el material (Figura 1.4).<sup>1</sup>



**Figura 1.4: Conductividad térmica**

**b. Aspectos visuales**

**b.1. Apariencia:** Las capas superiores de los adoquines no presentarán defectos tales como grietas, laminaciones o exfoliaciones cuando se examinen.<sup>1</sup>

En caso de aparecer ocasionalmente eflorescencias, no son perjudiciales, por lo que no se consideran un defecto.

**b.2. Textura:** Cuando sea fabricado con texturas superficiales, serán descritas por el fabricante.

Las variaciones en la misma se deben a las inevitables variaciones en las propiedades del cemento y en el endurecimiento (Figura 1.5).<sup>1</sup>



**Figura 1.5: Textura**

**b.3. Color:** Puede ser incluido en las caras vistas o en la totalidad del adoquín. Las gamas se deben a variaciones inevitables en el tono y propiedades de cementos y áridos.<sup>1</sup>

**b.4. Absorción de agua:** Se aceptará que haya una impermeabilidad de agua suficiente cuando la absorción total o individual de cada una de las cuatro probetas que componen la muestra no sea mayor del 6%.<sup>2</sup>



**Figura 1.6: Porcentaje de absorción**

Si la absorción al agua 6% se considera que es resistente a las heladas (Figura 1.6).<sup>1</sup>

---

<sup>2</sup> Norma INEN GPE 044.

### c. Formas y dimensiones

Siempre referido a las dimensiones nominales, que serán establecidas por el fabricante y han de cumplir las siguientes condiciones: se aceptan variaciones de entre 2 en largo y ancho, y de de 5 en espesor.<sup>1</sup>

Los espesores más comunes están comprendidos entre 6 y 8 cm, llegando hasta 10 y 15 cm. para tránsito muy pesado. Los adoquines pueden ser fabricados con elementos espaciadores, caras laterales biseladas o achaflanadas que serán declaradas en las dimensiones nominales por el fabricante.<sup>1</sup>

#### c.1. Tolerancias dimensionales

**Tabla 1.2: Tolerancias**

Espesor del adoquín en mm.	Longitud en mm.	Ancho en mm.	Espesor en mm.
<100	±2	±2	±3
≥100	±3	±3	±4

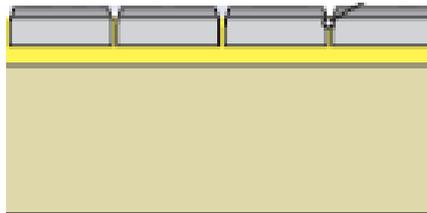
La tabla 1.2 muestra la diferencia máxima entre dos medidas de diferente longitud, ancho y espesor sobre un adoquín no será superior a igual a 3 mm.

#### c.2. Vida<sup>1</sup>

- La vida útil de un adoquín es en teoría de 30 años, aunque por su resistencia puede llegar a los 50.
- Se pueden reutilizar de un 90% a un 95% de los adoquines.
- Por esto son más económicos que los pavimentos rígidos.
- Se pueden levantar fácilmente para tareas de reparación, lo que hace que sean aconsejables para pavimentación urbana.

### **c.3. Conservación**

Relleno de arena para sellado de juntas cada cierto tiempo (figura 1.7).<sup>1</sup>



**Figura 1.7: Relleno**

### **c.4. Aplicaciones<sup>1</sup>**

- Zonas con intensidad de tráfico elevada.
- Cuando haya cambios sustanciales de temperaturas.
- Necesidad de puesta en uso inmediata.
- Necesidad de registros bajo tierra.

#### **c.4.1. Sobre forjados y cubiertas planas**

Se colocan sobre un lecho de áridos de 4 a 5 cm. de espesor. Las juntas han de ser menores de 3 mm de anchura, rellenas de arena fina.<sup>1</sup>

#### **c.4.2. Áreas peatonales<sup>1</sup>**

- Antideslizantes.
- Resistentes a las manchas y vertidos de sustancias agresivas.
- Fácil sustitución y reutilización.
- Fácil delimitación de zonas (aparcamientos y accesos).

### **c.4.3. Decoración y paisajismo**

En jardines domésticos. Los mejores resultados se consiguen con formas regulares ya que se pueden colocar en vertical.

### **c.4.4. Tareas pesadas<sup>1</sup>**

- Resisten cargas pesadas concentradas de ruedas y carretillas.
- Buen comportamiento frente a los asientos locales.

### **c.4.5. Tráfico rodado<sup>1</sup>**

- Soportan fácilmente tráfico rodado y tráfico lento.
- Delimitación de pasos peatonales.
- Inserción de señalización.

## **1.2.2. TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN DE VARIOS MODELOS, MOLDES O MATRICES.**

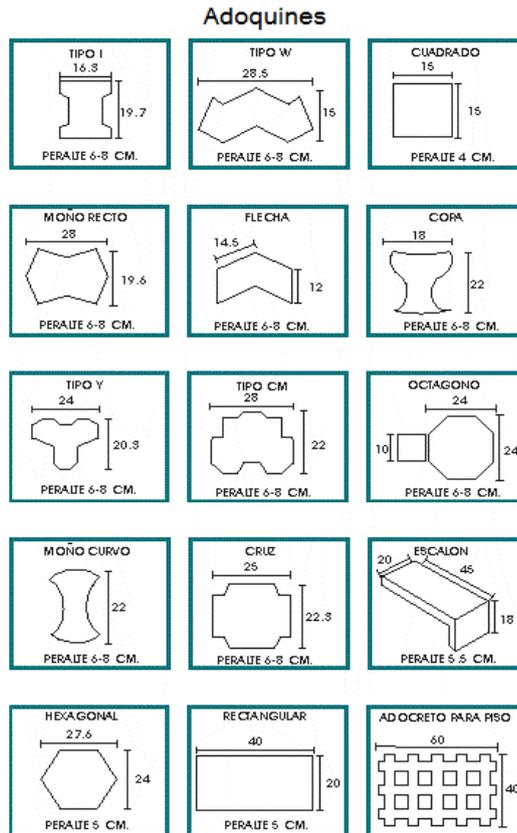
Esta parte comprende la construcción de adoquines y bloques de distintas formas y medidas a base de hormigón Portland, construido todo sobre una superficie preparada de acuerdo con lo que indiquen las especificaciones y en conformidad con el alineamiento de la calzada, vereda, pared o techo que se requiera construir.

### **a. Adoquines**

#### **a.1. Requisitos geométricos**

Los adoquines rectangulares deberán tener una longitud nominal de 20 cm y un ancho nominal de 10 cm. Con otras formas alternativas deben

tener una razón largo - ancho medio comprendido entre 1.5 y 2.5 cm; el ancho no puede ser menor de 8 cm ni mayor de 15.5 cm como se muestra en la figura 1.8. El espesor de los adoquines estará comprendido entre 6 cm y 10 cm.<sup>3</sup>



**Figura 1.8: Geometría del adoquín**

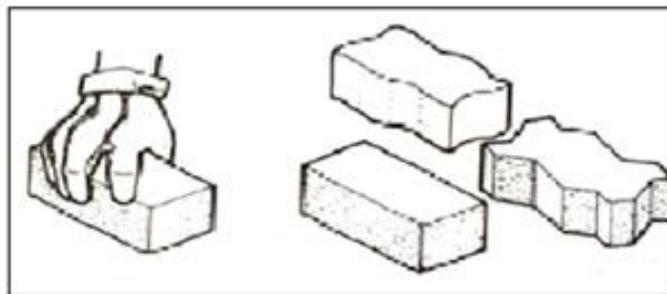
Los adoquines deben tener una resistencia a la compresión simple entre 357 y 459 kg/cm<sup>2</sup> (35 y 45MPa) a los 28 días.<sup>4</sup>

<sup>3</sup>[http://www.contratos.gov.co/archivospuc1/DA/208758011/07-1-25050/DA\\_PROCESO\\_07-1-25050\\_208758011\\_276270.pdf](http://www.contratos.gov.co/archivospuc1/DA/208758011/07-1-25050/DA_PROCESO_07-1-25050_208758011_276270.pdf)

<sup>4</sup> Normas INEN GPE 044 y GPE 045. Pavimento de adoquines de hormigón hidráulico

Los adoquines prefabricados de hormigón se pueden clasificar por su forma en tres categorías como se muestra en la figura 1.9:<sup>5</sup>

- Adoquines machimbrados multidireccionales: se caracterizan por tener entrantes y salientes en sus cuatro caras laterales.
- Adoquines machimbrados multidireccionales: incluyen unidades con entrantes y salientes en dos de sus cuatro caras laterales.
- Adoquines clásicos: unidades sin entrantes y salientes en sus cuatro caras laterales, no existe encaje entre las piezas, para conseguir el entrelazado el factor fundamental de la precisión en su colocación. Este tipo es el más utilizado y se lo conoce como adoquín rectangular.



**Figura 1.9: Adoquín machimbrado multidireccional, adoquín machimbrado bidireccional, adoquín clásico**

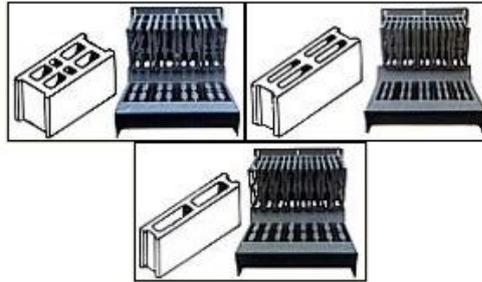
## **b. Bloques**

Son elementos de concreto, los cuales se fabrican en una gran diversidad de formas y dimensiones, por lo regular se producen en moldes de madera, concreto, metal, fibra de vidrio, etc.<sup>6</sup>

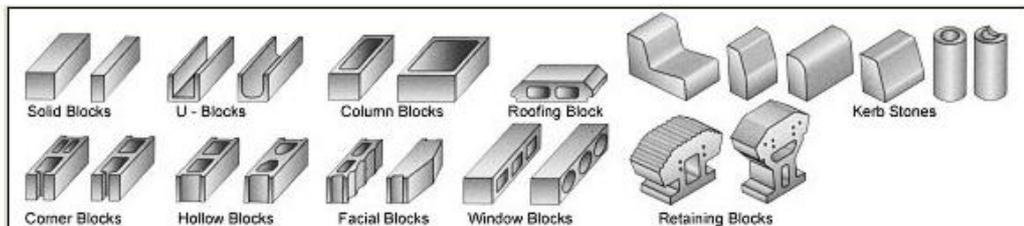
<sup>5</sup> <http://www.hcanon.com/catalogo/adoquines.pdf>

<sup>6</sup> <http://www.anippac.org.mx/2005/seccion07.html>

La figura 1.10 y la figura 1.11 muestran las diferentes matrices que se pueden utilizar en la construcción de bloques para lograr varias formas y figuras.<sup>7</sup>



**Figura 1.10: Bloque hueco de diferente matriz.**



**Figura 1.11: Bloques de concreto**

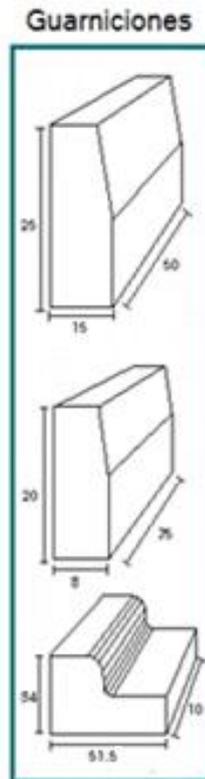
Debido a la gran variedad de formas y aplicaciones, durante su proceso se emplean diferentes métodos que van del colado directo, hasta la utilización de la maquinaria más sofisticada, en la cual la dosificación de los materiales se aplica por medio de computadoras.

Dentro de estos elementos se cuentan los siguientes por mencionar algunos: bloque hueco, bloque con fondo, bloque macizo, guarniciones, etc., como se muestra en la figura 1.12.

La fabricación del bloque a base de concreto de tener una resistencia que varíe u oscile entre 300 a 500 Kg/cm<sup>2</sup>.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> <http://www.maneklalexports.com>

Se elaboran a partir de áridos seleccionados (grava y arena) de alto peso específico (denso), se obtienen elementos vibrocomprimidos de similar forma de tal manera que al unirse entre sí los elementos se forma un diseño uniforme.



**Figura 1.12: Geometría del bloque**

Existe el bloque bicapa, que es una capa de granulado grueso cuya diferencia principal es que visualmente tiene una presentación rustica (grano abierto), conservando las mismas características de resistencia y duración.

Tienen gran ventaja sobre otros materiales, debido a su fácil manejo en el transporte y la colocación, ya que no requieren de mano de obra

especializada. Los más utilizados son: El bloque hueco y el bloque macizo.<sup>8</sup>

### **b.1. Bloque hueco**

Se utiliza para todo tipo de muros, su colocación es rápida, ahorro en cimbras por sus huecos se elaboran castillos integrados. Cada pieza pesa 14 Kg. y tiene un rendimiento de 12.5 piezas por m<sup>2</sup>. Cuenta con una resistencia de 90 Kg/cm<sup>2</sup>. En colores manejamos gris natural y sobre pedido se puede fabricar cualquier color.<sup>6</sup>

### **b.2. Bloque macizo**

Se utiliza para bardas, casas habitación, bodegas, naves industriales, etc. Cuenta con un mayor rendimiento al colocarlo por su tamaño. Cada pieza pesa 13 Kg. y tiene un rendimiento de 12.5 piezas por m<sup>2</sup>. Cuenta con una resistencia de 60 Kg/cm<sup>2</sup>.<sup>6</sup>

### **1.2.3. CÓMO MEJORAR LA CALIDAD DEL BLOQUE Y EL ADOQUÍN**

Para obtener mejores resultados en la construcción de bloques y adoquines es muy importante tener en cuenta aspectos que beneficien la calidad del hormigón, antes durante y después de la producción, debido a que éste es uno de los materiales indispensables en el proceso.

---

<sup>8</sup> <http://www.preconalbolivia.com/aplicacion-de-las-losetas.html>

## a. Antes del proceso<sup>9</sup>

Para obtener un buen hormigón es fundamental contar con materiales de buena calidad y que efectúe su transporte y almacenamiento cuidadosamente.

### a.1. Almacenamiento de sus materiales

- **Cemento:** al adquirir el cemento procure que éste sea de fabricación reciente. Rechace sacos rotos o con señas de humedad, como marcas desteñidas y puntas endurecidas. El cemento se debe mantener protegido de la intemperie al transportarlo y almacenarlo. Se debe evitar que los sacos se mojen o se humedezcan a causa del rocío, o al quedar en contacto con el suelo. Esto se logra colocando los sacos en una bodega ventilada y con piso seco, separado del terreno natural. (Debe circular aire bajo los sacos).

Solo para almacenamiento de corta duración (no superiores a una semana) y en periodo de verano, el cemento se puede dejar con una protección mínima consistente en una carpa impermeable (polietileno) y un entablado que lo separe del suelo.

- **Agua:** si el agua no proviene de la red, se debe mantener en tambores u otros recipientes limpios, libres de aceites, grasas, sustancias químicas, etc. para evitar toda contaminación.

- **Áridos:** deben estar constituidos por granos duros, limpios, libres de polvo, arcilla, limo, materia orgánica, sales solubles y películas de aceite o grasa. La arena y el ripio, si no es factible su almacenamiento en depósitos o compartimentos, se deben amontonar separados, evitando

---

<sup>9</sup> <http://html.rincondelvago.com/control-de-hormigon.html>

que se mezclen entre sí e impidiendo que se contaminen con el suelo natural.

Un buen acopio se consigue colocándolos sobre una superficie de hormigón o de madera, o bien puede ripiarse el terreno natural para proporcionar drenaje y evitar contaminación. Para evitar riesgo de segregación, los montones tienen que ser varios de baja altura, en vez de uno solo muy alto

- **Aditivos:** mantenerlos en bases bien cerrados y claramente identificados, en una bodega bajo techo.
- **Aire:** debe tener una cierta temperatura superior a los 5° C para que el cemento fragüe.<sup>9</sup>

#### **b. Durante el proceso<sup>9</sup>**

Es necesario tener un cuidado especial en el momento de fabricar un bloque o un adoquín, se debe tomar en cuenta varios parámetros, desde el ambiente en el que se construyen, hasta la presión a la que van a ser sometidos en el moldeado.

##### **b.1. Relación agua-cemento**

Ambos materiales forman una pasta que al endurecer actúa como aglomerante, manteniendo unidas las partículas de arena y agua. A medida que aumenta la dosis de agua la pasta de cemento se diluye, disminuyendo su resistencia y durabilidad. Considerando un hormigón trabajable, mientras menos agua tenga será más resistente y durable.

### **b.1.1. Dosificación para mezclas de prueba:**

En las tablas 1.3 y 1.4 se especifican las dosis de: cemento, grava, gravilla, arena, aditivos y agua que servirá de base para elaborar mezclas de prueba en bloques y adoquines.

**Tabla 1.3: Dosificación para bloques**

<b>Bloques</b>		
<b>Aditivos</b>	<b>Mecánico</b>	<b>Manual</b>
<b>Cemento</b>	1 saco	1 saco
<b>Grava</b>	195 litro	155 litro
<b>Arena</b>	135 litro	110 litro
<b>Agua</b>	34 litro	27 litro

**Tabla 1.4: Dosificación para adoquines**

<b>Adoquines</b>		
<b>Aditivos</b>	<b>Mecánico</b>	<b>Manual</b>
<b>Cemento</b>	1 saco	1 saco
<b>Grava</b>	155 litro	125 litro
<b>Arena</b>	105 litro	85 litro
<b>Agua</b>	20 litro	16 litro

### **c. Después del proceso**

Al igual que antes y durante la fabricación de bloques o adoquines, se debe tener mucho cuidado cuando el producto ha salido de la línea de elaboración, tomando en cuenta parámetros ambientales para un óptimo secado o curado del mismo.<sup>9</sup>

### **c.1. Curado y protección<sup>9</sup>**

Proteger el hormigón en el proceso de endurecimiento, evitando daños por la evaporación del agua de amasado o por la acción de cargas prematuras. Este proceso se llama curado.

- Un curado deficiente es equivalente a emplear una menor dosis de cemento.
- Un curado inadecuado provoca bajas resistencias y grietas en el hormigón.
- Comience el curado en cuanto complete el acabado de la superficie, este proceso debe durar por lo menos 7 días.
- No exponer el hormigón a ningún tipo de cargas, impactos, vibraciones, tránsito de personas, vehículos, equipos o materiales, durante los primeros 7 días.

### **c.2. Métodos de curado<sup>9</sup>**

- Regar directamente el hormigón 2 veces al día y usar cubiertas mojadas tales como: sacos de papel, arpilleras o plásticos.
- Utilizar membranas de curado, cubriendo herméticamente la superficie del hormigón, impidiendo así la pérdida de humedad. También se puede utilizar láminas de polietileno, con una capa de arena o tierra fina para evitar el calentamiento superficial.
- Los elementos estructurales tales como: vigas, pilares y muros proteger manteniendo mojados los moldes. Una vez que estos se retiren, riegue directamente la superficie del hormigón.
- Para los pavimentos utilizar membranas, láminas de polietileno con capa de arena o tierra, diques de arena.
- Aumentar el número de días necesario para la protección y curado si la temperatura ambiente es inferior a 5 grados

#### **1.2.4. OPTIMIZACIÓN DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE ÉSTA MÁQUINA**

Con el objetivo de hallar un tipo de hormigón con otros áridos producidos en las plantas trituradoras de escombros, de acuerdo a la construcción de prefabricados y vibrocomprimidos.

La familia de los vibrocomprimidos comprende el conjunto de pequeños prefabricados hechos con máquina ponedora o compactadora. Ejemplos: bloques, adoquines, baldosas, losas, bordillos, bovedillas, cajetones, encofrados perdidos, etc. El árido tiene algunos inconvenientes asociados a su heterogeneidad y al contenido de impropios y contaminantes.

Ante estas características la investigación se centró en pequeños prefabricados sin armadura y en hormigón seco. Al observarse la bondad de compartición del vibrocomprimido se procedió recientemente a la construcción de un adoquinado piloto con materia prima local.

##### **a. Bloques**

Pieza prefabricada a base de cemento, agua y áridos finos y/o gruesos con o sin aditivos, incluidos pigmentos, de forma sensiblemente ortoédrica, con dimensiones exteriores no superiores a 60 cm, con una relación alto ancho inferior a 6, y alto largo inferior a 1, sin armadura alguna y con densidades comprendidas entre  $1.700 \text{ kg/m}^3$  y  $2200 \text{ kg/m}^3$ .<sup>10</sup>

El peso del hormigón que resiste un elevador tipo wincha viene dado por la ecuación 1.1.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> <http://www.buenastareas.com/ensayos/Bloques-De-Concreto/745076.html>

<sup>11</sup> Teoría de máquinas y mecanismos de SHIGLEY.

$$W_{horm1}$$

$$W_{horm1} = \rho_{hrm} \cdot g \cdot V_{cang} \quad (Ec. 1.1)$$

Donde:

$\rho$  = densidad de la mezcla de hormigón.

$g$  = aceleración de la gravedad.

$V_{cang}$  = volumen real de llenado de la wincha.

Con la densidad de la mezcla de hormigón de 2200 kg/m<sup>3</sup> se puede determinar el peso que soporta cada uno de los componentes de un sistema con la ecuación anterior.<sup>12</sup>

La fuerza que debe realizar un mecanismo en forma de tapa que corte la mezcla y que se pueda utilizar como una compuerta, debe vencer los componentes de los diferentes tipos de rozamientos que aparecen al momento de abrir y cerrar la compuerta, estas fuerzas son: Fuerza de rozamiento entre acero – acero y después entre acero – hormigón, esta fuerza de fricción  $F_{f1}$  viene dada por la ecuación 1.2.<sup>11</sup>

$$F_{f1} = \mu \cdot N \quad (Ec. 1.2)$$

Donde:

$N$  = normal, que es igual al peso del hormigón sobre la compuerta.

$\mu$  = coeficiente de fricción del concreto sobre el acero.

---

<sup>12</sup> <http://romoaccaserranojorgeluis.blogspot.com/>

## **a.1. Clasificación del bloque**

**a.1.1. Según su índice de macizo.** La relación entre la sección neta y la sección bruta del bloque son<sup>13</sup>

- H: bloque hueco: bloque con índice macizo entre 0.4 y 0.8.
- M: bloque macizo: bloque con índice macizo superior a 0.8.

## **a.1.2. Según su acabado**<sup>13</sup>

- V: Cara vista: bloque adecuado para su uso sin revestimiento.
- E: A revestir: Bloque que tiene una rugosidad suficiente para proporcionar una buena adherencia al revestimiento.

## **a.1.3. Según las dimensiones**

De acuerdo a la tabla 1.5, las dimensiones de ciertos tipos de bloques se especifican de la siguiente manera.<sup>13</sup>

**Tabla 1.5: Dimensiones de los bloques más utilizados**

<b>An. N.</b>	<b>60</b>	<b>75</b>	<b>100</b>	<b>120</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>
<b>An. F.</b>	50	65	90	115	140	190	240	290
<b>Al. N.</b>	200	250	300					
<b>Al. F.</b>	290	240	290					
<b>Lo. N.</b>	400	500	600					

Donde; N: Nominal y F: Fabricante

<sup>13</sup> [http://www.bigmat.es/pdfs/03\\_bloque.pdf](http://www.bigmat.es/pdfs/03_bloque.pdf)

Se recomiendan que las dimensiones se ajusten a las siguientes series:<sup>10</sup>

**SERIE A:** 400, 200, y cualquier otro ancho de la tabla. Se designa por A y el ancho elegido.

**SERIE B:** 500, 250, y cualquier otro ancho de la tabla. Se designa por B y el ancho elegido.

**SERIE C:** 600, 300, y cualquier otro ancho de la tabla. Se designa por C y el ancho elegido.

## **a.2. Características**

### **a.2.1. De aspecto<sup>13</sup>**

- No deben tener fisuras en sus caras y deben presentar una textura superficial adecuada para facilitar el posible revestimiento.
- Los Cara Vista han de presentar en sus caras coloración y textura homogéneas y uniformes, (no deben presentar coqueras, desconchados ni despostillamientos).
- Si los bloques tienen un tratamiento ornamental, éstas caras han de adaptarse a este tratamiento.

### **a.2.2. Geométricas**

Dimensiones y tolerancias:

### **a.2.3. Tolerancias<sup>14</sup>**

- Bloque cara vista: En ancho largo y alto  $\pm 2$ .
- Otros bloques requieren  $\pm 5$  en ancho medido en las cuatro esquinas del bloque.

### **a.2.4. Espesor de las paredes y tabiquillos**

En ningún caso será inferior a 20 mm, en ningún punto, ni en las paredes con otro tipo de bloque.<sup>13</sup>

### **a.3. Forma**

Respecto a la rectitud de las aristas y planitud de sus caras, los bloques deben cumplir las condiciones especificadas en la tabla 1.6.<sup>13</sup>

**Tabla 1.6: Condiciones que debe cumplir el bloque**

<b>Tipo</b>	<b>Rectitud de aristas</b>	<b>Planitud de caras</b>
Bloque con vista:	Flecha máxima 0.5%	Flecha máxima 0.5%
Bloque a revestir:	Flecha máxima 1%	Flecha máxima 1%

### **a.4. Físicas**

#### **a.4.1. Absorción**

No deben presentar valores superiores a los de la tabla 1.7.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> <http://www.buenastareas.com/temas/biologia-ii-bloque-sec/0>

**Tabla 1.7: Grado de absorción del bloque**

<b>GRADOS</b>	<b>ABSORCIÓN MÁXIMA</b>	<b>MÁXIMO VALOR INDIVIDUAL</b>
<b>I (Función Resistente)</b>	Media $\leq 9\%$	$\leq 11\%$

El grado viene definido por su capacidad para absorber agua. I: grado I; II: grado II.

Los bloques no deberán presentar un valor de absorción superior al establecido para su grado.<sup>13</sup>

#### **a.4.2. Absorción de agua por capilaridad**

Para los bloques de cara vista que a la vez sean resistentes, el valor medio del coeficiente no será superior a  $2,6 \text{ g/m}^2/\text{s}$ . No se admitirán valores individuales menores a  $3,7 \text{ g/m}^2/\text{s}$  de acuerdo a la norma.<sup>13</sup>

#### **a.5. Otras características<sup>13</sup>**

**a.5.1. Resistencia térmica:** El valor de la conductividad térmica que deberá facilitar el fabricante cuando lo solicite, o el valor de transmisión térmica a la fábrica de albañilería.

**a.5.2. Aislamiento acústico:** El fabricante debe facilitar el valor de la pérdida de decibelios.

**a.5.3. Resistencia al fuego:** La debe facilitar el fabricante (RF).

## **a.6. Optimización de materiales**

**Procedimiento.-** Supóngase que se necesita una mezcla que a los 28 días alcance una resistencia de  $200 \text{ kg/cm}^2$  y que estando fresca tenga un revenimiento de 10 cm. Los materiales disponibles son:<sup>13</sup>

### **a.6.1. Cemento:**

Densidad 3.10.<sup>15</sup>

### **a.6.2. Arena fina:**<sup>15</sup>

- Peso aparente: 1.5
- Densidad: 2.5
- Humedad: 4%

### **a.6.3. Grava (2.5 cm diámetro):**<sup>15</sup>

- Peso aparente: 1.7
- Densidad: 2.6
- Humedad: 2%

La cantidad de agua por saco de cemento es de 27.00 lts por saco.<sup>15</sup>

Para el ejemplo propuesto, se supondrá un consumo de cemento de  $400 \text{ kg/m}^3$  (8 sacos de 50 Kg), de manera que un saco de cemento corresponderá un volumen de mezcla de 125 lts.<sup>15</sup>

El volumen que ocupa la lechada para un saco de cemento y 27 litros de agua será:<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> [http://html.rincondelvago.com/hormigon\\_2.html](http://html.rincondelvago.com/hormigon_2.html)

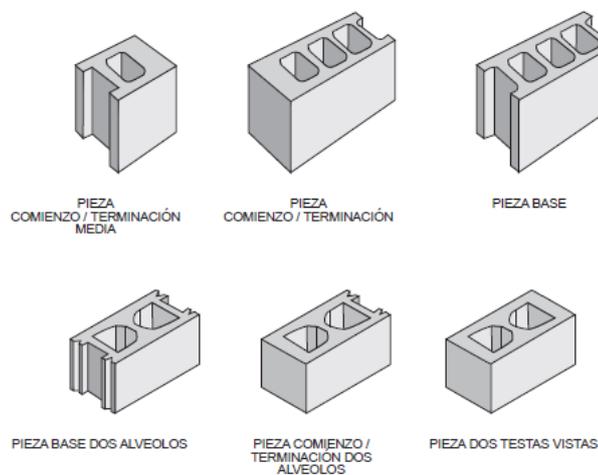
- Volumen absoluto de cemento =  $50/3.10 = 16.10$  lts.
- Volumen de mezcla = 27.00 lts.
- Volumen de la lechada = 43.10 lts.

El volumen que queda por llenar con los agregados, es la diferencia entre el volumen del concreto, de 125 lts, y el volumen de la lechada que es de 43.10 lts.<sup>15</sup>

Volumen absoluto de agregados =  $125.00 - 43.10 = 81.90$  lts.<sup>15</sup>

#### a.6.4. Piezas más utilizadas

Las piezas con forma de paralelepípedo rectangular que presenta perforaciones uniformemente repartidas en el eje normal al plano de asiento, con un índice de macizo máximo de 0,8 (véase clasificación según el tipo), son las de mayor demanda en el mercado. Se fabricarán medios bloques, y bloques con una y dos caras perpendiculares lisas para comienzos, terminaciones, esquinas y mochetas como se muestra en la figura 1.13.<sup>15</sup>



**Figura 1.13: Bloques más utilizados**

## **b. Adoquines**

En general, los adoquines de concreto están constituidos por dos capas: la vista representada por la superficie expuesta una vez colocado el adoquín, y la capa base, superficie que quedará en contacto con el suelo. Los adoquines de concreto son muy resistentes y durables por su amplia variedad de formas, dimensiones, colores y texturas, y porque se colocan entrelazados sobre una cama de arena compactada, donde se sellarán sus juntas para permitir que interactúen solidariamente unos con otros para soportar la totalidad de las cargas.<sup>16</sup>

La geometría debe ser tal que permita un acoplamiento seguro y a la vez elástico con los adoquines adyacentes, para obtener una superficie continua.

En dichos pavimentos, todas las fuerzas de flexión, transversales y circulares (al frenar, acelerar, girar) son transmitidas de forma más intensiva y se reparten óptimamente sobre un gran número de adoquines, haciendo imposible el desplazamiento de unas piezas contra las otras, consiguiendo, por tanto, una mejor absorción por el suelo.<sup>17</sup>

### **b.1. Aplicaciones<sup>17</sup>**

- Uso peatonal: aceras, centro de ciudades (zonas peatonales), plazas públicas.
- Calles urbanas.
- Aparcamientos y Garajes.
- Áreas industriales: naves industriales con desplazamiento de tráfico pesado y poca velocidad.

---

<sup>16</sup> <http://www.imcyc.com/cyt/junio05/POSIBILIDADES.pdf>

<sup>17</sup> [http://www.prunisa.es/pageID\\_9972417.html](http://www.prunisa.es/pageID_9972417.html)

- Almacenes.
- Áreas de autopistas.
- Estaciones de autobús, puertos, aeropuertos, ferrocarriles.
- Pistas de bicicletas: carril bici.
- Gasolineras.
- Armado de taludes.
- Sujeción de orillas y fondos pluviales.
- Superficies de terrazas.
- Caminos de jardines.

## **b.2. Ventajas<sup>18</sup>**

- **Gran variedad de formas**, ofreciendo una perfecta combinación entre técnica y estética. Las formas del adoquín de hormigón permiten una combinación de piezas que da lugar a tramas muy diversas.
- **Posibilidad de fabricarse en diferentes colores** (para los cuales se recomienda utilizar pigmentos inorgánicos) que pueden dar un aspecto de elemento decorativo, así como utilizar la combinación de adoquines de diferentes colores.
- **Mantenimiento económico**. Básicamente se reduce a eliminar posible vegetación que pueda producirse en las juntas, y rellenar éstas cada vez que sea necesario.
- **Resistente**: a aceites, grasas, combustibles, efectos de las heladas y sales de deshielo, con ventaja en este aspecto a los pavimentos bituminosos, que, sin tratamientos especiales, se degradan con los efectos mencionados.<sup>17</sup>

---

<sup>18</sup> [http://www.construmatica.com/construpedia/Adoqu%C3%ADn\\_Prefabricado](http://www.construmatica.com/construpedia/Adoqu%C3%ADn_Prefabricado)

- **Baja deformabilidad:** Los pavimentos asfálticos, con las temperaturas altas en verano, pueden deformarse, cosa que no ocurre con los pavimentos de adoquines de hormigón.
- **Buen drenaje:** Las juntas, selladas con arena, permiten un cierto drenaje del agua.
- **Facilidad en las reparaciones.** Comparando con las superficies cerradas existe la gran ventaja de que los adoquines de hormigón pueden levantarse, volverse a utilizar cuando y cuantas veces sea necesario. Esta característica es de especial importancia en cuanto se refiere a los pavimentos de factorías, patios, plazas, aceras, etc., ya que en estos emplazamientos debe contarse siempre con posteriores trabajos en el subsuelo, como alcantarillado, red eléctrica, etc. Lo mismo ocurre cuando debe efectuarse alguna corrección de regularidad de superficies (asientos localizados). Una vez efectuada la reparación, ésta no se nota.<sup>17</sup>
- **Facilidad de montaje,** incluso para personas no especialistas.
- **Larga durabilidad,** la duración de vida admitida para un pavimento de adoquines de hormigón, bien colocado, es de 25 o más años. Para un pavimento bituminoso se considera un período aproximado de 7 años.<sup>17</sup>
- **Buena resistencia al deslizamiento.** Este requerimiento es considerado esencial, según la normativa europea de la construcción.
- **Regularidad en su resistencia mecánica y acabado.** Los adoquines prefabricados de hormigón se fabrican por vibrocompresión de hormigones semisecos. Ello permite conseguir

unas características de regularidad tanto en la resistencia mecánica como de acabado.<sup>17</sup>

### **b.3. Optimización de materiales<sup>19</sup>**

#### **b.3.1. Arena para capa de soporte**

La arena utilizada para la capa de apoyo de los adoquines, será de origen aluvial, sin trituración, libre de polvo, materia orgánica y otras sustancias.

#### **b.3.2. Granulometría**

La arena por emplear deberá ajustarse a la siguiente granulometría (tabla 1.8).<sup>19</sup>

**Tabla 1.8: Granulometría de la arena**

<b>Tamiz</b>	<b>% que pasa</b>
9,5 mm	100
4,75 mm	90 - 100
2,36 mm	75 – 100
1,18 mm	50 – 95
600 um	25 - 60
300 um	10 – 30
150 um	0 – 15

#### **b.3.3. Limpieza**

El equivalente de arena, deberá ser, cuando menos, de sesenta por ciento (60%), antes de ser descargada la arena, ésta tendrá que estar humedecida. Además, esta actividad deberá ser realizada en las primeras

<sup>19</sup> [http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos\\_ferro](http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro)

horas de la mañana, de modo tal que el polvo no afecte las principales actividades humanas.<sup>19</sup>

#### **b.3.4. Arena para sello:**

La arena utilizada para el sello de las juntas entre los adoquines será de origen aluvial sin trituración, libre de finos plásticos, materia orgánica y otras sustancias objetables.

Su granulometría se ajustará a los límites que se indican en la tabla 1.9:<sup>19</sup>

**Tabla 1.9: Granulometría de la arena para sello**

<b>Tamiz</b>	<b>% que pasa</b>
2,36 mm	100
1,18 mm	90 - 100
600 um	60 – 90
300 um	30 – 60
150 um	5 - 30
75 um	0 – 5

Todos los materiales a utilizarse en la obra deben estar ubicados de tal forma que no cause incomodidad a los transeúntes y/o vehículos que circulen en los alrededores.

La inyección de lechada de cemento a los agregados pre-colados ofrece ciertas ventajas al colar concretos bajo corrientes de agua. Los sacos son de lona reutilizables, con forma de salchicha, que se rellenan con concreto y hacen descender hasta donde se encuentran la mezcladora.

Colocar la máquina a nivel de la tierra permite la fácil descarga y llenado del mismo. Los sacos de arena a medio llenar con concreto plástico se

pueden emplear en los trabajos pequeños, rellenando huecos o como obra temporal.

#### **1.2.5. CARACTERÍSTICAS Y TIPOS DE MÁQUINAS PARA FABRICAR BLOQUES Y ADOQUINES.**

El diseño y, con ello, el tratamiento de las superficies de productos de hormigón es un mercado con futuro, es por esto que se está innovando los tipos de máquinas para producir nuevos y mejorados bloques y adoquines. Hoy en día, estos productos de hormigón, ya no son sólo materiales funcionales, pavimentos para calles o simplemente paredes, son objetos de diseño en el espacio urbano y en el entorno privado.

La arquitectura de edificios y plazas es cada vez más exigente y compleja. El arquitecto considera los edificios y las superficies dentro de un todo. Emplea los productos de hormigón como elementos de diseño espacial con funcionalidad. Aquí, la característica principal, especialmente de los adoquines de hormigón, es decir el diseño, alcanza su máximo esplendor.<sup>20</sup>

Las superficies, colores y formas geométricas diferentes conforman un espacio vital en consonancia con el entorno cotidiano y la naturaleza. El hormigón, con su capacidad casi ilimitada de moldeado y su funcionalidad, ofrece prácticamente todas las posibilidades de una arquitectura creativa. Una posibilidad es la elaboración mecánica de las superficies de hormigón. Aquí se distinguen los siguientes tipos principales.

---

<sup>20</sup> <http://www.windtower.net/deutsch/pdf/M%C3%A1quinas%20para%20el%20acabado>

## a. Máquinas bloqueras y máquinas adoquineras

### a.1. Manuales

Máquina ideal para producir pequeñas cantidades de material. Cubre las necesidades básicas de producción, ya que el área de moldeo solo permite fabricar piezas pequeñas comprendidas entre los 40 x 55 cm. Un ejemplo de producción es: 300 bloques de 10 x 14 x 28 cm o 350 tabiques de 8 x 8 x 10 cm.<sup>21</sup>

Funciona con un motor de hasta de 3 HP que puede ser de alimentación monofásica ó trifásica. La mejor manera de equipar una planta bloquera o adoquinera pequeña con esta máquina es acompañarla de una mezcladora que puede alimentar a la máquina bloquera como se ve en las figura 1.14. Cuando el mercado para su producto es pequeño, esta máquina puede solucionar algunos problemas.<sup>21</sup>

Son las máquinas más solicitadas en nuestro medio por su versatilidad y capacidad de producción. Los ciclos por turno con una máquina manual son de 400 ciclos por turno, con una máquina semiautomática se alcanzan más de 500 ciclos. Los tres modelos de máquinas tienen un área real de moldeo es de 45x65 cm.<sup>21</sup>



**Figura 1.14: Máquinas bloqueras y máquinas adoquineras manuales**

<sup>21</sup> <http://www.esmma.com/bloquera.htm>

## a.2. Semiautomáticas

Este tipo de máquinas funcionan con un sistema hidráulico o neumático para el desmolde, de este modo se reduce notablemente el esfuerzo físico de los operadores. Tiene una tolva integrada que puede tener hasta 30 piezas en cola (Depende de la pieza que se esté fabricando), el peso del cilindro (Compresor) da mayor calidad de compresión.<sup>22</sup>

Para la operación correcta de la máquina es necesario considerar el resto del equipo: una mezcladora, una tolva de agregados para alimentar de arenas a la mezcladora, una banda transportadora que alimenta de material mezclado a la máquina bloquera (opcional), dos carros sacatablas (opcional).

Los ciclos con este equipo son de 600 ciclos por turno, el ciclo no varía por ser máquina bloquera o máquina adoquinera, estos tienden a incrementarse con la producción de piezas macizas como adoquín o bloque sin huecos. Tiene un área real de moldeo es de 45 x 65 cm (figura 1.15).<sup>21</sup>



**Figura 1.15: Máquina bloquera y máquina adoquinera semiautomáticas**

<sup>22</sup> <http://www.quadra.com>

### **a.3. Automáticas**

Desde el año 2002, las empresas constructoras de máquinas para fabricar bloques y/o adoquines, decidieron modernizar sus máquinas de producción para mejorar la calidad y aumentar la productividad y la versatilidad.

Se especificó una línea de producción para fabricar bloques, bordillos y adoquines de hormigón sobre bandejas de producción con una tolerancia en la altura inferior a un milímetro.

La máquina más sobresaliente para una gran producción es la máquina bloquera de marca Quadra, sin olvidar las mejoras de la máquina adoquinera, que cuenta con un vibrador de alto rendimiento para fabricar artículos de hormigón como bloques, baldosas, bordillos, adoquines de hormigón.

Las dimensiones de las bandejas de producción, suministradas por la empresa son de 1400 x 1250 x 14 mm. Los cambios de moldes se pueden realizar en menos de 10 minutos con un dispositivo de cambio rápido de prensa y molde.<sup>22</sup>

En los últimos años, los bloques de hormigón se han ido perfeccionando constantemente en lo que respecta a nuevos criterios de productividad y desarrollo sostenible.

De modo que se han creado máquinas que cumplen estos nuevos requisitos como se muestra en la figura 1.16. Así, por ejemplo, existen empresas que lanzaron al mercado en el año 2006 la primera máquina pulidora para bloques de hormigón ligero y hormigón pesado.<sup>22</sup>



**Figura 1.16: Máquina bloquera y máquina adoquinera automáticas**

### **1.2.6. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE PARA EL DISEÑO Y ANÁLISIS DE LA MÁQUINA BLOQUERA – ADOQUINERA**

**a. El análisis por elementos finitos: (FEA: Finite Element Analysis)**

Es una técnica de simulación por computador usada en ingeniería. Para realizar este tipo de análisis se utiliza una técnica que se denomina método de elementos finitos cuyo funcionamiento se describe a continuación.

La técnica de análisis por elementos finitos (AEF) consiste en dividir la geometría en la que se quiere resolver una ecuación diferencial de un campo escalar o vectorial en un dominio, en pequeños elementos, teniendo en cuenta unas ecuaciones de campo en cada elemento, los elementos del entorno de vecindad y las fuentes generadoras de campo en cada elemento.<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> <http://www.uv.es/asepuma/XIV/comunica/117.pdf>

**b. Modelo de plasticidad de Von Mises<sup>24</sup>**

El criterio de flexibilidad se escribe de esta forma:

$$F = \sqrt{3}\delta - \delta_y = 0$$

Donde:

$\delta$  = es la tensión efectiva.

$\delta_y$  = es el límite elástico de las pruebas uniaxiales.

El modelo von Mises se puede utilizar para describir el comportamiento de los metales. Al utilizar este modelo de material, debe considerarse lo siguiente:

- Se supone la existencia de plasticidad con una deformación unitaria pequeña cuando se utiliza un desplazamiento pequeño o grande.
- Se crea una suposición de regla de flujo asociada.
- Hay reglas de endurecimiento isotrópico y cinemático disponibles.

Se implementa una combinación lineal de endurecimiento isotrópico y cinemático cuando tanto el radio como el centro de la superficie elástica en espacio desviatorio pueden variar con respecto al historial de carga.

El parámetro **RK** define la proporción de endurecimiento cinemático e isotrópico.

Para endurecimiento isotrópico, el parámetro **RK** tiene el valor 0. El radio de la superficie elástica se expande pero su centro permanece fijo en espacio desviatorio.

---

<sup>24</sup> <http://www.fing.edu.uy/iet/areas/estructuras/elasticidad/teoricos/plasticidad.pdf>

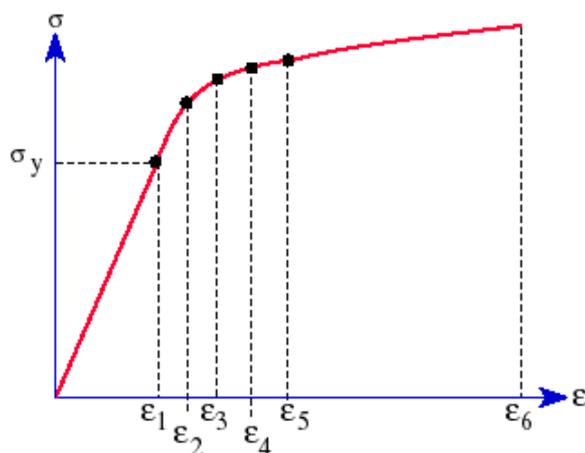
Para endurecimiento cinemático, el parámetro **RK** tiene el valor 1. El radio de la superficie elástica permanece constante mientras su centro se mueve en espacio desviatorio.

Al definirse una curva de tensión-deformación unitaria (figura 1.17), el primer punto de la curva debe ser el punto de flexibilidad del material. Las propiedades de material, como el módulo elástico (**EX**), el límite elástico (**SIGYLD**), etc. se tomarán de la curva de tensión-deformación unitaria cuando la misma se encuentre disponible y no de la tabla de propiedades de material.

Los estudios de caída no admiten la definición de curvas de tensión-deformación unitaria.

Se recomienda el uso del método iterativo **NR (Newton-Raphson)**.

El modelo de Huber-von Mises puede utilizarse con los elementos de vaciado sólido y grueso (de calidad alta y de borrador).



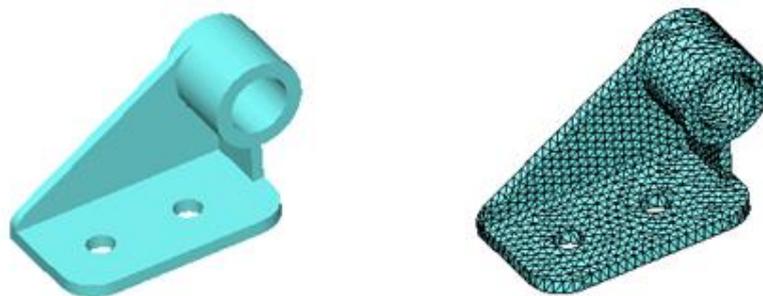
**Figura 1.17: Curva de tensión-deformación unitaria**

### **b.1. Análisis de tensiones<sup>24</sup>**

El análisis de tensión o análisis estático calcula los desplazamientos, deformaciones unitarias, y tensiones en una pieza basándose en el material, las sujeciones y las cargas. Un material falla cuando la tensión alcanza un determinado nivel. Diferentes materiales fallan a diferentes niveles de tensión. SimulationXpress utiliza análisis estáticos lineales, basados en el Método de elementos finitos, para calcular la tensión. El análisis estático lineal realiza varias suposiciones para calcular las tensiones de la pieza.

### **c. Método de los elementos finitos (FEM)<sup>25</sup>**

El Método de elementos finitos es una técnica numérica fiable para analizar los diseños de ingeniería. Este método sustituye los problemas complejos por múltiples problemas simples. Divide el modelo en múltiples partes pequeñas de formas sencillas denominadas "elementos".



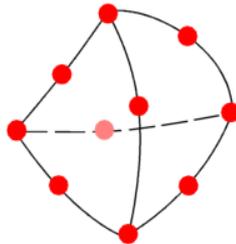
**Figura 1.18: Modelo CAD de un soporte y modelo subdividido en piezas pequeñas (elementos)**

Los elementos comparten puntos comunes denominados "nodos" (figura 1.18). El comportamiento de estos elementos es conocido bajo todas las

---

<sup>25</sup> <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/metodo-elementos-finitos/metodo-elementos-finitos.pdf>

situaciones de soporte y carga posibles. El movimiento de cada nodo se describe por completo mediante conversiones en las direcciones X, Y y Z, denominado grados de libertad (GDL). El análisis que utiliza FEM se denomina Análisis de elementos finitos (FEA).



**Figura 1.19: Elemento tetraédrico**

Un elemento tetraédrico (figura 1.19). Los puntos rojos representan los nodos del elemento. Las aristas de los elementos pueden ser curvadas o rectas.

SimulationXpress formula las ecuaciones que rigen el comportamiento de cada elemento teniendo en cuenta su conectividad con otros elementos. Estas ecuaciones hacen referencia a los desplazamientos de cargas, sujeciones y propiedades del material conocidas.

A continuación, SimulationXpress organiza las ecuaciones en un conjunto mayor de ecuaciones algebraicas simultáneas. El solucionador encuentra los desplazamientos en las direcciones X, Y y Z en cada nodo.

Mediante el uso de los desplazamientos, SimulationXpress calcula las deformaciones unitarias en diferentes direcciones. Finalmente, el programa utiliza expresiones matemáticas para calcular las tensiones.

Existen muchos Paquetes de software para el desarrollo de elementos finitos en estructuras; usualmente, se basa en análisis energético como el principio de los trabajos virtuales.<sup>26</sup>

Comúnmente se usa el FEA para determinar los esfuerzos y desplazamientos en sistemas mecánicos. Es además usado de manera rutinaria en el análisis de muchos otros tipos de problemas, entre ellos: Transferencia de calor, dinámica de fluidos, y electromagnetismo. Con el FEA se pueden manejar sistemas complejos cuyas soluciones analíticas son difícilmente encontradas y determinadas por programas específicos como el COSMOS.

Este método numérico se basa en dividir la geometría en la que se quiere resolver un problema físico, en pequeños elementos en los cuales se resuelven las ecuaciones diferenciales correspondientes a un campo (la temperatura en transmisión del calor, el campo magnético en electromagnetismo, el campo de velocidades en mecánica de fluidos, etc.), en forma discreta, teniendo en cuenta las propiedades físicas de los materiales empleados, los elementos del entorno de vecindad, las condiciones de contorno y las fuentes generadoras de campo. La resolución de estas ecuaciones de forma discreta se realiza de forma iterativa hasta que se alcanza convergencia en la solución.

Las herramientas software que permiten realizar este proceso de forma eficiente y cómoda se denominan herramientas de análisis por elementos finitos, o simplemente herramientas de elementos finitos (HEF).

---

<sup>26</sup> <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/2251/225114976006.pdf>

## **c.2. Mallado de la geometría<sup>23</sup>**

La geometría objeto de estudio se divide en diferentes elementos en los que resuelven las ecuaciones de campo. Las HEF suelen tener herramientas por debajo que mallan de forma automática y permiten que el usuario malle de forma más fina las zonas que más le convenga. Es por ello que el mallado de la geometría es una tarea clave en el proceso de AEF.

Por otro lado, la configuración seleccionada debe ser sometida a un estudio detallado de factibilidad.

## **d. Diseño o detalle**

Ésta es la parte final del proceso en donde se involucra a los planos de manufactura así como el estudio de las tolerancias debidas, para que finalmente se pueda construir y ejecutar, llevando a la vida real la idea inicial, por medio de materiales y procesos productivos.<sup>27</sup>

### **d.1. CAD (Computer Aided Design)**

El diseño asistido por computadora, es el uso de un amplio rango de herramientas computacionales para la creación de entidades geométricas con la que se puede operar a través de una interfaz gráfica. Permite diseñar en dos o tres dimensiones mediante geometría alámbrica, esto es, puntos, líneas, arcos, esplines; superficies y sólidos para obtener un modelo numérico de un objeto o conjunto de ellos. El CAD se puede enlazar a los sistemas de gestión y producción.<sup>28</sup>

---

<sup>27</sup> [www.astroscu.unam.mx/~farah/FEA/.../Tarea%202%20FEAb.doc](http://www.astroscu.unam.mx/~farah/FEA/.../Tarea%202%20FEAb.doc)

<sup>28</sup> <http://www.mitecnologico.com/Main/Dise%F1oAsistidoPorComputadora>

## d.2. CAM (Computer Aided Manufacturing)<sup>29</sup>

La manufactura asistida por computadora implica el uso de computadores y tecnología de cómputo para ayudar en todas las fases de la manufactura de un producto, incluyendo la planeación del proceso y la producción, maquinado, calendarización, administración y control de calidad.

La combinación CAD/CAM permite la transferencia de información dentro de la etapa de diseño a la etapa de planeación para la manufactura de un producto, sin necesidad de volver a capturar en forma manual los datos sobre la geometría de la pieza.

## d.3. CAE (Computer Aided Engineering)<sup>30</sup>

Se denomina así al conjunto de programas informáticos que analizan los diseños de ingeniería realizados con la computadora, para valorar sus características, propiedades, viabilidad y rentabilidad. Su finalidad es optimizar su desarrollo y consecuentes costos de fabricación y reducir al máximo las pruebas para la obtención del producto deseado.

## d.4. Cosmos<sup>31</sup>

Es un programa que utiliza las técnicas del "**Análisis por Elementos Finitos**" (FEA), que corre integrado en SolidWorks y diseñado especialmente para el sistema operativo Microsoft Windows y es desarrollado en la actualidad por **SRAC** (Structural Research and Analysis Corporation) una división de SolidWorks.

---

<sup>29</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Fabricaci%C3%B3n\\_asistida\\_por\\_computadora](http://es.wikipedia.org/wiki/Fabricaci%C3%B3n_asistida_por_computadora)

<sup>30</sup> [www.astroscu.unam.mx/~farah/FEA/.../Tarea2\\_ELem\\_FInit.doc](http://www.astroscu.unam.mx/~farah/FEA/.../Tarea2_ELem_FInit.doc)

<sup>31</sup> <http://cadcam.com.ve/COSMOS/COSMOS.htm>

Cosmos viene integrado en forma modular dentro de la interfaz SolidWorks. Entre los módulos más avanzados para SolidWorks están COSMOSWorks que es un eficaz software de validación y optimización de diseño muy fácil de usar y totalmente integrado en el software de CAD mecánico, COSMOSFloWorks y COSMOSMotion, que simula las colisiones cinemáticas de diversos cuerpos y maneja simulaciones más avanzadas estáticas.

Ésta es una aplicación que permite estudiar las condiciones de funcionamiento de un ensamblaje por la simulación del movimiento de sus partes integrantes.

Combina el movimiento basado en las condiciones físicas con las restricciones geométricas y contiene una gran variedad de herramientas de visualización de resultados: aceleración, vector de fuerza, colisiones, etc.

Es una herramienta adecuada para crear prototipos virtuales y validar el funcionamiento del mecanismo diseñado.

La simulación dinámica, usada en conjunción con el modelado de ensamblajes, introduce la necesidad de unir componentes de distintos materiales y geometrías. Así que, las herramientas para la ingeniería asistida por computador deben tener capacidades comprensivas para utilizar fácilmente fiables conectores en los modelos, los cuales pueden incluir uniones que permiten movimiento relativo entre los componentes, remaches, y soldaduras.

La transferencia de fuerza a través de los componentes de un ensamblaje por conducto de conectores, los hace susceptibles a esfuerzos altos. Es

más sencillo y fácil el idealizar conectores como uniones rígidas en estos sistemas.

Esta idealización provee un estudio básico del comportamiento del ensamble en términos de entender las características del sistema; los ingenieros deben modelar uniendo parámetros como lo son las piezas de enlace en forma precisa para cuando se realice el análisis de esfuerzos puedan determinarse posibles fallas.<sup>32</sup>

Todo lo anterior, nos ilustra sobre la posibilidad del método, que no solo se imita a casos bidimensionales sino que, también permite analizar problemas tridimensionales.

Podemos analizar cualquier pieza de diferente geometría, obteniendo el campo tensión-deformación en su interior, y así luego poder comprobar que la pieza analizada cumple con los requisitos estructurales que se esperaba de la pieza.

En general, en un problema a analizar por el método de los Elementos Finitos, se conoce las fuerzas exteriores aplicadas en algunos de sus nudos y de los valores de los desplazamientos en otros, la clave del método está en que tras su aplicación, se obtiene la expresión  $\{F\}=[K]\{u\}$ .

En la que  $\{F\}$  es un vector columna, conocido con un vector de carga, en el que están todas las fuerzas exteriores que actúan sobre el sólido; en el miembro de la derecha está el vector  $\{u\}$ , denominado vector de desplazamientos nodales, que representa de manera ordenada todos los desplazamientos que experimentan los nudos del modelo, y la matriz  $[K]$ , que se conoce como matriz de rigidez del sistema estructural y, cuya

---

<sup>32</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis\\_de\\_elementos\\_finitos](http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_de_elementos_finitos)

formación constituye el “corazón” de este método como se muestra en la figura 1.20.<sup>33</sup>

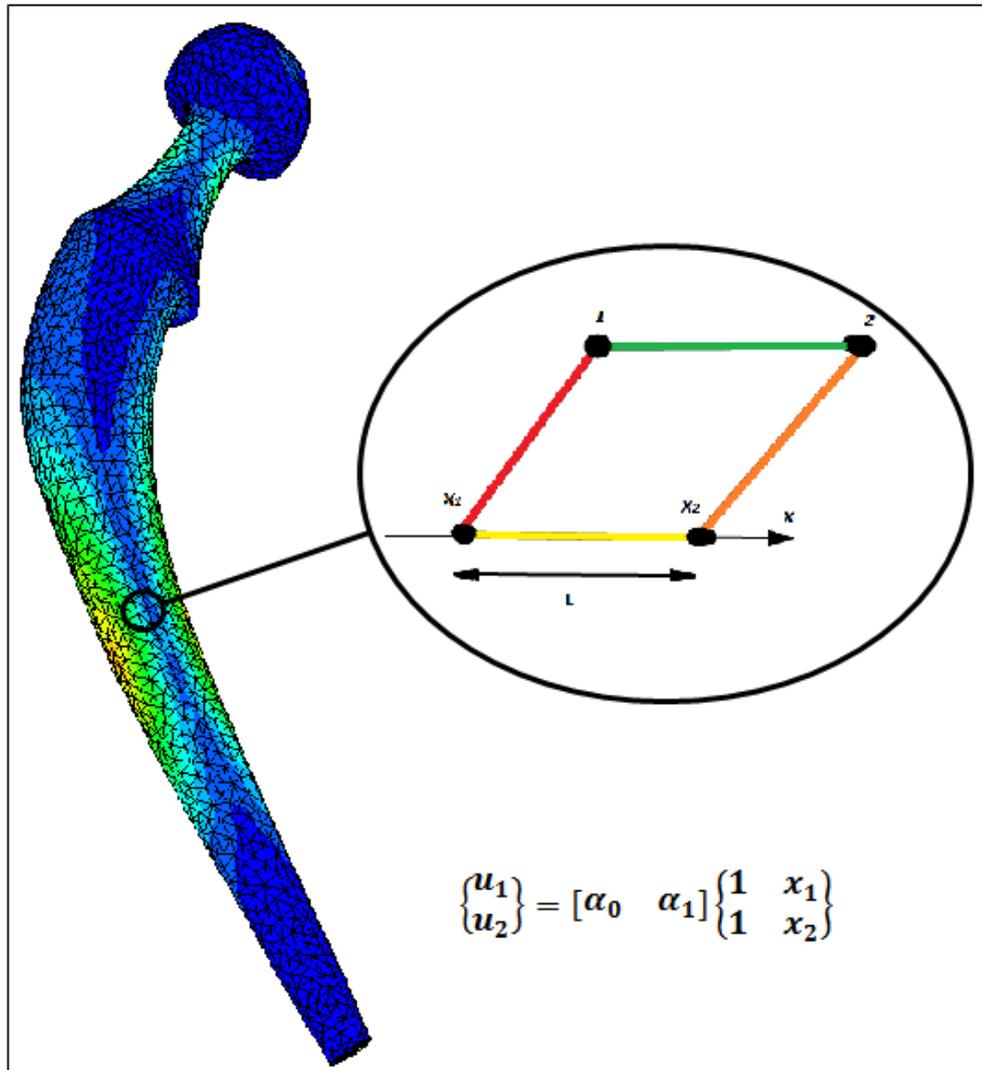


Figura 1.20: Modo de mallado para el FEA

<sup>33</sup> [http://ocw.uc3m.es/mecanica-de-medios-continuos-y-teoria-de-estructuras/ingenieria-estructural/material-de-clase-1/apuntes/Capitulo\\_9.-Introduccion\\_al\\_metodo\\_de\\_los\\_elementos\\_finitos.pdf](http://ocw.uc3m.es/mecanica-de-medios-continuos-y-teoria-de-estructuras/ingenieria-estructural/material-de-clase-1/apuntes/Capitulo_9.-Introduccion_al_metodo_de_los_elementos_finitos.pdf)

## 1.3. ELEMENTOS MECÁNICOS

### 1.3.1. GEOMETRÍA DEL MOVIMIENTO

Cuando se analiza un mecanismo, siempre se toma en cuenta un eslabón, que sería nuestro eslabón de referencia, éste método lo llamamos cadena cinemática.<sup>34</sup>

Pero si tomamos diferentes eslabones como referencias esto nos genera un cambio en los movimientos absolutos del mecanismo, este proceso de elegir diferentes eslabones de referencia lo llamamos como inversión cinemática.<sup>34</sup>

Si tenemos una cadena cinemática, y se escoge diferentes eslabones de referencia sucesivamente, se tiene  $n$  inversiones cinemáticas esto quiere decir que obtendremos  $n$  mecanismos distintos al que teníamos anteriormente.

### 1.3.2. Ventaja mecánica

La ventaja mecánica de un eslabonamiento es la razón del momento de torsión de salida ejercida por el eslabón que está impulsado, al momento de torsión de entrada que se necesita.

La ventaja mecánica del eslabonamiento de cuatro barras es directamente proporcional al seno del ángulo  $\alpha$  y comprendido entre el acoplador y el seguidor, e inversamente proporcional al seno del ángulo  $\beta$  formado por el acoplador y el impulsor.<sup>34</sup>

---

<sup>34</sup> [http://demaquinas.blogspot.com/2008/08/geometria-del-movimiento\\_29.html](http://demaquinas.blogspot.com/2008/08/geometria-del-movimiento_29.html)

El ángulo, entre el acoplador y el seguidor se llama ángulo de transmisión, a medida que este ángulo se decrece paulatinamente la ventaja mecánica se reducirá y entonces una leve cantidad de fricción hará que se trabee el mecanismo.

**a. Mecanismos de línea recta<sup>34</sup>**

El desarrollo del mecanismo de línea recta se obtuvo gracias a que no era fácil fabricar pares prismáticos los cuales no tuvieran demasiado juego entre dientes por ende se reflexionó sobre como tener un movimiento de línea recta como parte de la curva del acoplador de un eslabonamiento que solo contara con conexiones de revoluta.

**b. Mecanismo de retorno rápido<sup>34</sup>**

Estos mecanismos se usan gracias a que la gran variedad de nuestras industrias utilizan grandes producciones de un mismo ejemplar.

En esas acciones repetitivas existen lo que comúnmente llamamos ciclo en el que el mecanismo se somete a una carga llamada carrera de avance o de trabajo una parte de este ciclo se llama carrera de retorno mientras ocurre este retorno, no se efectúa ningún trabajo sino que busca el inicio de su ciclo.

En estas situaciones requerimos que la potencia del motor esté en su mínimo y evitar pérdida de tiempo, esto genera que debemos diseñar un mecanismo en el cual el cilindro se mueva con mayor rapidez durante el retorno en el ciclo de trabajo.

### 1.3.3. POSICIÓN Y DESPLAZAMIENTO

#### a. Movimiento curvilíneo<sup>35</sup>

Supongamos que el movimiento curvilíneo tiene lugar en el plano XY, situamos un origen, y unos ejes, y representamos la trayectoria del móvil, es decir, el conjunto de puntos por los que pasa el móvil.

Como la posición del móvil cambia con el tiempo. En el instante  $t$  el móvil se encuentra en el punto  $P$ , o en otras palabras, su vector posición es  $\mathbf{r}$  y en el instante  $t'$  se encuentra en el punto  $P'$ , su posición viene dada por el vector  $\mathbf{r}'$ .

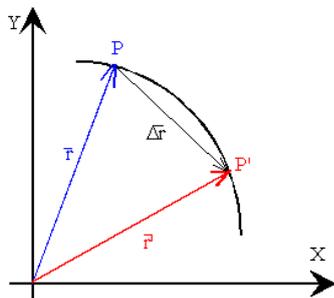


Figura 1.21: Vector desplazamiento

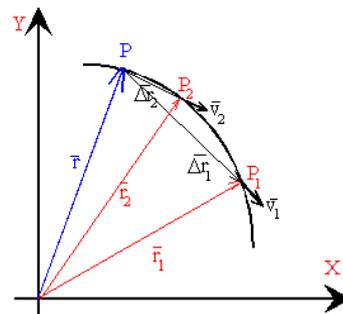


Figura 1.22: Vector velocidad

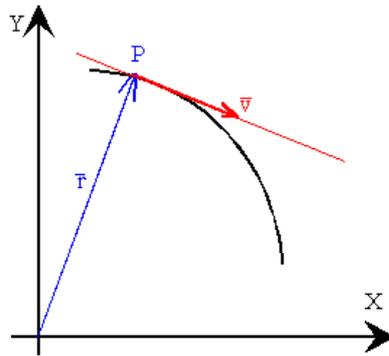
Diremos que el móvil se ha desplazado  $\Delta\mathbf{r}=\mathbf{r}'-\mathbf{r}$  en el intervalo de tiempo  $\Delta t=t'-t$ . Dicho vector tiene la dirección de la secante que une los puntos  $P$  y  $P'$  como se indica en la figura 1.21.

#### b. Vector velocidad<sup>35</sup>

El vector velocidad media, se define como el cociente entre el vector desplazamiento  $\Delta\mathbf{r}$  entre el tiempo que ha empleado en desplazarse  $\Delta t$ .

<sup>35</sup> <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cinematica/curvilíneo/curvilíneo.htm>

El vector velocidad media tiene la misma dirección que el vector desplazamiento, la secante que une los puntos P y P' (figura 1.22), la ecuación 1.3 es el modelo que debe cumplir el vector velocidad.



**Figura. 1.23: Vector velocidad media**

$$\langle V \rangle = \frac{r' - r}{t' - t} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad (\text{Ec. 1.3})$$

El vector velocidad en un instante, es el límite del vector velocidad media cuando el intervalo de tiempo tiende a cero, como se muestra en la ecuación 1.4 y en la figura 1.23.

$$V = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} \quad (\text{Ec. 1.4})$$

La figura 1.21 muestra que a medida que hacemos tender el intervalo de tiempo a cero, la dirección del vector velocidad media, la recta secante que une sucesivamente los puntos P, con los puntos P1, P2, tiende hacia la tangente a la trayectoria en el punto P.

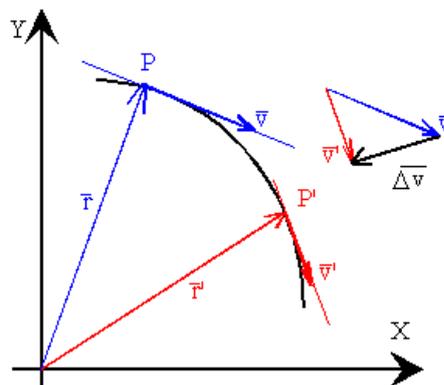
En el instante t, el móvil se encuentra en P y tiene una velocidad  $\mathbf{v}$  cuya dirección es tangente a la trayectoria en dicho punto.

**c. Vector aceleración<sup>35</sup>**

En el instante  $t$  el móvil se encuentra en  $P$  y tiene una velocidad  $\mathbf{v}$  cuya dirección es tangente a la trayectoria en dicho punto.

En el instante  $t'$  el móvil se encuentra en el punto  $P'$  y tiene una velocidad  $\mathbf{v}'$ .

El móvil cambia, en general, su velocidad tanto en módulo como en dirección, en la cantidad dada por el vector diferencia  $\Delta\mathbf{v}=\mathbf{v}'-\mathbf{v}$  (figura 1.24).



**Figura 1.24: Vector aceleración**

Se define la aceleración media como el cociente entre el vector cambio de velocidad y el intervalo de tiempo  $\Delta t=t'-t$ , en el que tiene lugar dicho cambio indicado en la ecuación 1.5.

$$\langle a \rangle = \frac{V' - V}{t' - t} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (\text{Ec. 1.5})$$

Y la aceleración **a** en un instante está definida por la ecuación 1.6:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{dV}{dt} \quad (\text{Ec. 1.6})$$

#### **d. Movimiento circular<sup>36</sup>**

Se define movimiento circular como aquel cuya trayectoria es una circunferencia, una vez situado el origen O de ángulos se describe el movimiento circular mediante las siguientes magnitudes:

##### **d.1. Posición angular**

En el instante t el móvil se encuentra en el punto P. Su posición angular viene dada por el ángulo alfa, que hace el punto P, el centro de la circunferencia C y el Origen de ángulos O.

En el instante t' el móvil se encuentra en la posición P', dada por el ángulo (teta). El móvil se habrá desplazado  $\Delta\theta = \theta'$  en el intervalo de tiempo  $\Delta t = t' - t$  comprendido entre: t' y t.

##### **d.2. Velocidad angular, ( $\omega$ )**

Se denomina al cociente entre el desplazamiento y el tiempo (ecuación 1.7).

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (\text{Ec. 1.7})$$

---

<sup>36</sup> <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cinematica/circular/circular.htm>

Como se explicó anteriormente, la velocidad angular en un instante dado, se obtiene calculando la velocidad angular media en un intervalo de tiempo que tiende a cero como se determina en la ecuación 1.8.

$$w = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \Theta}{\Delta t} = \frac{d\Theta}{dt} \quad (\text{Ec. 1.8})$$

### **d.3. Aceleración angular, alfa ( $\alpha$ )**

Se denomina velocidad angular media al cociente entre el desplazamiento y el tiempo (ecuación 1.9).

$$\alpha = \frac{\Delta w}{\Delta t} \quad (\text{Ec. 1.9})$$

La aceleración angular en un instante, se obtiene calculando la aceleración angular media en un intervalo de tiempo que tiende a cero (ecuación 1.10):

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta w}{\Delta t} = \frac{dw}{dt} \quad (\text{Ec. 1.10})$$

Dando como resultado una aceleración en tiempo  $t$ , definido como  $\Delta t$ .

## **1.3.4. FUERZAS ESTÁTICAS**

### **a. Fuerzas estructurales**

Cuando hablamos de fuerzas estructurales, nos referimos al esfuerzo que debe soportar la estructura de una máquina. En una estructura predeterminada, se analizan muchos esfuerzos, pero los esfuerzos

estructurales que más se consideran son los esfuerzos de compresión, y el esfuerzo de flexión de los materiales.

El esfuerzo de compresión se calcula con la ecuación 1.11:<sup>11</sup>

$$e = \frac{F}{A} \quad (Ec. 1.11)$$

Dónde:

$e$  = Esfuerzo (Ej. Newton sobre metro cuadrado, Kilogramo fuerza sobre milímetro cuadrado, etc.).

$F$  = Fuerza (Ej. Newtons o Kilogramo Fuerza. 1 Newton = 1 Kilogramo por metro sobre segundo al cuadrado, y 1 Kilogramo Fuerza = 9.81 Newtons).

$A$  = Área (Ej. metro cuadrado, pie cuadrado, centímetro cuadrado, etc.).

El cálculo de los esfuerzos de compresión, se utilizará para los casos en que la fuerza se aplica sobre el eje de la estructura.

Por otra parte, el esfuerzo de flexión máxima es el esfuerzo que se aplica sobre alguna de las caras laterales de una viga. Este esfuerzo se calcula con diferentes fórmulas según diferentes casos. Pero antes de analizar cada caso, es importante mencionar el concepto de momento de inercia.

El momento de inercia es una propiedad geométrica de un área con respecto a un eje de referencia. Aquí se muestra la ecuación 1.12 que es la que se utiliza para el cálculo respectivo.<sup>11</sup>

$$M_{max} = W_y \cdot d = W \cos 60^\circ \cdot d \quad (Ec 1.12)$$

Donde:

$W$  = peso

$W_{sop\&poi}$  = peso del soporte de elevación

$d$  = distancia hasta el punto medio de la trayectoria

Como se necesita perfiles, se realiza un análisis de esfuerzo simplificado del sistema, tomando en cuenta solo la flexión ( $\sigma_{flex}$ ) en el punto más crítico, este análisis se lo realiza con la ecuación 1.13.<sup>11</sup>

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{max} \cdot FS}{Z} \leq S_y \quad (Ec. 1.13)$$

Donde:

$FS$  = factor de seguridad (se asume un valor mayor al recomendado para tomar en cuenta la compresión).

$S_y$  = límite de fluencia del acero.

$Z$  = módulo de la sección del canal.

## **b. Indeterminación estática y cinemática**

### **b.1. Indeterminación estática (Grados de indeterminación o número de redundantes)**

Se refiere al número de acciones (fuerza axial, cortante o momento), externos y/o internos que deben liberarse a fin de transformar la estructura original en una estructura estable y determinada.<sup>37</sup>

---

<sup>37</sup> <http://html.rincondelvago.com/fuerzas-estructurales.html>

Para determinar el diámetro de la viga 1.14.<sup>11</sup>

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{max} \cdot FS}{\pi D^3 / 32} \leq S_y \quad (Ec. 1.14)$$

Donde:

$FS$  = factor de seguridad recomendado.

$S_y$  = límite de fluencia del acero.

De la misma manera la ecuación que se utiliza para determinar la potencia del motorreductor se explica en el modelo matemático 1.15.<sup>11</sup>

$$Pot = \frac{F \cdot \vec{V}}{\eta} \quad (Ec. 1.15)$$

Donde:

$F$  = fuerza requerida.

$\vec{V}$  = velocidad instantánea.

$\eta$  = rendimiento del motor.

Velocidad angular a la salida del motorreductor, ecuación 1.16.<sup>11</sup>

$$\omega_{reductor} = \frac{\vec{V}_{cable}}{r_{tambor}} = \frac{2 \cdot \vec{V}}{\Phi_{tambor}/2} \quad (Ec. 1.16)$$

Donde:

$\vec{V}_{cable}$  = Velocidad del cable o 2 velocidades instantáneas.

$r_{tambor}$  = Radio del tambor o carrete.

La relación de transmisión requerida en el reductor de velocidad está dada por la ecuación 1.17:<sup>11</sup>

$$rel. trans. = \frac{\omega_{motor}}{\omega_{reductor}} \quad (Ec. 1.17)$$

Donde:

$\omega_{motor}$  = Velocidad angular del motor.

$\omega_{reductor}$  = Velocidad angular del motor.

La presión que actúa sobre un elemento que contiene un fluido, está dada por la ecuación 1.18.<sup>11</sup>

$$P = \rho_{hrm} \cdot g \cdot h \quad (Ec. 1.18)$$

Donde:

$\rho$  = densidad de la mezcla de hormigón.

$g$  = aceleración de la gravedad.

$h$  = volumen real de llenado del cangilón.

La magnitud total de la fuerza centrífuga  $F_C$  provocada por las excéntricas y la velocidad angular de del motor viene dada por la ecuación 1.19.<sup>11</sup>

$$F_C = m \cdot a_n = m_{exc} \cdot r \cdot \omega^2 \quad (Ec. 1.19)$$

Donde:

$m_{exc}$  = masa excéntrica.

$r$  = distancia del eje de rotación al centro de masa.

$\omega$  = velocidad angular del motor.

Fuerza de compactación  $F_{comp}$  viene dada por la ecuación 1.20.<sup>11</sup>

$$F_{comp} = P_{comp} \cdot A_{comp} \quad (Ec. 1.20)$$

Donde:

$P_{comp}$  = Presión de compactación.

$A_{comp}$  = Área a compactarse.

## b.2. Métodos de análisis

### b.2.1. Método de las fuerzas o flexibilidades (grado de indeterminación estática)

En este método se modifica la estructura original hasta convertirla en una estructura estática determinada y estable.

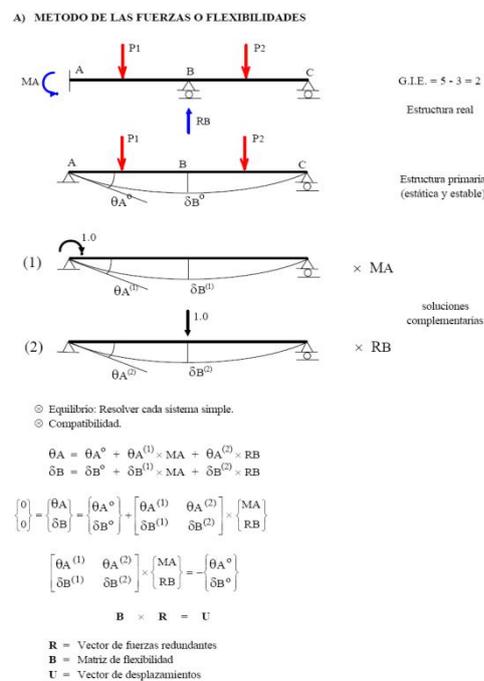


Figura 1.25: Métodos de fuerzas o flexibilidad

Se obtienen soluciones complementarias que permiten restablecer la continuidad del sistema y debe resolverse un sistema de ecuaciones igual al número de fuerzas redundantes (figura 1.25). En este método se aplica la condición de equilibrio y luego, la condición de compatibilidad.<sup>37</sup>

### b.2.2. Método de las rigideces o desplazamientos (grado de indeterminación cinemática)

En este método se obtiene, primero, una estructura modificada, bloqueando los desplazamientos de todos los nudos que son fáciles de analizar.<sup>37</sup>

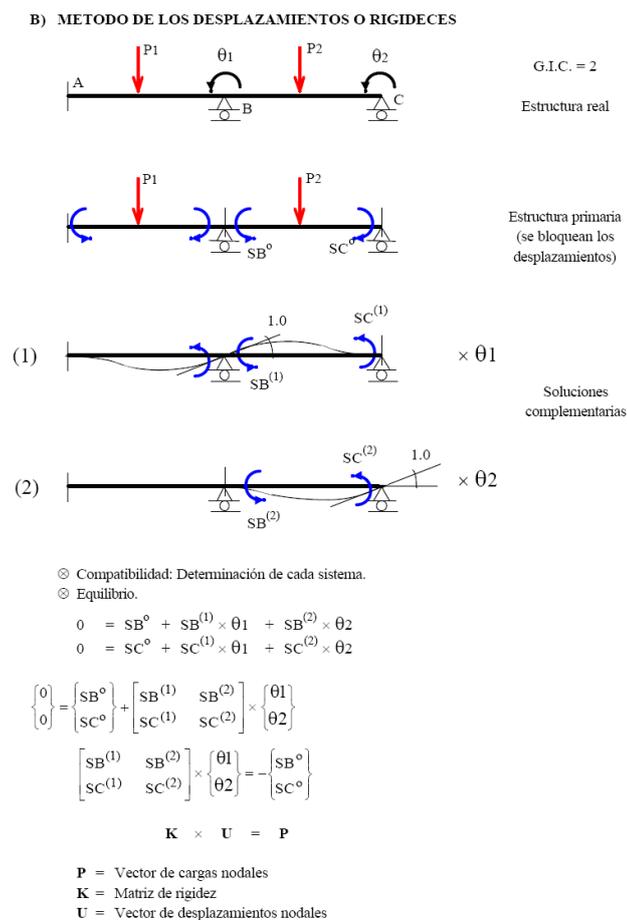


Figura 1.26: Método de desplazamiento o rigidez

Se superponen otras soluciones complementarias para determinar los verdaderos desplazamientos que ocurren en los nudos. El número de ecuaciones a resolver es igual al número del grado de indeterminación cinemática (figura 1.26). Primero se aplica el principio de compatibilidad y luego el de equilibrio.<sup>37</sup>

### 1.3.5. FUERZAS DINÁMICAS

A través de los conceptos de desplazamiento, velocidad y aceleración es posible describir los movimientos de un cuerpo u objeto sin considerar cómo han sido producidos. Por el contrario, la dinámica es la parte de la mecánica que se ocupa del estudio del movimiento de los cuerpos sometidos a la acción de las fuerzas.<sup>38</sup>

El cálculo dinámico se basa en el planteamiento de ecuaciones del movimiento y su integración. Para problemas extremadamente sencillos se usan las ecuaciones de la mecánica newtoniana directamente auxiliados de las leyes de conservación.

La ecuación esencial de la dinámica es la segunda ley de Newton (o ley de Newton-Euler)  $F=m*a$  donde  $F$  es la resultante de las fuerzas aplicadas, el  $m$  la masa y la  $a$  la aceleración.<sup>39</sup>

#### a. Dinámica de sistemas mecánicos<sup>38</sup>

En física existen dos tipos importantes de sistemas físicos los sistemas finitos de partículas y los campos. La evolución en el tiempo de los primeros pueden ser descritos por un conjunto finito de ecuaciones diferenciales ordinarias, razón por la cual se dice que tienen un número

---

<sup>38</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Din%C3%A1mica>

<sup>39</sup> Resistencia de materiales de MOTT.

finito de grados de libertad. En cambio la evolución en el tiempo de los campos requiere un conjunto de ecuaciones complejas.

La mayoría de sistemas mecánicos son del primer tipo, aunque también existen sistemas de tipo mecánico que son descritos de modo más sencillo como sucede con los fluidos o los sólidos deformables. También sucede que algunos sistemas mecánicos formados idealmente por un número infinito de puntos materiales, como los sólidos rígidos pueden ser descritos mediante un número finito de grados de libertad.

#### **b. Dinámica de la partícula**

La dinámica del punto material es una parte de la mecánica newtoniana en la que los sistemas se analizan como sistemas de partículas puntuales y que se ejercen fuerzas a distancia instantáneas.<sup>40</sup>

#### **c. Dinámica del sólido rígido<sup>41</sup>**

La mecánica de un sólido rígido es aquella que estudia el movimiento y equilibrio de sólidos materiales ignorando sus deformaciones.<sup>42</sup>

Se trata, por tanto, de un modelo matemático útil para estudiar una parte de la mecánica de sólidos, ya que todos los sólidos reales son deformables.

Se entiende por sólido rígido un conjunto de puntos del espacio que se mueven de tal manera que no se alteran las distancias entre ellos, sea cual sea la fuerza.

---

<sup>40</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Din%C3%A1mica\\_del\\_punto\\_material](http://es.wikipedia.org/wiki/Din%C3%A1mica_del_punto_material)

<sup>41</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A1nica\\_del\\_s%C3%B3lido\\_r%C3%ADgido](http://es.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A1nica_del_s%C3%B3lido_r%C3%ADgido)

<sup>42</sup> Resistencia de materiales de MOTT página 314 en adelante.

## **d. Conceptos relacionados con la dinámica**

### **d.1. Inercia**

La inercia es la dificultad o resistencia que opone un sistema físico o un sistema social a posibles cambios. En física se dice que un sistema tiene más inercia cuando resulta más difícil lograr un cambio en el estado físico del mismo. Los dos usos más frecuentes en física son la inercia mecánica y la inercia térmica.<sup>43</sup>

### **d.2. La masa inercial**

Es una medida de la resistencia de una masa al cambio de velocidad en relación con un sistema de referencia inercial. En física clásica la masa inercial de partículas puntuales se define por medio de la siguiente ecuación, donde la partícula uno se toma como la unidad ( $m_1 = 1$ ): donde  $m_i$  es la masa inercial de la partícula  $i$ , y  $a_{i1}$  es la aceleración inicial de la partícula  $i$ , en la dirección de la partícula  $i$  hacia la partícula 1, en un volumen ocupado sólo por partículas  $i$  y 1, donde ambas partículas están inicialmente en reposo y a una distancia unidad. No hay fuerzas externas pero las partículas ejercen fuerza unas en otras.<sup>44</sup>

### **d.3. Trabajo y energía<sup>38</sup>**

El trabajo y la energía aparecen en la mecánica gracias a los teoremas energéticos. El principal, y de donde se derivan los demás teoremas, es el teorema de la energía. Este teorema se puede enunciar en versión diferencial o en versión integral. En adelante se hará referencia al Teorema de la energía cinética como TEC.

---

<sup>43</sup> <http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20081213131557AAFBw5q>

<sup>44</sup> <http://e-ciencia.com/recursos/enciclopedia/Din%C3%A1mica>

Gracias al TEC se puede establecer una relación entre la mecánica y las demás ciencias como, por ejemplo, la química y la electrotecnia, de dónde deriva su vital importancia.

### **1.3.6. DISEÑO PARA DISTINTOS TIPOS DE CARGA**

La viga es un elemento fundamental en la construcción, sea ésta de la índole que fuera. Será el tipo, calidad y fin de la construcción lo que determinará medidas, materiales de la viga, y sobre todo, su capacidad de sostener y contener pesos y tensiones.

Una viga está pensada para soportar no sólo presión y peso, sino también flexión y tensión, según cuál finalidad predomine será el concepto de viga para ingeniería o arquitectura, que predomine.

En principio, es importante definir que en la teoría de vigas se contempla aquello que es denominado 'resistencia de los materiales'. Así, es posible calcular la resistencia del material con que está hecha la viga, y además analizar la tensión de una viga, sus desplazamientos y el esfuerzo que puede soportar.<sup>45</sup>

El acero es un material isotrópico, y las vigas de acero tienen, por ejemplo, respecto del hormigón una mayor resistencia, pero menor peso, y puede resistir tanto tracciones como compresiones. El hormigón como material de llenado y conformación de vigas, se utiliza con el acero y casi paralelamente a la implementación del hierro como material de elaboración de las vigas. El uso de vigas de diferente calibre para el sostén de los túneles cavados en la tierra es sin dudar uno de los fines más identificados a las vigas.

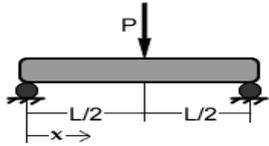
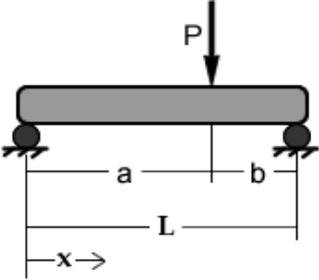
---

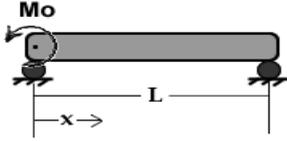
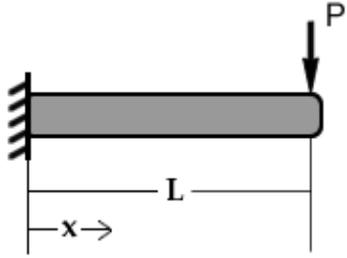
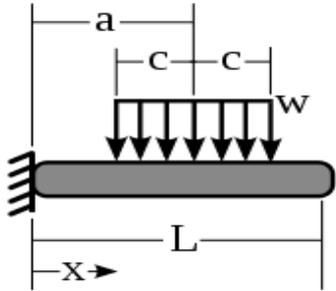
<sup>45</sup> <http://keithclaudiaperez.blogspot.com/>

La viga es una estructura horizontal que puede sostener carga entre dos apoyos sin crear empuje lateral en éstos. El uso más imponente de una viga, tal vez sea el que aplica a la estructura de puentes o máquinas. Su diseño de ingeniería descansa justamente sobre vigas de calidades y tamaños acordes al tipo y uso del que se desea construir. Esta estructura desarrolla compresión en la parte de arriba y tensión en la de abajo.

Aquí se muestran las fórmulas que se aplican para calcular pendientes y deformaciones en vigas en la tabla 1.10, o sea la flecha máxima y el giro en el apoyo para algunos casos particulares de la curva elástica que se produce en vigas sometidas a cargas.<sup>11</sup>

**Tabla 1.10: Ecuaciones para calcular deformaciones**

Tipos de carga	Deformación	Curva Elástica
<p>Viga con carga concentrada P a media longitud.</p> 	$y_{max} = \frac{-PL^3}{48EI}$ $x = \frac{L}{2}$	$y = -\frac{Px}{16EI} \left(1 - \frac{4x^2}{3L^2}\right)$ $x < \frac{L}{2}$
<p>Viga con carga concentrada en cualquier longitud.</p> 	$y_{max} = -\frac{Pb}{9EI\sqrt{3L}} (L^2 - b^2)^{\frac{3}{2}}$ $para_x = \sqrt{\frac{L^2 - b^2}{3}}$ $y_{max} = \frac{-5wL^4}{384EI}$	$y = -\frac{PLbx}{6EI} \left(1 - \frac{b^2 - x^2}{L^2}\right)$ $: x < a$ $y = \frac{-wx}{24EI} (x^3 - 2x^2 + L^3)$

<p>Viga con momento aplicado al inicio.</p> 	$y_{max} = \frac{M_o L^2}{9\sqrt{3}EI}$ <p>para X</p> $= L \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}}\right)$	$y = -\frac{-M_o L}{6EI} (L - x) * \left(1 - \frac{(L - x)^2}{L^2}\right)$
<p>Ménsula con carga concentrada al extremo.</p> 	$y_{max} = \frac{-PL^3}{3EI}$	$y = -\frac{-Px^3}{6EI} (3L - x)$
<p>Ménsula con carga sobre parte de su longitud.</p> 	$y_{max} = \frac{-wca^2}{3EI} \left( L \left( 3 + \frac{c^2}{a^2} \right) - a \left( 1 + \frac{c^2}{a^2} \right) \right)$	

### 1.3.7. ARMAZONES O BASTIDORES DE MÁQUINAS, CONEXIONES Y ENSAMBLAJES SOLDADOS

#### a. Soldadura

SMAW, SAW, GMAW y FCAW; Todos estos procesos de soldadura están aceptados como procesos precalificados y pueden ser utilizados sin que

se realice pruebas después de haber realizado una soldadura, siempre y cuando el método que se use para soldar sea WPS.

En WPS solo pueden usarse metales base y materiales de aporte que se encuentren en la lista, los que no se encuentran en la lista pueden verse en otras tablas y pueden calificarse siguiendo los procedimientos establecidos, para que estos formen parte de los metales base y materiales de aporte que se pueden usar con WPSs.

Existen 3 formatos principales con el lenguaje utilizado por los técnicos e ingenieros dedicados a la soldadura, estos son: El WPS, el PQR y el WPQ. En estas hojas especiales se detallan con el menor número de palabras todos los datos, parámetros, procesos, variables, etc., que sean necesarios para comprender la soldadura que se quiere realizar y las pruebas necesarias para aprobar o rechazar esta soldadura.<sup>46</sup>

Uno de los formatos más importantes y más utilizados es el WPS y se detalla a continuación:

#### **a.1. Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS)**

El WPS (Welding Procedure Specification) es un formato en el que se detallan todas las variables necesarias y suficientes para realizar una soldadura. Los datos contenidos en el WPS, deben permitirle al soldador ajustar todos los parámetros de soldadura sin dejar nada a la libre interpretación

Para que un WPS sea considerado aceptable, éste debe ser calificado. La calificación consiste en ciertas pruebas que se realizan a la junta soldada

---

<sup>46</sup> Soldadura aplicaciones y práctica - HORWITS

y que se detallan en la norma que se esté utilizando. Los resultados de todas las pruebas exigidas se colocan en otro formato llamado PQR.

Para facilitar su comprensión, se debe tener las siguientes consideraciones al realizar un WPS:<sup>46</sup>

- Los datos afines se agrupan por celdas; por ejemplo al referirse al metal de aporte se debe aclarar la marca, la denominación comercial, la denominación AWS, el diámetro, solo del material de aporte.
- El WPS debe numerarse y se debe mantener una concordancia en la numeración de todos los WPS's que se realicen dentro de un mismo proyecto.
- Todos los valores medibles deben ser tolerados, es decir deben estar dentro de un rango.
- Se debe mantener concordancia con las unidades de medida utilizadas. Se recomienda utilizar los milímetros para longitudes y los ángulos decimales para las medidas angulares.
- El formato de WPS se debe adaptar al proceso de soldadura utilizado, y no el proceso al formato. No hay que olvidar que cada proceso tiene variables diferentes y que éstas deben estar claramente definidas dentro del WPS.
- Si se cambia alguna de las variables principales en el WPS, el mismo debe reescribirse y recalificarse.

- El esquema es la mejor manera de detallar la junta. Éste debe ser claro y representado en corte de la sección de soldadura, no en tres dimensiones.
- Siempre debe existir un cuadro de notas, mismas que deben ser cortas y aclaratorias de aspectos no tratados en el WPS.

La figura 1.27 muestra la presentación del formato WPS como ejemplo.

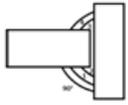
Especificación de los Procedimientos de Soldadura (WPS)							
Nombre Compañía:		ESPE		Número de identificación:		RP 001	
WPS Precalificado:		si: X no:		Fecha:		20/08/2010	
Según norma:		AWS D1.1-96		Realizado por:		Polo Fernández Germánico Sinchiguano	
				Revizado por:		Ing. René Porras Fecha: 25/08/10	
<b>Junta Utilizada</b>				<b>Técnica de soldadura</b>			
Soldadura a:		Un lado: Dos lados: X		Proceso de soldadura: <u>SMAW</u>			
Respaldo:		si: no: X		Tipo de soldadura:			
Material Respaldo				Manual: X Automática:			
Preparar junta:		si: X no:		Presición de soldadura:			
Método:		<u>Oxicorte</u>		Tope 3G			
Bisel:		Tipo "Escuadra" 0°		Técnica:			
Abertura raíz:		2mm (+1,-0mm)		Un pase: Varios pases: X			
<b>Metal Base</b>				<b>Notas:</b>			
Epecificación:		<u>ASTM A36</u>		Limpieza:			
Espesor:		<u>5 mm</u>		Pase raíz: <u>Amolada</u>			
<b>Metal de Aporte</b>				Pases siguientes: <u>Cepillo Metálico</u>			
Marca electrodo:		<u>AGA</u>		Junta Precalificada: Tipo "T"			
Dimension comercial:		7018					
Dimension AWS:		<u>E-7018</u>					
Diámetro:		<u>3.2 mm</u>					
<b>Pre calentamiento</b>							
Temp. de Pre calentamiento:		NO					
Temp. Entre pases:		N/A					
		min: max:					
No. De pase	Metal de soporte		Corriente		Tension (V)	V de alcance	Detalle de Junta
	Clase	Diam. (mm)	Tipo/Polari.	Amp.			
1	E 7018	3.2	DC+	105-140	22 a 28	0.05-0.1	
2 - 5,	E 7018	3.2	DC+	105-140	22 a 28	0.05-0.1	

Figura 1.27: Ejemplo de formato WPS

## 1.4. AUTOMATIZACIÓN

La automatización de un proceso industrial (máquina, conjunto o equipo industrial) consiste en la incorporación al mismo, de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos que aseguren su control y buen comportamiento.

### 1.4.1. NEUMÁTICA

Los sistemas de aire comprimido proporcionan un movimiento controlado con el empleo de cilindros y motores neumáticos y se aplican en herramientas, válvulas de control y posicionadores, martillos neumáticos, pistolas para pintar, motores neumáticos, sistemas de empaquetado, elevadores, herramientas de impacto, prensas neumáticas, robots industriales, vibradores, frenos neumáticos, etc.<sup>47</sup>

El caudal en un cilindro neumático viene dado por la ecuación 1.21.<sup>48</sup>

$$Q = v * A \quad (Ec. 1.21)$$

Donde:

$Q$  = Caudal (m<sup>3</sup>/s).

$v$  = Velocidad (m/s).

$A$  = Área del cilindro (m<sup>2</sup>).

---

<sup>47</sup> <http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/5038/1/im%20143.pdf>

<sup>48</sup> Aire Comprimido - CARNICER

El consumo que de aire comprimido en cilindros de doble efecto viene dado por la ecuación 1.22:<sup>48</sup>

$$C = 2(s * n * q) \quad (\text{Ec. 1.22})$$

Donde:

$C$  = Consumo de aire total en N litros/minuto.

$q$  = Consumo de aire por centímetro.

$s$  = Carrera en centímetros.

$n$  = número de carreras por minuto.

Las ventajas que presenta el uso de la neumática son el bajo costo de sus componentes, su facilidad de diseño e implementación y el bajo par o la fuerza escasa que puede desarrollar a las bajas presiones con que trabaja (típico 8 bar) lo que constituye un factor de seguridad. Otras características favorables son el riesgo nulo de explosión, su conversión fácil al movimiento giratorio así como al lineal, la posibilidad de transmitir energía a grandes distancias, una construcción y mantenimiento fáciles y la economía en las aplicaciones. A continuación se detalla los elementos neumáticos que conforman la máquina.<sup>49</sup>

#### **a. Tubo o manguera**

Las mangueras son productos que satisfacen la normativa DIN 73378 (figura 1.28), con una óptima estabilidad dimensional a temperaturas (-20 °C a +60 °C) y una gran resistencia al envejecimiento del tubo, puede ser de Poliamida PA 12 que es un producto sin migraciones plásticas.<sup>50</sup>

---

<sup>49</sup> [http://www.marcombo.com/Descargas/9788426714206-Neum%C3%A1tica\\_e\\_hidr](http://www.marcombo.com/Descargas/9788426714206-Neum%C3%A1tica_e_hidr)

<sup>50</sup> <http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/Mangueras/mangueras.htm>



**Figura 1.28: Manguera poliamida**

**b. Racores**

Los racores representan el elemento de conjunción tubo-actuador por excelencia. Prácticos y veloces (figura 1.29) los racores se pueden reutilizar miles de veces sin comprometer la perfecta retención neumática y mecánica. Disponible en diversas configuraciones, asegura una flexibilidad de empleo prácticamente ilimitada; el muelle de sujeción sujeta a la manguera sin dañarla ni deformarla, permitiendo así una mayor simplicidad en la operación de conectar y desconectar el racor de la manguera.<sup>51</sup>



**Figura 1.29: Racores**

---

<sup>51</sup> Manual FESTO PNEUMATIC, página 4.2/50-3

### c. Manómetros de presión

Manómetro con muelle tubular en varios diámetros y diferentes escalas de medición (figura 1.30). Este tipo de manómetro construido según EN837-1 y provisto del sistema de muelle tubular tipo Bourdon, ofrece una precisa medición.<sup>52</sup>



**Figura 1.30: Manómetros de presión**

### d. Filtro regulador

Este filtro se utiliza necesariamente cuando existen cilindros neumáticos y son de extrema fiabilidad.<sup>53</sup>

Permiten una estabilidad de la presión fijada, al variar la presión superior, Es posible fijar a la pared mediante agujeros laterales en el cuerpo, consta de un vaso metálico con visor externo (figura 1.31), y tiene una purga de la condensación de tipo manual-semiautomático.<sup>54</sup>

<sup>52</sup> <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/metros/manometros-de-presion.htm>

<sup>53</sup> Manual FESTO PNEUMATIC, página 3.8/20-1

<sup>54</sup> <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica6.htm>



**Figura 1.31: Filtro regulador NewDeal**

**e. Válvulas antirretorno**

Son válvulas utilizadas en las líneas de suministro del compresor; deben estar diseñadas para resistir la presión (figura 1.32), temperatura e impulsos del aire comprimido. Las válvulas de antirretorno abren el paso en una dirección y bloquean el paso en la dirección contraria. El elemento de cierre se separa de su asiento si la presión ejerce una fuerza mayor que la fuerza que le opone el muelle.<sup>55</sup>



**Figura 1.32: Válvulas antirretorno**

<sup>55</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lvula\\_antirretorno](http://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lvula_antirretorno)

## f. Electroválvulas

Los mandos neumáticos están constituidos por elementos de señalización, elementos de mando y un aporte de trabajo. Los elementos de señalización y mando modulan las fases de trabajo de los elementos de trabajo y se denominan válvulas o electroválvulas (figura 1.33). Los sistemas neumáticos e hidráulicos están constituidos por.<sup>56</sup>

- Elementos de información.
- Órganos de mando.
- Elementos de trabajo.

Para el tratamiento de la información de mando es preciso emplear aparatos que controlen y dirijan el fluido de forma preestablecida, lo que obliga a disponer de una serie de elementos que efectúen las funciones deseadas relativas al control y dirección del flujo del aire comprimido.<sup>57</sup>



**Figura 1.33: Electroválvulas**

<sup>56</sup> Manual FESTO PNEUMATIC, página 3/1-5

<sup>57</sup> [http://www.suministrosfranquesa.com/pdf2/Neumatica/Neumatica\\_5](http://www.suministrosfranquesa.com/pdf2/Neumatica/Neumatica_5)

### **g. Cilindros neumáticos**

Los pistones o cilindros (figura 1.34) son aquellos elementos que pueden provocar un efecto sobre un proceso automatizado. Estos actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas o electroválvulas. Los actuadores hidráulicos, neumáticos y eléctricos son utilizados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos.<sup>58</sup>

A los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico se les denomina actuadores neumáticos. Aunque en esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos, el rango de compresión es mayor en este caso, además de que hay una pequeña diferencia en cuanto al uso y en lo que se refiere a la estructura, debido a que estos tienen poca viscosidad.<sup>59</sup>



**Figura 1.34: Cilindros neumáticos**

<sup>58</sup> <http://www.conocimientosweb.net/dcmt/downloads-cat-129.html>

<sup>59</sup> Manual FESTO PNEUMATIC, página 3.1/60-1

## **h. Compresor**

Un compresor de gas trabaja entregándole energía a un fluido compresible. Ésta energía es adquirida por el fluido en forma de energía cinética y presión (energía de flujo, figura 1.35).

Se utiliza principalmente en aires acondicionados. El compresor está compuesto por bielas, cilindros, embobinado, bomba de lubricación, anillos de lubricación, anillos de presión, aceite, sedaso o plato, cigüeñal, cárter, bobinas, terminales que son siempre en conexiones de tipo estrella o estrella delta.<sup>60</sup>



**Figura 1.35: Compresor**

Los sistemas neumáticos se complementan con los eléctricos y electrónicos lo que permite obtener un alto grado de sofisticación y flexibilidad. Utilizan válvulas solenoide, señales de realimentación de interruptores magnéticos, sensores e interruptores eléctricos de final de carrera.<sup>61</sup>

---

<sup>60</sup> <http://www.domotica.us/Compresor>

### 1.4.2. PLC

Es importante tener en cuenta que para realizar el control de un sistema automatizado, no se puede prescindir de un organigrama, debido a que éste nos facilita el estudio del proceso que debe cumplir la automatización (figura 1.36).

El Organigrama tiene doble finalidad: “Desempeña un papel informativo, al permitir que los operadores de la máquina conozcan y controlen el proceso”. Y “Como su nombre lo indica, organiza y distribuye una serie de actividades que se deben realizar antes, durante y después del proceso que se quiere realizar mediante una automatización del sistema en general”.<sup>61</sup>

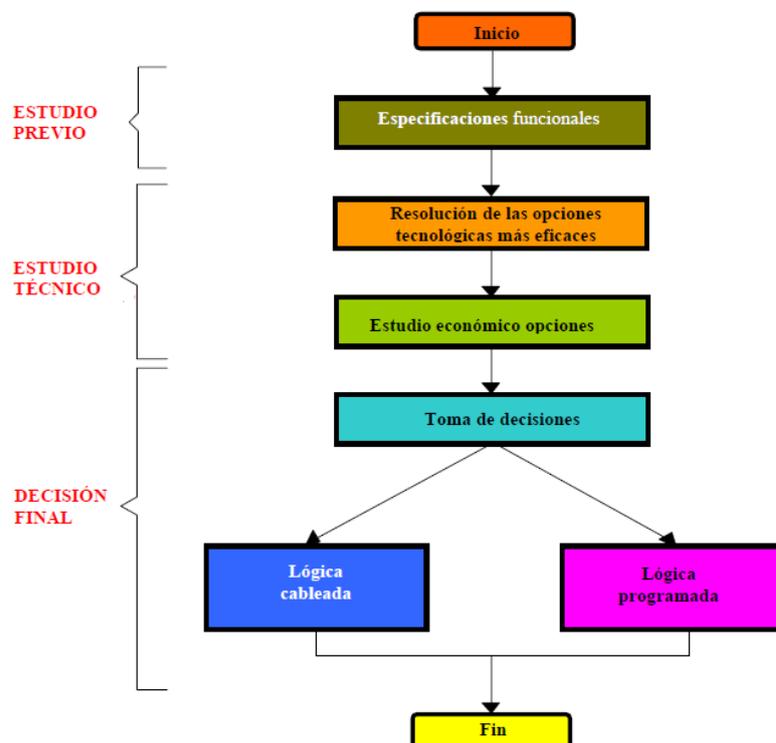


Figura 1.36: Organigrama para desarrollar el control de un proceso

<sup>61</sup> <http://www.automatismos/back-plc>

Los **Controladores Lógicos Programables** o **PLC** (Programmable Logic Controller en sus siglas en inglés) son dispositivos electrónicos muy utilizados en automatización industrial. Los **PLC's** no sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores PID (Proporcional Integral y Derivativo).<sup>62</sup>

Su estructura básica son dos o más planos de puertas lógicas, normalmente AND y OR, que el programador debe conectar de forma adecuada para que hagan la función lógica requerida. Suelen programarse en KOP, AWL, FUP, ABEL o VHDL.

El terminal de entrada puede recibir no sólo el valor digital, sino también valores analógicos, para realizar el control y la transmisión de la temperatura, humedad, presión, flujo, nivel de líquido y muchos tipos de información. El cableado entre el host y los módulos pueden ser puentes de conexión fija o flexible, que hace las funciones más profundas y más fuertes.



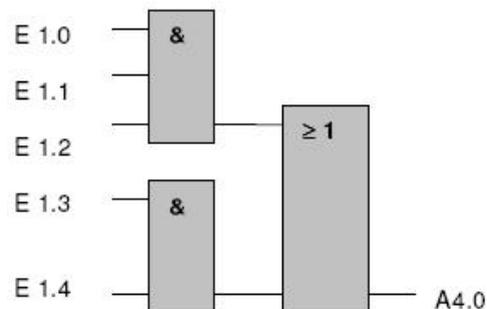
**Figura 1.37: PLC**

<sup>62</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Controlador\\_l%C3%B3gico\\_programable](http://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_l%C3%B3gico_programable)

### a. Lenguaje de programación

El software del PLC (figura 1.37) de desarrollo integrado para todos los sistemas automáticos, ofrece al usuario la herramienta óptima en cada tarea y en cada fase del proyecto, para optimizar el flujo de trabajo de ingeniería. El software contiene los 2 lenguajes de programación conforme a norma IEC (FUP y Ladder), los cuales se pueden aprender de forma sencilla e intuitiva. Todos los lenguajes disponen de una gran cantidad de funciones que se pueden utilizar en la paleta general de los controladores.<sup>63</sup>

El lenguaje de programación FUP (diagrama de funciones) utiliza los símbolos gráficos del álgebra booleana para representar la lógica (figura 1.38). También es posible representar en conexión directa con los cuadros lógicos funciones complejas, por ejemplo, funciones matemáticas.



**Figura 1.38: Lenguaje FUP**

### 1.4.3. CIRCUITOS LÓGICOS SECUENCIALES

Actualmente estamos rodeados de dispositivos que disponen de algún tipo de entrada o salida digital, incluso la mayoría de los

<sup>63</sup> <http://www.automatismos/back-plc-programacion>

electrodomésticos vienen equipados con estos dispositivos. En los circuitos secuenciales se guarda memoria de estado. Las salidas no dependen tan solo del valor de las entradas en un instante dado, sino que también están determinadas por el estado almacenado en el circuito. Dicho de otra forma, un circuito secuencial tiene memoria.<sup>64</sup>

Existen dos tipos de circuitos secuenciales:

- Sincrónicos: Son sistemas cuyo comportamiento puede definirse a partir del conocimiento de sus señales en instantes discretos de tiempo.
- Asincrónicos: Depende del orden que cambien las señales de entrada y pueda ser afectadas en un instante dado de tiempo

#### **1.4.4. CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN**

Son circuitos secuenciales que cambian de estado ante cambio de una señal de entrada evolucionando cíclicamente entre un número concreto de estados. Por ejemplo al momento de activar una entrada el procesador reconoce cual es la que se activo en función de la operación del transistor del circuito, mientras que al activar una salida éste reconoce cual es, ya que pueden ser transistor o relé.<sup>65</sup>

#### **1.4.5. TIEMPOS DE OPERACIÓN**

Los tiempos para un circuito lógico son usualmente tan útiles como el esquema electrónico. El diagrama de tiempos es una representación pictórica de los niveles lógicos que varían en función del tiempo. Es de

---

<sup>64</sup> <http://www.sistemas-automatas/array>

<sup>65</sup> <http://personal.telefonica.terra.es/web/jqc/C15-0607-r01.pdf>

bastante útil cuando se desea conocer de un solo vistazo las características operacionales de un circuito, o se está buscando una falla. Los diagramas de tiempo varían de acuerdo a las características de cada fabricante, pueden oscilar entre los 1 y 90 ms para apertura y cierre de contactos en salidas digitales, además depende del tipo de salida, si es transistor o relé. Para las entradas los valores son mucho más rápidos y oscilan entre 1 hasta 20 ms ya que son de tipo transistor, en función de todos estos parámetros se puede determinar los tiempos de operación de cada circuito, de acuerdo a la complejidad del programa y la cantidad de entradas y salidas.<sup>64</sup>

#### **1.4.6. FRECUENCIA DE OPERACIÓN**

Cuando una entrada de datos o de control está cambiando en el momento en el que llega un flanco de reloj. El resultado es que la salida puede comportarse de forma imprevista, tardando muchas veces más de lo normal en estabilizarse al estado correcto, o incluso podría oscilar repetidas veces hasta terminar en su estado estable.<sup>66</sup>

En un ordenador esto puede suponer la corrupción de datos o causar un fallo de programa. Depende directamente de la frecuencia a la cual está trabajando la entrada y la salida, este tipo de parámetros en ciertos casos son configurables, ya que cada módulo de entradas y salidas tiene frecuencias de operación seleccionables para elección del operador. Todo depende de la complejidad y la cantidad de elementos que maneja el procesador, además del voltaje de alimentación.

---

<sup>66</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Biestable>

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES**

#### **2.1. PARÁMETROS DE DISEÑO**

Como se mencionó en el capítulo anterior, con el presente proyecto se pretende mejorar el proceso de fabricación de prefabricados de hormigón mediante la implementación de un sistema automatizado acorde con las tendencias tecnológicas actuales y de esta manera lograr un aumento en la producción y mejora en la calidad de los bloques y adoquines fabricados.

Partiendo de las capacidades de producción y especificaciones técnicas que tienen las máquinas industriales semejantes, existentes en el mercado y tomando en cuenta los recursos económicos disponibles para la construcción de la misma, se determinó las principales características con que debe contar la máquina bloquera – adoquinera que será diseñada:

- Capacidad máxima de producción diaria de 2000 bloques o 4000 adoquines (para una jornada de trabajo de 8 horas).
- Sistema de elevación y descarga de la mezcla de cemento y agregados desde el piso hasta una tolva de alimentación de la vibrocompresora.
- Sistema neumático para la alimentación de la mezcla y de los tableros de madera, así como también para la compresión y desmolde de los bloques o adoquines.

- Sistema de vibración de alta frecuencia que facilita el asentamiento y compactación de la mezcla en el molde para conseguir un mejor acabado y mejores propiedades de resistencia en el producto.
- Sistema de automatización y control gobernado mediante un PLC (controlador lógico programable).

En base a estas características generales de la máquina bloquera – adoquinera, a continuación se describe las características específicas y los requisitos que deben cumplir cada uno de los sistemas antes mencionados.

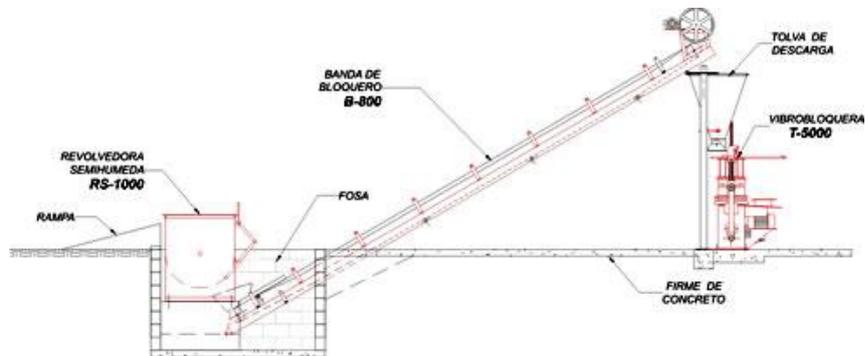
#### **2.1.1. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS PARA EL DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DE LA MÁQUINA**

Para que el proceso de producción de los prefabricados de hormigón sea eficiente y se obtenga un producto de calidad en cuanto a acabado y resistencia, la secuencia de procesos que se deben desarrollar en la máquina son los siguientes:

##### **a. Sistema de elevación**

Después de verter la mezcla de cemento, agua y agregados en un cangilón, se procederá a elevar el mismo a lo largo de la estructura del elevador a cangilones mediante un cable de acero el cual pasa por varias poleas para finalmente enrollarse en un tambor acoplado a un motorreductor. Para producir el volteo del cangilón se utilizará unas guías derivadas de la estructura del elevador, las mismas que desvían las ruedas del cangilón y provocan el vaciado de la mezcla en la tolva, para luego accionar el final de carrera que detiene el motor. Posteriormente el

motor cambia de giro y el cangilón desciende hasta el piso para comenzar un nuevo ciclo. Basado en la figura 2.1 y 2.2.



**Figura 2.1: Sistema de elevación por banda**



**Figura 2.2: Sistema de elevación por cangilón**

#### **b. Sistema de alimentación de la mezcla**

Cuando la tolva tiene mezcla en su interior, el cilindro neumático abre la compuerta de alimentación hasta llenar la barredera con mezcla, para posteriormente volver a cerrar dicha compuerta. Una vez colocado y centrado el tablero de madera, el molde desciende y se asienta en el tablero, entonces se activa el cilindro neumático con lo que la barredera de alimentación que previamente fue llenado de mezcla sale y llena de mezcla al molde. Basado en la figura 2.3.



**Figura 2.3: Abastecedor de mezcla**

**c. Sistema de alimentación de tableros**

Este sistema será activado por el cilindro neumático, el cual mediante un mecanismo de resorte empuja los tableros de madera a lo largo de una guía montada en la estructura principal hasta la mesa de vibración y luego de terminar el proceso, el mismo cilindro se encarga de sacar el tablero con los prefabricados para luego ser llevados para el secado. Basado en la figura 2.4.



**Figura 2.4: Dotación de tableros**

**d. Sistema de vibración**

La vibración se realiza en el mismo instante que la compresión. Un motor que gira un eje con excéntricas realiza el vibrado de la mesa y el molde. Basado en la figura 2.5 y 2.6



**Figura 2.5: Motor vibrador**



**Figura 2.6: Ruedas excéntricas**

**e. Sistema de compresión**

Este sistema es accionado por el cilindro neumático el cual acciona el apisonador que compacta la mezcla en el molde. Basado en la figura 2.7 y 2.8.



**Figura 2.7: Molde macho rectangular**



**Figura 2.8: Molde macho redondo**

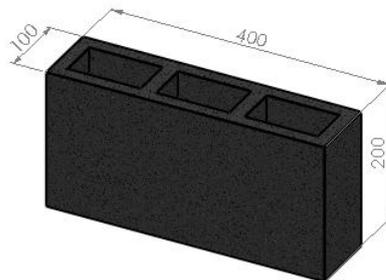
**f. Sistema de desmoldeo**

El desmoldeo se realiza después que la mezcla es vibrocompactada en el molde. Dos cilindros neumáticos que están conectados al molde suben de forma sincronizada y desmoldean el prefabricado. Basado en la figura 2.9.



**Figura 2.9: Desmolde del bloque o adoquín**

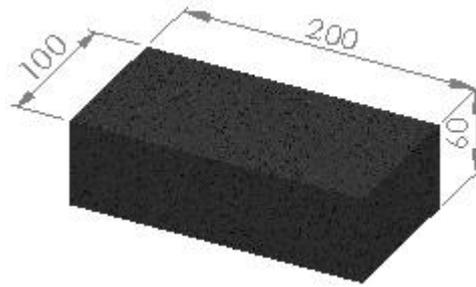
Tomando en cuenta que los prefabricados de hormigón que mayor demanda tienen en nuestro medio, son los bloques huecos de (100x200x400) mm (figura 2.10) y los adoquines rectangulares de (100x200x60) mm (figura 2.11), el diseño de la máquina se basará en los mismos.<sup>2</sup>



**Figura 2.10: Bloque hueco**

Peso = 10.1 kg

Volumen = 0.0045 m<sup>3</sup>



**Figura 2.11: Adoquín rectangular**

Peso = 2.6 kg

Volumen = 0.0012 m<sup>3</sup>

Con el fin de obtener una máquina cuyo costo de fabricación no sea muy elevado, es necesario diseñarla de manera que su tamaño no sea demasiado grande ni requiera de una potencia muy elevada en sus actuadores, por lo tanto, los tableros y los moldes tendrán solo el tamaño necesario para fabricar 2 bloques de (100x200x400) mm o 4 adoquines de (100x200x60) mm durante cada ciclo de operación.<sup>2</sup>

A continuación, se determina el tiempo requerido para que la máquina realice cada ciclo de fabricación, de manera que se pueda alcanzar la capacidad de producción máxima requerida que es de 2000 bloques diarios.

$$\frac{1 \text{ dia}}{2000 \text{ bloques}} \times \frac{8 \text{ hr}}{1 \text{ dia}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} \times \frac{2 \text{ bloques}}{1 \text{ ciclo}} = \mathbf{28.8 \text{ s/ciclo}}$$

En consecuencia, para alcanzar la capacidad de producción requerida, cada ciclo de operación de la máquina no debe durar más de 28.8 s y por lo tanto, para determinar el periodo de activación de los diferentes sistemas y realizar análisis de movimiento de la máquina se tomará en cuenta este tiempo.

Además, es necesario aclarar que el diseño de los diferentes componentes mecánicos de la máquina se realizará en base al peso y volumen de los bloques huecos de (100x200x400) mm, ya que al ser estos de mayor tamaño y peso producen esfuerzos más grandes y requieren de mayor potencia para su fabricación en comparación con los adoquines.

## **2.2. DISEÑO MECÁNICO**

En esta sección se muestra el resultado de la búsqueda de un diseño eficiente de la máquina acorde a cubrir las necesidades para cumplir con toda la secuencia de procesos descrita en la sección 2.1.1. Para ello se partió de una idea preliminar, la misma que se fue corrigiendo y mejorando durante la etapa de diseño, hasta llegar al diseño definitivo que se describirá en el presente capítulo y que garantizará el correcto funcionamiento de la bloquera – adoquinera. Para facilitar el proceso iterativo de corrección y mejora del diseño preliminar es necesario utilizar los diferentes módulos del software SolidWorks, para con su ayuda, realizar de forma rápida y precisa el análisis cinético y de esfuerzos de las diferentes alternativas de diseño hasta llegar a obtener las dimensiones, formas y perfiles más adecuados que garanticen un satisfactorio funcionamiento de la máquina y que permitan alcanzar un factor de seguridad lo más cercano a 3, que es el valor recomendado para este tipo de máquinas.<sup>67</sup>

### **2.2.1. DISEÑO DEL SISTEMA DE ELEVACIÓN POR CANGILONES**

Para elevar la mezcla desde el piso hasta la tolva se utilizará un sistema de elevación de cangilones auto descargadores.

---

<sup>67</sup> MOTT ROBERT L., “RESISTENCIA DE MATERIALES, APLICADA”, Capítulo 5

La trayectoria de movimiento de los cangilones está determinada por la configuración de las guías y la descarga se produce cuando el cangilón se vuelca en el punto superior de la trayectoria del movimiento debido al desplazamiento de sus ruedas anteriores y posteriores por distintos rieles: las ruedas anteriores se desvían hacia la curva horizontal de la guía, mientras que las ruedas posteriores continúan rodando hacia arriba, lo que conduce al vuelco del cangilón.

Los fabricantes de cangilones recomiendan que, dependiendo de tipo y cantidad de carga, sus velocidades de elevación pueden variar desde 0.1 m/s hasta 4 m/s; su anchura debe ser menor de 1.5 m y el material empleado para su fabricación cuando su cantidad es reducida puede ser de chapas de acero dúctil soldadas.<sup>67</sup>

**a. Determinación de las cargas que soporta el sistema de elevación**

Primero determinamos el volumen del cangilón ( $V_{cang}$ ) en base a que su capacidad de carga debe ser, por lo menos el volumen necesario para fabricar 12 bloques huecos de (100x200x400) mm, por lo tanto:

$$V_{cang} = 12 V_{bloq}$$

$$V_{cang} = 0.054 \text{ m}^3 \approx 0.060 \text{ m}^3$$

Donde:

$$V_{bloq} = \text{volumen de cada bloque hueco de (100x200x400) mm} = 0.0045 \text{ m}^3$$

Además, asumiendo un coeficiente de llenado del cangilón (relación del volumen real de llenado al volumen teórico del mismo, asumido) de 80%, se calcula el volumen teórico del cangilón.

$$(V_{Tcang}).$$

$$\frac{V_{cang}}{V_{Tcang}} = 0.80$$

$$V_{Tcang} = 0.075 \text{ m}^3$$

Conociendo que la densidad máxima que alcanza la mezcla de hormigón es de  $2200 \text{ kg/m}^3$ , a continuación se determina el peso de la carga que lleva el cangilón utilizando la ecuación 1.1.

$$W_{horm1} = 2200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} 0.06 \text{m}^3$$

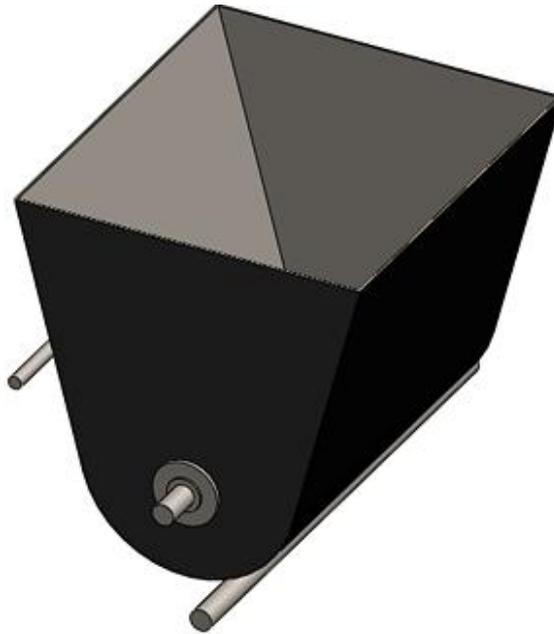
$$W_{horm1} = 1295 \text{ N} \approx 1300 \text{ N}$$

## **b. Dimensionamiento y modelado computacional de los componentes del sistema de elevación**

### **b.1. Cangilón**

La forma del cangilón debe ser tipo cuchara, tratando de evitar las uniones en  $90^\circ$ , debido a que ello causará choques al momento del vuelco del cangilón y además provocará la acumulación y solidificación de mezcla en las esquinas.

Para garantizar el volumen teórico del cangilón, calculado en la sección anterior, el mismo tendrá la forma mostrada en la figura 2.12 y las dimensiones indicadas en el anexo B-1.



**Figura 2.12: Cangilón auto descargable**

## **b.2. Estructura soporte**

Debido a que las guías que determinan el movimiento del cangilón deben también servir de estructura soporte para el sistema de elevación, se utilizará canales “U” de acero norma INEN 1623-00 para su fabricación.

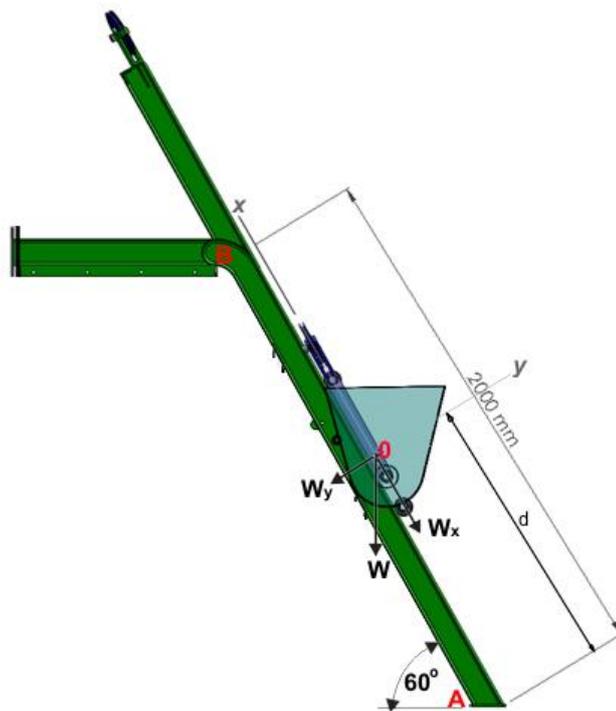
Del diagrama de fuerzas de la figura 2.13 se determina que el momento flector máximo que soporta la viga viene dado por la ecuación 1.12:

$$M_{max} = W_y \cdot d = W \cos 60^\circ \cdot d$$

$$M_{max} = (W_{horm1} + W_{cang} + W_{sop\&pol}) \cos 60^\circ \cdot d$$

$$M_{max} = (1300 + 250 + 200)N \cos 60^\circ \cdot 1m$$

$$M_{max} = 875 Nm$$



**Figura 2.13: Diagrama de fuerzas que actúan sobre la estructura del sistema de elevación del cangilón**

Al analizar la figura 2.13 se determina que la viga AB está sometida a un esfuerzo de flexión debido a la componente WY de peso, y un esfuerzo de compresión debido a la componente WX de peso, sin embargo, el que produce las mayores tensiones es el esfuerzo normal por flexión.

Por lo tanto, para estimar el tamaño del canal "U" se realiza un análisis de esfuerzo simplificado del sistema con la ecuación 1.13, tomando en cuenta solo la flexión ( $\sigma_{flex}$ ) en la posición crítica, la misma que ocurre cuando el cangilón se encuentra en el punto medio de la trayectoria, pero se utilizará un factor de seguridad mayor al recomendado y

posteriormente se realizará el análisis de esfuerzos completo y preciso de la estructura mediante SolidWorks Simulation.

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{max} \cdot FS}{Z} \leq S_y$$

Tenemos:

$$Z \geq \frac{875 \text{ Nm} \cdot 4}{215 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2}$$

$$Z \geq 1.63 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 = 16.30 \text{ cm}^3$$

Donde:

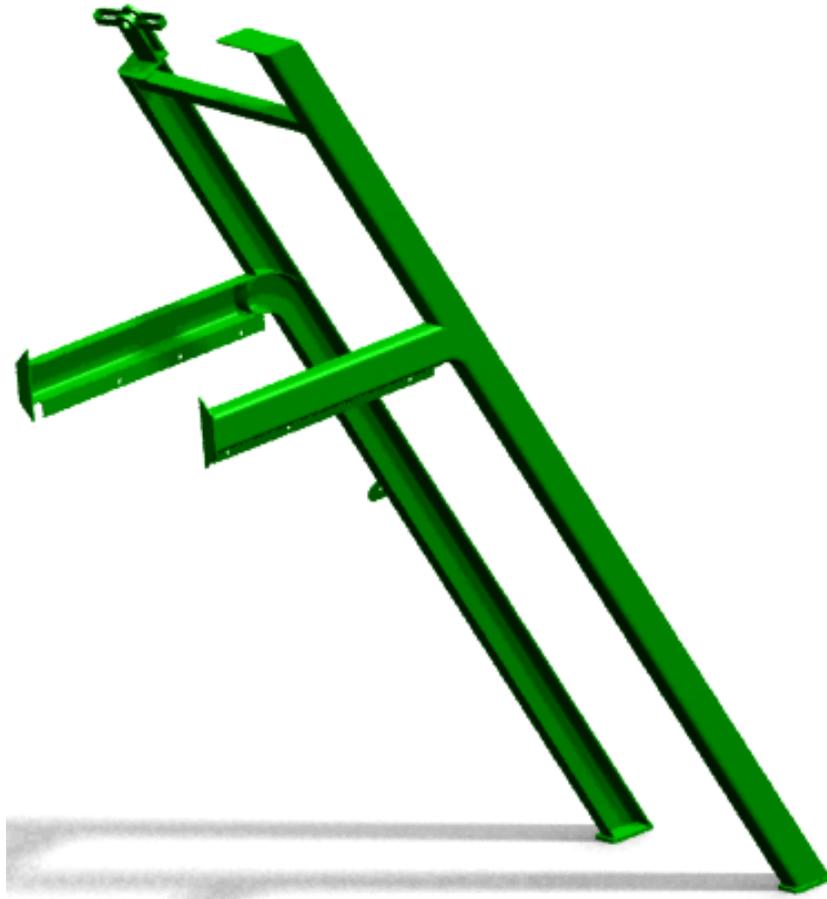
$FS$  = factor de seguridad (se asume un valor mayor al recomendado para tomar en cuenta la compresión) = 4.

$S_y$  = límite de fluencia del acero ASTM A500 norma INEN 1623-00  
= 2200 kg/cm<sup>2</sup> = 215 MPa.

$Z$  = módulo de la sección del canal "U".

En el catálogo de perfiles estructurales de DIPAC (anexo A-1) se observa que el módulo de la sección calculado se encuentra entre los valores de 12.30 y 17.70, por lo que para estar en el lado seguro, se toma el valor de 17.70 que corresponde a un canal "U" de (100x50x3) mm.

En base al perfil seleccionado se modela la estructura del sistema de elevación en SolidWorks con la geometría mostrada en la figura 2.14, mientras que sus dimensiones y detalles se indican en el anexo B-2.



**Figura 2.14: Modelo en SolidWorks de la estructura del sistema de elevación**

Con los datos del perfil “U” seleccionado se determina los esfuerzos reales que soporta la estructura.

Esfuerzos normales por flexión:

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{max}}{Z}$$

$$\sigma_{flex} = \frac{875 \text{ Nm}}{17.70 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} = 49.44 \text{ MPa}$$

Esfuerzos normales por carga axial:

$$\sigma_{axial} = \frac{W_x}{A}$$

$$\sigma_{axial} = \frac{1515.5 \text{ N}}{5.70 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 2.66 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, el esfuerzo normal total es:

$$\sigma_x = 49.44 + 2.66 = 52.10 \text{ MPa}$$

Del círculo de Mohr (anexo A-21) para esfuerzos combinados se obtiene:

$$\sigma_1 = 52.10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 0$$

$$\tau_{xy} = 26.05 \text{ MPa}$$

El esfuerzo de Von Mises máximo que soporta la estructura del sistema de elevación viene dado por:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2}$$

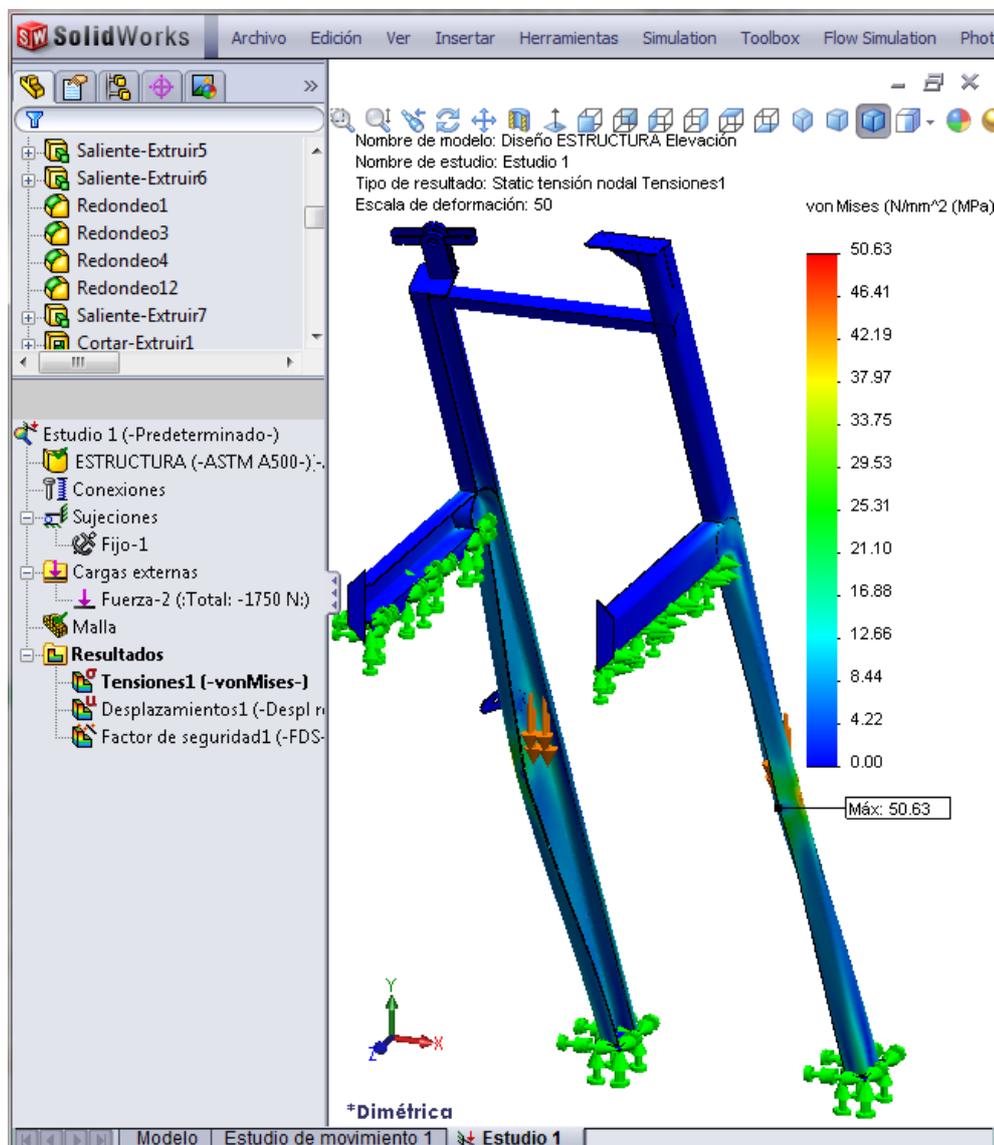
$$\sigma' = 52.10 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, el factor de seguridad mínimo en la estructura es:

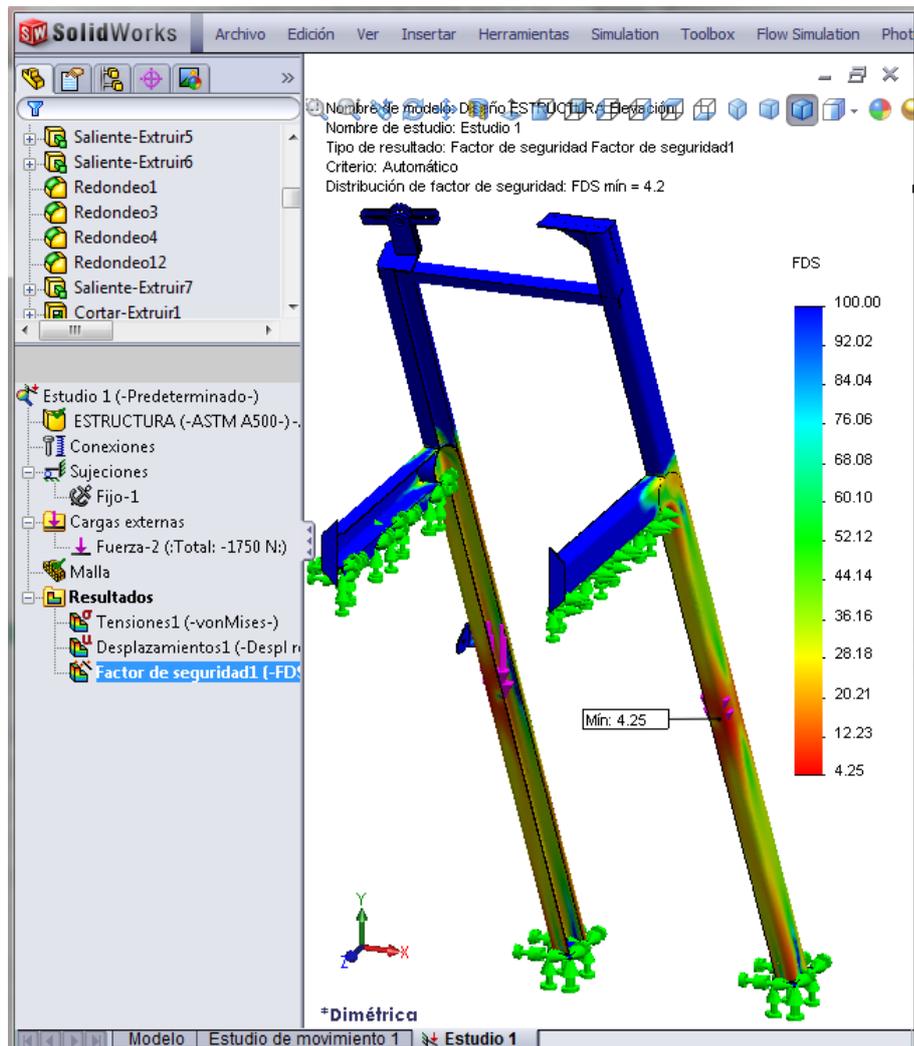
$$FS = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$FS = \frac{215 \text{ MPa}}{52.10 \text{ MPa}} = 4.13$$

Modelando la estructura del sistema de elevación en SolidWorks y asignándole como material el acero ASTM A500 y como carga el peso  $W = 1750 \text{ N}$ , luego de ejecutar el análisis de esfuerzos en el programa SolidWorks Simulation, obtenemos los siguientes resultados (figuras 2.15 y 16):



**Figura 2.15: Tensión de Von Mises**



**Figura 2.16: Distribución del factor de seguridad**

Como podemos darnos cuenta, el resultado de esfuerzo de tensión máximo arrojado por SolidWork es de (figura 2.15):

$$\sigma' = 50,63 \text{ MPa}$$

Y el calculado es de:

$$\sigma' = 52.10 \text{ MPa}$$

De igual forma, el factor de seguridad arrojado por SolidWork es de (figura 2.16):

$$FS = 4.25$$

Y el calculado es de:

$$FS = 4.13$$

Con estos resultados, podemos confirmar la veracidad del software SolidWorks.

A pesar de que el material escogido es el correcto, realizamos la optimización del material para utilizar el adecuado existente en el mercado (anexo A-14).

### **b.3. Cable de acero**

Para seleccionar el tamaño del cable arrastre requerido para halar el cangilón con la mezcla, es necesario determinar la tensión  $T$  del cable cuando comienza el movimiento y es necesario vencer la inercia de los diferentes componentes mediante el diagrama del cuerpo libre mostrado en la figura 2.17.

$$\sum F_y = 0$$

$$N = W_y$$

$$N = (1300 + 250 + 200) \cos 60^\circ = 875 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$T = W_x + F_f$$

$$T = (W_{horm1} + W_{cang} + W_{sop\&pol}) \text{ sen } 60^\circ + \mu \cdot N$$

$$T = (1300 + 250 + 200) \text{ sen } 60^\circ + 0.3 \cdot 875$$

$$T = 1778.1 \text{ N}$$

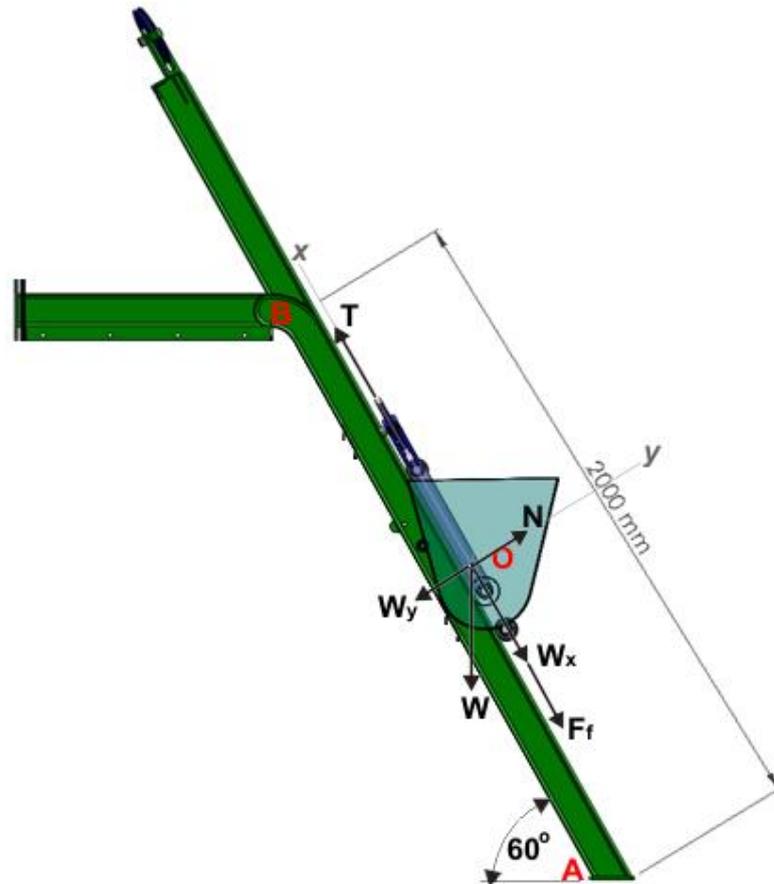
Donde:

$N$  = normal.

$F_f$  = fuerza de fricción entre las ruedas y las guías.

$\mu$  = coeficiente de fricción de acero sobre acero = 0.3 (anexo A-2).

En el anexo A-3 se observa que el factor de seguridad mínimo recomendado por las NORMAS ANSI A17.1 para cables metálicos de arrate es de 6.0 y la velocidad de movimiento de la carga se encuentra entre los límites de 300 pies/min (1.5 m/s) y 8.20 pies/min (0.04 m/s).



**Figura 2.17: Diagrama del cuerpo libre**

Por lo tanto, el cable seleccionado debe tener una Carga Mínima de Rotura.

$$F_{rotura}$$

$$F_{rotura} \geq 6 \cdot T$$

$$F_{rotura} \geq 10668.6 \text{ N (1087.5 kg)}$$

Del catálogo de cables (anexo A-4) se selecciona un cable de acero galvanizado 6x19+1 con un diámetro nominal ( $d$ ) de 5 mm (3/16 plg) y una Carga Mínima de Rotura igual a 1380 kg.

#### **b.4. Poleas y tambor**

El diámetro mínimo de las poleas por la que pasa el cable de arrastre y el tambor alrededor del cual se enrolla se determina en base a la tabla del anexo A-5. De esta tabla se obtiene que para cables de 6x19, el diámetro mínimo de las poleas (figura 2.18) debe estar dentro del rango.

$$26d \text{ a } 34d$$

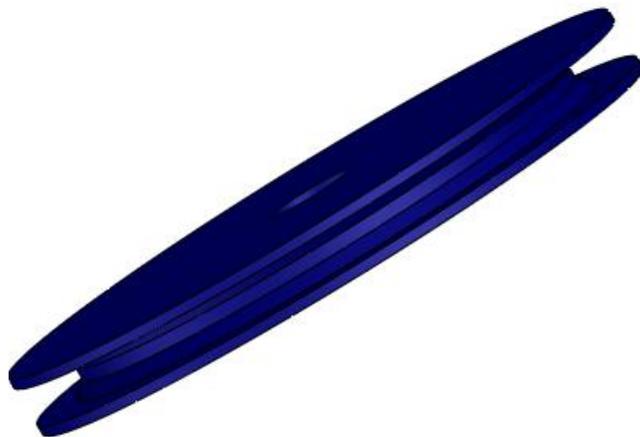
Donde:

$$d = \text{diámetro del cable} = 5 \text{ mm.}$$

$$130 \text{ mm (5 plg)} \text{ a } 170 \text{ mm (6.5 plg)}$$

De este rango se selecciona un diámetro mínimo para las poleas y el tambor de 150 mm.

Las dimensiones y detalles de la polea y el tambor se muestran en el anexo B-3.



**Figura 2.18: Modelo en SolidWorks de la polea**

### b.5. Brazo de sujeción del cangilón

Este brazo sujeta el cangilón en la parte inferior, al mismo tiempo que en el extremo superior sostiene la polea por la que pasa el cable de arrastre. Por lo tanto, de la figura 2.17 se determina que el brazo soporta una carga igual a  $T/2$  a cada lado (figura 2.19, anexo B-4).

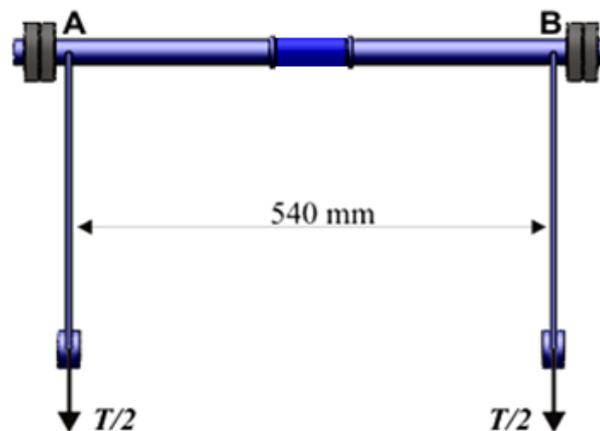


Figura 2.19: Diagrama de fuerzas en el brazo de sujeción

En la figura 2.19 se observa que el momento flector máximo ocurre en el punto medio de la viga circular AB y viene dado por:

$$M_{max} = \frac{T}{2} \cdot d$$

$$M_{max} = \frac{1778.1}{2} \cdot \frac{0.54}{2}$$

$$M_{max} = 240 \text{ Nm}$$

Debido a que la viga circular AB está sometida a un esfuerzo normal por flexión, se determina el diámetro  $D$  de la sección transversal con la ecuación 1.14 de la siguiente manera:

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{max} \cdot FS}{\pi D^3 / 32} \leq S_y$$

De donde:

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 240 \cdot 3}{\pi \cdot 250 \cdot 10^6}}$$

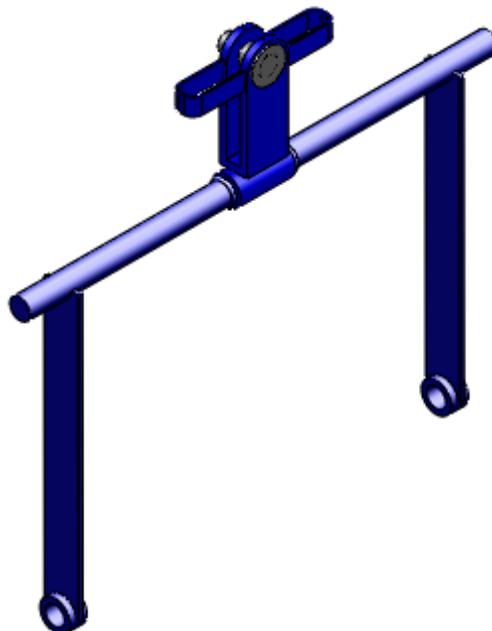
$$D \geq 0.030 \text{ m} = 30 \text{ mm}$$

Donde:

$FS$  = factor de seguridad recomendado = 3.

$S_y$  = límite de fluencia del acero ASTM A36 = 250 Mpa.

Por lo tanto, el brazo de sujeción tendrá la forma mostrada en la figura 2.20 y las medidas indicadas en el anexo B-5, y 6



**Figura 2.20: Modelo en SolidWorks del brazo de sujeción**

## b.6. Potencia requerida

Para determinar la potencia que demanda el elevador es necesario asumir la velocidad de ascenso del cangilón. Debido a que esta velocidad, según el anexo A-3 debe estar dentro del rango de 300 pies/min (1.5 m/s) a 8.20 pies/min (0.04 m/s).

Tomando en cuenta que la distancia que tiene que subir el cangilón es de 2 m, se considera adecuado recorrerlo en 10 s, por lo tanto, se asume una velocidad de ascenso de 0.20 m/s.

Entonces, conociendo que la potencia requerida por el sistema de elevación es el producto de la fuerza y la velocidad, dado por la ecuación 1.15, (para este caso la tensión  $T$ ), tenemos:

$$Pot = \frac{F \cdot \vec{V}}{\eta}$$

$$Pot = \frac{1778.1 \text{ N} \cdot 0.20 \text{ m/s}}{0.80}$$

$$Pot = 444.5 \text{ W} = 0.60 \text{ hp}$$

Debido a que el rendimiento  $\eta$  del elevador puede variar entre 75 y 90% dependiendo de la tecnología y calidad de los componentes, se asume 80%.

Para seleccionar la potencia del motor es recomendable utilizar un margen de seguridad del 20 al 30% con el objeto contemplar situaciones particulares de sobrecargas (arranque a plena carga, transporte de materiales de mayor peso específico, rotura de algún cangilón).

En función de lo anterior, se selecciona un motor eléctrico de 1 hp de potencia y 1800 rpm de velocidad.

### **b.7. Reductor de velocidad**

Por la teoría de poleas se determina que la velocidad a la que se enrolla el cable de acero en el tambor debe ser igual al doble de la velocidad de ascenso del cangilón, por lo tanto, la velocidad angular a la salida del reductor de velocidad viene dada por la ecuación 1.16:

$$\omega_{reductor} = \frac{\vec{V}_{cable}}{r_{tambor}} = \frac{2 \cdot \vec{V}}{\phi_{tambor}/2}$$

$$\omega_{reductor} = \frac{2 \cdot 0.20 \text{ m/s}}{0.150/2 \text{ m}}$$

$$\omega_{reductor} = 5.33 \text{ rad/s} = 50 \text{ rpm}$$

Entonces, la relación de transmisión requerida en el reductor de velocidad es el resultado de la operación de acuerdo a la ecuación 1.17:

$$rel. \text{ trans.} = \frac{\omega_{motor}}{\omega_{reductor}}$$

$$rel. \text{ trans.} = \frac{1800}{50} = \frac{36}{1}$$

### **c. Análisis de esfuerzos del sistema de elevación**

Una vez modelados e insertados todos los componentes del sistema de elevación de la máquina en el documento de ensamble de SolidWorks se procede a su ensamblaje mediante el establecimiento de diferentes

Relaciones de posición entre las piezas que componen el sistema de elevación.

La creación del ensamblaje (Figura 2.21) permitirá determinar las posibles interferencias o choques entre los componentes móviles del sistema de elevación de la bloquera – adoquinera para su posterior análisis de esfuerzos en el programa SolidWorks Simulation.

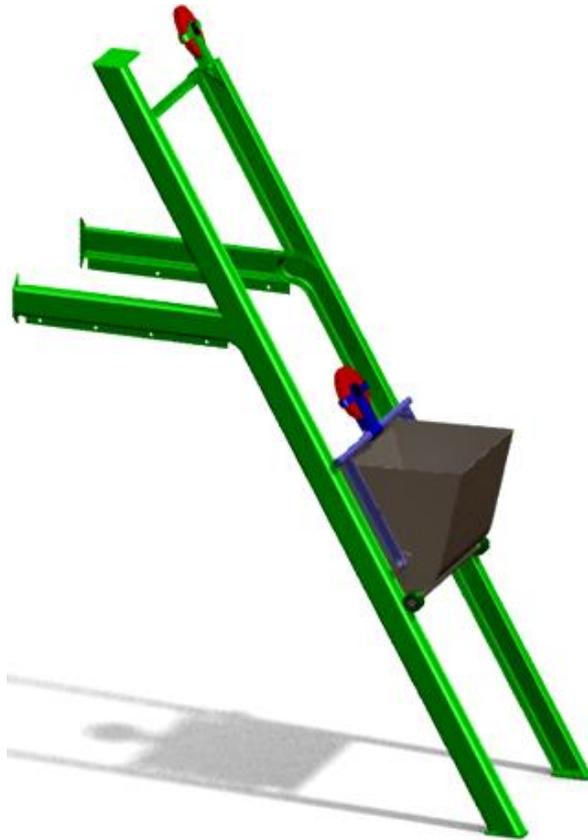
Éste es un programa de Análisis Por Elementos Finitos (FEA) que calcula los esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad de los diferentes componentes mecánicos del sistema.

### c.1. Asignación de materiales

En la tabla 2.1 se muestran los materiales asignados a los diferentes componentes del sistema de elevación.

**Tabla 2.1: Materiales asignados a los componentes del sistema de elevación**

Nº	NOMBRE DE SÓLIDO	MATERIAL	MASA	VOLUMEN
1	Cangilón	ASTM A36 Acero	26.9751 kg	0.003436 m <sup>3</sup>
2	Estructura	ASTM A500	47.9884 kg	0.006113 m <sup>3</sup>
3	Pasador poleas	ASTM A36 Acero	0.280895 kg	3.57e-005 m <sup>3</sup>
4	Poleas	ASTM A36 Acero	3.123496 kg	0.000397 m <sup>3</sup>
5	Brazo soporte cangilón	ASTM A36 Acero	6.00759 kg	0.0007658 m <sup>3</sup>
6	Brazo soporte poleas	ASTM A36 Acero	2.07639 kg	0.0002645 m <sup>3</sup>



**Figura 2.21: Sistema de elevación ensamblado**

**c.2. Asignación de cargas y restricciones**

En base a los pesos y tensiones determinados en la sección 2.2.1 y los puntos de apoyo del sistema de elevación se asignan las siguientes cargas y restricciones.

**Tabla 2.2: Cargas asignadas al sistema de elevación de la mezcla**

NOMBRE DE CARGA	CONJUNTO DE SELECCIONES	TIPO DE CARGA
Peso carga <CANGILÓN>	activar 3 Cara(s) aplicar fuerza -1300 N normal a plano de referencia	Carga distribuida
Tensión <PASADOR>	activar 1 Cara(s) aplicar	Carga

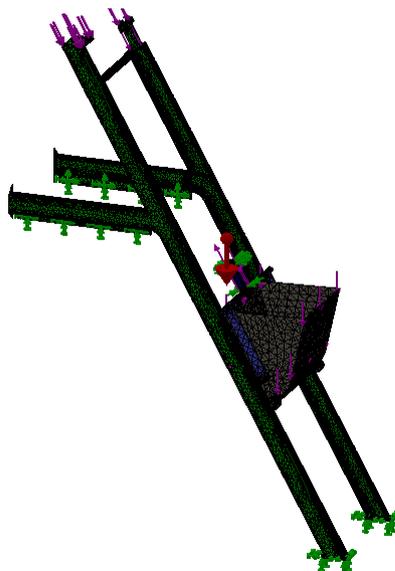
POLEA>		fuerza 1300 N normal a plano de referencia	uniforme
Tensión <ESTRUCTURA TOLVA>	2	activar 2 Cara(s) aplicar fuerza -1780 N normal a plano de referencia	Carga uniforme
Gravedad-1		Aceleración de la gravedad -9.81 m/s <sup>2</sup>	Carga secuencial

**Tabla 2.3: Restricciones del sistema de elevación de la mezcla**

NOMBRE DE RESTRICCIÓN	CONJUNTO DE SELECCIONES
Fijo-1 < ESTRUCTURA TOLVA-1>	Activar 10 Cara(s) fijo.
Rodillo/Control deslizante-2 < CANGILÓN-1>	activar 2 Cara(s)Rodillo/Deslizamiento

### c.3. Mallado y ejecución de estudio de diseño

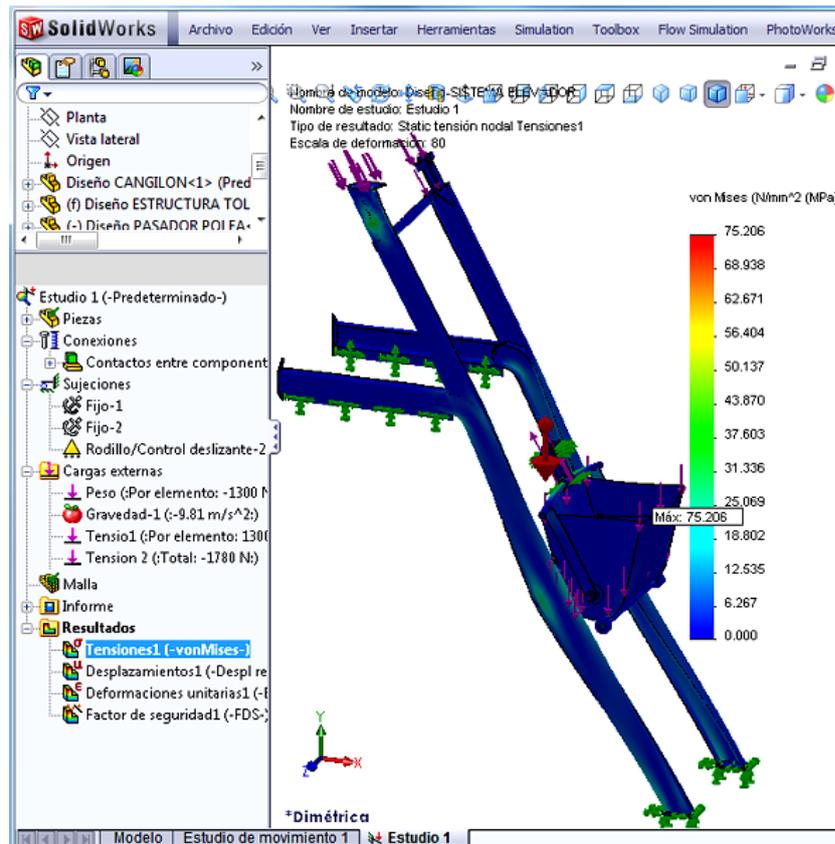
Una vez asignadas las cargas y restricciones se procede a mallar el ensamble (figura 2.22) y ejecutar el estudio de diseño.



**Figura 2.22: Mallado del sistema de elevación**

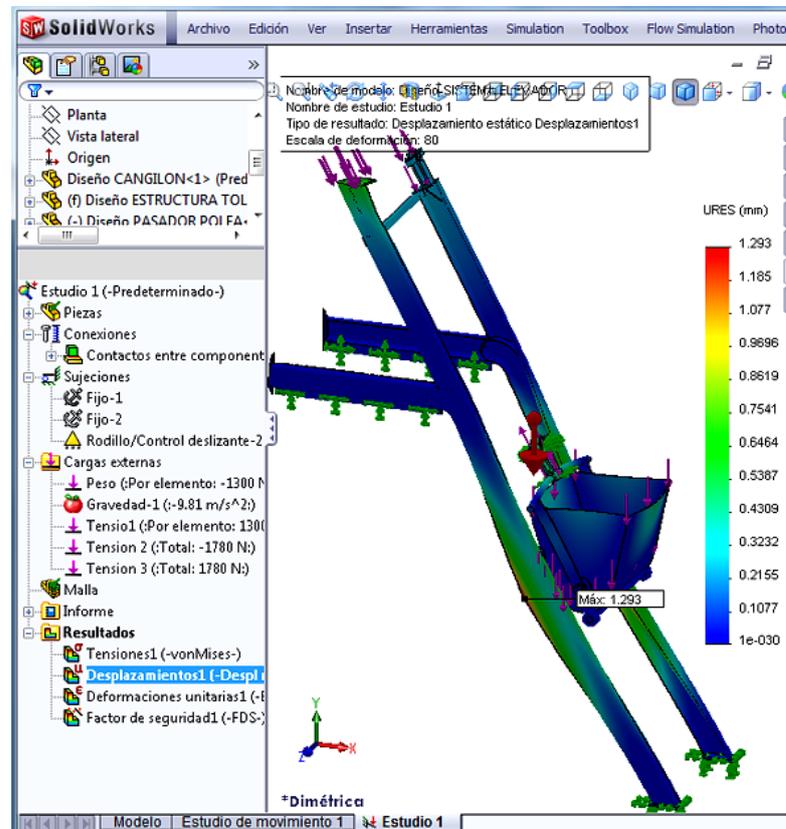
#### c.4. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos luego de ejecutar el análisis del ensamble.



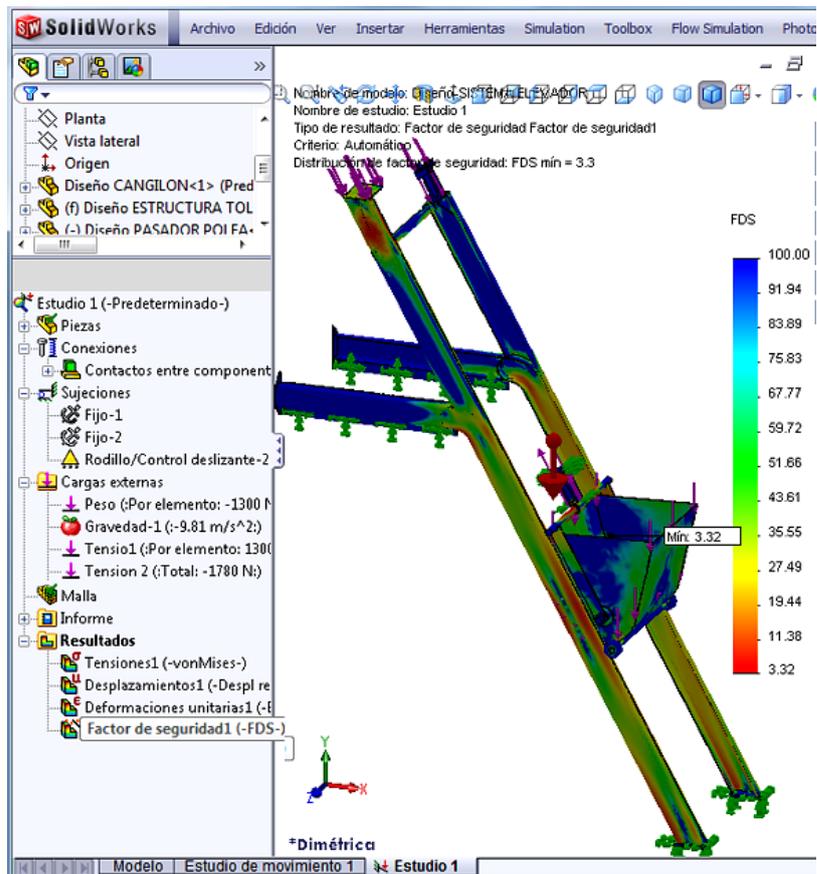
**Figura 2.23: Tensión de Von Mises en el sistema elevador de la mezcla**

Al analizar la figura 2.23 se observa que la máxima tensión de Von Mises ocurre en las guías del perfil “U” sobre las cuales se asientan las ruedas del cangilón y su valor es de 75206 MPa, sin embargo, esta tensión es menor que el límite de fluencia del acero ASTM A500 que es de 240 MPa, por lo tanto, el sistema elevador puede resistir sin fallar esta tensión máxima.



**Figura 2.24: Desplazamientos resultantes en el sistema de elevación**

En la figura 2.24 se observa que el desplazamiento máximo en el sistema elevador de la mezcla ocurre también en las guías del perfil “U” sobre las cuales se asientan las ruedas del cangilón y su valor es de 1.293 mm, por lo que se considera que este desplazamiento no afecta el funcionamiento normal del sistema.



**Figura 2.25: Distribución del factor de seguridad**

Con respecto al factor de seguridad, en la figura 2.25 se muestra su distribución y se observa que las zonas críticas están en diferentes puntos de las guías del perfil “U” sobre las cuales se asientan las ruedas del cangilón y en el brazo de sujeción del cangilón, sin embargo, el valor mínimo del factor de seguridad es de 3.32, por lo que se concluye que su diseño es seguro. Una vez conocidos los resultados de esfuerzos, desplazamiento y factor de seguridad, se sugiere una optimización de la estructura que se detalla en el anexo A-14.

## 2.2.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE LA MEZCLA

La alimentación de la mezcla de hormigón desde la tolva hasta los moldes se realiza por medio de una compuerta en la parte inferior de la tolva, que

se abre por la acción de un cilindro neumático y deja caer por gravedad un suministro uniforme de la mezcla sobre una gaveta de alimentación (barredora), la misma que, por acción de otro cilindro neumático lleva la mezcla hasta el molde. Todo el sistema está soportado por la estructura.

**a. Determinación de las cargas que soporta el sistema de alimentación de la mezcla**

Para el diseño del sistema de alimentación de la mezcla se requieren los siguientes parámetros:

Volumen de la tolva igual a tres veces el volumen del cangilón.

$$V_{tolva} = 3 V_{cang}$$

$$V_{tolva} = 3 \cdot 0.060 \text{ m}^3 = 0.18 \text{ m}^3$$

Volumen necesario de mezcla para el llenado del molde para bloques huecos de (100x200x400) mm (cada molde contiene dos bloques).

$$V_{molde} = 2 V_{bloq}$$

$$V_{molde} = 2 \cdot 0.0045 \text{ m}^3 = 0.009 \text{ m}^3$$

A este valor se le aumenta un 50% para el dimensionamiento de la barredora, ya que una vez llenado el material en el molde debido a la vibración de éste, la mezcla tiende a compactarse, debido a esto reduce la altura del producto, por lo cual esta pérdida debe ser compensada.

$$V_{bared} = 1.5 V_{molde}$$

$$V_{bared} = 1.5 \cdot 0.009 \text{ m}^3 = 0.0135 \text{ m}^3$$

Con estos volúmenes y con la densidad de la mezcla de hormigón de  $2200 \text{ kg/m}^3$  determinamos el peso que soporta cada uno de los componentes de este sistema con la ecuación 1.1.

$$W_{tolva} = \rho_{hrm} \cdot g \cdot V_{tolva}$$

$$W_{tolva} = 2200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} 0.18 \text{ m}^3$$

$$W_{tolva} = 3884.8 \text{ N} \approx 3885 \text{ N}$$

$$W_{molde} = \rho_{hrm} \cdot g \cdot V_{molde}$$

$$W_{molde} = 194.3 \text{ N} \approx 195 \text{ N}$$

$$W_{bared} = \rho_{hrm} \cdot g \cdot V_{bared}$$

$$W_{bared} = 291.4 \text{ N} \approx 295 \text{ N}$$

### **a.1. Fuerza requerida para abrir la compuerta**

Para determinar esta fuerza es necesario calcular primero el peso de la columna de mezcla de hormigón que actúa sobre la compuerta de descarga ubicada al fondo de la tolva.

Conociendo que la tolva tiene una altura de llenado de 600 mm, y su boca de descarga que tiene un área rectangular de 200 mm x 400 mm (igual a dos bloques huecos), entonces, el peso de mezcla de hormigón que actúa sobre compuerta es:

$$W_{sob\ comp} = \rho_{hrm} \cdot g \cdot h \cdot A$$

$$W_{sob\ comp} = 2200 \frac{kg}{m^3} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot 0.60m \cdot (0.2 \cdot 0.4)m^2$$

$$F = 1036 N$$

Esta fuerza actúa sobre la superficie superior de la compuerta y es igual a la normal.

La primera fuerza que debe vencer la compuerta es la fuerza de fricción  $F_{f1}$ , dada por la ecuación 1.2, que existe entre la mezcla de hormigón que se encuentra en la tolva y el acero de la superficie superior de la compuerta.

$$F_{f1} = \mu \cdot N$$

$$F_{f1} = 0.45 \cdot 1036 = 466.2 N$$

Otra fuerza que debe vencer es la fuerza de fricción  $F_{f2}$  que existe entre el acero de la superficie inferior de la compuerta y el acero de las ranuras de las guías.

$$F_{f2} = \mu \cdot N$$

$$F_{f2} = 0.30 \cdot 1036 = 310.8 N$$

Por lo tanto, la fuerza total requerida para abrir la compuerta es:

$$F_{fT1} = 466.2 + 310.8$$

$$F_{fT1} = 777 \text{ N}$$

### a.2. Fuerza requerida para mover la barredora

De forma semejante, la barredora para poder moverse, debe vencer primero la fuerza de fricción  $F_{f3}$  que existe entre el hormigón con que se llena y el acero de la superficie superior de la placa de la estructura.

$$F_{f3} = \mu \cdot N$$

$$F_{f3} = 0.45 \cdot 295 = 132.75 \text{ N}$$

También debe vencer la fuerza de fricción  $F_{f4}$  que existe entre el acero de la barredora y el acero de las ranuras guías en la estructura.

$$F_{f4} = \mu \cdot N$$

$$F_{f4} = 0.30 \cdot 445 = 133.5 \text{ N}$$

Por lo tanto, la fuerza total requerida para mover la barredora es:

$$F_{fT2} = 132.75 + 133.5$$

$$F_{fT2} = 266.25 \text{ N}$$

**b. Dimensionamiento y modelado computacional de los componentes del sistema de alimentación de la mezcla**

**b.1. Tolva**

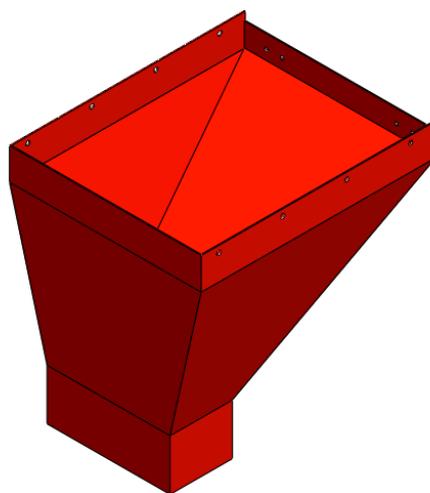
Al igual que en el cangilón, se asume un coeficiente de llenado para la tolva de 80% (asumido), por lo tanto, su volumen teórico ( $V_{Tcang}$ ) es:

$$\frac{V_{tolva}}{V_{Ttolva}} = 0.80$$

$$V_{Ttolva} = 0.225 \text{ m}^3$$

Para cumplir con este volumen, la tolva tendrá la forma mostrada en la figura 2.26 y las dimensiones indicadas en el anexo B-7.

A pesar de que el material escogido es el correcto, realizamos la optimización del material para utilizar el adecuado existente en el mercado (anexo A-15).



**Figura 2.26: Modelo en SolidWorks de la tolva**

## b.2. Compuerta

La compuerta debe soportar la presión de toda la mezcla de hormigón que se encuentra dentro de la tolva y, conociendo que la tolva tiene una altura de llenado de 600 mm (anexo B-7), la presión que actúa sobre la compuerta, está dada por la ecuación 1.18 desarrollada a continuación:

$$P = \rho_{hrm} \cdot g \cdot h$$

$$P = 2200 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 0.60\text{m}$$

$$P = 12950 \text{ Pa}$$

Esta presión actúa sobre la superficie superior de la compuerta en contacto con la boca de descarga de la tolva que tiene un área de 200 mm x 400 mm (igual a dos bloques huecos), entonces, la fuerza equivalente que actúa (ecuación 1.11) sobre compuerta es:

$$F = P \cdot A$$

$$F = 12950 \text{ N/m}^2 \cdot (0.2 \cdot 0.4)\text{m}^2$$

$$F = 1036 \text{ N}$$

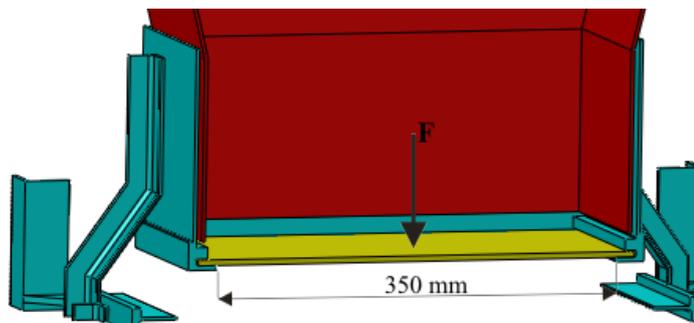


Figura 2.27: Diagrama de fuerzas de la compuerta

De la figura 2.27 se determina que la compuerta está sometida principalmente a un esfuerzo de flexión y debido a que la distancia entre apoyos (guías) es de 350 mm, el momento flector máximo es (anexo A-6):

$$M_{max} = \frac{F \cdot L}{4}$$

$$M_{max} = \frac{1036 \text{ N} \cdot 0.35 \text{ m}}{4}$$

$$M_{max} = 90.65 \text{ Nm}$$

La compuerta será fabricada con plancha de acero ASTM A36, y el espesor mínimo  $t$  es estimado a partir de la ecuación de flexión de la siguiente manera:

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{max} \cdot FS}{b \cdot t^2 / 6} \leq S_y$$

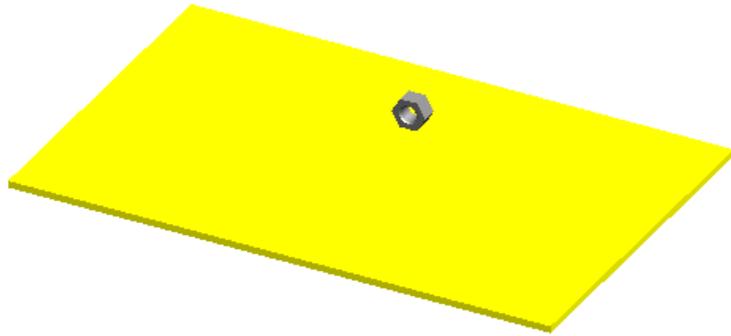
De donde:

$$t \geq \sqrt[2]{\frac{6 \cdot 90.65 \cdot 3}{0.25 \cdot 250 \cdot 10^6}}$$

$$t \geq 0.005 \text{ m} = 5 \text{ mm}$$

Por lo tanto, para que la compuerta funcione de forma adecuada, tendrá la forma mostrada en la figura 2.28 y las medidas indicadas en el anexo B-8.

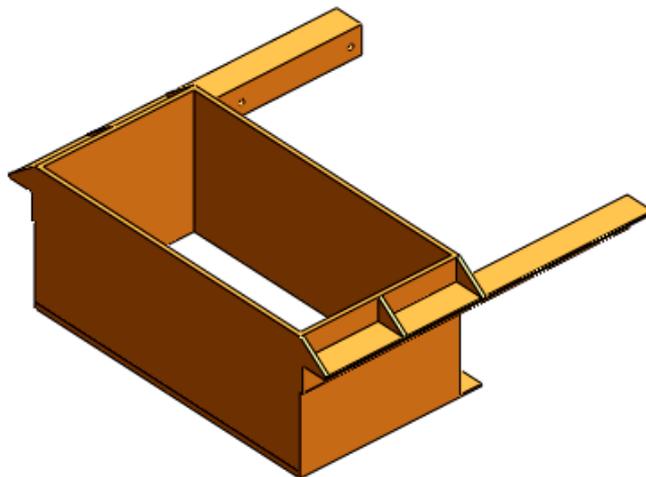
A pesar de que el material escogido es el correcto, realizamos la optimización del material para utilizar el adecuado existente en el mercado (anexo A-16).



**Figura 2.28: Modelo en SolidWorks de la compuerta**

### **b.3. Barredera**

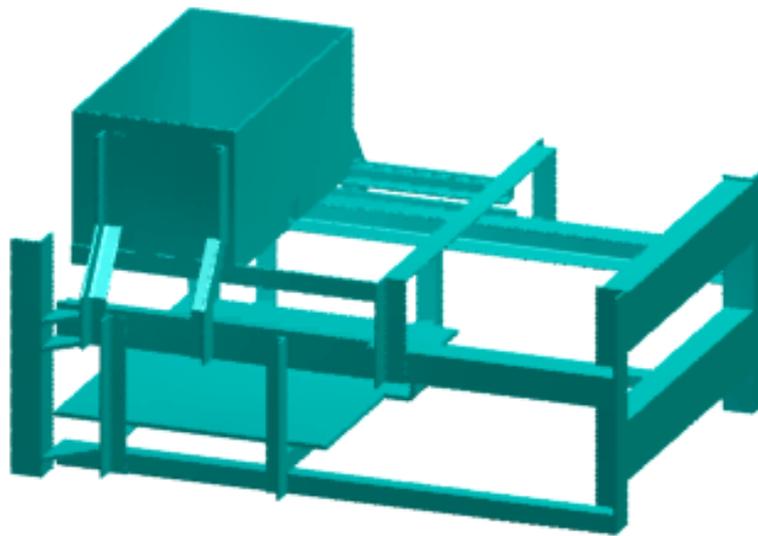
La barredera debe tener como mínimo el volumen necesario para contener los  $0.0135 \text{ m}^3$  de hormigón ( $V_{barred}$ ) calculados anteriormente. Así, la barredera tendrá la forma mostrada en la figura 2.29 y las medidas indicadas en el anexo B-9.



**Figura 2.29: Modelo en SolidWorks de la barredera**

#### **b.4. Estructura**

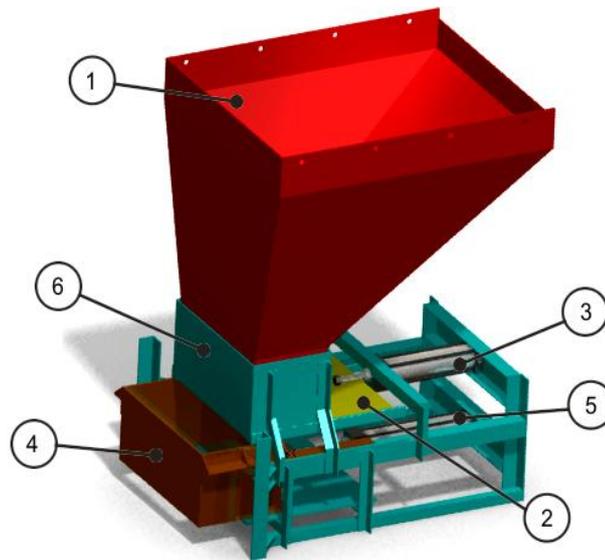
La estructura completa de la barredora (Figura 2.30, anexo B-10), soporta el peso de todos los componentes del sistema de alimentación y las reacciones a las fuerzas que cada componente genera, por lo tanto, para determinar el tamaño del perfil estructural que mejor se comporta ante tales esfuerzos, se utilizó SolidWorks Simulation y los resultados del análisis se muestran en la siguiente sección.



**Figura 2.30: Modelo en SolidWorks de la estructura**

#### **c. Análisis de esfuerzos del sistema de alimentación de la mezcla**

Luego de ensamblar todos los componentes mecánicos del sistema de alimentación (figura 2.31) se procede a crear un estudio de diseño en SolidWorks Simulation para el posterior análisis de esfuerzos.



**Figura 2.31: Sistema de alimentación de la mezcla.** (1) Tolva, (2) compuerta, (3) – (5) cilindros neumáticos, (4) barredora, (6) estructura

### c.1. Asignación de materiales

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los materiales asignados a los diferentes componentes del sistema de alimentación.

**Tabla 2.4: Materiales asignados a los componentes del sistema de alimentación**

Nº	NOMBRE DE SÓLIDO	MATERIAL	MASA	VOLUMEN
1	Barredora	ASTM A36 Acero	14.7232 kg	0.0018755 m <sup>3</sup>
2	Compuerta	ASTM A36 Acero	3.85334 kg	0.0004908 m <sup>3</sup>
3	Tolva	ASTM A36 Acero	35.4488 kg	0.0045157 m <sup>3</sup>
4	Estructura	ASTM A36 Acero	33.7208 kg	0.00429564 m <sup>3</sup>

## c.2. Asignación de cargas y restricciones

En base a los pesos y fuerzas requeridas para accionar los diferentes componentes y con los puntos de apoyo del sistema de alimentación de la mezcla se asignan las siguientes cargas y restricciones.

**Tabla 2.5: Cargas asignadas al sistema de alimentación de la mezcla**

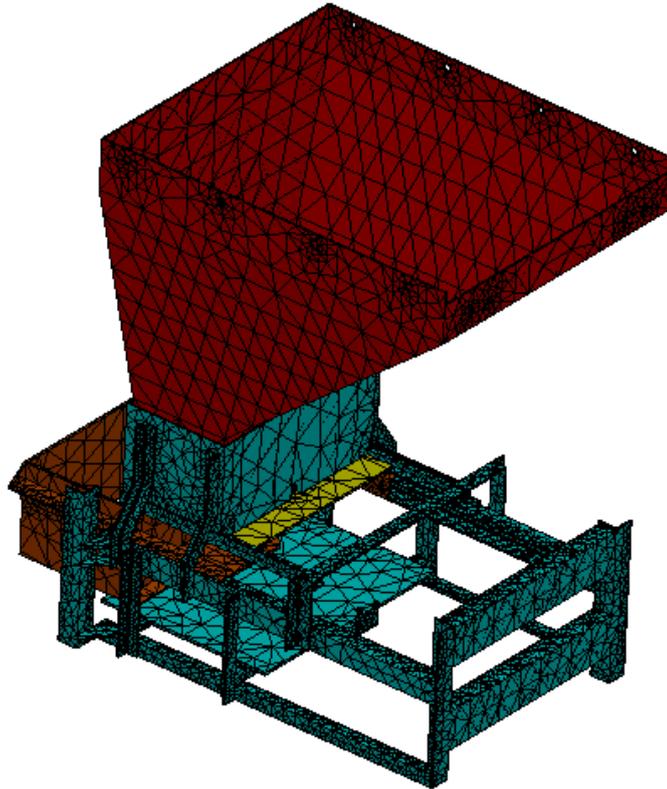
NOMBRE DE CARGA	DE	CONJUNTO DE SELECCIONES	DE	TIPO DE CARGA
Peso <TOLVA>	mezcla	activar 2 Cara(s) aplicar fuerza -3885 N normal al plano de referencia de planta		Carga distribuida
Fuerza-2 <COMPUERTA>	<	activar 1 Cara(s) aplicar fuerza normal 1036 N utilizando distribución uniforme		Carga uniforme
Fuerza-3 <ESTRUCTURA & COMPUERTA>		activar 2 Cara(s) aplicar fuerza normal -777 N utilizando distribución uniforme		Carga uniforme
Fuerza-4 <ESTRUCTURA & BARREDORA>		activar 2 Cara(s) aplicar fuerza normal 266.25 N utilizando distribución uniforme		Carga uniforme
Gravedad-1		Aceleración de la gravedad - 9.81 m/s <sup>2</sup>		Carga secuencial

**Tabla 2.6: Restricciones del sistema de alimentación de la mezcla**

NOMBRE DE RESTRICCIÓN	CONJUNTO DE SELECCIONES
Fijo-1 < TOLVA-1>	Activar 13 Cara(s) fijo.
Fijo-2 <ESTRUCTURA>	Activar 4 Cara(s) fijo.

### c.3. Mallado y ejecución de estudio de diseño

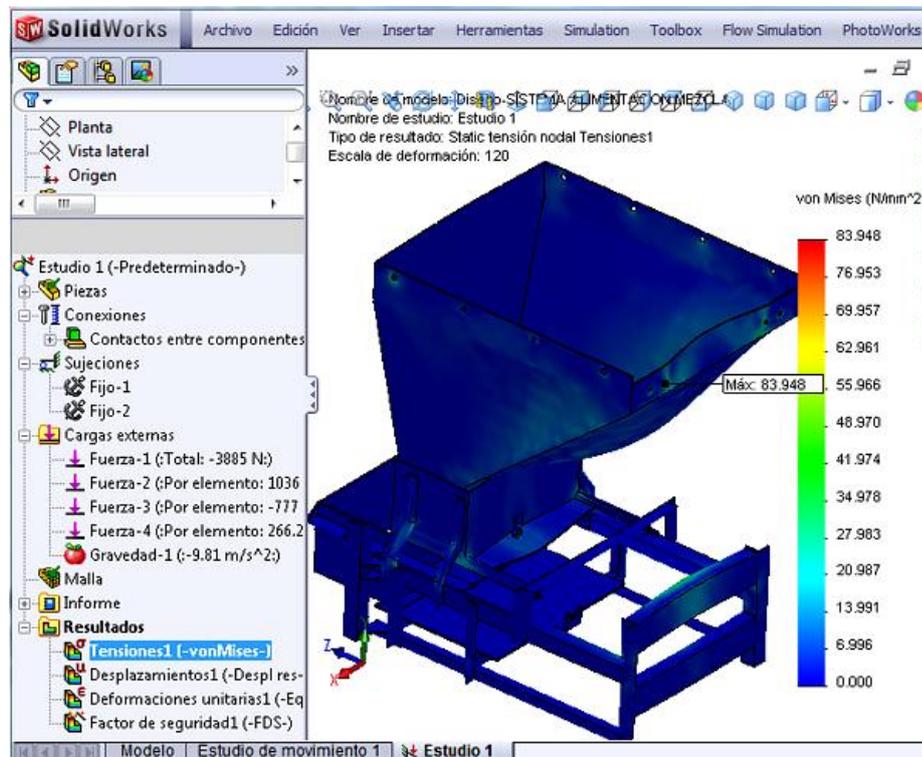
Una vez asignadas las cargas y restricciones se procede a mallar el ensamble (figura 2.32) y ejecutar el estudio de diseño.



**Figura 2.32: Mallado del sistema de alimentación de la mezcla**

### c.4. Resultados

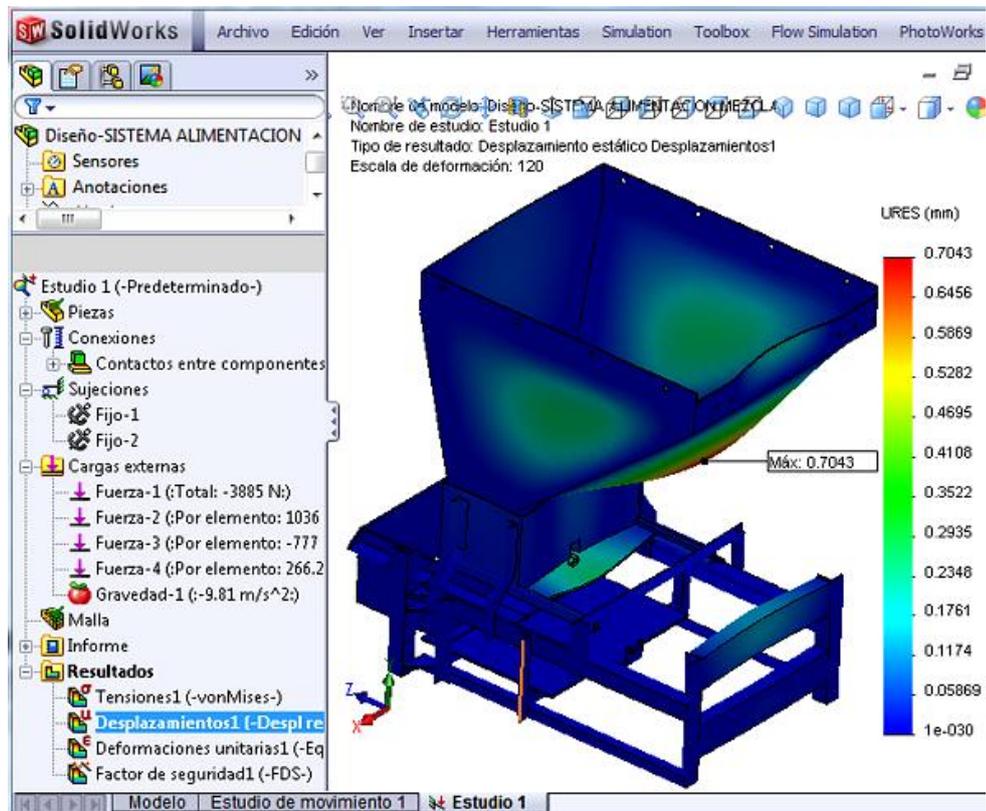
A continuación se presentan los resultados obtenidos en el análisis de esfuerzos.



**Figura 2.33: Tensión de Von Mises en el sistema de alimentación de la mezcla**

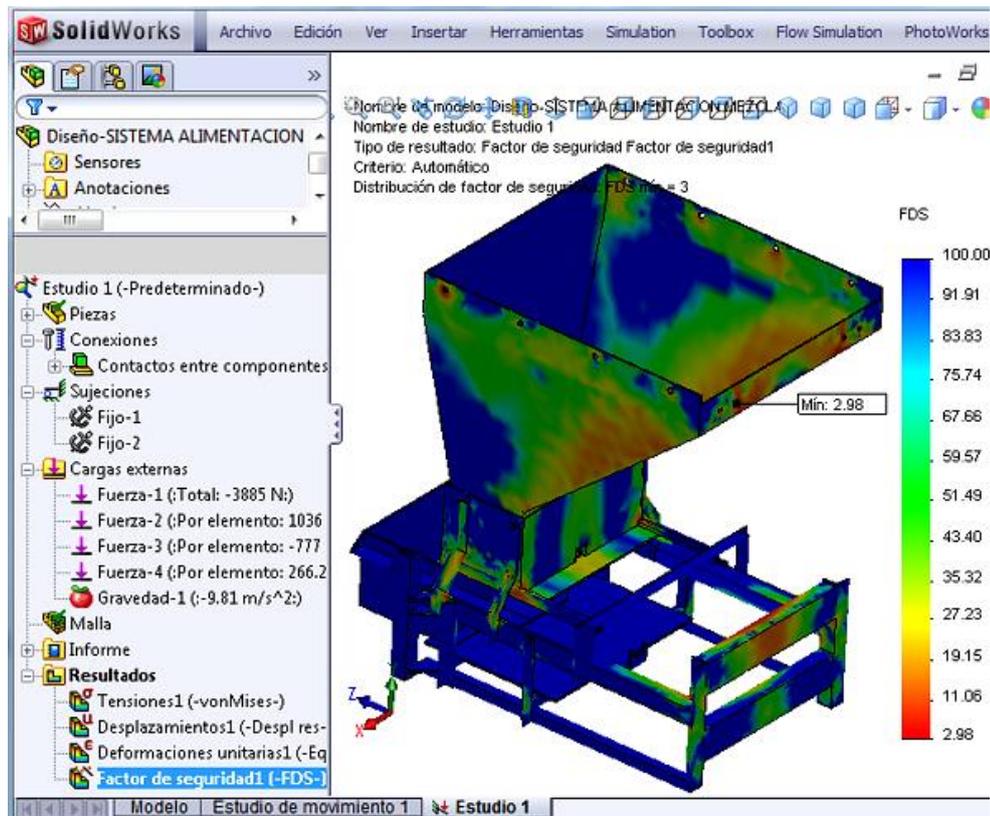
En la figura 2.33 se observa que en el sistema de alimentación de la mezcla la máxima tensión ocurre en los agujeros para los pernos de sujeción de la tolva y su valor es de 83.95 MPa, pero al ser esta tensión menor que el límite de fluencia del acero ASTM A 36 (250 MPa), el sistema puede resistir la tensión máxima sin fallar.

Al analizar la figura 2.34 se determina que los máximos desplazamientos en el sistema de alimentación de la mezcla se producen en la cara inclinada de la tolva y en la compuerta, siendo su valor máximo de 0.7043 mm, sin embargo, al ser estos valores muy pequeños, no afecta el funcionamiento normal del sistema de alimentación.



**Figura 2.34: Desplazamientos resultantes en el sistema de alimentación de la mezcla**

En cuanto al factor de seguridad, en la figura 2.35 se muestra su distribución y se observa que las zonas críticas del sistema de alimentación de la mezcla son los agujeros para los pernos de sujeción de la tolva, la zona central de la compuerta y el canal “U” donde se fija el cilindro neumático que abre la compuerta, sin embargo, su valor mínimo es de 2.98, por lo que se concluye que el diseño es seguro.



**Figura 2.35: Distribución del factor de seguridad en el sistema de alimentación de la mezcla**

Una vez conocidos los resultados de esfuerzos, desplazamiento y factor de seguridad, se sugiere una optimización de la tolva como se muestra en el Anexo A-15, y de la tapa de la tolva Anexo A-15.1.

### **2.2.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE TABLEROS**

Sobre los tableros de madera se depositan los productos ya terminados (bloques o adoquines) luego de que se han cumplido las diferentes fases del proceso.

La alimentación de tableros hacia la mesa de vibración se realiza por medio de un pie de empuje que se mueve por la acción de un cilindro

neumático y empuja los tableros a lo largo de las guía de la estructura. El sistema descansa sobre la estructura soporte.

**a. Determinación de las cargas que soporta el sistema de alimentación de tableros**

El sistema de alimentación de tableros debe ejercer una fuerza para superar el peso de la pila de tableros, la fuerza de rozamiento entre tablero-tablero, y el peso de un tablero con el producto ya terminado.

El peso de cada tablero de madera ( $W_{table}$ ) es = 1.40 kg = 13.7 N

El peso promedio de cada bloque hueco terminado ( $W_{bloq}$ ) es = 10.1 kg = 99.15 N

Cada tablero puede llevar 2 bloques huecos terminados de (100x200x400) mm, entonces, el peso del tablero con producto es:

$$W_{t-p} = W_{table} + 2 W_{bloq}$$

$$W_{t-p} = 212 N$$

La estructura tiene capacidad para acumular 20 tableros, por lo que, el peso total de los tableros es

$$W_{Tt} = 20 W_{table}$$

$$W_{Tt} = 274 N$$

### a.1. Fuerza requerida para mover los tableros

La primera fuerza que debe vencer el cilindro neumático es la fuerza de fricción  $F_{f1}$  que existe entre los tableros y las guías de acero.

$$W_{total} = W_{t-p} + W_{Tt}$$

$$W_{total} = 486 \text{ N}$$

$$F_{f1} = \mu \cdot N$$

$$F_{f1} = 0.60 \cdot 486 = 291.6 \text{ N}$$

Otra fuerza que debe vencer es la fuerza de fricción  $F_{f2}$  que existe entre el tablero en la parte inferior de la pila y el tablero que se encuentra sobre él.

$$F_{f2} = \mu \cdot W_{Tt}$$

$$F_{f2} = 0.48 \cdot 274 = 131.6 \text{ N}$$

Por lo tanto, la fuerza total requerida para mover los tableros es:

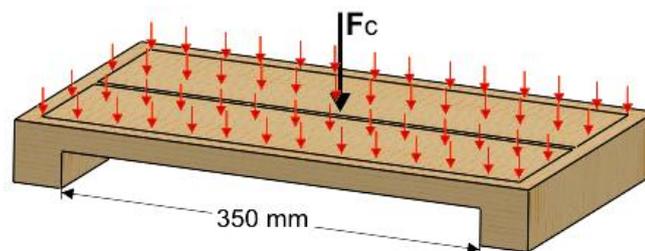
$$F_T = F_{f1} + F_{f2}$$

$$F_T = 423.2 \text{ N}$$

**b. Dimensionamiento y modelado computacional de los componentes del sistema de alimentación de la mezcla**

**b.1. Tableros**

Los tableros (figura 2.36, anexo B-11) deben tener las medidas suficientes para contener 2 bloques huecos de (100x200x400) mm, y además deben ser capaces de soportar una fuerza de compactación  $F_c$  de 4000 N uniformemente distribuida, que actúa sobre su superficie superior.



**Figura 2.36: Diagrama de fuerzas del tablero**

En la figura 2.36 se observa que el tablero soporta un esfuerzo de flexión debido a la fuerza de compactación uniformemente distribuida, y ya que la distancia entre apoyos (guías) es de 350 mm, el momento flector máximo es (anexo A-6):

$$M_{max} = \frac{F \cdot L}{8}$$

$$M_{max} = \frac{4000 \text{ N} \cdot 0.35 \text{ m}}{8}$$

$$M_{max} = 175 \text{ Nm}$$

EL espesor mínimo  $t$  del tablero se estima a partir de la ecuación de flexión:

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{max} \cdot FS}{b \cdot t^2 / 6} \leq S_y$$

De donde:

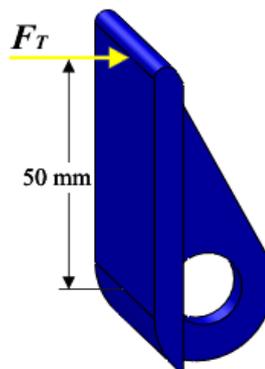
$$t \geq \sqrt[2]{\frac{6 \cdot 175 \cdot 3}{0.24 \cdot 22 \cdot 10^6}}$$

$$t \geq 0.0244 \text{ m} = 25 \text{ mm}$$

A pesar de que el material escogido es el correcto, realizamos la optimización del material para utilizar el adecuado existente en el mercado (anexo A-17).

## b.2. Pie de empuje

El pie de empuje (figura 2.37, anexo B-12, 13) debe ser capaz de resistir la fuerza requerida para mover los tableros  $F_T$ .



**Figura 2.37: Diagrama de fuerzas del pie de empuje**

Debido a que el pie de empuje está sujeto en el agujero y soporta un esfuerzo de flexión debido a la fuerza requerida para mover los tableros, el momento flector máximo es:

$$M_{max} = F_T \cdot L$$

$$M_{max} = 423.2 \text{ N} \cdot 0.05 \text{ m}$$

$$M_{max} = 21.2 \text{ Nm}$$

EL espesor mínimo  $t$  del pie de empuje viene dado por:

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{max} \cdot FS}{b \cdot t^2 / 6} \leq S_y$$

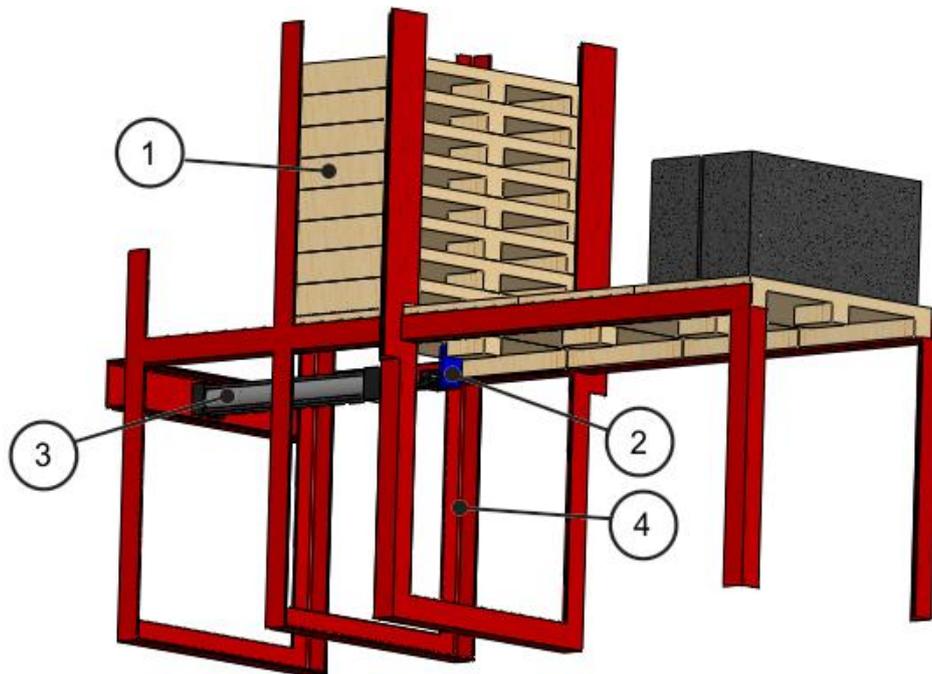
De donde:

$$t \geq \sqrt[2]{\frac{6 \cdot 21.2 \cdot 3}{0.045 \cdot 250 \cdot 10^6}}$$

$$t \geq 0.0058 \text{ m} \approx 6 \text{ mm}$$

### c. Análisis de esfuerzos del sistema de alimentación de tableros

Luego de ensamblar todos los componentes mecánicos del sistema de alimentación de tableros (figura 2.38, anexos B-14, 15) se crea un estudio de diseño en SolidWorks Simulation y posteriormente se ejecuta su análisis de esfuerzos.



**Figura 2.38: Sistema de alimentación de tableros.** (1) Tableros, (2) pie de empuje, (3) cilindro neumático, (4) estructura

### c.1. Asignación de materiales

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los materiales asignados a los diferentes componentes del sistema.

**Tabla 2.7: Materiales asignados a los componentes del sistema de alimentación de tableros**

Nº	NOMBRE DE SÓLIDO	MATERIAL	MASA	VOLUMEN
1	TABLEROS	MADERA	1.3668 kg	0.0027336 m <sup>3</sup>
2	PIE DE EMPUJE	ASTM A36 Acero	0.1655 kg	0.0004908 m <sup>3</sup>
3	ESTRUCTURA	ASTM A36 Acero	37.2141 kg	0.0039668 m <sup>3</sup>

## c.2. Asignación de cargas y restricciones

En base a los pesos y fuerzas requeridas para accionar los diferentes componentes y con los puntos de apoyo del sistema de alimentación de tableros se asignan las siguientes cargas y restricciones.

**Tabla 2.8: Cargas asignadas al sistema de alimentación de tableros**

NOMBRE DE CARGA	CONJUNTO DE SELECCIONES	TIPO DE CARGA
Fuerza compresión <Tablero madera>	activar 2 Cara(s) aplicar fuerza normal 4000 N utilizando distribución uniforme	Carga distribuida
Fuerza empuje <Estructura Tablero>	activar 1 Cara(s) aplicar fuerza normal 423.2 N utilizando distribución uniforme	Carga uniforme
Peso <Tablero madera>	activar 2 Cara(s) aplicar fuerza normal 274 N utilizando distribución uniforme	Carga uniforme
Gravedad-1	Aceleración de la gravedad - 9.81 m/s <sup>2</sup>	Carga secuencial

**Tabla 2.9: Restricciones del sistema de alimentación de tableros**

NOMBRE DE RESTRICCIÓN	CONJUNTO DE SELECCIONES
Fijo-1 <ESTRUCTURA>	Activar 5 Cara(s) fijo.

### c.3. Mallado y ejecución de estudio de diseño

Luego se malla el ensamble (figura 2.39) y se ejecuta el estudio de diseño.

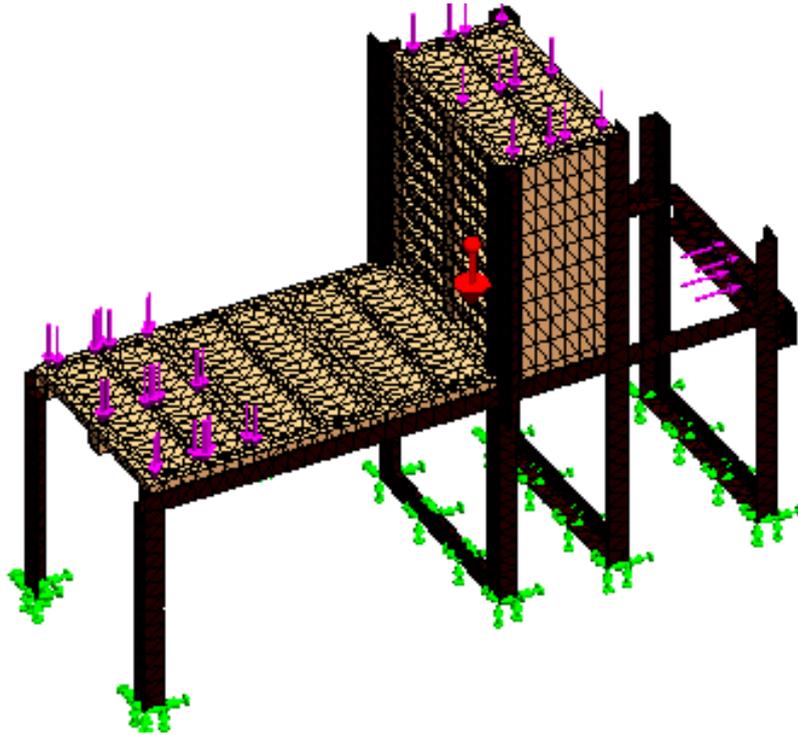
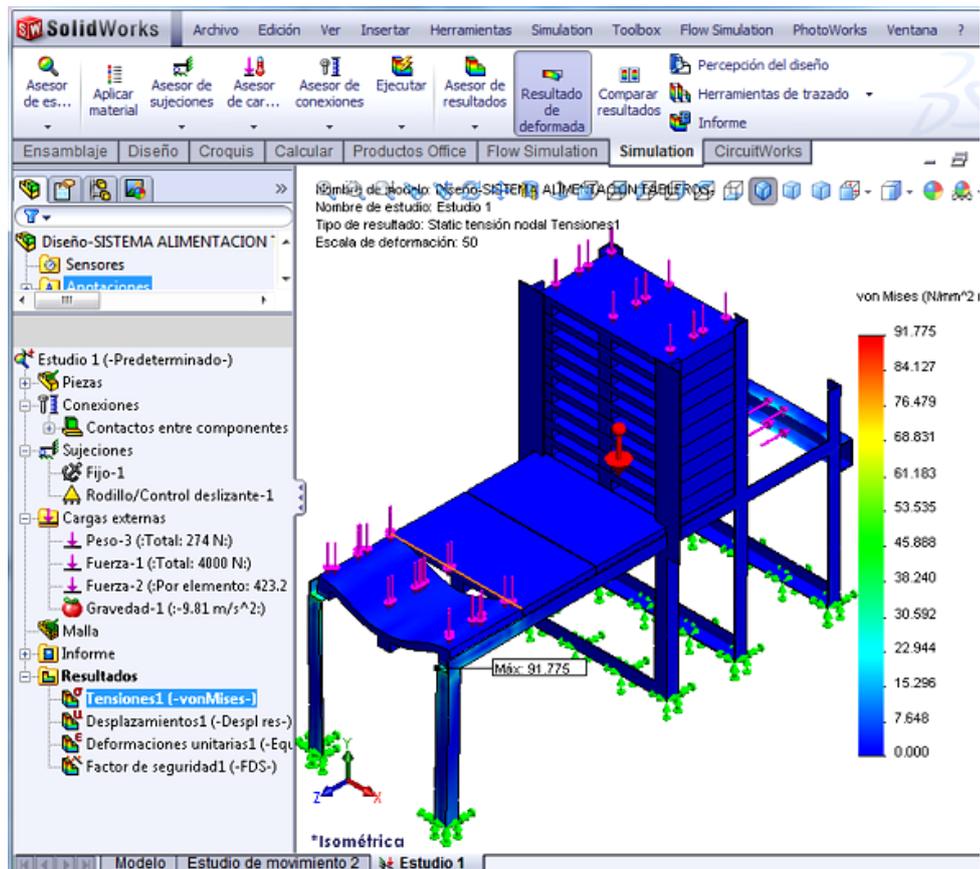


Figura 2.39: Mallado del sistema de alimentación de la mezcla

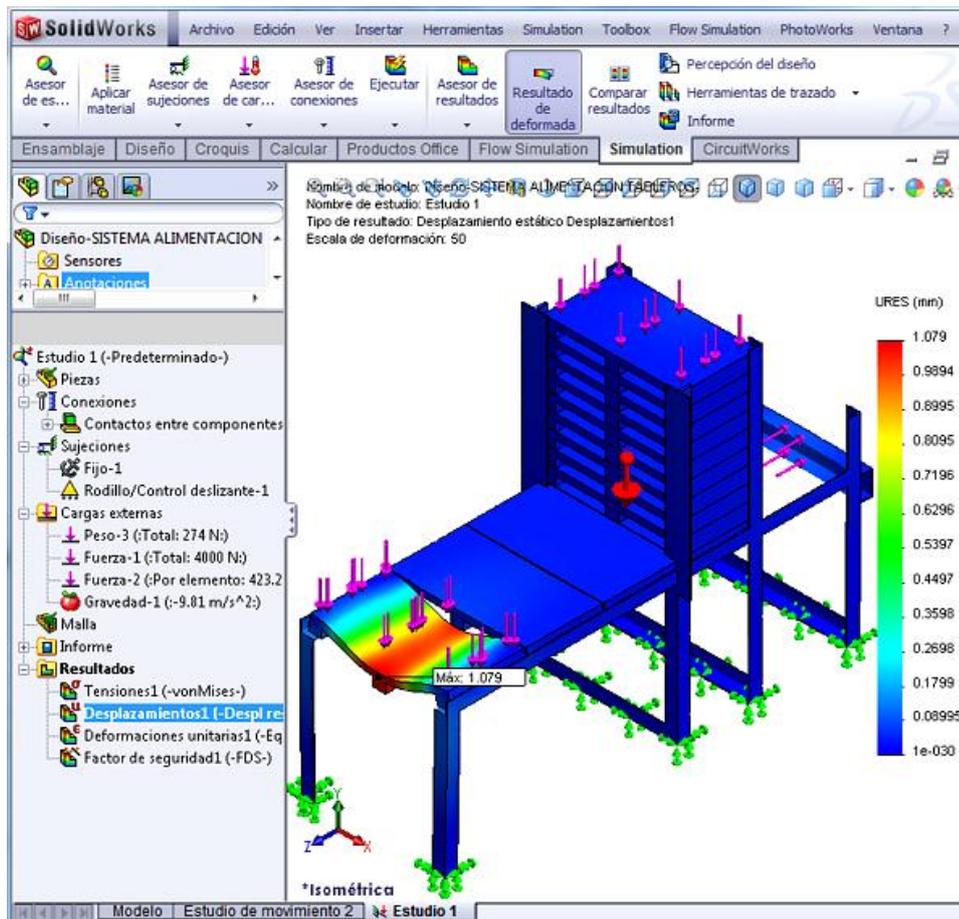
### c.4. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el análisis de esfuerzos.



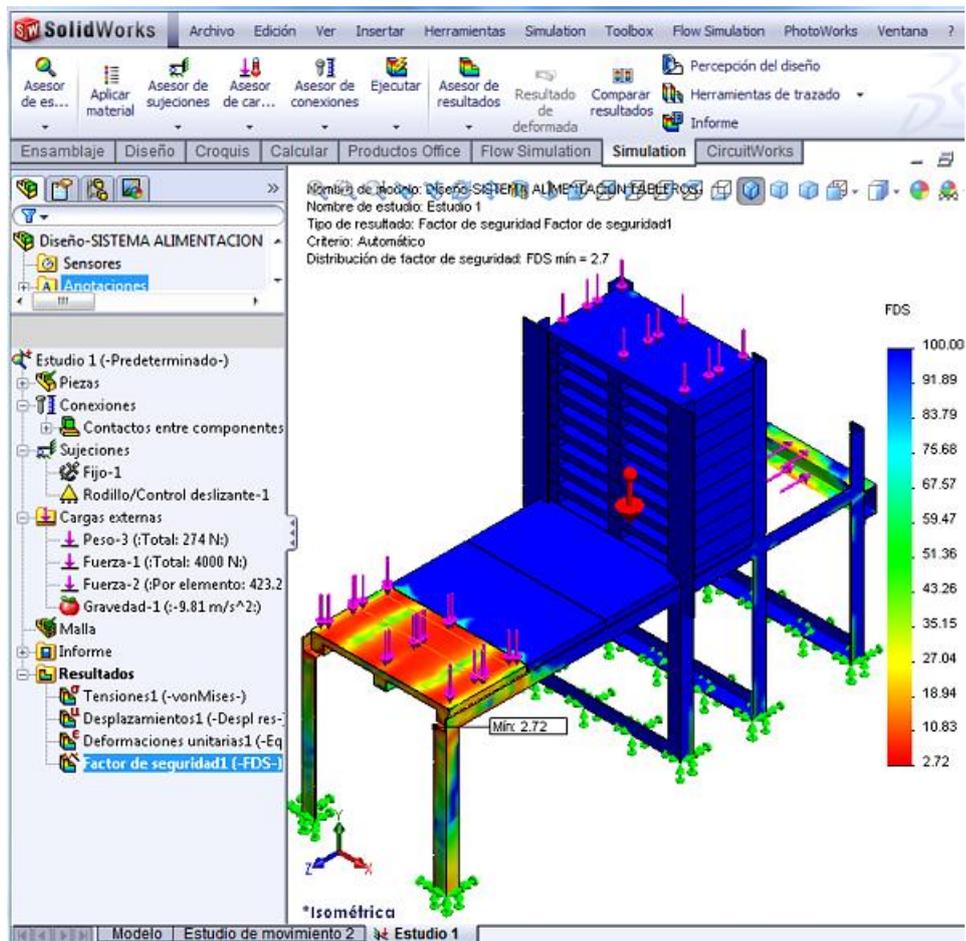
**Figura 2.40: Tensión de Von Mises en el sistema de alimentación de tableros**

Al analizar la figura 2.40 se observa que la máxima tensión de Von Mises ocurre en la estructura soporte de los tableros debido a la acción de la fuerza de compactación de la mezcla de hormigón, su valor es de 91.775 MPa, sin embargo, esta tensión es menor que el límite de fluencia del material de 250 MPa, por lo tanto, la estructura resiste la tensión máxima.



**Figura 2.41: Desplazamientos resultantes en el sistema de alimentación de los tableros**

En la figura 2.41 se observa que, en el sistema de alimentación de tableros, los desplazamientos más grandes ocurren en la parte central de los tableros de madera debido a la acción de la fuerza de compactación de la mezcla y su valor máximo es de 1.079 mm, el mismo que se considera que no afecta de forma importante en el funcionamiento normal del sistema.



**Figura 2.42: Distribución del factor de seguridad en el sistema de alimentación de tableros**

En cuanto al factor de seguridad, en la figura 2.42 se muestra su distribución y se concluye que las zonas críticas del sistema de alimentación de tableros están en los extremos de la estructura cerca de donde se aplica la fuerza de compactación y en el tablero al que se aplica dicha fuerza, sin embargo, su valor mínimo es de 2.72, por lo que el diseño es confiable.

Una vez conocidos los resultados de esfuerzos, desplazamiento y factor de seguridad, se sugiere una optimización de los tableros como se muestra en el anexo A-16.

#### **2.2.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE VIBRACIÓN**

La vibración es el método de asentamiento más eficaz conseguido hasta ahora. Con la vibración se obtiene una mejor compactación del material, dando como resultado un hormigón de características bien definidas como son la resistencia mecánica, compacidad y un buen acabado.

La vibración se produce en el mismo instante que la compresión y se realiza por medio de tres excéntricas montadas en un eje que se acopla de forma directa a un motor eléctrico.

El desbalanceo de las excéntricas, al rotarlas a altas velocidades, generan una fuerza centrífuga elevada que provoca la vibración de la mesa vibratoria y por ende del molde con la mezcla de hormigón.

##### **a. Determinación de las cargas que soporta el sistema de vibración**

Un factor de considerable importancia es el tiempo que dura el proceso de vibración. Este tiempo depende, entre los factores más importantes, de la frecuencia de vibración, de la calidad del agregado, de la riqueza en cemento de la mezcla; al aumentar la frecuencia disminuye el tiempo de vibrado, sin embargo, la vibración muy enérgica y prolongada puede producir efectos desfavorables, por lo tanto; la vibración se considera completa cuando la lechada de cemento empieza a fluir a la superficie.

Debido a que los mejores resultados se obtienen cuando la vibración es de alta frecuencia, se utilizará un motor eléctrico de 3600 rpm (377 rad/s), con el que el tiempo de vibración debe durar de 3 a 5 segundos para lograr que el material se compacte perfectamente.

Con el fin de obtener prefabricados de hormigón de buena calidad, los componentes del sistema de vibración se diseñarán de manera que generen una fuerza de vibración mayor a una tonelada (1000 kgf).

## **b. Dimensionamiento y modelado computacional de los componentes del sistema de vibración**

### **b.1. Excéntricas**

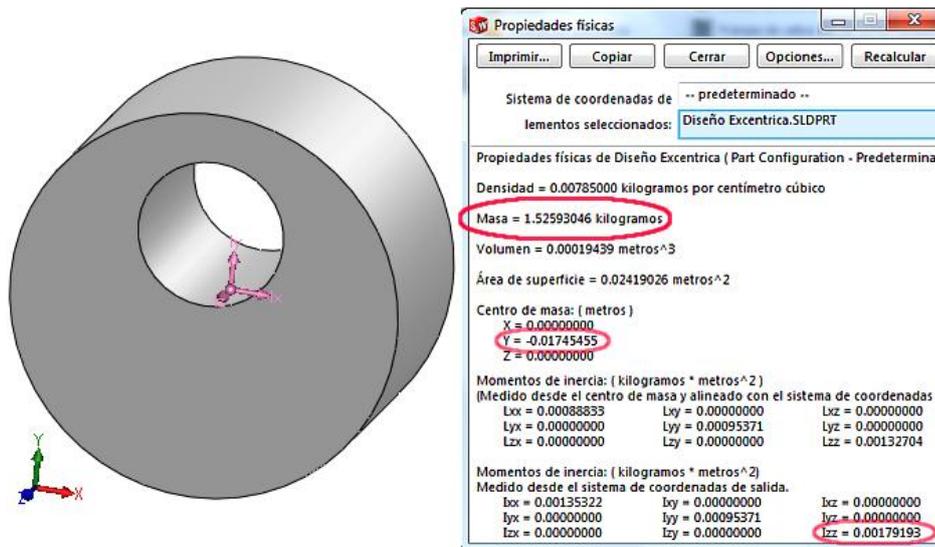
El sistema de vibración consta de tres excéntricas, cada una de las cuales tienen la forma y el tamaño mostrado en la figura 2.43 (anexo B-16) para que, por efecto del giro del motor eléctrico, generen una fuerza vibratoria mayor a una tonelada.

La magnitud total de la fuerza centrífuga  $F_C$  (ecuación 1.19) provocada por las tres excéntricas y la velocidad angular de 3600 rpm del motor es:

$$F_C = m \cdot a_n = m_{exc} \cdot r \cdot \omega^2$$

$$F_C = 3[1.526 \text{ kg} \cdot 0.0174 \text{ m} \cdot (377 \text{ rad/s})^2]$$

$$F_C = 11320 \text{ N} = 1154 \text{ kg}$$

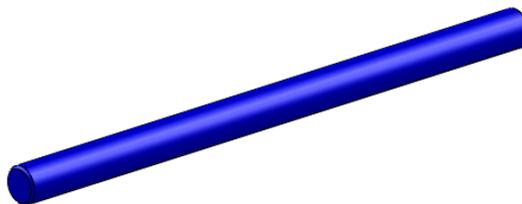


**Figura 2.43: Modelo en SolidWorks y propiedades físicas de las excéntricas**

## b.2. Eje de vibración

Debido a que el eje debe soportar la fuerza centrífuga generada por las excéntricas, éste será fabricado en acero al carbono para maquinaria AISI 1045 y tendrá un diámetro de 30 mm (figura 2.44, anexo B-17).

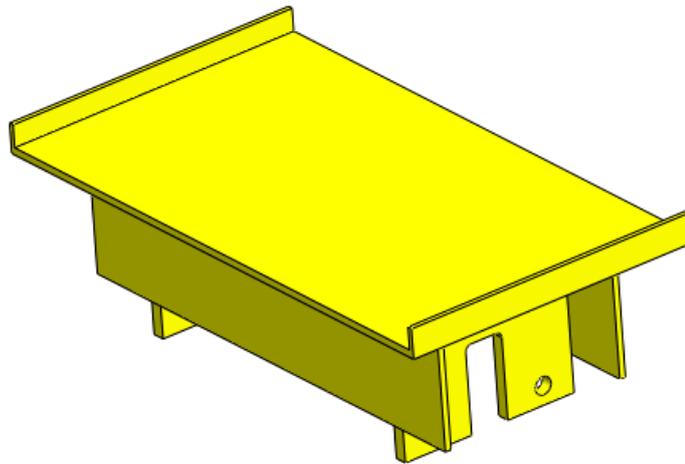
A pesar de que el material escogido es el correcto, realizamos la optimización del material para utilizar el adecuado existente en el mercado (anexo A-18).



**Figura 2.44: Modelo en SolidWorks del eje**

### **b.3. Mesa vibratoria**

La mesa vibratoria debe tener las medidas suficientes para contener al molde más grande (el de bloques huecos) y además debe soportar las fuerzas generadas por la vibración, por lo tanto, tendrán la forma mostrada en la figura 2.45 y las dimensiones indicadas en el anexo B-18.



**Figura 2.45: Modelo en SolidWorks de la mesa vibratoria**

### **b.4. Potencia requerida**

Para determinar la potencia requerida para el motor es necesario conocer también los siguientes parámetros:

Momento de inercia de las masas en movimiento con respecto a su eje de rotación.

Aceleración angular desde una velocidad angular inicial hasta la velocidad angular nominal.

Debido a que el motor pone en movimiento al eje con las tres excéntricas, y el eje de rotación es el Z, se toma de SolidWorks los momentos de inercia de estos componentes con respecto al eje Z ( $I_{zz}$ ).

$$I_{zz_{eje}} = 0.00179 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{zz_{exc}} = 0.0003 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{zz_{total}} = I_{zz_{eje}} + 3I_{zz_{exc}} = 0.00567 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Debido a que el motor, luego de su arranque, debe alcanzar su velocidad nominal (3600 rpm) en un tiempo no mayor a 0.5 segundos, la aceleración angular del motor es:

$$\alpha = \frac{\omega}{t}$$

$$\alpha = \frac{377 \text{ rad/s}}{0.5 \text{ s}} = 754 \text{ rad/s}^2$$

Por lo tanto, la potencia requerida por el motor para poner en rotación los componentes móviles (anexo B-19 y 20) es:

$$Pot = T \cdot \omega = I_{total} \cdot \alpha \cdot \omega$$

$$Pot = 0.00567 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot 754 \text{ rad/s}^2 \cdot 377 \text{ rad/s}$$

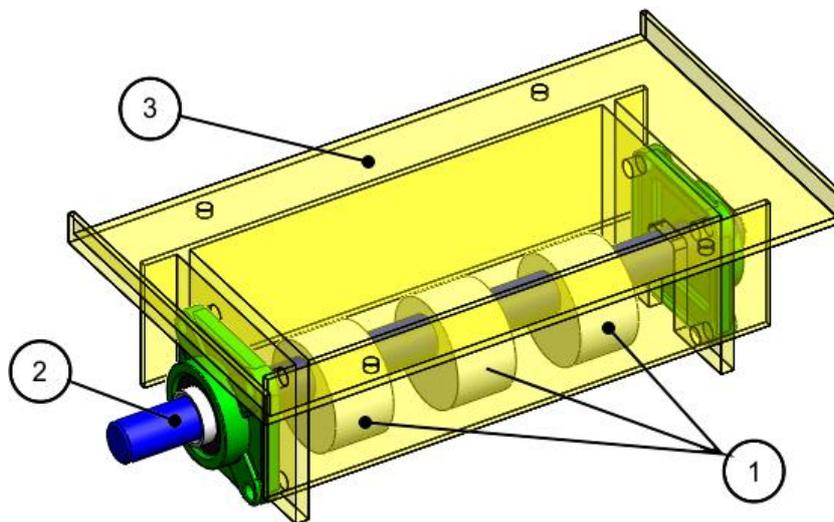
$$Pot = 1611.7 \text{ W} = 2.16 \text{ hp}$$

Utilizando un margen de seguridad del 30 % con el objeto contemplar situaciones particulares adversas en el motor, se obtiene 2.8 hp, por lo

que, se selecciona un motor eléctrico de 3 hp de potencia y 3600 rpm de velocidad.

**c. Análisis de esfuerzos del sistema de vibración**

Una vez modelados e insertados todos los componentes del sistema de vibración (figura 2.46) de la máquina se crea el estudio de diseño en SolidWorks Simulation para su posterior análisis de esfuerzos.



**Figura 2.46: Sistema de vibración.** (1) Excéntricas, (2) eje de vibración, (3) mesa vibratoria

**c.1. Asignación de materiales**

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los materiales asignados a los diferentes componentes de este sistema.

**Tabal 2.10: Materiales asignados a los componentes del sistema de vibración**

Nº	NOMBRE SÓLIDO	DE	MATERIAL	MASA	VOLUMEN
----	---------------	----	----------	------	---------

1	EXCÉNTRICA	ASTM A36 Acero	1.5264 kg	0.00018894 m <sup>3</sup>
2	EJE	AISI 1045 Acero	2.66061 kg	0.00033893 m <sup>3</sup>
3	MESA VIBRATORIA	ASTM A36 Acero	11.1882 kg	0.00142525 m <sup>3</sup>

### c.2. Asignación de cargas y restricciones

En base a los pesos y fuerzas que actúan en el sistema y conociendo sus puntos de apoyo se asignan las siguientes cargas y restricciones.

**Tabla 2.11: Cargas asignadas al sistema de vibración**

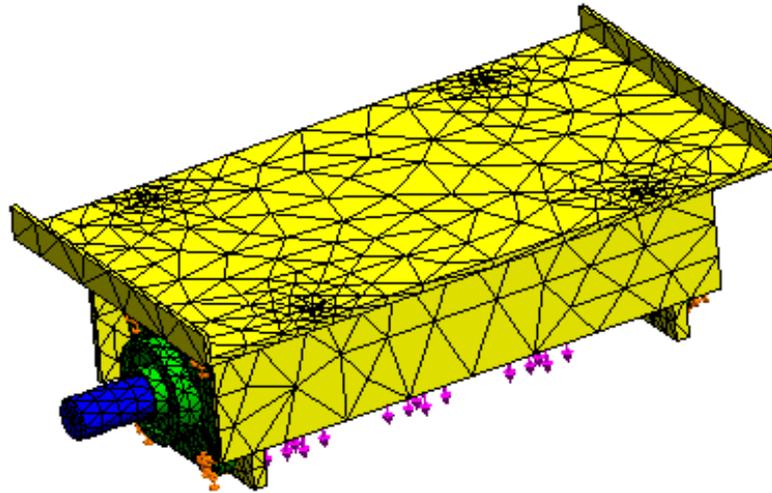
NOMBRE DE CARGA	CONJUNTO DE SELECCIONES	TIPO DE CARGA
Fuerza centrífuga <Excéntrica>	activar 3 Cara(s) aplicar fuerza - 11320 N normal a plano de referencia distribución uniforme	Carga uniforme
Gravedad-1	Aceleración de la gravedad -9.81 m/s <sup>2</sup>	Carga secuencial

**Tabla 2.12: Restricciones del sistema de vibración**

NOMBRE DE RESTRICCIÓN	CONJUNTO DE SELECCIONES
Fijo-1 <Chumaceras de pared 30 mm>	Activar 8 Cara (s) fijas.

### c.3. Mallado y ejecución de estudio de diseño

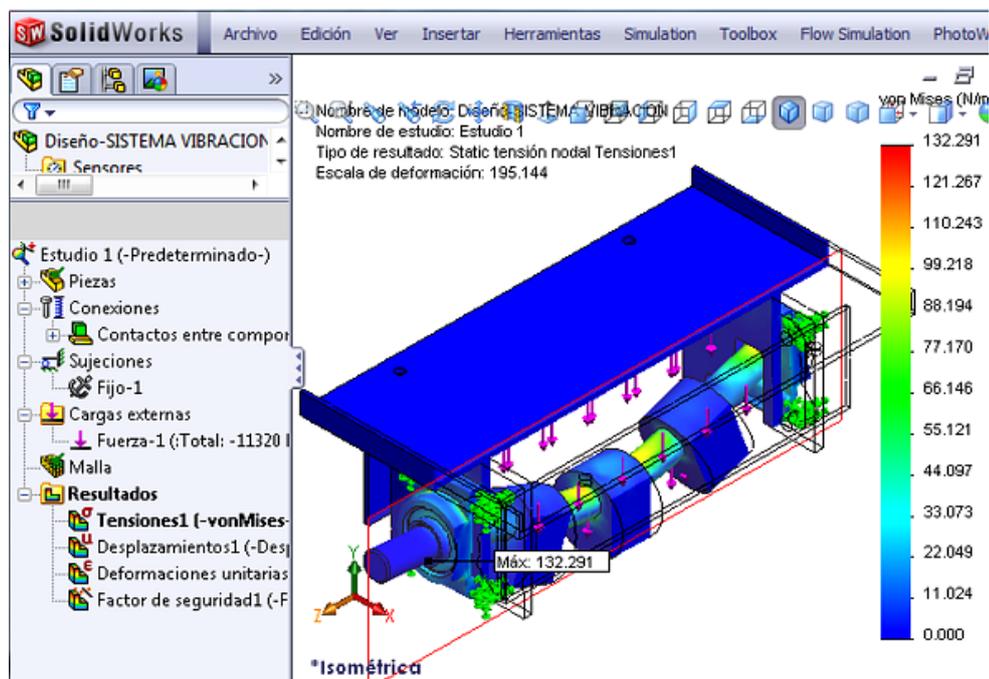
Una vez asignadas las cargas y restricciones se procede a mallar el ensamble (figura 2.47) y ejecutar el estudio de diseño.



**Figura 2.47: Mallado del sistema de vibración**

#### c.4. Resultados

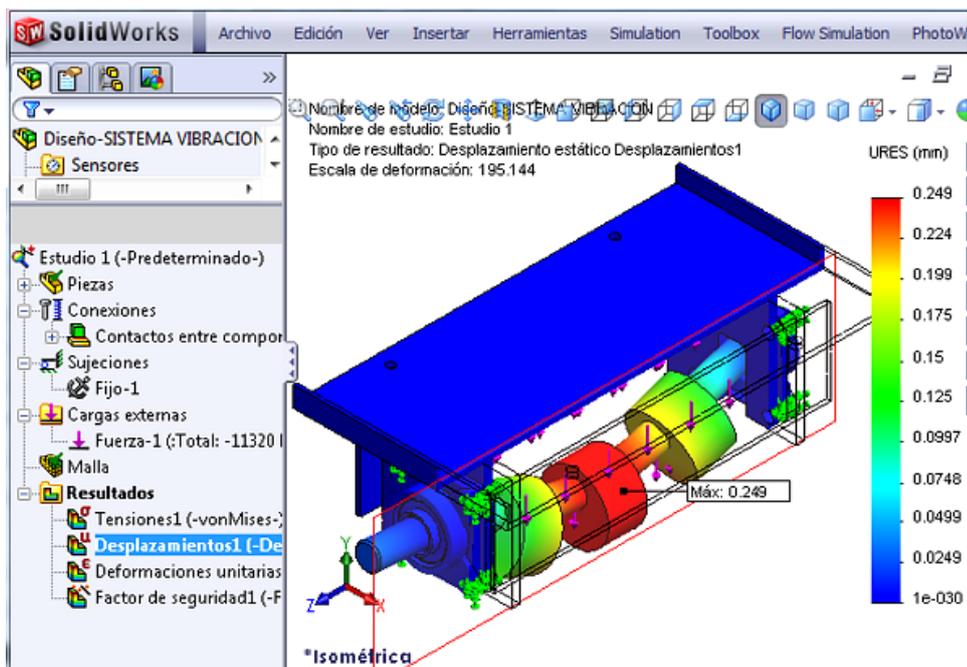
A continuación se presentan los resultados obtenidos en el análisis de esfuerzos.



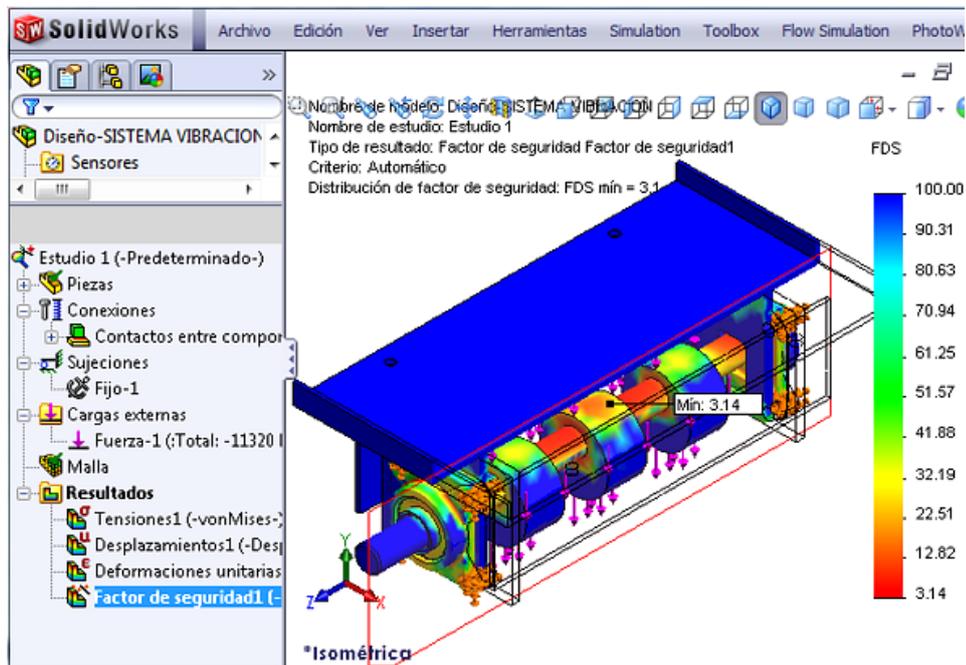
**Figura 2.48: Tensión de Von Mises en el sistema de vibración**

De la figura 2.48 se determina que en el sistema de vibración la máxima tensión de Von Mises ocurre en el eje cerca de las chumaceras de pared y su valor es de 132.291 MPa, sin embargo, esta tensión es menor que el límite de fluencia del acero AISI 1045 con que se fabricará el eje, por lo tanto, el sistema puede resistir sin fallar esta tensión máxima.

En la figura 2.49 se observa que el desplazamiento máximo en el sistema de vibración ocurre en la parte central del eje y su valor es de 0.249 mm, por lo que se considera que este desplazamiento no afecta el funcionamiento normal del sistema.



**Figura 2.49: Desplazamientos resultantes en el sistema de vibración**



**Figura 2.50: Distribución del factor de seguridad en el sistema de vibración**

En cuanto al factor de seguridad, en la figura 2.50 se muestra su distribución y se observa que la zona crítica está en la mitad del eje, sin embargo, su valor mínimo es de 3.14, por lo que se concluye que el diseño es seguro.

Una vez conocidos los resultados de esfuerzos, desplazamiento y factor de seguridad, se sugiere una optimización del eje de vibración como se muestra en el anexo A-17.

## 2.2.5. DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE COMPRESIÓN Y DE DESMOLDEO

Como se mencionó anteriormente, la duración del vibrado puede disminuirse aumentando su frecuencia, sin embargo, esto a veces no es suficiente para obtener productos con mejor compactación, siendo necesaria en ese caso la compresión simultánea de la mezcla

(vibrocompresión), la misma que; además de reducir el tiempo de vibrado permite obtener productos con mayor resistencia y mejor acabado exterior, fruto de la homogeneidad de la masa compactada.

Debido a que los sistemas de compactación y de desmoldeo están directamente relacionados, ambos se montan en la misma estructura soporte y comparten las mismas guías, en esta sección se realiza el dimensionamiento y diseño de los dos sistemas a la vez.

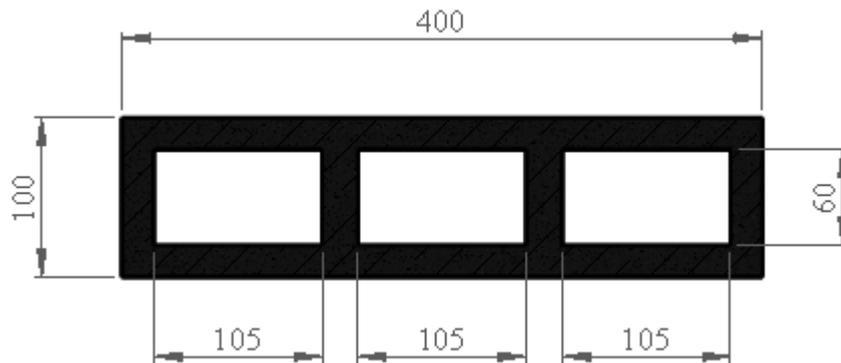
La compresión se realiza en el mismo instante que la vibración mediante el molde de compactación (molde macho) que es accionado mediante el cilindro neumático comprimiendo la mezcla de hormigón dentro del molde. Una vez terminado el proceso de vibrocompresión, los cilindros neumáticos levantan el molde hembra provocando el desmoldeo de los prefabricados de hormigón. Ambos sistemas se monta en la estructura soporte.

**a. Determinación de las cargas que soportan los sistemas de compresión y desmoldeo**

El sistema de compresión debe ejercer una fuerza lo suficientemente elevada para lograr una adecuada compactación de la mezcla de hormigón y para el dimensionamiento y diseño de este sistema, es necesario conocer la magnitud de dicha fuerza.

En las normas DIN 18152 para prefabricados de hormigón se recomienda una presión de compresión satisfactoria de  $1 \text{ kg/cm}^2$ .

El área que se necesita para la compresión es tomada de la forma y medidas de un bloque hueco de (100x200x400) mm (figura 2.51).



**Figura 2.51: Medidas estándar de un bloque hueco de (100x200x400) mm.**

De la figura 2.51 se obtiene que el área del bloque sobre la que actúa el molde de compactación es de  $211 \text{ cm}^2$ .

Debido a que el molde contiene 2 bloques, el área total de compactación es

$$A_{comp} = 2 \cdot 211 \text{ cm}^2 = 422 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto, la fuerza de compactación  $F_{comp}$  viene dada por la ecuación 1.20:

$$F_{comp} = P_{comp} \cdot A_{comp}$$

$$F_{comp} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 422 \text{ cm}^2$$

$$F_{comp} = 422 \text{ kg} \approx 4000 \text{ N}$$

Esta fuerza es requerida para la compactación del producto y es la resistencia a vencer por parte del cilindro neumático.

Para realizar la operación de desmoldeo es necesario subir el molde hembra mediante los cilindros neumáticos a fin de desmoldar los prefabricados de hormigón, por lo que, las cargas que se deben vencer son: el peso del molde, y el rozamiento del material en las paredes del molde.

Sin embargo, para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema de desmoldeo se tomará una fuerza de desmoldeo igual a la fuerza de compresión.

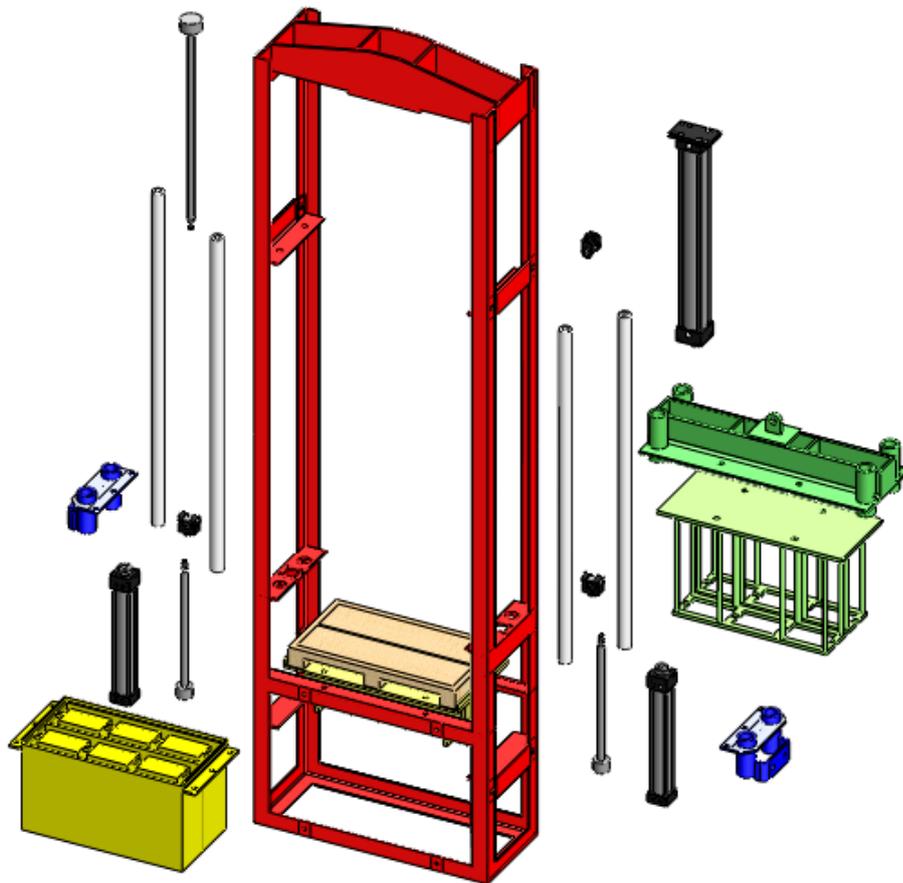
Debido a que la operación de desmoldeo es ejecutado por 2 cilindros neumáticos, la fuerza que debe generar cada cilindro es:

$$F_{desm} = \frac{F_{comp}}{2}$$

$$F_{desm} = \frac{4000 N}{2} = 2000 N$$

**b. Modelado de los componentes de los sistemas de compresión y desmoldeo**

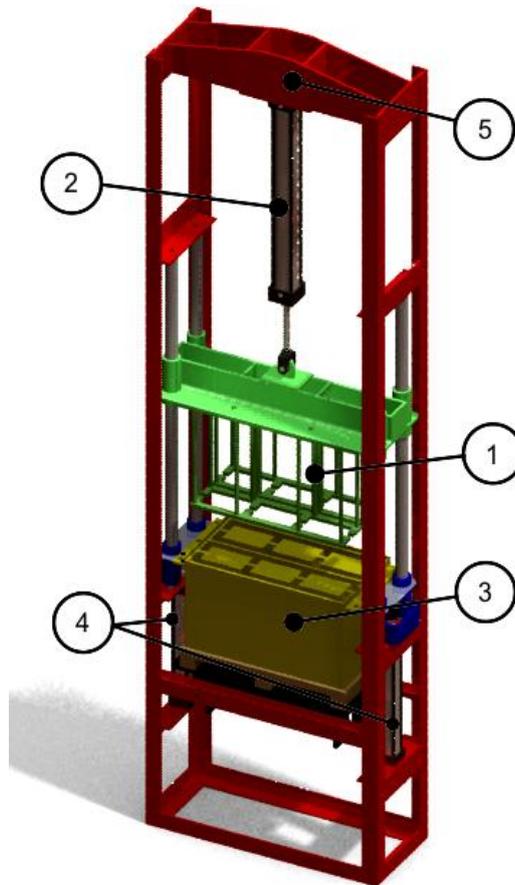
Debido a la complejidad de los elementos del sistema de compresión y desmoldeo, se procedió a modelar y ensamblar en SolidWorks los diferentes componentes del sistema (figura 2.52, anexo B-21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28) probando diferentes alternativas hasta lograr el diseño más adecuado conforme a nuestros requerimientos.



**Figura 2.52: Componentes del sistema de compresión y desmoldeo**

**c. Análisis de esfuerzos del sistema de compresión y desmoldeo**

Una vez modelados e insertados todos los componentes de los sistemas de compresión y de Desmoldeo (figura 2.53), en el documento de ensamble de SolidWorks se procede a su ensamblaje mediante el establecimiento de diferentes Relaciones de posición entre las piezas que componen el sistema de elevación, para su posterior análisis de esfuerzos en el programa SolidWorks Simulation.



**Figura 2.53: Sistema de compresión y desmoldeo.** (1) Molde macho, (2) – (4) cilindros neumáticos, (3) molde hembra, (5) estructura cilindro macho

A pesar de que el material escogido es el correcto, realizamos la optimización del material para utilizar el adecuado existente en el mercado (anexo A-19 y 20).

### **c.1. Asignación de materiales**

En la siguiente tabla se muestran los materiales asignados a los diferentes componentes de cada sistema.

**Tabal 2.13: Materiales asignados a los componentes del sistema**

Nº	NOMBRE DE SÓLIDO	MATERIAL	MASA	VOLUMEN
1	Estructura	ASTM A36 Acero	43.9816 kg	0.0056944 m <sup>3</sup>
2	Soporte molde macho	ASTM A36 Acero	14.3349 kg	0.0018261 m <sup>3</sup>
3	Molde macho	ASTM A36 Acero	12.8198 kg	0.00163309 m <sup>3</sup>
4	Molde hembra	ASTM A36 Acero	41.7208 kg	0.00531476 m <sup>3</sup>
5	Anclaje molde hembra	ASTM A36 Acero	2.32447 kg	0.00029611 m <sup>3</sup>
6	Guías circulares	ASTM A36 Acero	4.91229 kg	0.00062577 m <sup>3</sup>

**c.2. Asignación de cargas y restricciones**

Las cargas y restricciones asignadas al sistema son las siguientes:

**Tabal 2.14: Cargas asignadas al sistema de compresión y desmoldeo**

NOMBRE DE CARGA	CONJUNTO DE SELECCIONES	TIPO DE CARGA
Carga compresión <Estructura>	activar 1 Cara(s) aplicar fuerza -4000 N normal a plano de referencia	Carga uniforme
Carga compresión <Molde macho>	activar 1 Cara(s) aplicar fuerza 4000 N normal a plano de referencia	Carga uniforme
Fuerza desmoldeo	activar 2 Cara(s) aplicar	Carga

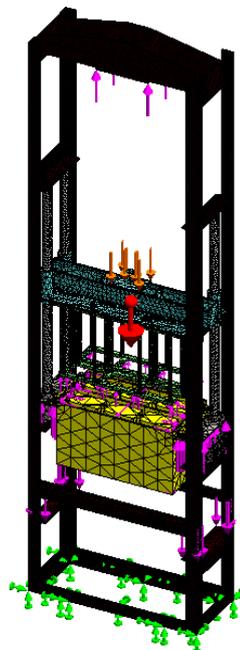
<Estructura>	fuerza -2000 N normal a plano de referencia	uniforme
Fuerza desmoldeo <ESTRUCTURA TOLVA>	activar 2 Cara(s) aplicar fuerza -2000 N normal a plano de referencia	Carga uniforme
Gravedad-1	Aceleración de la gravedad - 9.81 m/s <sup>2</sup>	Carga secuencial

**Tabal 2.15: Restricciones del sistema de compresión y desmoldeo**

NOMBRE DE RESTRICCIÓN	CONJUNTO DE SELECCIONES
Fijo-1 < Estructura >	Activar 4 Cara(s) fijo.

### c.3. Mallado y ejecución de estudio de diseño

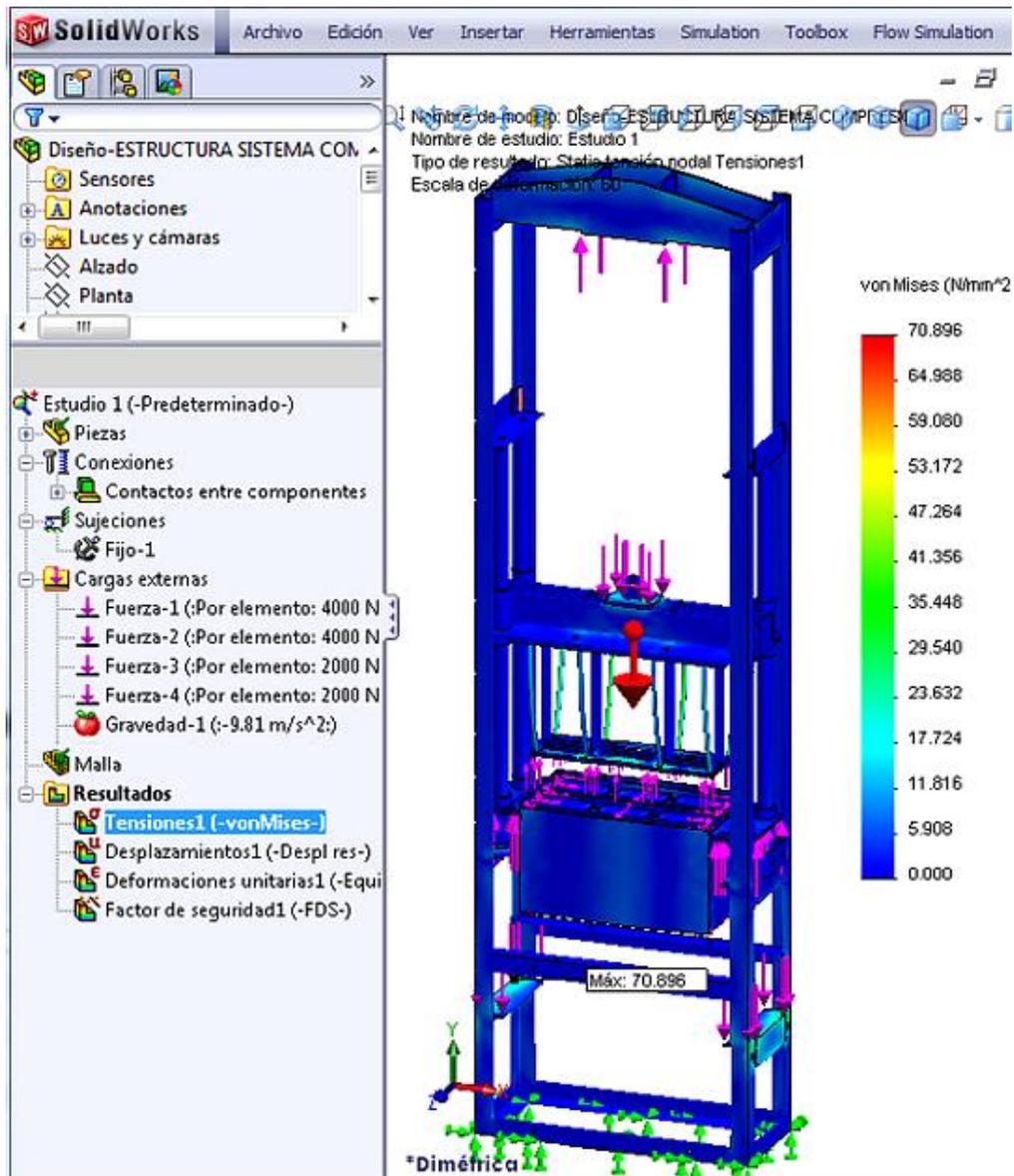
Una vez asignadas las cargas y restricciones se procede a mallar el ensamble (figura 2.54) y ejecutar el estudio de diseño.



**Figura 2.54: Mallado del sistema de compresión y desmoldeo**

#### c.4. Resultados

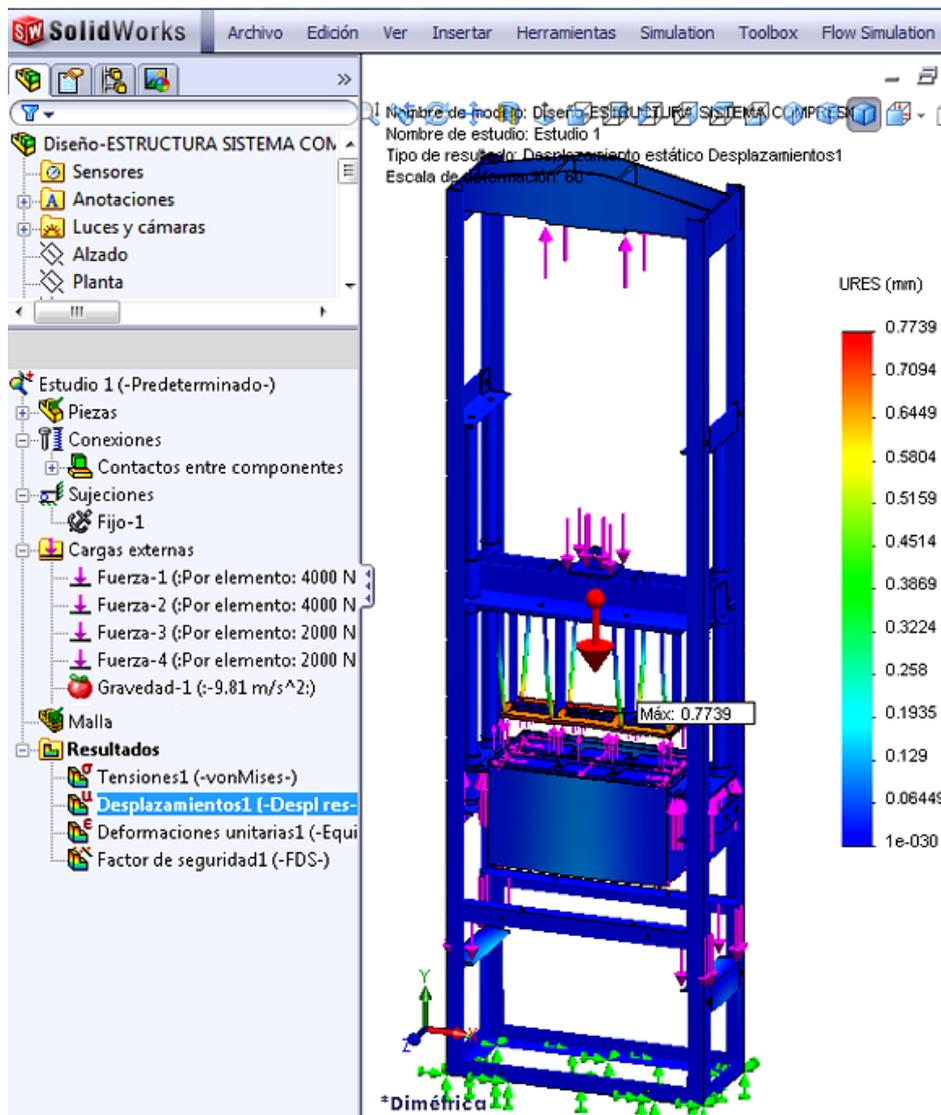
Los resultados obtenidos del análisis de esfuerzos son los siguientes:



**Figura 2.55: Tensión de Von Mises en el sistema de compresión y desmoldeo**

En la figura 2.55 se observa que la máxima tensión de Von Mises ocurre en los ángulos que soporten los cilindros neumáticos para el desmoldeo y

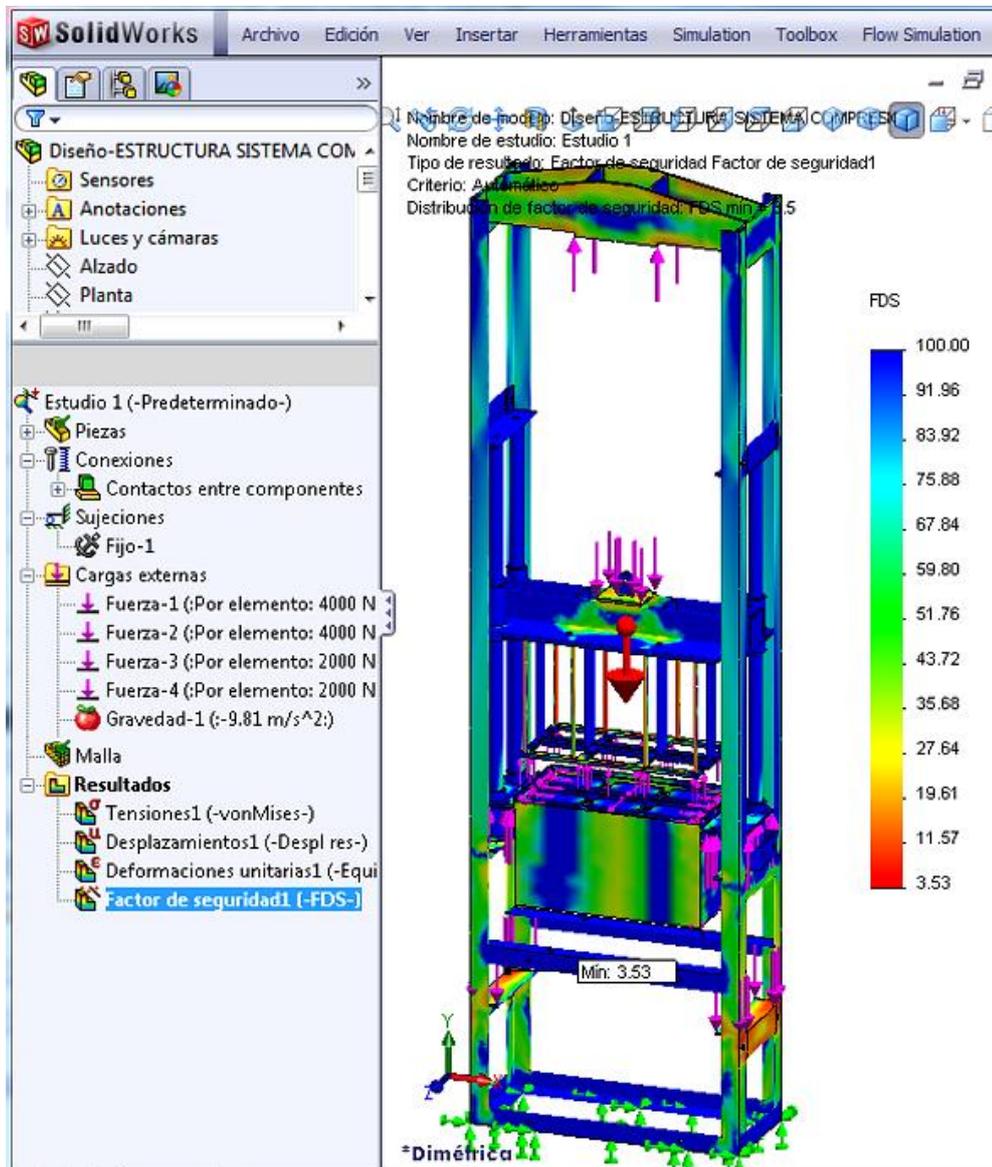
su valor es de 70.896 MPa, sin embargo, al ser esta tensión menor que el límite de fluencia del material de 250.0 MPa, se determina que el sistema puede resistir dicha tensión sin fallar.



**Figura 2.56: Desplazamientos resultantes en el sistema de compresión y desmoldeo**

Como se ve en la figura 2.56 el desplazamiento máximo tiene lugar en las barras verticales del molde de compactación con un valor de 0.774 mm,

por lo que se concluye que los desplazamientos resultantes no perturban el funcionamiento normal del sistema.

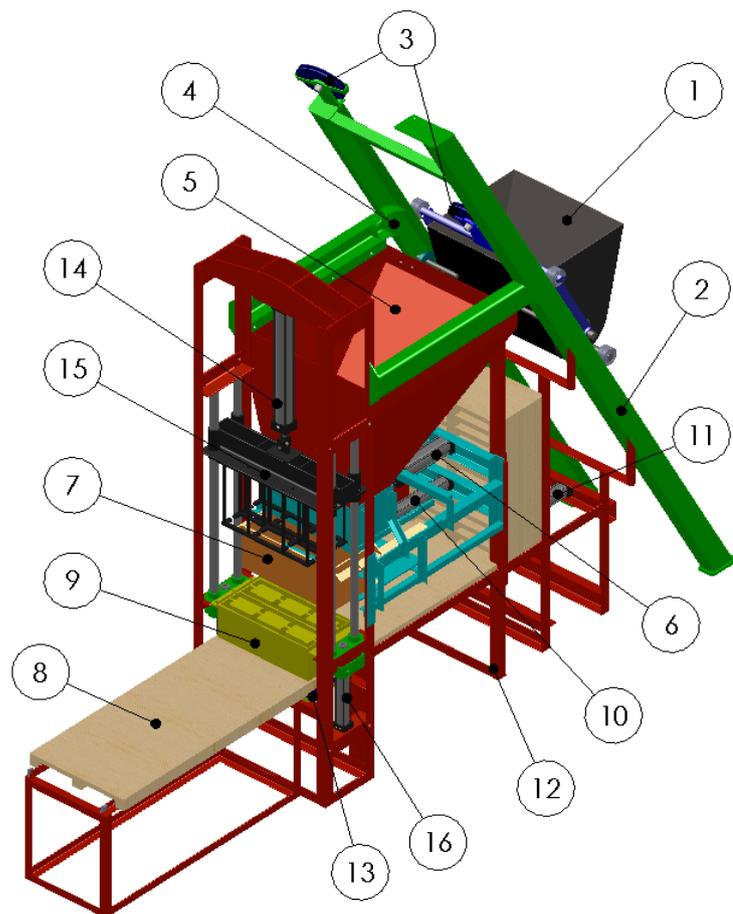


**Figura 2.57: Distribución del factor de seguridad en el sistema de compresión y desmoldeo**

En cuanto al factor de seguridad (figura 2.57) las zonas críticas se encuentran en los apoyos de los cilindros neumáticos de desmoldeo y

compresión, sin embargo su valor mínimo es de 3.53, por lo que se concluye que su diseño es seguro.

Una vez concluido el diseño mecánico la máquina, y uniendo todos los sistemas con sus respectivas piezas mecánicas, la bloquera adoquinera se muestra de la siguiente manera (figura 2.58, anexo B-29)



**Figura 2.58: Ensamblaje completo de la máquina.** (1) Cangilón, (2) estructura soporte, (3) poleas, (4) riel del cangilón, (5) tolva, (6) cilindro de la tapa de la tolva, (7) barredora, (8) tableros, (9) molde hembra, (10) cilindro de la barredora, (11) cilindro de los tableros, (12) estructura, (13) mesa vibradora, (14) cilindro del molde macho, (15) molde macho, (16) cilindro del molde hembra

Una vez conocidos los resultados de esfuerzos, desplazamiento y factor de seguridad, se sugiere la optimización de la estructura base del cilindro como se muestra en el anexo A-18, y del soporte del molde macho anexo A-19.

## **2.3. DISEÑO NEUMÁTICO**

Mediante el diseño del sistema neumático, establecemos cuales son los cilindros neumáticos adecuados, que permitan la movilidad exacta de los diferentes sistemas establecidos en el diseño mecánico, basándonos principalmente en el peso de las diferentes piezas mecánicas que necesitamos desplazarlas.

### **2.3.1. CARACTERÍSTICAS Y REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA EL DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS NEUMÁTICOS QUE CONFORMAN LA MÁQUINA**

Es importante destacar que antes de la utilización de una fuente hidráulica o neumática, para la aplicación en la máquina bloquera – adoquinera se sometió a un análisis previo, tomando en cuenta varios factores que determinan si se descarta o no uno de estos dos sistemas así como:

La diferencia más relevante viene marcada por el tipo de fluido; la Neumática utiliza aire comprimido (muy compresible) y la Hidráulica generalmente emplea aceites (prácticamente incompresibles).

Por esta razón, los circuitos neumáticos son abiertos (escapes al ambiente), mientras que los hidráulicos son cerrados (escapes a un tanque) y existe un alto riesgo de contaminación ambiental, incendio y accidentes en el caso de fuga de aceite, sensibilidad a la suciedad,

peligro presente debido a las excesivas presiones, dependencia de la temperatura por cambios en la viscosidad.

La tabla 2.16 muestra una comparación de energía neumática y energía hidráulica.

**Tabla 2.16: Comparación neumática – hidráulica**

NEUMÁTICA:	HIDRÁULICA:
-Cargas por debajo de los 3000 Kg -Desplazamientos rápidos. -Motores de alta velocidad con más de 500.000 rpm. -Control de calidad, etiquetado, embalaje, herramientas portátiles.	-Cargas elevadas tanto en actuadores lineales como en motores de par elevado. -Control exacto de la velocidad y parada.

**a. Sistema neumático**

Se colocará una fuente neumática mediante un compresor y que posea un tanque de almacenamiento, gracias a ésta fuente se hace uso de la presión del aire para la aplicación de la carga sobre la mezcla que conformara el bloque o el adoquín, el accionamiento se decidió que sea neumático debido a que la energía del aire comprimido es la mejor cuando se trata de velocidad de una acción o de la producción, con una aplicación industrial de 8 bares (120 psi) para este caso La máquina Bloquera - Adoquinera funciona a través de cilindros neumáticos de doble efecto, los mismos que reciben su fuerza del compresor o fuente neumática.<sup>48</sup>

De acuerdo a lo establecido en el diseño mecánico, necesitamos Cilindro Neumático de doble efecto, que posean colchones de aire para evitar el choque brusco tanto en la expulsión como en el retorno del vástago; además de aquello deben tener detectores magnéticos, ya que necesitaremos sensores para los finales de carrera de cada uno de los cilindros, por tanto ocuparemos: 1 cilindro para la tapa de la tolva, el que permite el llenado de la barredora; 1 cilindro en la barredora, el que empuja, deposita y sacude el material; 1 cilindro para el molde macho, es el que presiona y compacta al material para formar el bloque o adoquín; 2 cilindros para el molde hembra, son lo que se encargan de tomar la forma del bloque o adoquín y desmoldar; y 1 cilindro para poner y retirar las tablas de madera en donde se asentarán los bloques o adoquines.

Los cilindros neumáticos son accionados mediante electroválvulas, para lo cual necesitaremos 3 electroválvulas 5/2 (5 vías, 2 posiciones) para el control del cilindro de la tapa de la tolva, de la barredora y del control de los tableros; además necesitaremos 2 Electroválvulas (5/3) (5 vías, 3 posiciones) para el control del molde macho y hembra.

Debido a la presión que se va a manejar, y con la finalidad de tener un movimiento de los cilindros acorde a nuestras necesidades, necesitamos válvulas reguladoras de caudal.

Para la conexión del sistema neumático, utilizaremos mangueras que son de goma u otro material como plástico, acopladores o racores que sirven para unir la manguera en los cilindros y electroválvulas

Para la simulación del sistema neumático utilizaremos la ayuda del programa computacional FluidSIM.

### 2.3.2. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS QUE ACTÚAN SOBRE EL CIRCUITO NEUMÁTICO

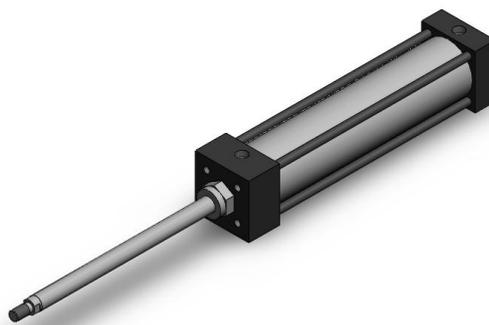
En el diseño mecánico de la máquina, las fuerzas resultantes obtenidas son las siguientes (tabla 2.17):

**Tabla 2.17: Fuerzas y carreras establecidas para la selección de cilindros neumáticos**

	FUERZA (N)	CARRERA (MM)
TOLVA	777	200
BARREDORA	266.25	250
TABLEROS	423.2	300
COMPRESIÓN	4000	450
DESMOLDE	2000	250

### 2.3.3. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS NEUMÁTICOS

La figura 2.59, nos muestra el tipo de cilindros neumáticos que vamos a utilizar.



**Figura 2.59: Cilindros neumáticos utilizados**

**a. Cilindro neumático de la compuerta de la tolva**

En el cálculo de la fuerza requerida para abrir la compuerta, obtuvimos que la fuerza necesaria es de:

$$F_{fT1} = 777 \text{ N}$$

$$\text{Carrera} = 200 \text{ mm}$$

Siguiendo el catálogo de FESTO-PNEUMATIC en la página 3.1/40-1, anexo A-7 se dispone de una tabla en la que se nos da la carga máxima soportable, por lo que el cilindro debe tener las siguientes características:

$$\varnothing \text{ del embolo} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Conexiones} = G^{3/8}$$

Considerando una velocidad media de 0,15 m/s. El caudal a la salida del vástago es (ecuación 1.21):

$$Q = v * A$$

$$Q = 0,15 * \frac{\pi * (0,05)^2}{4}$$

$$Q = 2,94 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 17,67 \text{ l/min}$$

El caudal de entrada del vástago es:

$$Q = v * A$$

$$Q = 0,15 * \frac{\pi * (0,05 - 0,02)^2}{4}$$

$$Q = 1,06 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 6,36 \text{ l/min}$$

Aproximadamente realizará 2 ciclos por minuto, por tanto la frecuencia será de:

$$f = \frac{2}{60} = 0,033 \text{ s}^{-1}$$

Es decir trabajan el 3,33% del tiempo mientras que el 96,67% está parado.

Por tanto, el consumo del cilindro es (ecuación 1.22):

$$C = 2(s * n * q)$$

q = Consumo de aire por centímetro para un cilindro de 50 mm. (anexo A-23)

$$C = 2(20 * 4 * 0,172)$$

$$C = 27,52 \text{ N lts/min}$$

**b. Cilindro neumático de la barredora**

En el cálculo de la fuerza requerida para empujar la barredora de la mezcla, obtuvimos que la fuerza necesaria es de:

$$F_{fT2} = 266.25 \text{ N}$$

$$\text{Carrera} = 250 \text{ mm}$$

Siguiendo el catálogo de FESTO-PNEUMATIC en la página 3.1/40-1, anexo A-7 se dispone de una tabla en la que se nos da la carga máxima soportable, por lo que el cilindro debe tener las siguientes características:

$$\varnothing \text{ del embolo} = 32 \text{ mm}$$

$$\text{Conexiones} = G^{3/8}$$

Considerando una velocidad media de 0,15 m/s. El caudal a la salida del vástago es:

$$Q = v * A$$

$$Q = 0,15 * \frac{\pi * (0,032)^2}{4}$$

$$Q = 1,21 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 7,24 \text{ l/min}$$

El caudal de entrada del vástago es:

$$Q = v * A$$

$$Q = 0,15 * \frac{\pi * (0,032 - 0,012)^2}{4}$$

$$Q = 4,71 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 2,82 \text{ l/min}$$

Aproximadamente realizará 4 ciclos por minuto, por tanto la frecuencia será de:

$$f = \frac{4}{60} = 0,07 \text{ s}^{-1}$$

Es decir trabajan el 7% del tiempo mientras que el 93% está parado.

Por tanto, el consumo del cilindro es:

$$C = 2(s * n * q)$$

q = Consumo de aire por centímetro para un cilindro de 32 mm. (anexo A-23)

$$C = 2(25 * 8 * 0,084)$$

$$C = 33,6 \text{ N lts/min}$$

**c. Cilindro neumático de alimentación de los tableros**

En el cálculo de la fuerza requerida para la alimentación de los tableros, obtuvimos que la fuerza necesaria es de:

$$F_T = 423.2 \text{ N}$$

$$\text{Carrera} = 300 \text{ mm}$$

Siguiendo el catálogo de FESTO-PNEUMATIC en la página 3.1/40-1, anexo A-7 se dispone de una tabla en la que se nos da la carga máxima soportable, por lo que el cilindro debe tener las siguientes características:

$$\varnothing \text{ del embolo} = 32 \text{ mm}$$

$$\text{Conexiones} = G^{3/8}$$

Considerando una velocidad media de 0,15 m/s. El caudal a la salida del vástago es:

$$Q = v * A$$

$$Q = 0,15 * \frac{\pi * (0,032)^2}{4}$$

$$Q = 1,21 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 7,24 \text{ l/min}$$

El caudal de entrada del vástago es:

$$Q = v * A$$

$$Q = 0,15 * \frac{\pi * (0,032 - 0,012)^2}{4}$$

$$Q = 4,71 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 2,82 \text{ l/min}$$

Aproximadamente realizará 2 ciclos por minuto, por tanto la frecuencia será de:

$$f = \frac{2}{60} = 0,05 \text{ s}^{-1}$$

Es decir trabajan el 3,33% del tiempo mientras que el 96,67% está parado.

Por tanto, el consumo del cilindro es:

$$C = 2(s * n * q)$$

q = Consumo de aire por centímetro para un cilindro de 32 mm. (anexo A-23)

$$C = 2(30 * 4 * 0,084)$$

$$C = 20,16 \text{ N lts/min}$$

**d. Cilindro neumático de compresión de los bloques o adoquines**

En el cálculo de la fuerza requerida para la compresión de los bloques o adoquines, obtuvimos que la fuerza necesaria es de:

$$F_{comp} = 422 \text{ kg} \approx 4000 \text{ N}$$

$$Carrera = 450 \text{ mm}$$

Siguiendo el catálogo de FESTO-PNEUMATIC en la página 3.1/40-1, anexo A-7 se dispone de una tabla en la que se nos da la carga máxima soportable, por lo que el cilindro debe tener las siguientes características:

$$\phi \text{ del embolo} = 100 \text{ mm}$$

$$Conexiones = G^{1/2}$$

Considerando una velocidad media de 0,15 m/s. El caudal a la salida del vástago es:

$$Q = v * A$$

$$Q = 0,15 * \frac{\pi * (0,1)^2}{4}$$

$$Q = 1,17 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 70,69 \text{ l/min}$$

El caudal de entrada del vástago es:

$$Q = v * A$$

$$Q = 0,15 * \frac{\pi * (0,1 - 0,025)^2}{4}$$

$$Q = 6,63 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 39,76 \text{ l/min}$$

Aproximadamente realizará 2 ciclos por minuto, por tanto la frecuencia será de:

$$f = \frac{2}{60} = 0,05 \text{ s}^{-1}$$

Es decir trabajan el 3,33% del tiempo mientras que el 96,67% está parado.

Por tanto, el consumo del cilindro es:

$$C = 2(s * n * q)$$

q = Consumo de aire por centímetro para un cilindro de 100 mm. (anexo A-23)

$$C = 2(45 * 4 * 0,687)$$

$$C = 247,32 \text{ N lts/min}$$

**e. Cilindro neumático de desmolde de los bloques o adoquines**

En el cálculo de la fuerza requerida para el desmolde de los bloques o adoquines, obtuvimos que la fuerza necesaria es de:

$$F_{desm} = \frac{4000 N}{2} = 2000 N$$

$$Carrera = 250 mm$$

Siguiendo el catálogo de FESTO-PNEUMATIC en la página 3.1/40-1, anexo A-7 se dispone de una tabla en la que se nos da la carga máxima soportable, por lo que el cilindro debe tener las siguientes características:

$$\varnothing \text{ del embolo} = 63 mm$$

$$Conexiones = G^{3/8}$$

Considerando una velocidad media de 0,15 m/s. El caudal a la salida del vástago es:

$$Q = v * A$$

$$Q = 0,15 * \frac{\pi * (0,063)^2}{4}$$

$$Q = 4,68 * 10^{-4} m^3/s$$

$$Q = 28,06 l/min$$

El caudal de entrada del vástago es:

$$Q = v * A$$

$$Q = 0,15 * \frac{\pi * (0,63 - 0,02)^2}{4}$$

$$Q = 2,18 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 13,07 \text{ l/min}$$

Aproximadamente realizará 2 ciclos por minuto, por tanto la frecuencia será de:

$$f = \frac{2}{60} = 0,05 \text{ s}^{-1}$$

Es decir trabajan el 3,33% del tiempo mientras que el 96,67% está parado.

Por tanto, el consumo del cilindro es:

$$C = 2(s * n * q)$$

q = Consumo de aire por centímetro para un cilindro de 63 mm. (anexo A-23)

$$C = 2(25 * 4 * 0,335)$$

$$C = 67 \text{ N lts/min}$$

**f. Selección de racores**

De acuerdo a las medidas de las salidas de los cilindros neumáticos, de las cuales, la menor es de 3/8 (9,52 mm), con lo cual debemos utilizar racores de salida de 8 mm máximo, obtenemos los siguientes racores (tabla 2.18).

**Tabla 2.18: Selección de racores**

<b>CILINDROS</b>	<b>MEDIDA</b>	<b>CANTIDAD</b>
Tolva	3/8 in a 8 mm	4
Barredora	3/8 in a 8 mm	4
Tableros	3/8 in a 8 mm	4
Macho	1/2 in a 8 mm	4
Hembra	3/8 in a 8 mm	6

**g. Selección de la manguera de conexión**

De acuerdo a la selección de los acores (anexo A-9), el diámetro de la manguera de conexión es de:

$$\text{Diámetro} = 8 \text{ mm}$$

**h. Selección de las electroválvulas**

Para la selección de las electroválvulas, debemos tener presente el tipo de movimiento que necesitamos que el cilindro neumático realice, por tanto la selección sería (tabla 2.19, anexo A-12).

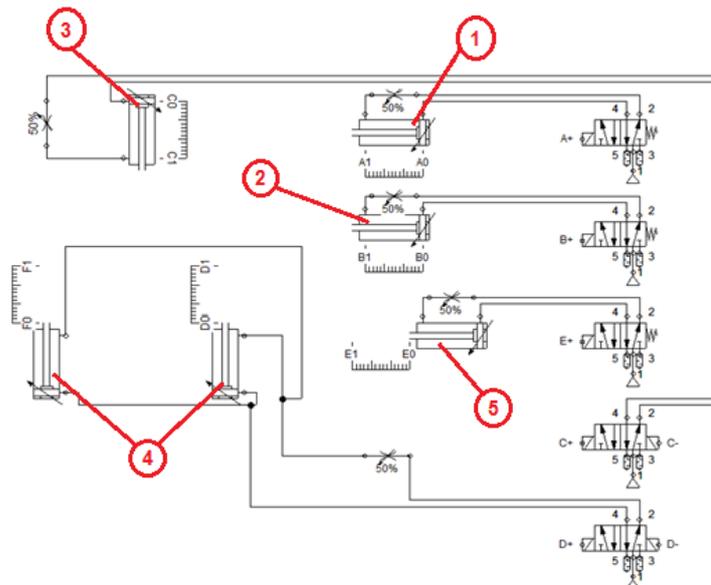
**Tabla 2.19: Selección de electroválvulas**

CILINDRO	TIPO	CANTIDAD
Tolva	5/2	1
Barredora	5/2	1
Tableros	5/2	1
Macho	5/3	1
Hembra	5/3	1

Debido a que todas las electroválvulas van a estar en un solo sitio, ocuparemos una manifold de 5 electroválvulas.

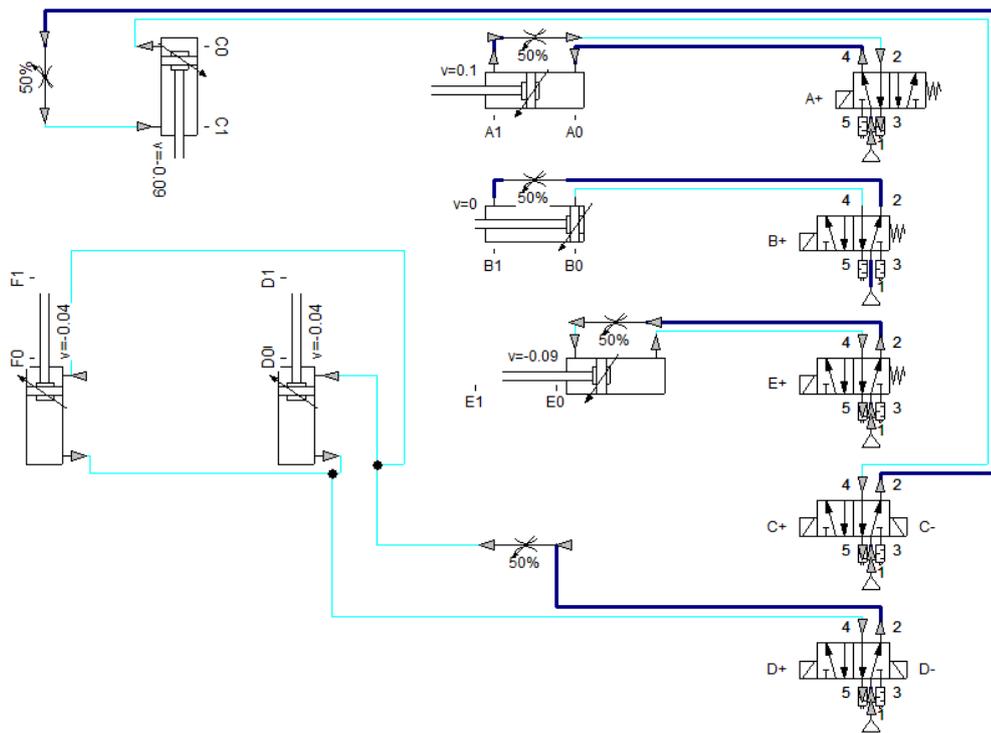
### 2.3.4. DISEÑO DEL CIRCUITO NEUMÁTICO Y MODELADO COMPUTACIONAL

Utilizando el software FLUIDSIM de la FESTO, procedemos al diseño del sistema neumático de la máquina (figura 2.60).



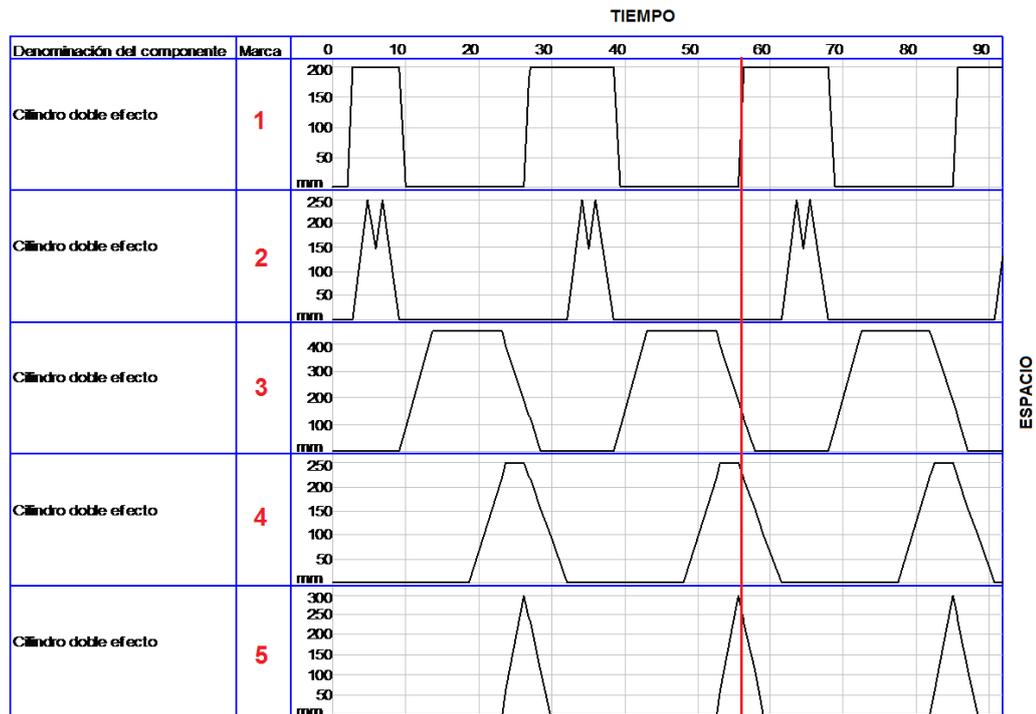
**Figura 2.60: Circuito neumático.** (1) Cilindro de la tapa de la tolva, (2) cilindro de la barredora, (3) cilindro del molde macho, (4) cilindros del molde hembra, (5) cilindro de expulsión de los tableros

Una vez realizado el diseño del sistema neumático, procedemos a la simulación respectiva para comprobar la movilidad del sistema y cumplimiento del ciclo de trabajo establecido (figura 2.61).



**Figura 2.61: Simulación del circuito neumático**

La simulación nos da como resultado el siguiente diagrama (figura 2.62), el cual nos muestra el ciclo de trabajo de la máquina.



**Figura 2.62: Diagrama espacio – espacio de ciclos del sistema neumático.** (1) Cilindro de la tapa de la tolva, (2) cilindro de la barredora, (3) cilindro del molde macho, (4) cilindros del molde hembra, (5) cilindro de expulsión de los tableros

El diagrama de la figura 2.62 nos muestra los ciclos repetitivos de la máquina nos indica cual va a ser el tiempo que va a demorarse en fabricar los bloques y adoquines, para este caso y como se muestra, cada ciclo va a demorar aproximadamente 28 s.

**a. Selección del compresor**

$$\sum \text{caudal total} = (Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + Q5)$$

$$\sum \text{caudal total} = (17,67 + 7,24 + 7,24 + 70,69 + 28,06) = 130,9 \text{ l/min}$$

Para seleccionar un compresor se hace referencia a varias situaciones que se debe tomar en cuenta como:

- Clasificación de aire comprimido de acuerdo a las aplicaciones que se le vaya a dar a dicho aire (anexo A-22)

- Pérdidas de presión por acoples y filtros, se considera un 3%.<sup>48</sup>

$$P_{pa} = 130,9 * 0,03 = 3,93 \text{ lts/min}$$

- Pérdidas de presión por fugas, se considera una pérdida del 10%.<sup>48</sup>

$$P_{pf} = 130,9 * 0,1 = 13,09 \text{ lts/min}$$

- Coeficiente de utilización, viene dado por la suma del porcentaje de trabajo de los cilindros:

$$\sum \text{coeficiente de utilización} = (P1 + P2 + P3 + P4 + P5)$$

$$\sum \text{coeficiente de utilización} = (3,33 + 7 + 3,33 + 3,33 + 3,33)$$

$$\sum \text{coeficiente de utilización} = 20,32\%$$

- Coeficiente de simultaneidad para construcciones varias es de 25%.<sup>48</sup>

$$C_s = 130,9 * 0,25 = 32,73 \text{ lts/min}$$

- Incremento de seguridad recomendado es de 10%.<sup>48</sup>

$$I_s = 130,9 * 0,1 = 13,09 \text{ lts/min}$$

Por tanto:

$$Q_t \text{ requerido} = 3,93 + 13,09 + 32,73 + 13,09 = 62,84 \text{ lts/min}$$

Es decir que el compresor requerido, debe cubrir como mínimo los 62,84 lts/min, a una presión de 8 bar.

Por tal motivo necesitamos un compresor de dichas características (Anexo A-13):

- Velocidad del cabezal: 1150 rpm.
- Caudal: 80 litros/minutos.
- Presión máxima: 10 bar.
- Cabezal: hierro fundido.
- Cilindros: Dos cilindros en V.
- Tanque: 150 litros.
- Potencia: 2,2 KW. (3 hp)

## **2.4. DISEÑO ELÉCTRICO**

### **2.4.1. CARACTERÍSTICAS Y REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA EL DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS QUE CONFORMAN LA MÁQUINA**

El control eléctrico y automático de la máquina requiere una serie de elementos eléctricos y electrónicos, los cuales funcionaran en conjunto para obtener un mando del sistema eléctrico óptimo, evitando una parada innecesaria de la producción.

Tomando en cuenta todo tipo de seguridad, cada uno de los elementos eléctricos y electrónicos se analizaron previamente. Es importante destacar que cada elemento se seleccionara de acuerdo al voltaje que se requiere. Accionando a una serie de elementos que se encargaran de actuar en conjunto con el sistema neumático, mediante las electroválvulas.

Cada cilindro neumático poseerá de 2 sensores magnéticos para poder establecer los finales de carrera de cada uno, y con ello evitar choques entre los diferentes sistemas mecánicos, ya que estarán expuestos a la mezcla del adoquín y bloque, la que puede tener rocas imprevistas que pueden ocasionar algún tipo de traba y por ende el choque.

De acuerdo a los cálculos anteriores, nuestro sistema de potencia va a estar compuesto principalmente de 3 motores eléctricos, cada uno debe tener su protección térmica y magnética, accionados por contactores, debido a que el proceso es automático, la conexión entre los diferentes componentes eléctricos se realizarán mediante borneras si se requieren, además tendrán luces indicadoras que permitirán estar pendiente del

proceso manual o automático que se podrá escoger mediante un selector de 3 posiciones

El proceso automático, estará dirigido mediante un PLC que deberá cumplir el ciclo establecido en el diseño del sistema neumático, por tanto, deberá controlar la señal de entrada de 10 sensores magnéticos y activar las salidas a 3 electroválvulas 5/2 y 2 electroválvulas 5/3, además de un motor vibrador.

#### **2.4.2. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS QUE ACTÚAN SOBRE EL SISTEMA ELÉCTRICO.**

De acuerdo a los cálculos realizados en el diseño mecánico y neumático, las cargas que debemos considerar para el cálculo eléctrico son (tabla 2.20):

**Tabla 2.20: Cargas que actúan en el sistema eléctrico**

	POTENCIA (HP)
MOTOR DEL CANGILÓN	1
MOTOR DE LA VIBRADORA	3
MOTOR COMPRESOR	3

Para el cálculo del sistema eléctrico utilizado en la máquina, vamos a tomar como referencia la potencia para todos los motores que intervienen en la máquina una potencia de 3 HP trifásicos, ya que en el mercado local, el costo de un motor de 3 HP es más económico que el de 1 y 2 HP.

#### **2.4.3. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA MÁQUINA BLOQUERA ADOQUINERA**

Cuando trabajamos con corriente trifásica, el control eléctrico es indispensable así como su protección

Cuando se trabaja con un sistema trifásico, se puede tener varias alternativas para realizar los diferentes diagramas, como pueden ser de bloque, de interconexión, de alambrado, de disposición y los diagramas de construcción. Para el diseño del diagrama de control se ha tomado en cuenta las siguientes características:

- **TIPO DE MOTOR.**

Frecuencia 60 Hz

Potencia 3 Hp

Voltaje 220/440 V

RPM 3600.

- **TIPO DE ARRANQUE.**

Arranque Directo

**2.4.4. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS**

**a. Selección de conductores**

**a.1. Para cada motor**

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I_n = \frac{3 * 746}{0,8 * 1,73 * 220} = 7,35 \text{ A}$$

$$I = 1.25 * 7,35 = 9,19 \text{ A}$$

Calibre del conductor según Tabla CABLEC # 14 THHN FLEX anexo A-8

**a.2. Para el alimentador**

$$I = 1.25 * I_{\text{motor mayor}} + \Sigma I_{\text{motores}} + \Sigma I_{\text{otras cargas}}$$

$$I = 1.25 * 7,35 + 7,35 + 7,35$$

$$I = 23,89 \text{ A}$$

Calibre del conductor según Tabla CABLEC # 3\*10 FLEXIBLE TSJN anexo A-8.

**b. Selección de elementos de protección**

**b.1. Protección para el alimentador**

$$I = 2.5 * I_{\text{motor mayor}} + \Sigma I_{\text{motores}} + \Sigma I_{\text{otras cargas}}$$

$$I = 2.5 * 7,35 + 7,35 + 7,35$$

$$I = 33,08 \text{ A}$$

Breaker de 50 A LG

## **b.2. Protección para las derivaciones**

$$I_{\text{Prot.}} = 2 * I_{\text{cp}}$$

$$I_{\text{Prot.}} = 2 * 7,35$$

$$I_{\text{Prot.}} = 14,7\text{A}$$

Breaker de 16 A LG

## **b.3. Protección térmica**

$$I_{\text{N}} = 1,25 * I_{\text{pc}}$$

$$I_{\text{N}} = 1,25 * 7,35$$

$$I_{\text{N}} = 9,19 \text{ A}$$

Relé térmico MEC 9 – 13

## **c. Elección del contactor**

Tensión de alimentación de la bobina: 110 V.

Contactor MEC GMC12

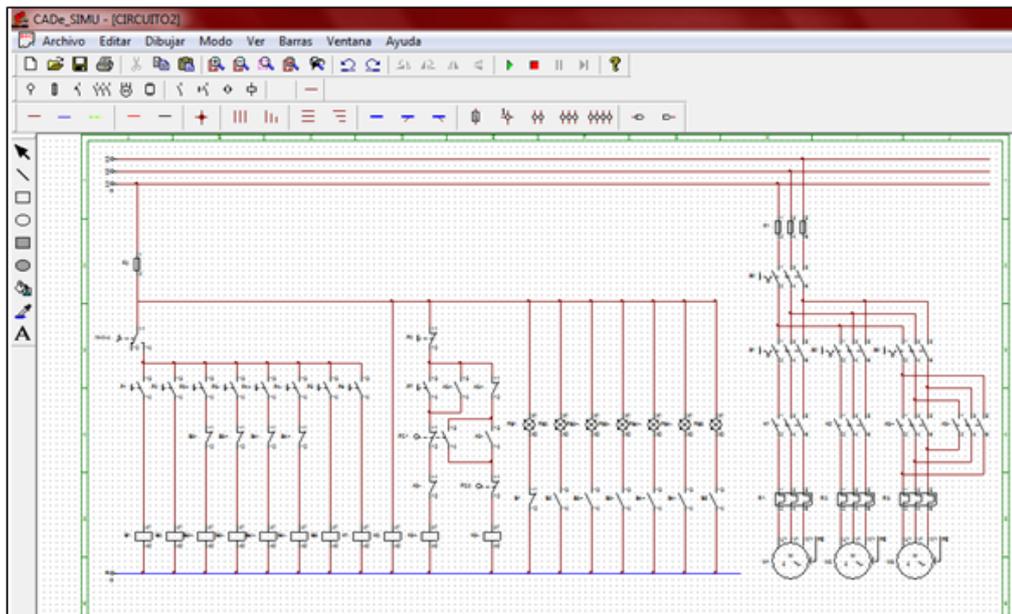
## **d. Accesorios:**

- Pulsador ON.
- Pulsador OFF.
- Pulsador ON/OFF.

- Finales de Carrera.

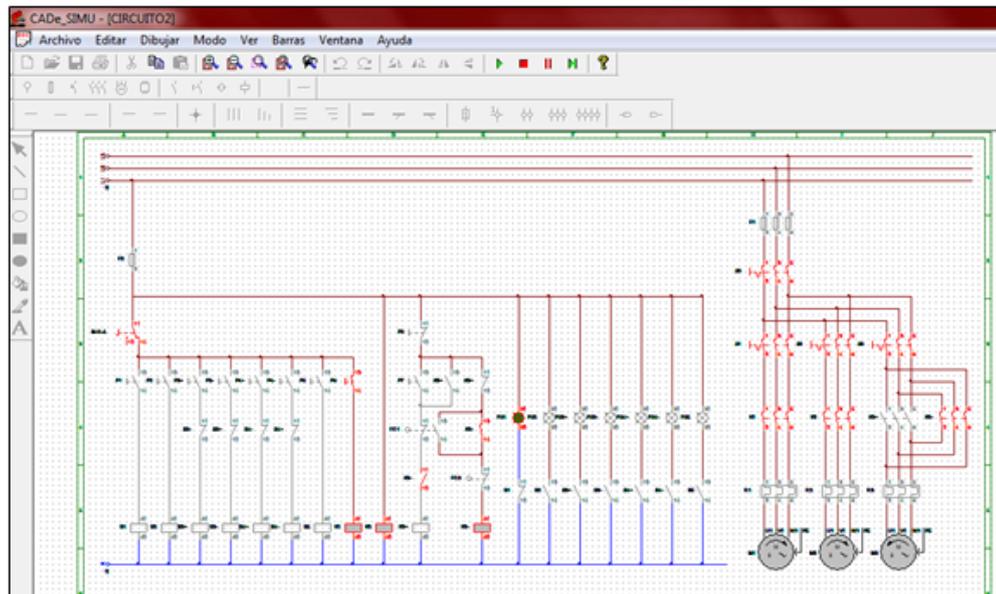
## 2.4.5. MODELADO Y SIMULACIÓN DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS

Utilizaremos el software CADe\_SIMU, el cual permite insertar los distintos símbolos organizados en librerías y trazar un esquema eléctrico de una forma fácil y rápida (figura 2.63, anexo B-30) para posteriormente realizar la simulación.



**Figura 2.63: Control manual eléctrico y de fuerza**

El programa en modo simulación (figura 2.64) visualiza el estado de cada componente eléctrico cuando está activado al igual que resalta los conductores eléctricos sometidos al paso de una corriente eléctrica.



**Figura 2.64: Simulación del sistema eléctrico**

El control automático de máquina se encuentra en la programación del PLC.

## 2.4.6. SELECCIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL PLC

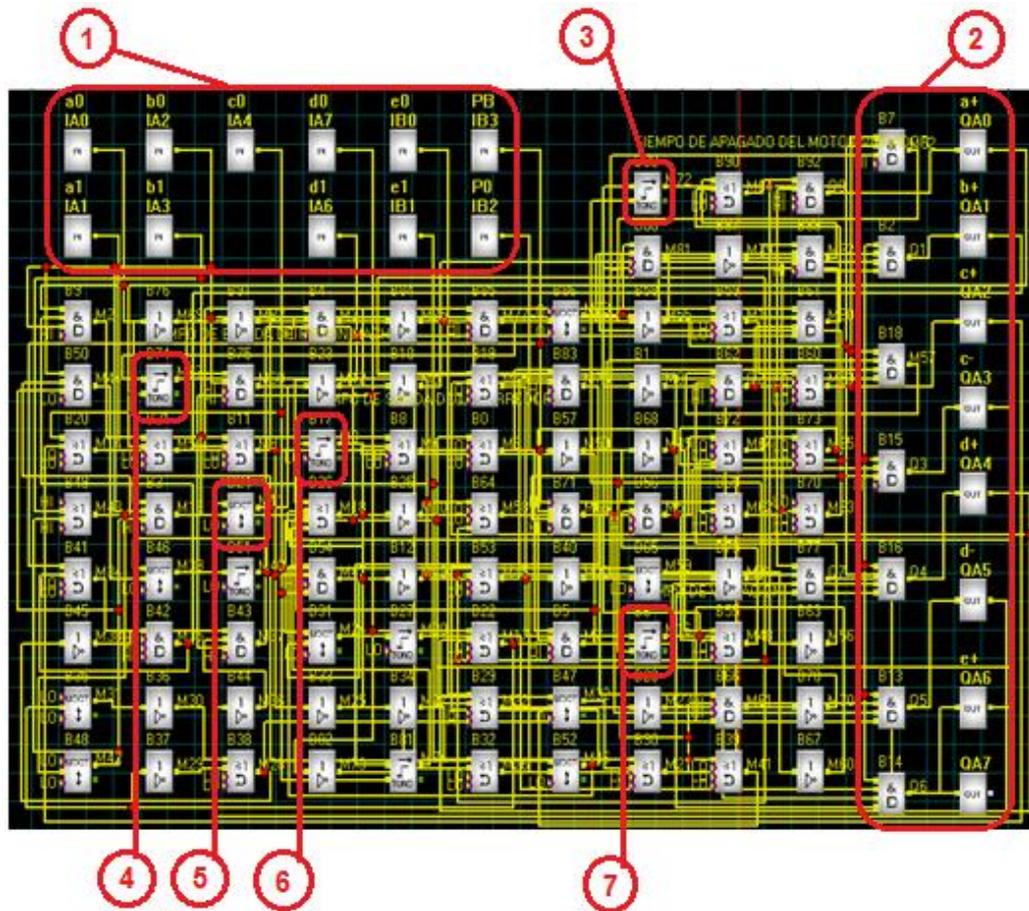
Seleccionamos el PLC Array, el cual cumple con nuestras exigencias y requisitos necesarios para la programación, y debido especialmente a su costo, además cumple todas las características de un PLC normal en el mercado; este PLC tiene las siguientes características:

- Alimentación 12-24 Vdc y 110-240 Vac.
- Entradas digitales 12-24 Vdc y 110-240 Vac.
- Entradas análogas 0-10 Vdc.
- Salidas digitales Relé y Transistor.
- 12 (8 In/ 4 Out) y 22 (14 In/ 8 Out) puntos.
- Lenguaje de programación estructurado en bloques y ladder.
- Software de programación gratuito.
- Display LCD removible.

- Unidad HMI para montaje a panel.
- Expandible hasta 82 In/Out.
- Unidad de control remoto.
- Prolongación de distancia de instalación vía cable de comunicación (módulos de extensión, voz y remoto).
- RTC (reloj en tiempo real).
- Función Telefónica.

Un PLC tiene varias formas de programación, las tres más conocidas son: AWL (lista de instrucciones), KOP (diagrama de contactos) y FUP (bloques lógicos).

En el PLC ARRAY solo se puede utilizar una sola forma de programación el FUP (figura 2.65), en el cual mediante diagramas de bloques se llega a la programación total del PLC.



**Figura 2.65: Programación del PLC (FUP).** (1) Entradas digitales, (2) salidas digitales, (3) tiempo de apagado del motor vibrador, (4) tiempo de salida del cilindro del molde macho, (5) contador de los ciclos de repetitivos de la barredora, (6) tiempo de regreso de la barredora, (7) tiempo de vibración.

La programación del PLC Array, se la realizó utilizando el software SuperCad; el PLC, se programa mediante compuertas lógicas, de tal manera que las entradas (1) son las señales proporcionadas por los sensores magnéticos colocados en los cilindros neumáticos, los cuales trabajan como inicios y finales de carrera en cada uno de los sistemas mecánicos, dicha señal, que recibe el PLC, pasa mediante un sinnúmero de compuertas lógicas, que la adecuan para cumplir el ciclo de programación respectivo mostrado en la figura 2.61.

Una vez que las señales hayan sido debidamente tratadas, nos da como resultado el movimiento exacto y cronológico de todo el sistema de automatización de la máquina. Las salidas digitales que nos proporciona el PLC (2) van conectadas en las bobinas de las electroválvulas y en el mando del motor vibrador, obteniendo como resultado final un equilibrio entre tiempos, contadores y finales de carrera que permiten finalmente la fabricación de los bloques y adoquines de una manera automática y segura.

## **CAPÍTULO III**

### **CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS**

#### **3.1. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS**

Una vez finalizado el capítulo de diseño, se determinó las partes necesarias para la construcción de la máquina. El presente capítulo describe una memoria de construcción, montaje y pruebas de la máquina realizadas y la exposición de los resultados experimentales.

##### **3.1.1. CONSTRUCCIÓN**

La construcción en sí es el montaje de todos los elementos que componen el diseño y selección de los componentes de la máquina en la parte mecánica, neumática y eléctrica.

Dichos materiales y elementos, fueron diseñados y seleccionados previamente. La parte mecánica de la máquina está compuesta por sistemas que se describen en el capítulo II.

- Sistema de Elevación.
- Sistema de Alimentación de la Mezcla.
- Sistema de Alimentación de Tableros.
- Sistema de Vibración.
- Sistema de Compresión.
- Sistema de Desmoldeo.

La parte neumática de la máquina es la que tiene el control de varios de los sistemas mecánicos anteriormente mencionados, así mismo funcionan como operadores debido a que poseen sensores y actuadores.

La parte eléctrica de la máquina está compuesta por la etapa de control y la etapa de fuerza o potencia, las cuales trabajan en conjunto para lograr una mejor operación del sistema o de la máquina en sí.

### 3.1.2. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Para el montaje de los sistemas mecánicos de la máquina, se necesita una estructura base diseñada y dibujada previamente en SolidWorks; en la cual se irá colocando una a una las piezas para su correcto funcionamiento (Figura 3.1).



**Figura 3.1: Construcción de la estructura**

Esta máquina se caracteriza por estar constituida de varios sistemas, los cuales han sido preensamblados por separado. Cada subconjunto de piezas ensambladas una a una, fueron acopladas con pernos, tuercas, tornillos, pasadores, pero en su gran mayoría fue ensamblado por soldadura, la cual se detalla en el formato WPS.

En gran parte de la estructura se utilizó soldadura tomando en cuenta el formato WPS como método para determinar la de unión y tipo de junta de los materiales; en el que predominó la suelda SMAW con electrodos 6011, 6013 y 7018; con una intervención mínima de la soldadura GMAW debido a:

- El alto costo que demandan al momento de la utilización de este proceso.
- A que en la zona la mayoría de los talleres no poseen este tipo de suelda.
- El material con el que se fabricó la máquina, no es ningún material especial que demande de una suelta específica.

De acuerdo a lo especificado por la WPS<sup>68</sup>, el tipo de soldadura utilizado fue (figura 3.2, anexo A-24, 25 y 26):

Especificación de los Procedimientos de Soldadura (WPS)							
Nombre Compañía: ESPE		Número de identificación: RP 001		Fecha: 20/08/2010			
WPS Precalificado: si: X no:		Realizado por: Polo Fernández Germánico Sinchiguano		Revizado por: Ing. René Porras Fecha: 25/08/10			
Según norma: AWS D1.1-96							
<b>Junta Utilizada</b>			<b>Técnica de soldadura</b>				
Soldadura a: Un lado: Dos lados: X		Respaldo: si: no: X			Proceso de soldadura: <u>SMAW</u>		
Material Respaldo		Preparar junta: si: X no:			Tipo de soldadura: Manual: X Automática:		
Método: <u>Oxicorte</u>		Bisel: Tipo "Escuadra" 0°			Presición de soldadura: Tope 3G		
Abertura raíz: 2mm (+1,-0mm)		<b>Metal Base</b>			Técnica: Un pase: Varios pases: X		
Especificación: <u>ASTM A36</u>		Espesor: <u>5 mm</u>			Limpieza: Pase raíz: <u>Amolada</u>		
<b>Metal de Aporte</b>		Marca electrodo: <u>AGA</u>			Pases siguientes: <u>Cepillo Metálico</u>		
Dimensión comercial: 7018		Dimensión AWS: <u>E-7018</u>			<b>Notas:</b>		
Diámetro: 3.2 mm		Precalentamiento: NO			Junta Precalificada: Tipo "T"		
Temp. de Precalentamiento: N/A		Temp. Entre pases: min: max:					
No. De pase	Metal de soporte		Corriente		Tension (V)	V de alcance	Detalle de Junta
	Clase	Diam. (mm)	Tipo/Polari.	Amp.			
1	E 7018	3.2	DC+	105-140	22 a 28	0.05-0.1	
2 - 5,	E 7018	3.2	DC+	105-140	22 a 28	0.05-0.1	

**Figura 3.2: Tipo de soldadura especificado WPS**

<sup>68</sup> Capítulo 1, página 64

### **3.1.3. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS**

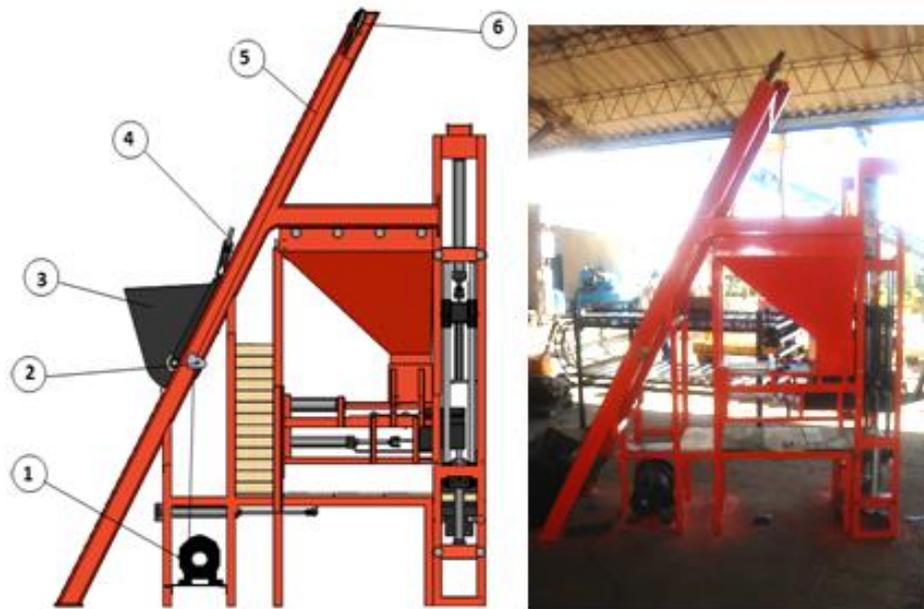
#### **a. Sistema de elevación**

Todos estos elementos se analizaron anteriormente lo cual permite la construcción y acople de las partes que conforman dicho sistema.

Primeramente realizamos el montaje de la estructura donde se va a deslizar el cangilón, el cual se lo construyó, en base a los materiales designados, adecuados mediante corte, esmerilado, soldadura, y perforación se le fue dando los acabados y forma de acuerdo a los planos diseñados

Cuando se terminó la estructura, se empezó con el ensamble y montaje del cangilón que se elevará a lo largo de la estructura. Colocamos las poleas en la estructura, el motorreductor y el cable de acero que halará el cangilón.

El conjunto del sistema de elevación está formado por los elementos que se muestran en la figura 3.3, y son los siguientes:



**Figura 3.3: Sistema de elevación.** (1) Motorreductor, (2) polea pequeña para cambio de dirección, (3) cangilón, (4) polea móvil del cangilón, (5) cable de acero, (6) polea fija de la estructura

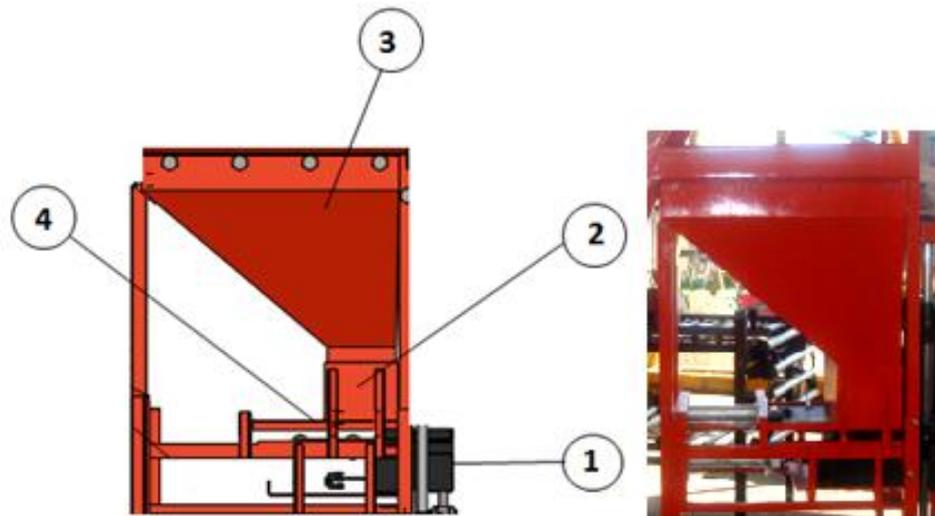
#### **b. Sistema de alimentación de la mezcla**

Se realizó el corte de las diferentes secciones y perfiles que conforman la tolva, para proceder luego a soldarlas y perforarlas, construyendo así esta parte del sistema de alimentación de la mezcla. Luego realizamos el acople de la tapa a través de la guía ensamblada.

Se procedió con el ensamble de la estructura que va a alojar a la tolva y a los cilindros neumáticos de la tapa de la tolva y de la barredora, para lo cual necesitamos perforar la estructura y poder acoplar a los cilindros.

Se continuó con la construcción de la barredora que va a deslizarse a manera de cajón a lo largo de la estructura del sistema de alimentación, la barredora consta de unos rodamientos que le permitirán un movimiento con suavidad.

Una vez terminado de construir las partes de este sistema realizamos el ensamble, lo que nos arrojó como resultado (figura 3.4):



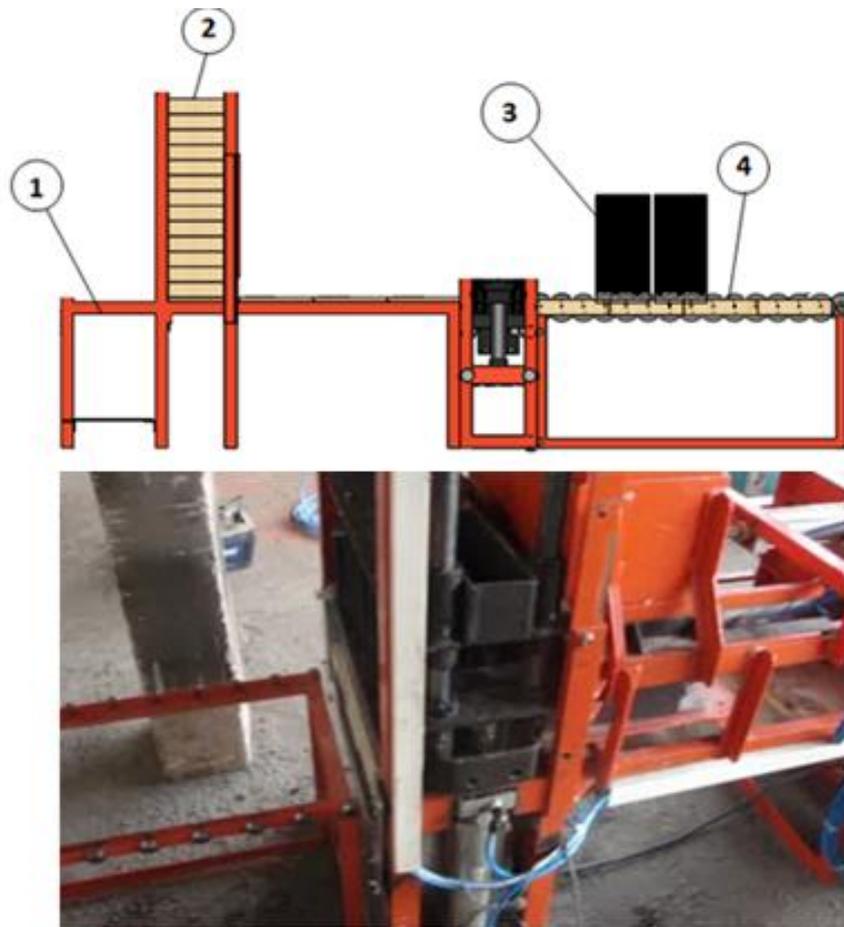
**Figura 3.4: Sistema de alimentación de la mezcla.** (1) Barredora, (2) estructura móvil para bloque o adoquín, (3) tolva, (4) compuerta de la tolva

### c. Sistema de alimentación de tableros

Se empezó a armar la estructura del sistema, cortando y soldando todas las partes de la misma.

Las perforaciones fueron realizadas tomando en cuenta que van a alojar al cilindro que impulsará a los tableros a lo largo de la estructura. Se añadió los rodamientos que lleva la estructura para el rodaje suave de los bloques y adoquines una vez fabricados en los tableros

El montaje se muestra en la figura 3.5:



**Figura 3.5: Sistema de alimentación de tableros.** (1) Estructura base, (2) tableros de madera, (3) bloques, (4) rodamientos guía

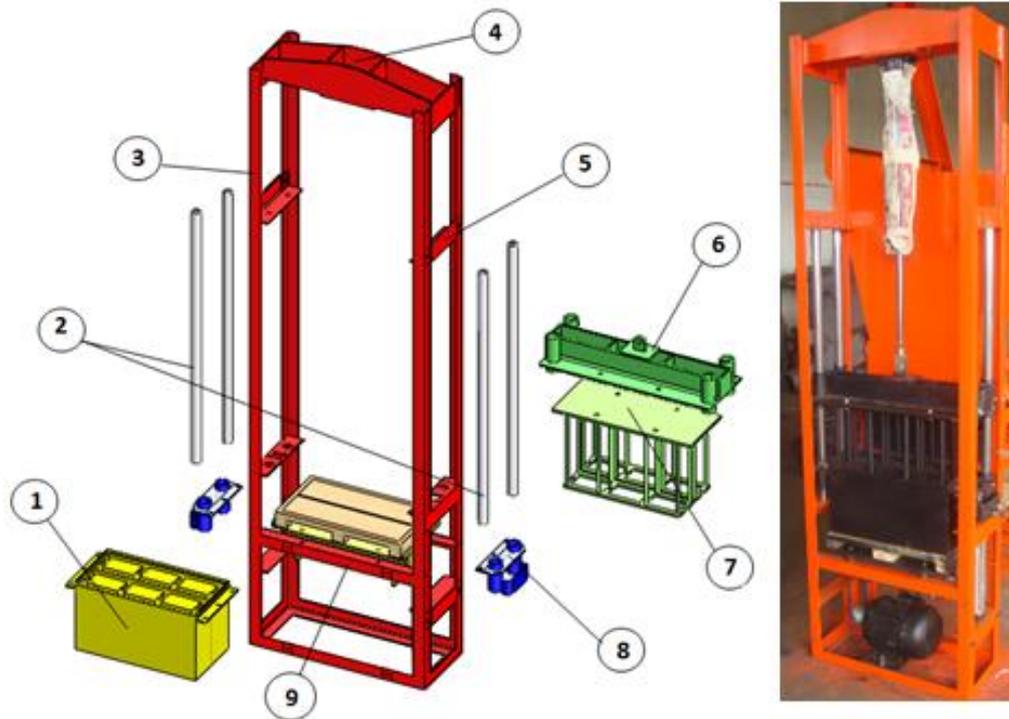
#### **d. Sistema de compresión y de desmolde**

Al igual que los sistemas anteriores, se cortó y esmeriló; es decir se prepararon los materiales que intervienen en ésta construcción (ángulos, planchas de acero, etc.), para proceder a soldarlos entre sí basándonos en los planos, e ir de ésta manera construyendo la estructura de este sistema.

Se tornearon las guías que irán ensambladas en la estructura mediante pernos y en la cual se incrustarán los soportes del molde hembra, así como también el soporte del molde macho.

Los moldes macho y hembra, tanto del adoquín como del bloque, se los construyó de igual manera que la estructura, y basándonos en el diseño establecido.

El montaje y ensamble de este sistema se muestra en la figura 3.6:



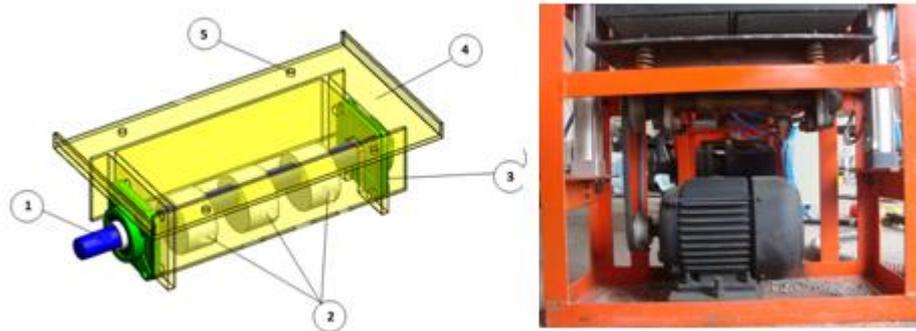
**Figura 3.6: Sistema de compactación y de desmolde.** (1) Molde hembra para bloque, (2) barras guía, (3) estructura base, (4) soporte del cilindro, (5) soportes de las guías, (6) base del molde macho para bloque, (7) molde macho para bloque, (8) sujetadores laterales del molde hembra, (9) base de la mesa vibradora

### e. Sistema de vibración

Se cortó, esmeriló, y perforó de acuerdo a los planos la estructura del sistema de vibración, así como también se hizo la soldadura respectiva.

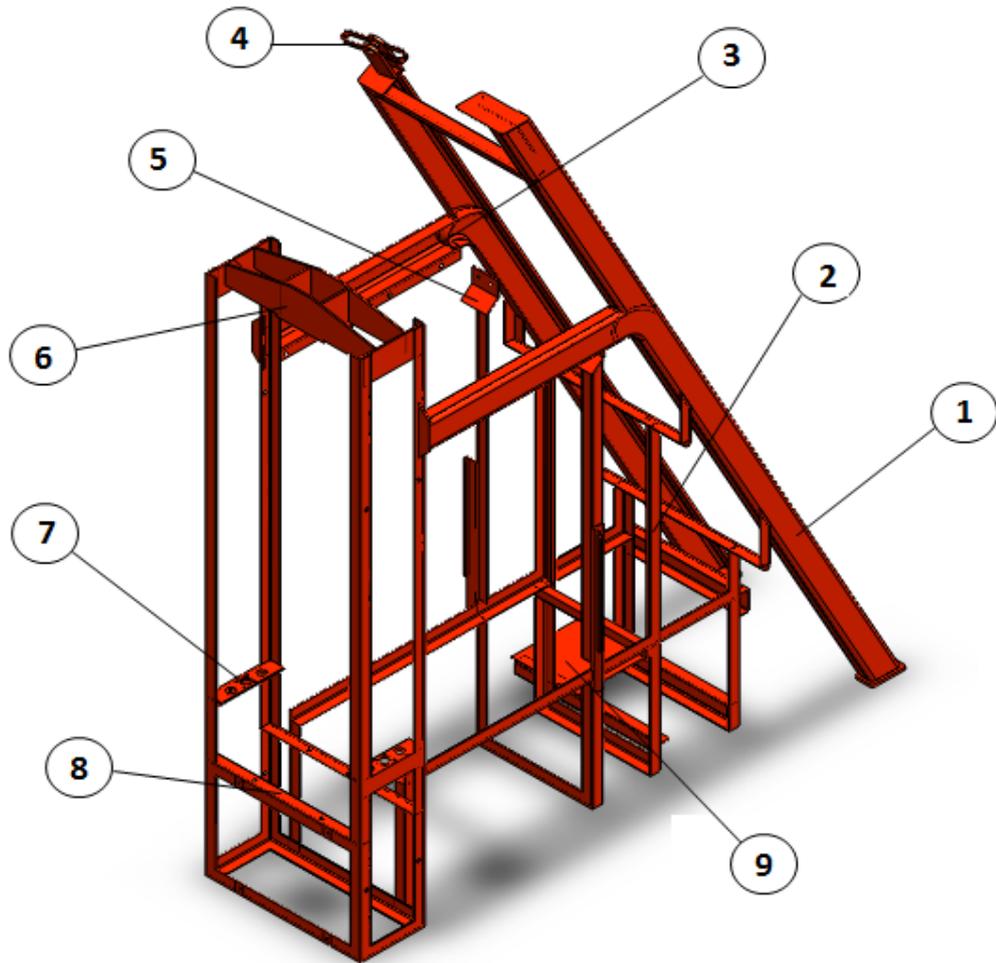
Se torneó el eje de vibración, así como las ruedas excéntricas que llevará la mesa vibradora.

El ensamble de todas las partes se muestra en la figura:



**Figura 3.7: Sistema de vibración.** (1) Eje, (2) excéntricas, (3) chumaceras, (4) mesa vibradora, (5) base para resortes

Con todos los sistemas mecánicos construidos y ensamblados, se armó la máquina en su totalidad mediante ajustes de pernos y soldadura (figura 3.8 y 3.9):



**Figura 3.8: Estructura SolidWorks.** (1) Estructura base del cangilón de UPN de 100 mm, (2) estructura de soporte de tablones, (3) soporte para el giro para el cangilón, (4) soporte guía para la polea, (5) base de la tolva, (6) estructura base para los moldes macho y hembra, (7) base para las guías, (8) soporte para la mesa vibratoria, (9) base del motorreductor



**Figura 3.9: Ensamble total de la máquina**

#### **3.1.4. MONTAJE DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA NEUMÁTICO**

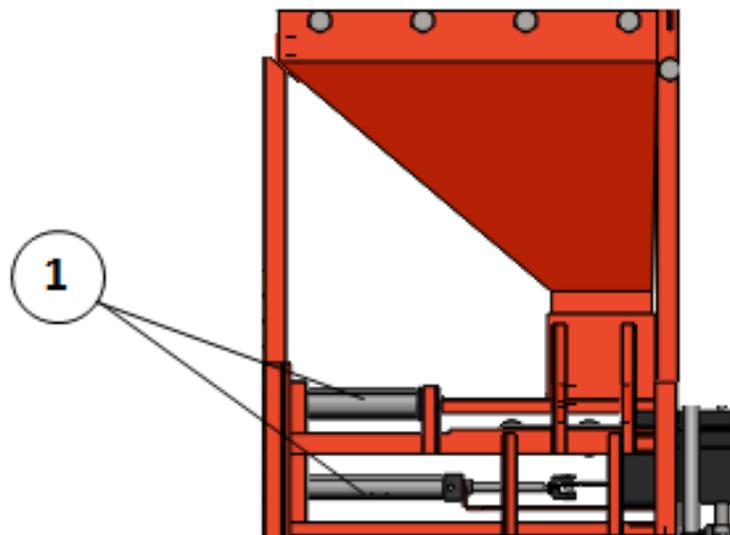
Al igual que el montaje de los elementos mecánicos, para la colocación o ensamble de los elementos neumáticos, la máquina se dividió en sistemas, procurando un acople óptimo y efectivo, para evitar cualquier inconveniente en el funcionamiento total o parcial de la máquina.

Estos sistemas se acoplaran con el sistema neumático y se describen a continuación.

**a. Sistema de alimentación de la mezcla**

Los cilindros que se calcularon en el capítulo 1 se proceden a ensamblar en la estructura del sistema de alimentación de la mezcla, Este sistema posee dos actuadores, el uno se utiliza para abrir y cerrar la compuerta de la tolva, mientras el otro empuja y hala la barredora.

En la figura 3.10 se muestra la disposición que tienen los cilindros para realizar función establecida.



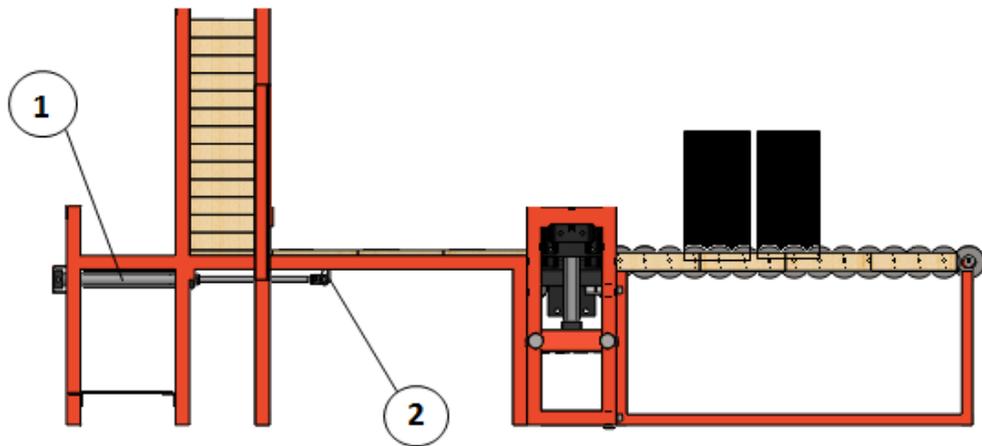
**Figura 3.10: Sistema neumático para la alimentación de la mezcla. (1)**

Cilindros neumáticos

**b. Sistema de alimentación de tableros**

Antes del montaje de este cilindro se construyó el pie de empuje de los tableros de acuerdo a los planos establecidos. Una vez terminado este proceso se acopló el cilindro en la estructura del sistema de alimentación.

La figura 3.11 muestra el cilindro y el pie de empuje para los tableros, que funcionaran en conjunto para lograr un óptimo desenvolvimiento del sistema.

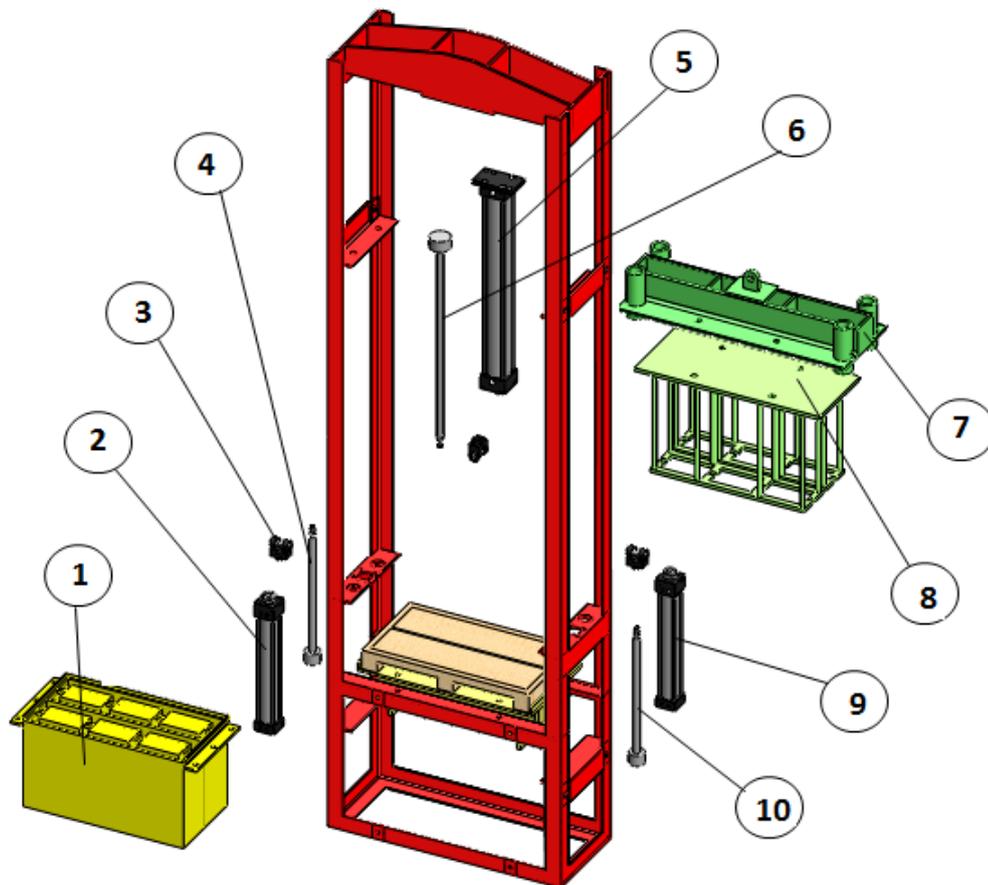


**Figura 3.11: Sistema neumático de alimentación de tableros. (1)**  
Cilindro neumático, (2) pie del vástago

### c. Sistema de compresión y de desmolde

El montaje del cilindro del molde macho tuvo una especial atención debido a las complicaciones que éste presenta, es decir que fue necesario ir centrándolo, conjuntamente con el soporte del molde macho para lograr un acople perfecto.

Al momento de colocar los cilindros laterales del molde hembra, encajaron perfectamente en su sitio, logrando de ésta manera ensamblar la parte neumática del sistema de compresión y desmolde (figura 3.12):



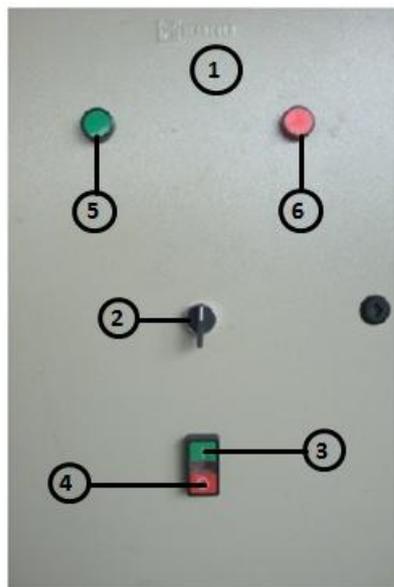
**Figura 3.12: Sistema neumático de compresión y de desmolde.** (1) Molde hembra para bloque, (2) camisa del cilindro lateral derecho para el molde hembra, (3) horquilla, (4) vástago del cilindro del molde hembra, (5) camisa del cilindro lateral para el molde macho, (6) vástago del cilindro del molde macho, (7) base sujetadora del molde macho, (8) camisa del cilindro lateral izquierdo para el molde hembra, (9) camisa del cilindro lateral izquierdo para el molde hembra, (10) vástago del cilindro del molde hembra

Una vez concluida la instalación de los cilindros neumáticos, se procedió a la conexión de los racores y mangueras con las electroválvulas, completando así el sistema neumático.

### 3.1.5. MONTAJE DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

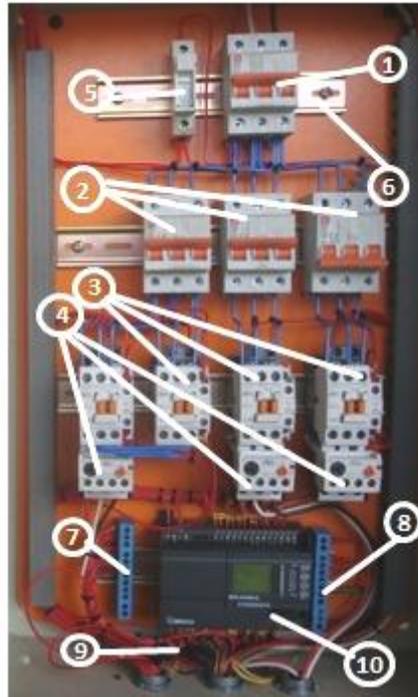
Para el montaje de los elementos que constituyen el circuito de control eléctrico, se analizó previamente en el capítulo anterior todos aquellos dispositivos eléctricos que intervienen para el funcionamiento de la máquina. En la figura 3.13, y en la figura 3.14 se muestra el tablero de mando y el circuito de control respectivamente.

El tablero de mando en el exterior lo conforman:



**Figura 3.13: Componentes del tablero de mando.** (1) Tablero metálico 60x40x20 mm, (2) selector de 3 posiciones, (3) pulsador de inicio automático, (4) pulsador de paro de emergencia, (5) luz piloto verde, (6) luz piloto rojo

El tablero de control en el interior está formado por:



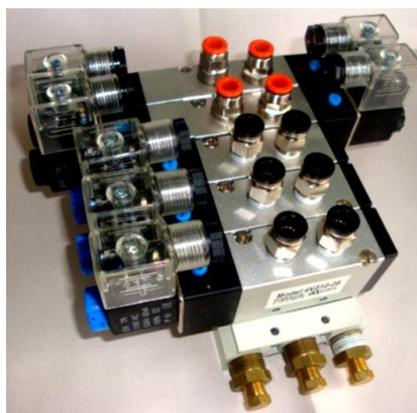
**Figura 3.14: Circuito de control.** (1) Breaker principal, (2) breakers secundarios, (3) contactores, (4) guardamotores, (5) fusible, (6) riel DIN, (7) barra de fase, (8) barra de neutro, (9) cableado, (10) PLC

Fuera del tablero de control se encuentran instalados dos sensores o finales de carrera con dos botoneras, una de inicio del ciclo y otro como paro general. Este conjunto es el que controla la posición del cangilón, para subir o bajar el material, como se muestra en la figura 3.15. El sistema funcionara independientemente de la máquina para precautelar la seguridad del trabajador.



**Figura 3.15: Circuito de mando para el cangilón**

De la misma manera en la parte externa de la máquina se encuentran colocadas las electroválvulas (Figura 3.16), las cuales son las que controlaran a los actuadores neumáticos, mediante sensores magnéticos colocados dos por cada cilindro (Figura 3.17), para que la señal sea enviada a un PLC (Figura 3.18).



**Figura 3.16: Electroválvulas**



**Figura 3.17: Sensores magnéticos**



**Figura 3.18: PLC**

### **3.1.6. CALIBRACIÓN Y PUESTA A PUNTO DE LA MÁQUINA**

La calibración y la puesta a punto de la máquina, consisten en procurar que cada uno de los sistemas que conforman la máquina, funcionen en sincronización para evitar una falla en el ciclo que debe cumplir o para evitar la ruptura de un lazo que se deberá cerrar.

- Para el sistema de elevación, la calibración consiste en centrar el cangilón a la estructura de tal manera que éste, siga su camino sin ninguna inclinación en el desplazamiento evitando desperdicio de material y asegurándose de que el cangilón suba, deposite y baje sin dificultad.
- La calibración para el sistema de alimentación de la mezcla, consiste en posicionar en el lugar adecuado la parte móvil de este sistema, arriba para hacer bloques y abajo para hacer adoquines, para así lograr que la barredora se deslice con libertad de atrás hacia adelante. Las horquillas que se encuentran para la tapa de la tolva y para la barredora tienen una rosca y una tuerca que sirven como regulación para distancias cortas, es decir que éstas ubiquen a los elementos en la posición ideal.
- El sistema de alimentación de tableros, es calibrado desde los mismos tableros que se acumulan debajo de la estructura del sistema de elevación. Estos tableros deben tener dimensiones específicas y una forma determinada, de manera que el cilindro y los tablonos que éste debe empujar, funcionen en forma correcta.
- Los tableros deben seguir una riel de acero, para lo cual estos se diseñaron para que tengan mínima fricción entre madera – acero, esto evitará un posible atascamiento entre tablero y tablero, y mejorará la alimentación con el cilindro. Este cilindro tiene una carrera del mismo largo de los tablonos, para que exista una expulsión y una contracción sincronizada y con una ubicación casi perfecta de las tablas en la mesa vibradora.
- El sistema de vibración tiene una calibración especial, debido a que es un sistema que está expuesto a oscilaciones leves y bruscas

producidas por el motor, el cual se encuentra acoplado a un eje con dos excéntricas. Las excéntricas deben ser colocadas en el eje, en una posición que permita la vibración forzada de la mesa, pero que a la vez impida el paso de la vibración al resto de la máquina. Esto se logra colocando 4 resortes debajo de la mesa vibradora, para evitar que la vibración afecte al resto de la máquina. Se debe tomar en cuenta las condiciones iniciales a las que va a vibrar como la nivelación de la máquina con respecto al suelo y la banda deberá estar correctamente alineada entre el eje del motor y el eje transmisor, además la banda no debe estar ni floja ni ajustada para evitar que ésta patine.

- Para calibrar el sistema de compresión se debe tomar en cuenta la longitud de la carrera del actuador neumático, el cual está unido al molde macho mediante una horquilla. Esta horquilla sirve como reguladora de posición de la matriz.
- Ahora, la calibración del sistema de desmoldeo depende principalmente de los cilindros que se encuentran en los extremos del molde hembra; estos sirven para elevar esta matriz, calibrados por las horquillas que se encuentran en cada actuador.
- El sistema de compresión y el sistema de desmoldeo, dependen de una atención especial en cuanto a la calibración se refiere. Para la máquina, el molde hembra presenta una anomalía. Los cilindros que elevan este molde no cumplen con una sincronización debida del sistema, es decir que uno de los dos cilindros sube más rápido que el otro. Este fenómeno se logró controlar utilizando dos válvulas en el cilindro que actúa más rápido, una para el ciclo positivo y la otra en el ciclo negativo. Las válvulas funcionan como reguladoras de caudal y permiten la variación del paso de aire para modificar la sincronización en los dos actuadores neumáticos.

- Los ejes deben tener un cierto grado de libertad, de manera que los moldes macho y hembra suban y bajen sin ninguna dificultad. Las guías están sujetas a la máquina mediante 8 pernos (2 por cada guía), los cuales se ajustan para evitar el grado de libertad que requieren los moldes en forma incorrecta.

## **3.2. PRUEBAS**

Cada una de las partes que integran la máquina, serán sometidas a distintos tipos de pruebas que a continuación se describen detalladamente por sistemas.

### **3.2.1. PRUEBAS MECÁNICAS**

#### **a. Sistema de elevación**

Para realizar las pruebas en este sistema es necesario tomar en cuenta la tensión del cable de acero y el nivel de deformación que tiene el cangilón y las vigas estructurales que lo soportan las cuales se especifican en el capítulo 2 de diseño, esta deformación dependerá del peso que se le aplique al cangilón. Para realizar esta prueba se elevó el peso máximo que soporta el cangilón en un 25%, 50%, 75% y 100%, obteniendo los resultados que se indican en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1: Peso máximo que soporta el cangilón**

<b>Peso</b>	<b>Nominal</b>	<b>más el 25%</b>	<b>más el 50%</b>	<b>más el 75%</b>	<b>más el 100%</b>
<b>Tensión del cable de acero.</b>	1778.1N	2222.6N	2667.1N	3111.6N	3556.2N
<b>Peso que soporte del Cangilón.</b>	1300N	1625N	1950N	2275N	2600N

**b. Sistema de alimentación de la mezcla**

Al igual que el cangilón, en este sistema la tolva debe soportar un peso adicional al que estará sometida, para realizar la prueba de este sistema se llenará lo tolva a su capacidad máxima, se tomara en cuenta los esfuerzos máximos a los que estarán sometidos la tapa y la barredora dentro de este sistema.

En las pruebas de movimiento que se realizó a este sistema, se encontró una falla en el diseño del depósito de material de la barredora en el molde hembra de bloque o adoquín. Esta barredora tiende a caer cuando el actuador neumático está en la posición máxima, y en el momento de su retorno la parte frontal de la barredora choca con la base. Producto de esto, la barredora no admite material grueso o con piedras grandes, debido a que puede existir un atascamiento entre la barredora y el material. Es necesario fortalecer el sistema de la barredora, de tal manera que se evite este inconveniente. Para evitar este atascamiento es necesario una limpieza del sistema de barrido cada 10 ciclos, en la cual se elimine la acumulación de piedras en el trayecto recorrido de la barredora, además se debe procurar al máximo que la mezcla no contenga piedras grandes que produzcan atascamientos.

Es necesario hacer énfasis en el esfuerzo al que estará expuesta la tapa de la tolva, debido a que es el elemento que tendrá una gran carga, mayor esfuerzo y una fatiga muy elevada. Por esto se debe tener mucho cuidado al proporcionar material dentro de la tolva.

La tabla 3.2 muestra los pesos a los que estará sometida la tolva, la tapa de la tolva, y el peso que deberá empujar la barredora.

**Tabla 3.2: Pesos máximo que soporta la tolva, su tapa y la barredora**

<b>Peso</b>	<b>Nominal</b>	<b>más el 25%</b>	<b>más el 50%</b>	<b>más el 75%</b>	<b>más el 100%</b>
<b>Peso que soporta la tolva.</b>	3885N	4856.25N	5827.5N	6798.7N	7770N
<b>Peso que empuja la barredora.</b>	295N	368.75N	442.5N	516.25N	590N
<b>Peso sobre la compuerta.</b>	1036N	1295N	1554N	1813N	2072N

**c. Sistema de alimentación de tableros**

Este sistema puede presentar dos inconveniente:

- La ductilidad de los tableros de madera, es decir, que si se coloca tableros con mayor ductilidad de un determinado tipo de madera, más fácil será su rompimiento cuando esté expuesto a una carga, que en este caso es la fuerza de compresión.
- Otra de las dificultades que puede se presentar en este sistema es el rozamiento que existe entre madera – acero, es decir que si se coloca un tipo de madera con mayor fuerza de rozamiento los

tableros no cumplirán con la función requerida debido a que la fricción será mayor y por lo tanto las tablas se trabaran.

**d. Sistema de vibración**

La vibración que presenta este sistema depende de la velocidad del motor, del peso que tengan las excéntricas, del número de excéntricas que haya en el eje y de la disposición de las excéntricas.

Para este caso se colocó un tipo de excéntricas no convencionales, obteniendo como resultado una oscilación alterada del sistema debido al número de excéntricas que se colocó y a la forma asimétrica de éstas.

Por esta razón se realizará un cambio de forma en las excéntricas, para obtener una oscilación uniforme, de manera que el sistema funcione adecuadamente para evitar un daño en el producto final.

**e. Sistema de compresión y desmolde**

Este sistema se caracteriza por ser el más complejo de la máquina, debido a que posee dos pares de ejes que se encuentran en las partes laterales, y sirven como guías para subir y bajar los moldes macho y hembra para bloques o adoquines.

Estos cuatro ejes deben cumplir con una tolerancia determinada, para evitar el excesivo rozamiento entre los bocines y las guías, es decir, que tanto el molde macho como el molde hembra deben subir y bajar sin dificultar, guardando concentricidad entre uno y otro.

Este caso no ocurrió en la máquina, debido a un rozamiento muy elevado entre tres de los ejes y los bocines. Tomando en cuenta esto, las guías se

sometieron a una reducción del diámetro (de  $\Theta$  30 a  $\Theta$  29 mm) para evitar un problema a futuro.

Se decidió reducir el diámetro de las guías, antes que aumentar el diámetro de los bocines, debido a la facilidad de desmontaje y a la maniobrabilidad que se tiene con los ejes.

Otra prueba que se le realiza a este sistema es que al igual que el molde macho, el molde hembra debe moverse como un solo cuerpo. Desde un inicio el molde hembra para bloques carecía de estabilidad con las guías, debido a su gran peso y a la falta de uniformidad de la matriz.

Por esta razón a los bocines laterales del molde hembra se lo colocará una platina que une los dos bocines y dos pernos con tres tuercas, esto para calibrar al molde a una posición que facilite la concentricidad de la matriz en la máquina.

### **3.2.2. PRUEBAS NEUMÁTICAS**

Para comenzar, debemos saber la presión a la que funcionan todos los sistemas que es de 120 PSI, esto es necesario debido a que los actuadores neumáticos (cilindros) pueden realizar el mismo trabajo con menor o mayor presión según se requiera, esto a manera de optimización de energía en un sistema.

A continuación se explican las pruebas de los diferentes sistemas que tiene la máquina en donde actúan los cilindros neumáticos.

**a. Sistema de alimentación de la mezcla**

Como se explica en los capítulos anteriores, este sistema tiene dos actuadores neumáticos o cilindros, el uno colocado para la apertura y cierre de la tapa de la tolva y el otro para extender y contraer la barredora.

Estos cilindros se probaron alimentando al 75%, 100% y 110% de la energía que usan, obteniendo los resultados del caudal que se muestran en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3: Caudal con diferentes presiones**

	<b>40%</b>	<b>100%</b>	<b>110%</b>
<b>Cilindro 1</b>	72Psi.	120Psi.	132Psi.
<b>Cilindro 2</b>	72Psi.	120Psi.	132Psi.
<b>Cumple</b>	fugas	óptimo	esfuerzos

**b. Sistema de alimentación de tableros**

Este sistema tiene un solo cilindro, que actúa como alimentador de los tableros uno a la vez, con la carrera exacta del actuador para que recorra la distancia ya determinada.

Al igual que en el sistema anterior, este cilindro se colocará con el 40%, 100% y 110% de la energía que usan, obteniendo los resultados del caudal que se muestran en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4: Caudal con diferentes presiones**

	<b>40%</b>	<b>100%</b>	<b>110%</b>
<b>Cilindro 1</b>	72Psi.	120Psi.	132Psi.
<b>Cumple</b>	fugas	óptimo	esfuerzos

### c. Sistema de compresión y desmolde

La compresión y el desmolde de este sistema, comprende la mayor cantidad de actuadores neumáticos, tiene tres cilindros, dos de estos están ubicados en los extremos del molde hembra, son los que suben y bajan esta matriz; y el otro cilindro está colocado en el molde macho, sirve para comprimir y descomprimir la mezcla dentro de la matriz hembra.

A estos cilindros se los someterá a una presión variada para comprobar su funcionamiento, la presión será de 40%, 100% y 110% de la energía que requieren, los resultados del caudal se muestran en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5: Caudal con diferentes presiones**

	<b>40%</b>	<b>100%</b>	<b>110%</b>
<b>Cilindros 1 y 2</b>	72Psi.	120Psi.	132Psi.
<b>Cilindro 3</b>	72Psi.	120Psi.	132Psi.
<b>Cumple</b>	fugas	óptimo	esfuerzos

La velocidad y la fuerza con la que se requiere que actúe un cilindro, dependen de las válvulas pequeñas que se encuentran a la entrada y/o salida de cada actuador, éstas van conectadas entre sí por mangueras y regulan la energía que llega, permitiendo un mejor control del sistema.

Todos los actuadores neumáticos (cilindros), deben tener un control obligado de ciclo positivo o ciclo negativo, para realizar la función que se requiere. Este control es realizado por las electroválvulas, las cuales se encargan de emitir una señal al solenoide para que exista el cierre o la apertura de la válvula interna que permite el paso o el corte de aire y por lo tanto el funcionamiento correcto y oportuno de cada cilindro.

### 3.2.3. PRUEBAS ELÉCTRICAS

La máquina requiere de una alimentación de 120 a 240 VAC para el funcionamiento de la fuente del equipo. Según mediciones realizadas, la red eléctrica a la cual se encuentra conectado éste, es 125.8 VAC nominales, que permite un óptimo desempeño, ya que se encuentra dentro de los parámetros de funcionamiento nominales de la fuente, como se muestra en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6: Parámetros generales de óptimo funcionamiento**

<b>Parámetros</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Corriente (In)</b>	<b>Potencia (P)</b>
<b>Compresor</b>	220 V	9.93 A	3 Hp
<b>Motor Vibrador</b>	220 V	8.56 A	3 Hp
<b>Motorreductor</b>	220 V	6.07 A	3 Hp
<b>Circuito de Potencia</b>	220 V	24.56 A	9 Hp
<b>Circuito de Mando</b>	127 V	0.35 A	30 W

- **Corrientes del circuito de potencia:**

**Compresor.**

La corriente nominal es: 9.93 A y la Corriente de arranque es: 11.13 A.

**Motorreductor.**

La corriente nominal es: 8.56 A y con carga es: 10.98 A.

**Vibrador.**

La corriente nominal es: 6.07 A Corriente de arranque es: 11.67 A.

- **Corrientes del circuito de control:**

La corriente medida es de 1 A.

**a. Pruebas del sistema de elevación y alimentación de la mezcla**

Éste sistema posee una serie de elementos eléctricos como: 1 botonera para el arranque del motorreductor, 1 motorreductor, 1 botonera de paro general, y 1 final de carrera para la inversión de giro, estos elementos interactúan para que exista una adecuada coordinación en la secuencia del proceso.

La prueba realizada, fue, la activación del sistema mediante la botonera de inicio, un sinnúmero de veces para poder determinar el correcto funcionamiento del mismo; al mismo tiempo pudimos comprobar que el sensor de final de carrera colocado, funcionaba perfectamente, haciendo de ésta manera la inversión de giro del motor y por tanto el retorno del cangilón a la posición inicial.

**b. Pruebas del sistema de alimentación de tableros**

Las pruebas realizadas, en este sistema consisten en activar y desactivar la electroválvula que controla al cilindro y verificar si los sensores detectan o no la presencia del émbolo, al igual que dicha señal, debe llegar al PLC. Ésto se realizó un número no determinado de veces y sirvió para emitir una observación favorable del sistema.

**c. Pruebas del sistema de vibración.**

Éste sistema posee un motor trifásico de 3 Hp de potencia, que está controlado con un pulsador cuando la máquina está funcionando en manual, y por el PLC cuando la máquina está funcionando en automático. Para realizar las pruebas de éste sistema, se tomó en cuenta el tiempo de vibración mínimo y máximo al que está sometido el bloque o el adoquín, del cual se observó y verificó que el vibrador funciona de manera correcta, aceptando los mandos, tanto del PLC como de la botonera.

**d. Pruebas del sistema de compresión y de desmolde.**

La prueba realizada, fue la verificación de los sensores magnéticos, la cual se la realizó expulsando y contrayendo los vástagos del cilindro de compresión y de desmolde, y verificando en el PLC, si éste recibía la señal de dichos sensores; al mismo tiempo que se realizaba ésta verificación, comprobamos el funcionamiento óptimo de las electroválvulas que sirven para el control de éstos cilindros neumáticos.

**e. Pruebas del sistema de alimentación de la mezcla.**

Se activó y desactivó la electroválvula y se verificó la salida y retorno del vástago del cilindro, tanto de la tolva como de la barredora, lo cual se utilizó para la observar el buen funcionamiento de los sensores colocados, y su respectiva emisión de señal hacia el PLC.

### **3.3. VERIFICACIÓN DEL PRODUCTO FINAL**

Para la verificación del producto final es necesario que un bloque y un adoquín se sometan a las pruebas respectivas de compresión en la máquina de tracción facilitada por la Espe.

El bloque y el adoquín escogidos para someterlo a éste estudio es el codificado según la INEN 1048, de  $100 \pm 3$  mm de ancho,  $200 \pm 3$  mm de alto y  $400 \pm 3$  mm de largo (BLOQUE) y, de  $100 \pm 3$  mm de ancho,  $200 \pm 3$  mm de largo,  $60 \pm 3$  mm de altura (ADOQUÍN). El cemento y los áridos se mezclaron en seco, hasta que adquirieron un color uniforme. Luego se les añadió el agua y el conjunto se mezcló durante 1,5 minutos en la mezcladora mecánica. Posteriormente, la mezcla obtenida se introdujo en un molde metálico para luego ser compactada en una mesa vibradora.

Los ensayos realizados a los bloques de hormigón según la INEN 1048, conducen a determinar la calidad de los bloques destinados a construcciones por medio de la verificación de su resistencia mecánica a la compresión (Figura 3.19), absorción máxima de agua y contenido de humedad. Los ensayos de compresión de bloques se realizaron con una prensa marca TIME, modelo C-6222 con una capacidad de carga máxima de 3000 KN. Se obtuvo el promedio de 5 bloques por cada tipo de mezcla, los cuales fueron ensayados a los 8 días. La absorción máxima de agua y el contenido de humedad, se realizaron para cada tipo de bloques, los compuestos únicamente por áridos naturales y los que contenían su fracción gruesa de áridos reciclados, de acuerdo a lo señalado en la normativa.



**Figura 3.19: Ensayo de compresión realizado al bloque y al adoquín**

### **3.3.1. Resultados y discusión**

La Figura 3.20 muestra el resultado del promedio de las resistencias a la compresión a los 8 días de la construcción del bloque y la figura 3.21 muestra los resultados del promedio de la resistencia a la compresión del adoquín, confeccionados completamente con árido natural y los confeccionados solo con la fracción gruesa de árido reciclado su mezcla.

Es posible apreciar que el bloque y el adoquín, cumplieron con las resistencias exigidas por normativa INEN 1048, demostrando que el promedio de resistencias obtenidas a la compresión debe ser superior a los 300 KN para el adoquín y 200 KN para el bloque.

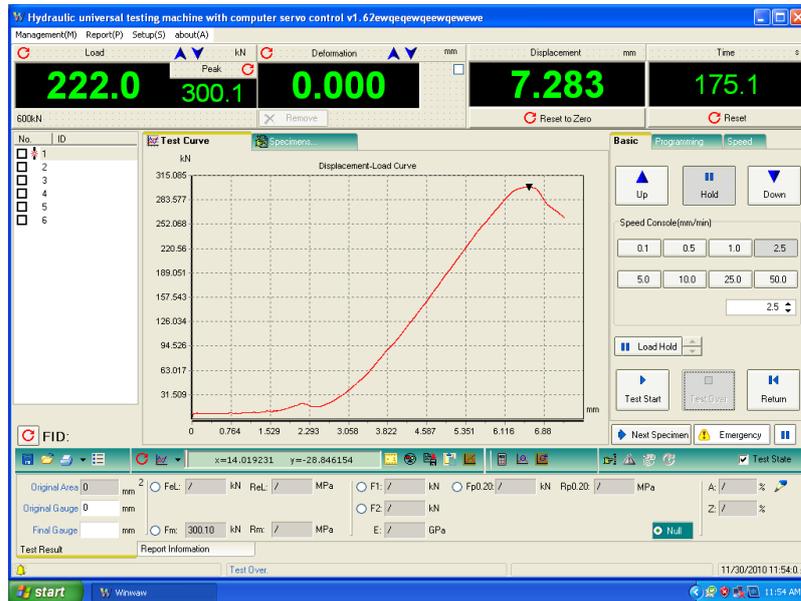


Figura 3.20: Punto crítico de la resistencia a la compresión para el adoquín 300.1 KN

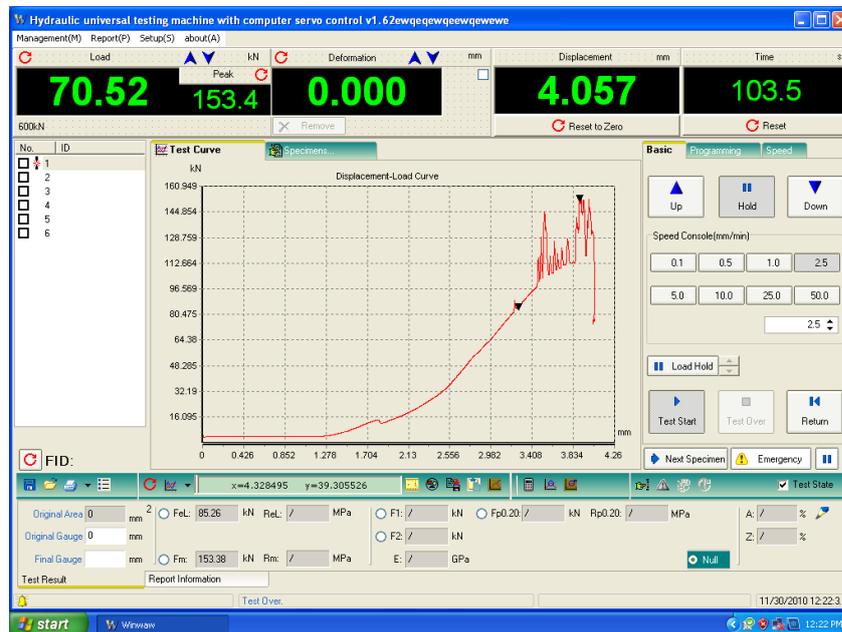


Figura 3.21: Punto crítico de la resistencia a la compresión para el bloque 153.4 KN

### 3.4. ANÁLISIS ECONÓMICO

La adquisición de bloques y/o adoquines en el mercado resulta un tanto cara desde el punto de vista del constructor, debido a la lenta producción con la que se realizan las entregas del producto. Hoy en día la velocidad con la que se puede producir y vender una gran cantidad de bloque y/o adoquines es la mejor elección para la pequeña y mediana industria.

La máquina que se construyó produce 4 adoquines o 2 bloques por cada ciclo, donde cada ciclo tarda un tiempo total de 25 segundos.

#### **Por cada saco de cemento se tiene:**

76 bloques de (100x400x200) mm, de material pesado.

88 bloques de (100x400x200) mm, de material liviano.

192 adoquines de (100x200x60) mm.

#### **Producción de la máquina automática:**

##### **Bloques:**

Se producen 2 bloques en cada ciclo de funcionamiento, la frecuencia de la máquina es de 2 ciclos por minuto

$$\text{No. de bloques en 1 min} = 4 \text{ bloques}$$

$$\text{No. de bloques en 1 hora} = 4 \text{ bloques} \times 60 \text{ min} = 240 \text{ bloques}$$

$$\text{No. de bloques en 1 día} = 240 \text{ bloques} \times 8 \text{ horas} = 1920 \text{ bloques/día}$$

Para producir esta cantidad de bloques es necesario de la mano de obra de 2 trabajadores. Cada trabajador percibe diariamente 16,50 dólares.

$$\text{Por los 2 trabajadores} = 2 \times 16,50 = 33 \text{ dólares}$$

Para producir 88 bloques se necesita un saco de cemento, 195 litros de ripio, 135 litros de arena y agua.

El saco de cemento tiene un costo de 6,50 dólares

Ripio

$$195 \text{ litros de ripio} = \frac{1000 \text{ cc}}{1 \text{ litro}} = 195000 \text{ cc}$$

$$x = \frac{195000 \text{ cc} \times 6 \text{ dólares}}{1000000 \text{ cc}} = 1,170 \text{ dólares}$$

Arena

$$\text{y } 135 \text{ litros de arena} = \frac{1000 \text{ cc}}{1 \text{ litro}} = 135000 \text{ cc}$$

$$x = \frac{135000 \text{ cc} \times 6 \text{ dólares}}{1000000 \text{ cc}} = 0,81 \text{ dólares}$$

$$6,50 + 1,17 + 0,81 = 8,48 \text{ dólares}$$

Entonces, el costo de 1920 bloques producidos diariamente es:

$$\frac{1920 \text{ bloques}}{88 \text{ bloques}} = 21,81$$

$$21.81 \times 8,48 = 184,95 \text{ dólares}$$

Más los trabajadores:

$$184,95 + 33 = 217,95 \text{ dólares}$$

El P.V.P. de cada bloque es de 0,28 dólares, de donde:

$$1920 \text{ bloques} \times 0,28 = 537,6 \text{ dólares}$$

Entonces, la ganancia es:

$$537,6 - 217,95 = 319,65 \text{ dólares}$$

Esta ganancia a la que se hace referencia es diaria.

### **Adoquines:**

Se producen 4 adoquines en cada ciclo de funcionamiento, la frecuencia de la máquina es de 2 ciclos por minuto

$$\text{No. de adoquines en 1 min} = 8 \text{ adoquines}$$

$$\text{No. de adoquines en 1 hora} = 8 \text{ adoquines} \times 60 \text{ min} = 480 \text{ adoquines}$$

$$\text{No. de adoquines en 1 día} = 480 \text{ adoquines} \times 8 \text{ horas}$$

$$= 3840 \text{ adoquines/día}$$

Para producir esta cantidad de adoquines es necesario de la mano de obra de 2 trabajadores. Cada trabajador percibe diariamente 16,50 dólares.

$$\text{Por los 2 trabajadores} = 2 \times 16,50 = 33 \text{ dólares}$$

Para producir 192 adoquines se necesita un saco de cemento, 155 litros de ripio, 105 litros de arena y agua.

El saco de cemento tiene un costo de 6,50 dólares

Ripio

$$155 \text{ litros de ripio} = \frac{1000 \text{ cc}}{1 \text{ litro}} = 155000 \text{ cc}$$

$$x = \frac{155000 \text{ cc} \times 6 \text{ dólares}}{1000000 \text{ cc}} = 0,93 \text{ dólares}$$

Arena

$$\text{y } 105 \text{ litros de arena} = \frac{1000 \text{ cc}}{1 \text{ litro}} = 105000 \text{ cc}$$

$$x = \frac{105000 \text{ cc} \times 6 \text{ dólares}}{1000000 \text{ cc}} = 0,63 \text{ dólares}$$

$$6,50 + 0,93 + 0,63 = 8,06 \text{ dólares}$$

Entonces, el costo de 3840 adoquines producidos diariamente es:

$$\frac{3840 \text{ adoquines}}{192 \text{ adoquines}} = 20$$

$$20 \times 8,06 = 161,2 \text{ dólares}$$

Más los trabajadores:

$$161,2 + 33 = 194,2 \text{ dólares}$$

El P.V.P. de cada adoquín es de 0,07 dólares, de donde:

$$3840 \text{ adoquin} \times 0,07 = 268,8 \text{ dólares}$$

Entonces, la ganancia es:

$$268,8 - 194,2 = 74,6 \text{ dólares}$$

Esta ganancia a la que se hace referencia es diaria.

### **Producción de la máquina manual:**

#### **Bloques:**

Produce 4 bloques cada 3 minutos; para la fabricación de esta cantidad se requiere la mano de obra de 6 trabajadores.

$$\text{No. bloque en una hora} = 1,333 \times 60 \text{ min} = 80 \text{ bloques}$$

$$\text{No. bloques en un día} = 80 \times 8 \text{ horas} = 640 \text{ bloques}$$

Para producir esta cantidad de bloques es necesario de la mano de obra de 6 trabajadores. Cada trabajador percibe diariamente 16,50 dólares.

$$\text{Por los 6 trabajadores} = 6 \times 16,50 = 99 \text{ dólares}$$

Para producir 88 bloques se necesita un saco de cemento, 195 litros de ripio, 135 litros de arena y agua.

El saco de cemento tiene un costo de 6,50 dólares

Ripio

$$195 \text{ litros de ripio} = \frac{1000 \text{ cc}}{1 \text{ litro}} = 195000 \text{ cc}$$

$$x = \frac{195000 \text{ cc} \times 6 \text{ dólares}}{1000000 \text{ cc}} = 1,170 \text{ dólares}$$

Arena

$$\text{y } 135 \text{ litros de arena} = \frac{1000 \text{ cc}}{1 \text{ litro}} = 135000 \text{ cc}$$

$$x = \frac{135000 \text{ cc} \times 6 \text{ dólares}}{1000000 \text{ cc}} = 0,81 \text{ dólares}$$

$$6,50 + 1,17 + 0,81 = 8,48 \text{ dólares}$$

Entonces, el costo de 640 bloques producidos diariamente es:

$$\frac{640 \text{ bloques}}{88 \text{ bloques}} = 7.27$$

$$7,27 \times 8,48 = 61,67 \text{ dólares}$$

Más los trabajadores:

$$61,67 + 99 = 160,67 \text{ dólares}$$

El P.V.P. de cada bloque es de 0,28 dólares, de donde:

$$640 \text{ bloques} \times 0,28 = 179,2 \text{ dólares}$$

Entonces, la ganancia es:

$$179,2 - 160,67 = 18,53 \text{ dólares}$$

Esta ganancia a la que se hace referencia es diaria.

### **Adoquines:**

Se produce 8 adoquines cada 1 minutos; para la fabricación de esta cantidad se requiere la mano de obra de 6 trabajadores.

$$\text{No. adoquines en una hora} = 8 \times 60 \text{ min} = 480 \text{ adoquines}$$

$$\text{No. adoquines en un día} = 480 \times 8 \text{ horas} = 3840 \text{ adoquines}$$

Para producir esta cantidad de adoquines es necesario de la mano de obra de 6 trabajadores. Cada trabajador percibe diariamente 16,50 dólares.

$$\text{Por los 6 trabajadores} = 6 \times 16,50 = 99 \text{ dólares}$$

Para producir 3840 adoquines se necesita un saco de cemento, 155 litros de ripio, 105 litros de arena y agua.

El saco de cemento tiene un costo de 6,50 dólares

Ripio

$$155 \text{ litros de ripio} = \frac{1000 \text{ cc}}{1 \text{ litro}} = 155000 \text{ cc}$$

$$x = \frac{155000 \text{ cc} \times 6 \text{ dólares}}{1000000 \text{ cc}} = 0,93 \text{ dólares}$$

Arena

$$\text{y } 105 \text{ litros de arena} = \frac{1000 \text{ cc}}{1 \text{ litro}} = 105000 \text{ cc}$$

$$x = \frac{105000 \text{ cc} \times 6 \text{ dólares}}{1000000 \text{ cc}} = 0,63 \text{ dólares}$$

$$6,50 + 0,93 + 0,63 = 8,06 \text{ dólares}$$

Entonces, el costo de 3840 adoquines producidos diariamente es:

$$\frac{3840 \text{ adoquines}}{192 \text{ adoquines}} = 20$$

$$20 \times 8,06 = 161,2 \text{ dólares}$$

Más los trabajadores:

$$161,2 + 99 = 260,2 \text{ dólares}$$

El P.V.P. de cada adoquín es de 0,07 dólares, de donde:

$$260,2 \text{ adoquines} \times 0,07 = 268,8 \text{ dólares}$$

Entonces, la ganancia es:

$$268,8 - 260,2 = 8,6 \text{ dólares}$$

Esta ganancia a la que se hace referencia es diaria.

**Nota:** No se consideró el costo de los servicios básicos (agua y energía eléctrica), debido a que el consumo energético de una máquina manual es el mismo que el de una máquina automática y el gasto de agua en la mezcla utilizada, es la misma para la producción manual o automática. Así como también no se consideró el desperdicio, ya que existe uno similar tanto en una máquina automática como en una convencional.

### 3.4.1. Análisis costo - beneficio

Al comparar la producción de la máquina manual con la máquina automática, las ganancias obtenidas se describen en la tabla 3.7.

**Tabla 3.7: Análisis costo - beneficio**

PROCESO	Bloque	Adoquín
Automático	\$ 319,65	\$ 74,6
Manual	\$ 18,53	\$ 8,6

$$\% \text{ Bloques} = \frac{319,65}{18,53} * 100 = 1725,04 \%$$

El incremento de ganancia diaria en la producción de bloques al utilizar la máquina automática es de **1725,04 %**.

$$\% \text{ Adoquines} = \frac{74,6}{8,6} * 100 = 867,44 \%$$

El incremento de ganancia diaria en la producción de adoquines al utilizar la máquina automática es de **867,44 %**.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1. CONCLUSIONES**

- Se diseñó y se construyó una máquina bloquera – adoquinera automatizada.
- Se diseñó y se construyó un mecanismo para la producción de bloques y adoquines fabricados en cadena.
- Se aumentó la velocidad de producción de bloques y adoquines ornamentales y no ornamentales.
- Se mejoró los acabados superficiales y la calidad del bloque y el adoquín, debido a la optimización del material que se debe utilizar en la producción de cada ciclo.
- Se redujo el tamaño de la máquina, de un tamaño real a uno sumamente pequeño en cuanto a producción, sin perder las características de calidad, fiabilidad y seguridad.
- Se realizó la selección y el dimensionamiento de los elementos que intervienen en la máquina, cuidadosa y correctamente, poniendo en óptimo funcionamiento a la máquina.
- Se diseñó el circuito de control eléctrico de la máquina, cumpliendo correctamente la secuencia del proceso.

- Se diseñó una máquina que hace bloques y/o adoquines, los mismos que fueron rotos para determinar su resistencia y comparados con otros bloques y adoquines, obteniendo resultados semejantes que garantizan la calidad del producto final.
- Se diseñó, seleccionó y construyó los elementos mecánicos de la máquina; el diseño se basó en la geometría de distintas máquinas estudiadas; la selección de los elementos mecánicos que forman la máquina, se realizó debido a sus características tecnológicas, según la aplicación que se le dé.
- Se verificó el hardware y software elegidos para la programación de la bloquera adoquinera, funcionando de manera correcta y obteniendo resultados muy satisfactorios en lo que tiene que ver con la sincronización de los actuadores neumáticos.
- Se analizó el sistema de elevación, el sistema de alimentación de la mezcla, y el sistema de alimentación de tableros, obteniendo una mejora en el funcionamiento de los sistemas de la máquina.
- Se analizó las diferentes alternativas de control de dosificación para el debido manejo de la mezcla para bloques o adoquines, teniendo como resultado un excelente producto final.
- Se realizó la programación del PLC con el lenguaje por bloques de funciones para la automatización.
- Se seleccionó los materiales y se construyó la máquina previamente diseñada en el programa SolidWorks, lo que arrojó como resultado una máquina óptima.

- Se diseñó de la máquina de una manera entendible y fácil, para que futuros profesionales implementen o tomen como base este diseño para la selección y construcción de máquinas similares.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

- Verifique antes de poner en marcha la máquina la posición correcta y ajuste de las piezas; colocar en mando manual y hacer pruebas en vacío de cada uno de los mecanismos para asegurar su correcto funcionamiento.
- Limpie la máquina al final de cada jornada de trabajo, principalmente de las partes móviles para evitar un atascamiento activo en la siguiente jornada.
- Automatice el depósito de material en la tolva, con la finalidad de hacer el proceso más eficiente y así lograr que el producto tenga menor contacto con el operario.
- Utilice materia prima de buena procedencia, libre de impurezas y basura para obtener un producto de mejor calidad.
- Rediseñe el sistema de alimentación de la mezcla, debido al problema que presenta la barredora al momento de encontrar en su trayectoria piedras, lo que hace que ésta se salga de su recorrido y se trabe, se puede corregir con un cambio de los rieles por ejes con bocines que impidan un descarrilamiento de la barredora. Es decir que en vez de utilizar un mecanismo corredizo se puede o se sugiere utilizar un mecanismo eje-bocín.

- Certifique a futuro la máquina para obtener un sello de calidad INEN, que permita competir con grandes fabricantes de bloques y adoquines y tener plena seguridad de su producción.
  
- Opere la máquina con mucho cuidado debido a la automatización, razón por la cual se debe consultar el manual de usuario en el anexo C antes de ponerla en funcionamiento
  
- Verifique que los cilindros neumáticos se encuentren en la posición inicial antes de apagar la máquina, ya que se esfuerza a los cilindros, lo que puede ocasionar condensación en el interior y daño posterior.

### 4.3. BIBLIOGRAFÍA

- NORTON, ROBERT, "DISEÑO DE MÁQUINAS", Primera Edición, Ed. Prentice Hall. Estados Unidos, 1999.
- JOSEPH SHIGLEY, "DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA", Sexta Edición, Ed. Mc-Graw Hill, Inc., México, 2002.
- ZOLOTOREVSKI, V., "PRUEBAS MECÁNICAS Y PROPIEDADES DE LOS METALES", Primera Edición, Ed. Mir., Moscú URSS, 1976.
- TEODORE BAUMEISTER-MARKS, "MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO DE MARKS", Cuarta Edición, Ed. Mc-Graw Hill, Inc., México, 1994.
- NICOLAS LARBURÚ, "PRONTUARIO DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS", Sexta Edición, Ed. Paraninfo S.A., Madrid – España, 1994.
- MANUAL DE MECÁNICA INDUSTRIAL, "SOLDADURA, Y MATERIALES", Edición 1999, Ed. Cultural S.A, Madrid – España, 1999.
- MOTT ROBERT L., "RESISTENCIA DE MATERIALES, APLICADA", Tercera Edición, Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, México D. F., 1995.
- HARMER E. DAVIS, "PRINCIPIOS DE ENSAYO E INSPECCIÓN", Tercera Edición.

- ECUADOR, **“CÓDIGO DE DIBUJO TÉCNICO Y MECÁNICO”**, Ed. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, Normalización # 009. Quito, 1989.
- C. H. JENSEN, **“DIBUJO Y DISEÑO DE INGENIERÍA”**, Primera Edición, Ed. Mc-Graw Hill, Inc., México, 1992.
- SHIGLEY J. E., **“DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA”**, 5ª Edición, Mc. Graw Hill, México, 1995.
- SHIGLEY J. E., **“TEORÍA DE MÁQUINAS Y MECANISMOS”**, Mc. Graw Hill, México, 1988.
- MOTT R. L., **“RESISTENCIA DE MATERIALES APLICADA”**, 3ª Edición, Prentice-hall, México, 1996.
- FITZGERALD R. W., **“MECÁNICA DE MATERIALES”**, Edición revisada, Alfaomega, México, 1990.
- INEN, **“CÓDIGO DE DIBUJO TÉCNICO MECÁNICO”**, Quito, 1981.
- SEQUIN C.A., **“MULTIRELÉ PROGRAMABLE ARRAY LOGIC”**, 2003.
- MARTIN SPROCKET & GEAR, INC, **“CATALOGO 1090”**, México, 1995.
- ENRIQUE CARNICER, **“AIRE COMPRIMIDO TEORÍA Y CÁLCULO DE LAS INSTALACIONES”**, Segunda Edición, Ed. Paraninfo, Madrid 1994.

- HENRY HORWITZ, “SOLDADURA, APLICACIONES Y PRACTICA”, Ed. Alfaomega, S.A. de CV, Massachusetts EUA 1976

#### **4.4. Enlaces Web**

- <http://www.frrg.utn.edu.ar>
- <http://www.loscables.com>
- <http://www.ni.com>
- <http://www.honeywell.com>
- <http://www.wika.com>
- <http://www.prince.com>
- <http://www.bigmat.es>
- <http://www.contratos.gov.co>
- <http://www.hcanon.com>
- <http://www.anippac.org.mx>
- <http://www.maneklalexports.com>
- <http://www.preconalbolivia.com>
- <http://www.anippac.org.mx>
- <http://html.rincondelvago.com>

- <http://www.buenastareas.com>
- <http://romoaccaserranojorgeluis.blogspot.com>
- <http://www.imcyc.com>
- <http://www.prunisa.es>
- <http://www.construmatica.com>
- <http://www.mtc.gob.pe>
- <http://www.windtower.net>
- <http://www.esmma.com>
- <http://www.quadra.com>
- <http://www.uv.es>
- <http://www.fing.edu.uy>
- <http://www.monografias.com>
- <http://redalyc.uaemex.mx>
- <http://www.astroscu.unam.mx>
- <http://www.mitecnologico.com>
- <http://es.wikipedia.org>
- <http://cadcam.com.ve>

- <http://ocw.uc3m.es>
- <http://demaquinas.blogspot.com>
- <http://www.sc.ehu.es>
- <http://es.answers.yahoo.com>
- <http://e-ciencia.com>
- <http://keithclaudiaperez.blogspot.com>
- <http://www.mitecnologico.com>
- <http://itzamna.bnct.ipn.mx>
- <http://www.marcombo.com>
- <http://www.jq.com.ar>
- <http://www.pce-iberica.es>
- <http://www.sapiensman.com>
- <http://www.suministrosfranquesa.com>
- <http://www.conocimientosweb.net>
- <http://www.domotica.us>
- <http://www.automatismos>
- <http://www.sistemas-automatas>

- <http://personal.telefonica.terra.es>

## **4.5. ANEXOS**

## PERFILES ESTRUCTURALES CANALES "U"



# DIPAC

PRODUCTOS DE ACERO

### Especificaciones Generales

Norma	INEN 1 623: 2000
Otras calidades	Previa consulta
Largo normal	6mts
Otros largos	Previa consulta
Espesores	Desde 1.5mm hasta 12mm
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa consulta



DIMENSIONES			PESOS			TIPOS						
A	B	e	6 metros	1 metro	SECCION	EJE X-X			EJE Y-Y			
mm	mm	mm	kg	kg	cm <sup>2</sup>	I	Z	I	I	Z	I	x
						cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
40	25	2	7.86	1.31	1.67	4.20	2.10	1.59	1.06	0.62	0.80	0.79
50	25	2	8.82	1.47	1.87	7.06	2.83	1.94	1.13	0.63	0.78	0.72
50	25	3	12.72	2.12	2.70	9.70	3.88	1.89	1.57	0.91	0.76	0.77
60	30	2	10.62	1.77	2.26	12.50	4.16	2.35	2.00	0.93	0.94	0.85
60	30	3	15.54	2.59	3.30	17.50	5.85	2.31	2.84	1.34	0.93	0.89
60	30	4	19.80	3.30	4.20	21.10	7.03	2.24	3.51	1.72	0.91	0.95
80	40	2	14.46	2.41	3.07	30.80	7.71	3.17	4.89	1.68	1.26	1.09
80	40	3	21.24	3.54	4.50	43.90	11.00	3.12	7.01	2.45	1.25	1.14
80	40	4	27.66	4.61	5.87	55.40	13.90	3.07	8.92	3.17	1.23	1.19
80	40	5	34.44	5.74	7.18	65.49	16.37	3.02	10.62	3.83	1.21	1.23
80	40	6	40.44	6.74	8.42	74.18	18.54	2.96	12.10	4.44	1.19	1.28
100	50	2	18.24	3.04	3.87	61.50	12.30	3.99	9.72	2.66	1.58	1.34
100	50	3	26.88	4.48	5.70	88.50	17.70	3.94	14.10	3.89	1.57	1.39
100	50	4	35.22	5.87	7.47	113.00	22.60	3.89	18.10	5.07	1.56	1.44
100	50	5	43.20	7.20	9.18	135.00	27.10	3.84	21.80	6.19	1.53	1.48
100	50	6	51.96	8.66	10.82	155.26	31.05	3.79	25.14	7.24	1.52	1.53
100	60	4	38.28	6.38	8.13	128.00	25.60	3.97	29.70	7.17	1.91	1.86
100	60	5	46.86	7.81	9.95	152.00	30.50	3.91	35.70	8.76	1.90	1.92
100	60	6	57.72	9.62	12.02	181.80	36.36	3.89	42.25	10.38	1.87	1.93
100	60	8	74.40	12.40	15.50	22.60	44.52	3.78	52.47	13.32	1.83	2.06
125	50	2	20.58	3.43	4.37	103.60	16.50	4.86	10.40	2.74	1.54	1.20
125	50	3	30.42	5.07	6.45	149.00	23.90	4.81	15.10	4.02	1.53	1.24
125	50	4	39.90	6.65	8.47	192.00	30.70	4.76	19.40	5.24	1.51	1.29
125	50	5	49.14	8.19	10.40	231.00	37.00	4.71	23.40	6.40	1.50	1.34
125	50	6	59.16	9.86	12.32	266.00	42.67	4.65	27.19	7.51	1.48	1.38
125	60	5	53.82	8.97	11.43	266.98	42.71	4.83	39.36	9.15	1.86	1.70
125	60	6	64.92	10.82	13.52	309.25	49.48	4.78	45.85	10.78	1.84	1.75
125	60	8	84.00	14.00	17.50	383.34	61.33	4.68	57.30	13.94	1.80	1.81
125	80	6	76.44	12.74	15.92	394.28	63.08	4.97	102.94	19.10	2.54	2.61
125	80	8	99.30	16.55	20.69	493.02	78.88	4.88	130.27	24.30	2.50	2.64
125	80	10	120.96	20.16	25.21	576.62	92.25	4.78	154.19	29.31	2.47	2.74

También en galvanizado e inoxidable

### COEFFICIENT OF FRICTION

- The following friction coefficients shall be considered in calculating the sliding friction forces :

Concrete to Soil / Rock	0.30
Concrete to Steel	0.45
Steel to Steel	0.30
Steel to Teflon Plate	0.10
Brick Masonry on moist clay	0.33
Brick Masonry on dry clay	0.50
Brick Masonry on sand	0.40
Brick Masonry on gravel	0.60
Brick Masonry to Brick	0.70
Brick Masonry on rock	0.75
Granite on Granite	0.60
Limestone on Limestone	0.75
Cement Blocks on Cement Blocks	0.65
Cement concrete on dry clay	0.40
Cement concrete on wet clay	0.20
Cement concrete on wet sand	0.40
Cement concrete on dry sand	0.50 - 0.60
Cement concrete on dry gravel	0.50 - 0.60
Cement concrete on dry rock	0.60 - 0.70
Cement concrete on wet rock	0.50
Brick on Brick	0.65
Wood on Wood	0.48
<b>Note: Friction is more on dry surfaces of the same material compared to wet surface.</b>	

**Tabla 17-16 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS PARA CABLES METÁLICOS\***

Cables de vía	3.2	Ascensores, pie/ min	
Cables de retenida	3.5	50	7.60
Para pozos de mina, pies:		300	9.20
Hasta 500	8.0	800	11.25
1 000 - 2 000	7.0	1200	11.80
2 000 - 3 000	6.0	1500	11.90
Más de 3 000	5.0	Montacargas industriales, pie/min	
De elevación o izaje	5.0	50	6.65
De arrastre	6.0	300	8.20
Grúas y cabrias	6.0	800	10.00
Montacargas eléctricos	7.0	1200	10.50
Elevadores manuales	5.0	1500	10.55
Ascensores privados	7.5	Montaplatos de potencia pie/min	
Montaplatos manuales	4.5	50	4.8
Silos de granos	7.5	300	6.6
		500	8.0

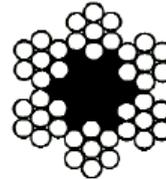
\* El uso de estos factores no impide una falla por fatiga

Fuente: recopilado de varias fuentes, incluyendo la norma ANSI A17.1 - 197

## CABLES DE ACERO



Código	Ø (mm)	Peso (kg/m)	Carga de rotura mín. (kg)
1006071NGD02A	2	0,0143	239
1006071NGD03A	3	0,0322	538
1006071NGD04A	4	0,0572	957
1006071NGD05A	5	0,0894	1.500
1006071NGD06A	6	0,1290	2.150
1006071NGD07A	7	0,1750	2.930

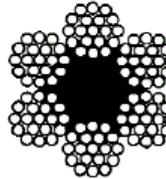


## COMPOSICIÓN

6 x 7 + 1  
Galvanizado  
(180 kg/mm<sup>2</sup>)



Código	Ø (mm)	Peso (kg/m)	Carga de rotura mín. (kg)
1006191NGD03A	3	0,0311	498
1006191NGD04A	4	0,0554	885
1006191NGD05A	5	0,0865	1.380
1006191NGD06A	6	0,1250	1.990
1006191NGD07A	7	0,1700	2.710
1006191NGD08A	8	0,2210	3.540
1006191NGD09A	9	0,2800	4.480
1006191NGD10A	10	0,3460	5.530
1006191NGD11A	11	0,4190	6.690
1006191NGD12A	12	0,4980	7.970
1006191NGD13A	13	0,5850	9.350
1006191NGD14A	14	0,6780	10.800
1006191NGD16A	16	0,8860	14.200
1006191NGD18A	18	1,1200	17.900
1006191NGD20A	20	1,3800	22.100
1006191NGD22A	22	1,6700	26.800
1006191NGD24A	24	1,9900	31.900

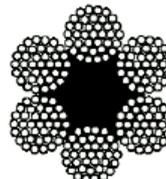


## COMPOSICIÓN

6 x 19 + 1  
Galvanizado  
(180 kg/mm<sup>2</sup>)



Código	Ø (mm)	Peso (kg/m)	Carga de rotura mín. (kg)
1006371NGD06A	6	0,125	1.910
1006371NGD07A	7	0,170	2.600
1006371NGD08A	8	0,221	3.400
1006371NGD09A	9	0,280	4.300
1006371NGD10A	10	0,346	5.310
1006371NGD11A	11	0,419	6.420
1006371NGD12A	12	0,498	7.640
1006371NGD13A	13	0,585	8.970
1006371NGD14A	14	0,678	10.400
1006371NGD16A	16	0,886	13.600
1006371NGD18A	18	1,120	17.200
1006371NGD20A	20	1,380	21.200
1006371NGD22A	22	1,670	25.700
1006371NGD24A	24	1,990	30.600
1006371NGD26A	26	2,340	35.900
1006371NGD28A	28	2,710	41.600
1006371NGD30A	30	3,125	47.724
1006371NGD32A	32	3,540	54.300
1006371NGD34A	34	4,010	61.367
1006371NGD36A	36	4,480	68.800
1006371NGD40A	40	5,540	84.900
1006371NGD44A	44	6,700	103.000
1006371NGD48A	48	7,970	122.000
1006371NGD50A	50	8,650	133.100
1006371NGD55A	55	10,500	161.100
1006371NGD60A	60	12,500	191.700



## COMPOSICIÓN

6 x 37 + 1  
Galvanizado  
(180 kg/mm<sup>2</sup>)

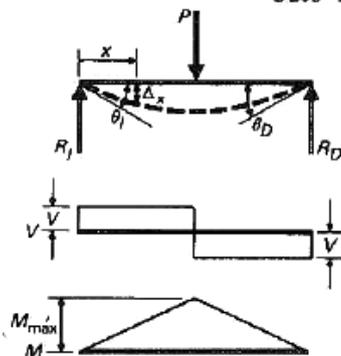


**Tabla 17-15 DATOS SOBRE CABLES METÁLICOS**

<b>Cable</b>	<b>Peso lb/pulg</b>	<b>Diámetro mínimo de polea pulg</b>	<b>Tamaños están- dares <i>d</i>, pulg</b>	<b>Material</b>
6 × 7 arrastre	$1.50d^2$	$42d$	$\frac{1}{4}-1\frac{1}{2}$	Acero monitor Acero de arado Acero suave para arado
6 × 19, de izaje es- tándar	$1.60d^2$	$26d-34d$	$\frac{1}{4}-2\frac{3}{4}$	Acero monitor Acero de arado Acero suave para arado
6 × 37, flexible especial	$1.55d^2$	$18d$	$\frac{1}{4}-3\frac{1}{2}$	Acero monitor Acero de arado
8 × 19, flexible extra	$1.45d^2$	$21d-26d$	$\frac{1}{4}-1\frac{1}{2}$	Acero monitor Acero de arado
7 × 7, de aviación	$1.70d^2$	...	$\frac{1}{16}-\frac{3}{8}$	Acero resistente a la corrosión Acero al carbono
7 × 19, de aviación	$1.75d^2$	...	$\frac{1}{8}-\frac{3}{8}$	Acero resistente a la corrosión Acero al carbono
De 19 alam- bres, de avia- ción	$2.15d^2$	...	$\frac{1}{32}-\frac{5}{16}$	Acero resistente a la corrosión Acero al carbono

## Diagramas de vigas

**Caso 1** *Viga libremente apoyada; carga concentrada al centro.*



Caso 1.

$$R_1 = R_2 = V = \frac{P}{2},$$

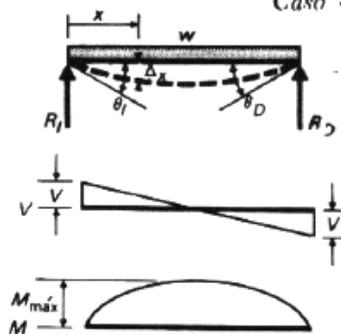
$$M_{\max} = \frac{PL}{4} \quad \text{en} \quad x = \frac{L}{2},$$

$$\theta_1 = \theta_2 = \frac{PL^2}{16EI},$$

$$\Delta_x = \frac{Px}{48EI}(3L^2 - 4x^2) \quad 0 < x < \frac{L}{2},$$

$$\Delta_{\max} \text{ (en la línea central)} = \frac{PL^3}{48EI}.$$

**Caso 4** *Viga libremente apoyada: carga uniformemente distribuida*



Caso 4.

$$R_1 = R_2 = V = \frac{wL}{2},$$

$$M_{\max} = \frac{1}{8}wL^2 \quad \text{en la línea central},$$

$$\theta_1 = \theta_2 = \frac{wL^3}{24EI},$$

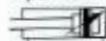
$$\Delta_x = \frac{wx}{24EI}(L^3 - 2Lx^2 + x^3),$$

$$\Delta_{\max} = \frac{5wL^4}{384EI} \quad \text{en la línea central}.$$

Cilindros normalizados para detección sin contacto según DIN ISO 6431, VDMA 24562 y NFE 49003.1, Ø de émbolo de 32 hasta 320 mm



**Cilindros de doble efecto con amortiguación regulable en ambos fines de recorrido**  
**Tipo DNG-...-PPV-A** con émbolo cuadrado antiguo  
**Tipo DNGL-...-PPV-A**



Esta serie de cilindros cumple con las normas DIN ISO 6431, VDMA 24562 y NFE 49003.1.

El émbolo del cilindro está provisto de un imán permanente, con el que son activados los detectores de proximidad.

Versiónes especiales:



Tipo DNGL en S2 y S6  
 Accesorios ver hoja 3.8/1-1.



DNG



DNGL

El émbolo del cilindro lleva incorporado un imán permanente sobre cuyo campo magnético son accionados los detectores; en el perfil de aluminio se pueden sujetar uno o varios. Por medio de estos detectores se pueden conocer las posiciones finales o intermedias del cilindro.

Ver finales de carrera sin contacto en página 3.9/1-1.

Montaje de los cilindros sin fijación adicional

Fijación anterior

Fijación posterior



Variantes de montaje con elementos adicionales de fijación

Fijación por pies tipo HNG

Fijación por brida tipo PNG anterior

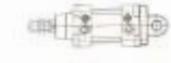
Fijación por brida oculta tipo PNG posterior



Brida oculta tipo DNG DNGB

Brida oculta tipo DNGL con apoyo esférico

Brida oculta tipo DNGL



Nota: Casquillos ver hoja 3.1/80-1.

Referencia ver pág. 3.1/40-7	N° de artículo = DNG + Ø émbolo + Amortiguación + Detección Ejemplo de pedido: Ø émbolo 63 mm, carrera 300 mm, amortiguación regulable de finales de carrera = 35264 DNG-63-300-PPV-A									
Fluido	Aire comprimido filtrado, con o sin lubricación									
Función	Cilindro de émbolo con fijación por tracción									
Presión de funcionamiento	12 bar (Ø de émbolo desde 160 hasta 320 mm: 10 bar)									
Temperaturas de funcionamiento	-20 hasta +60 °C (señalar valores mínimos y máximos de los detectores de proximidad)									
Materiales	Cuerpos: Al; Carrera del cilindro: Al (Ø 250 y 320, X 5 Cr Ni Mo 1.1 1.2 3); Vástago: X 20 Cr 13 (Ø 250 y 320, C 45 cromado), Inconel: X 3 Cr Ni Ti 10 (Ø 160 y 300, X 20 Cr 13, Ø 250 y 320; 34 Cr Mo 4); Juntas: Poluretano									
Peso	Ver datos									
Ø del émbolo mm	Carrera estándar mm	Longitud de carrera min.-máx. mm	Fuerzas de empuje a 6 bar		Fuerzas de retorno a 6 bar		Conexiones	Longitud de amortiguación mm		
			Valores técnicos		Valores técnicos					
			N	(= kpf)	N	(= kpf)				
32	25, 40, 50, 80,	10 hasta 250	10 hasta 300	482	(48,2)	415	(41,5)	G 1/8	20	
40	100, 125, 160,		10 hasta 400	753	(75,3)	633	(63,3)	G 1/8	20	
50	200, 250, 320,		10 hasta 500	1178	(117,8)	990	(99,0)	G 1/8	32	
63	400, 500		10 hasta 500	1870	(187,0)	1682	(168,2)	G 1/8	32	
80			10 hasta 630	3015	(301,5)	2720	(272,0)	G 1/8	36	
100			10 hasta 800	4712	(471,2)	4418	(441,8)	G 1/8	36	
125					7360	(736,0)	6880	(688,0)	G 1/8	40
160					12064	(1206,4)	11310	(1131,0)	G 1/8	40
200					18950	(1895,0)	18006	(1800,6)	G 1/8	50
250					29450	(2945,0)	28270	(2827,0)	G 1	60
320					46250	(4625,0)	46380	(4638,0)	G 1	66

THHN Flex



## ALAMBRES Y CABLES DE COBRE TIPO THHN 600 V - 90°C

CALIBRE	C O N D U C T O R				ESPESOR DE AISLAM.	ESPESOR CHAQUETA NYLON	DIAMETRO EXT. APROX.	PESO TOTAL APROX.	CAPACIDAD CONDUCCION	
	# HILOS	SECCION APROX. mm	DIAMETRO APROX. mm	PESO APROX. Kg/Km					* Amp.	** Amp.
AWG & MCM		mm	mm	Kg/Km	mm	mm	Kg/Km	22.7	25	35
14	1	2.08	1.63	18.5	0.38	0.10	2.59	22.7	25	35
12	1	3.31	2.05	29.4	0.38	0.10	3.01	34.5	30	40
10	1	5.26	2.59	46.6	0.51	0.10	3.81	54.9	40	55
8	1	8.37	3.26	74.4	0.76	0.13	5.03	89.9	55	80
14	7	2.08	1.88	19.0	0.38	0.10	2.84	24.4	25	35
12	7	3.31	2.36	30.3	0.38	0.10	3.32	36.8	30	40
10	7	5.26	2.97	48.2	0.51	0.10	4.19	58.6	40	55
8	7	8.37	3.70	75.9	0.76	0.13	5.47	95.8	55	80
6	7	13.3	4.65	120.6	0.76	0.13	6.42	144.6	75	105
4	7	21.32	5.88	191.6	1.02	0.15	8.21	231.9	95	140
2	7	33.54	7.41	304.1	1.02	0.15	9.74	353.3	130	190
1/0	19	53.52	9.45	485.3	1.27	0.18	12.35	559.5	170	260
2/0	19	67.35	10.65	610.7	1.27	0.18	13.55	693.1	195	300
3/0	19	84.91	11.95	770.0	1.27	0.18	14.85	891.3	225	350
4/0	19	107.4	13.40	974.0	1.27	0.18	16.30	1075.2	260	405
250	37	126.4	14.55	1157.1	1.52	0.20	18.01	1287.2	290	455
300	37	151.9	15.95	1390.4	1.52	0.20	19.41	1531.7	320	505
350	37	177.3	17.23	1623.3	1.52	0.20	20.69	1774.8	350	570
400	37	203.2	18.45	1860.6	1.52	0.20	21.91	2021.9	380	615
500	37	252.9	20.65	2315.6	1.52	0.20	24.11	2494.6	430	700
600	61	303.20	22.68	2776.1	1.78	0.23	26.70	3003.4	475	780
700	61	354.0	24.43	3241.0	1.78	0.23	28.45	3484.4	520	855
750	61	380.8	25.34	3453.1	1.78	0.23	29.36	3704.9	535	885
800	61	404.3	26.11	3666.2	1.78	0.23	30.13	3925.1	555	920
1000	61	507.7	29.26	4604.1	1.78	0.23	33.28	4892.0	615	1055

**ESPECIFICACIÓN:**  
COVENIN 397 (Cableado), UL-62 (Sólido)

**APLICACIÓN:**  
En sistemas de alambrado eléctrico, en edificaciones industriales, conexiones de tableros de control donde el voltaje no sea superior a 600V, ambientes secos y una temperatura máxima de servicio de 90°C (194°F). La cubierta protectora de nylon es resistente a la abrasión y facilita a la introducción de ductos, tienen alta resistencia a los ácidos, álcalis, agentes químicos, aceites, gasolina, grasa y llamas.

**AISLANTE:**  
Cloruro de polivinilo (PVC) de 90°C (194°F) resistente a la humedad, no propaga la llama.

**CHAQUETA:**  
Nylon cristal deslizante y resistente a aceites, gasolina y químicos.

DIMENSIONES			
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	DIÁMETRO	COLOR
12R1.9x3.3	Tubo Poliamida PA 12	Ø 1,9 x 3,3	TB-G-RNV
12R2x4	Tubo Poliamida PA 12	Ø 2 x 4	TAB-RN
12R2.5x4	Tubo Poliamida PA 12	Ø 2,5 x 4	TB-RN
12R2.7x4	Tubo Poliamida PA 12	Ø 2,7 x 4	TAN
12R4x6	Tubo Poliamida PA 12	Ø 4 x 6	TAB-G-RNV
12R6x8	Tubo Poliamida PA 12	Ø 6 x 8	TAB-G-RNV
12R8x10	Tubo Poliamida PA 12	Ø 8 x 10	TAB-RNV
12R9x12	Tubo Poliamida PA 12	Ø 9 x 12	TN
12R10x12	Tubo Poliamida PA 12	Ø 10 x 12	TB-RN
12R11x14	Tubo Poliamida PA 12	Ø 11 x 14	TN
12R12x14	Tubo Poliamida PA 12	Ø 12 x 14	TN
12R12x15	Tubo Poliamida PA 12	Ø 12 x 15	TN
12R12.5x15	Tubo Poliamida PA 12	Ø 12,5 x 15	T
12R18x22	Tubo Poliamida PA 12	Ø 18 x 22	N

A-10	NEUMÁTICA: MANÓMETRO DE PRESIÓN	HOJA 10 DE 26
------	---------------------------------	---------------

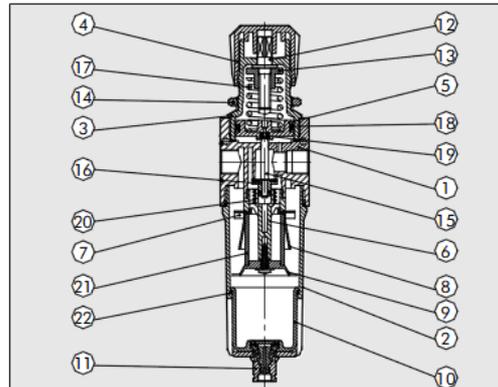
DATOS TÉCNICOS	
Campo de aplicación	Para medios líquidos y gaseosos
Diámetros estándar	Ø 40 - 50 - 63
Rango de medición (según EN837-1/5)	0...0.6 bars hasta 0...400 bars
Conexión	G 1/8 - Ø 40 - 50 - 63
Elemento de medición	Muelle tubular tipo Bourdon
Elemento de contacto con el medio	Aleación de cobre
Caja estándar	Plástico color negro

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ROSCA	RANGO
MP431804	Manómetro posterior Ø 40	1/8	0 - 4 bars
MP4318012	Manómetro posterior Ø 40	1/8	0 - 12 bars
MP531804	Manómetro posterior Ø 50	1/8	0 - 4 bars
MP5318012	Manómetro posterior Ø 50	1/8	0 - 12 bars
MP631804	Manómetro posterior Ø 63	1/8	0 - 4 bars
MP6318012	Manómetro posterior Ø 63	1/8	0 - 12 bars

DATOS TÉCNICOS		FR ND 1/4	FR ND 3/8"	FR ND 1/2"
Conexión roscada		1/4"	3/8"	1/2"
Campo de regulación	bar	0÷2 - 0÷4 - 0÷8 - 0÷12		
Grado de filtración		4µm 20µm 50µm		
Presión máx. entrada	MPa	1.8		
	bar	18		
	psi	261		
Caudal a 6 bar (0,6 MPa÷87 psi)	NI/min	260		1000
ΔP 0,5 bar (0,05 MPa÷7 psi)	scfm	9.2		35.5
Caudal a 6 bar (0,6 MPa÷87 psi)	NI/min	700		2500
ΔP 1 bar (0,1 MPa÷14 psi)	scfm	25		88.5
Fluido		Aire comprimido		
Temperatura máx. a 1 MPa; 10 bar; 145 p:	°C	50°		
	°F	122°		
Peso	Kg	0.5		1
Tomillos de fijación en pared		M4x40		M4x55
Posición de montaje		Verticale		
Conexión manómetro		G 1/8"		G 1/8"
Capacidad vaso	cm <sup>3</sup>	10		45
Purga condensación		Manuale Semiaut. (RMSA)		Automatico (SAC o RA)
Notas de uso		En el regulador la presión debe fijarse siempre a la salida. La presión máxima de entrada para la versión con purga automática RA no debe superar los 10 bar.		

## COMPONENTES

- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| ① Cuerpo en zamak                     | ⑩ Válvula con guarnición en NBR vulcanizado |
| ② Vaso de aluminio                    | ⑪ Muelle registro en acero                  |
| ③ Campana en tecnopolímero            | ⑫ Juntas de labio en NBR                    |
| ④ Pomo en tecnopolímero               | ⑬ Juntas relieving en NBR                   |
| ⑤ Pistón en tecnopolímero             | ⑭ Muelle pulsaválvula en acero              |
| ⑥ Tapa en tecnopolímero               | ⑮ Cartucho filtrante en bronce sinterizado  |
| ⑦ Centrifugador en tecnopolímero      | ⑯ Juntas en NBR                             |
| ⑧ Deflector en tecnopolímero          |   |
| ⑨ Pantalla en tecnopolímero           |   |
| ⑩ Vaso en tecnopolímero               |   |
| ⑪ Purga condensación (RMSA)           |   |
| ⑫ Tornillo registro en latón OT58     |   |
| ⑬ Tornillo patrón en latón OT58       |   |
| ⑭ Anillo en fijación en tecnopolímero |   |
| ⑮ Vástago en latón OT58               |   |



## DATOS TÉCNICOS

## Presión de funcionamiento:

• Monoestable eléctrica	2.5 ÷ 10 bar
• Biestable eléctrica	1 ÷ 10 bar
• Asistida y neumática	vacio ÷ 10 bar

## Presión mínima de accionamiento:

• Monoestable neumática	2.5 bar
• Biestable neumática	1 bar

Temperatura de funcionamiento -10° C ÷ +60° C

Diámetro nominal 7.5 mm

Conductancia C 264.26NI / min-bar

Relación crítica B 0.27 bar / bar

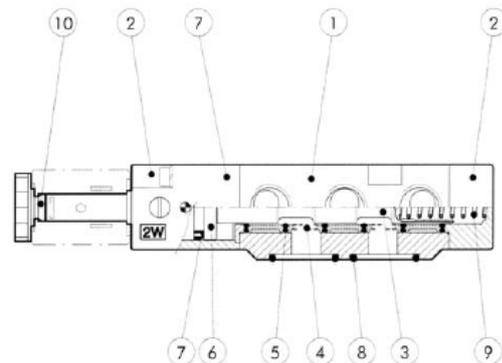
Caudal a 6 bar  $\Delta P$  0.5 bar 750 NI / minCaudal a 6 bar  $\Delta P$  1 bar (0.1 MPa : 145 psi) 1100NI / min

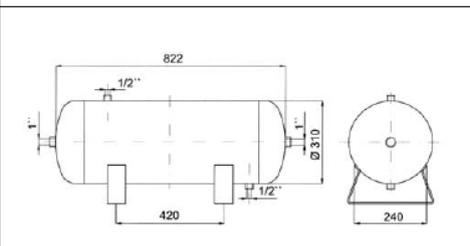
## Tiempos de respuesta 6 bar:

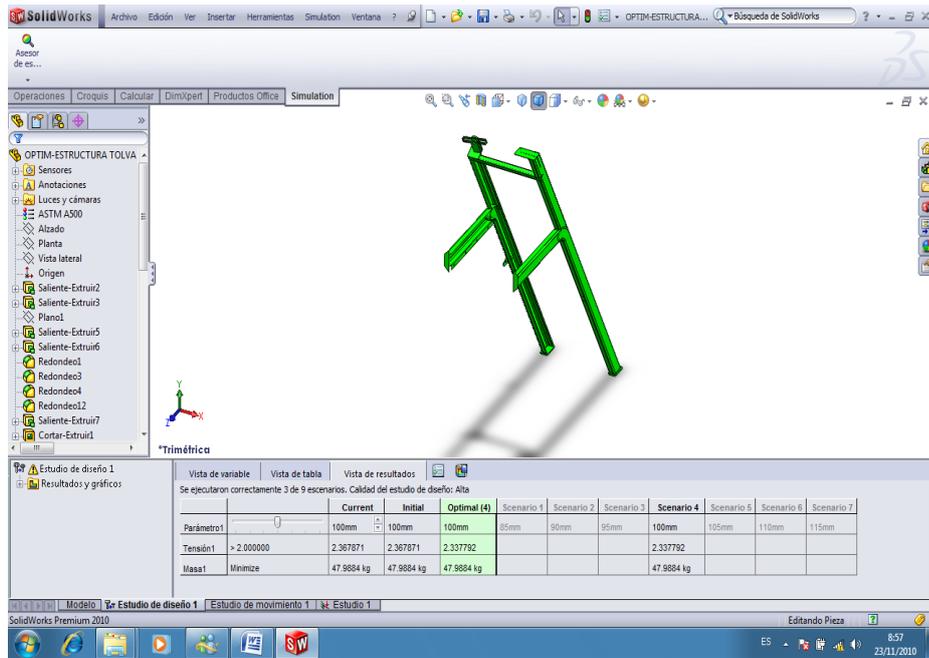
• TRA/TRR monoestable neumática a 6 bar	7 ms / 15 ms
• TRA/TRR biestable neumática a 6 bar	7 ms / 7 ms
• TRA/TRR monoestable eléctrica a 6 bar	19 ms / 45 ms
• TRA/TRR biestable eléctrica a 6 bar	21 ms / 21 ms

## COMPONENTES

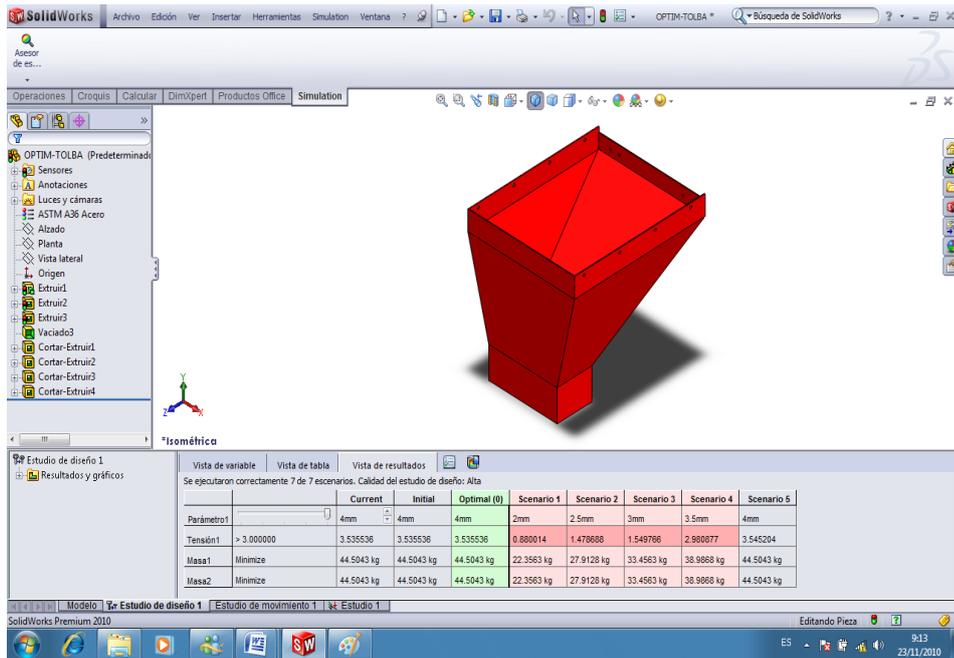
- 1.- Cuerpo válvula: aluminio
- 2.- Mando/casquillo: HOSTAFROM®
- 3.- Corredera: aluminio niquelado químicamente
- 4.- Distanciadore: material plástico
- 5.- Juntas: caucho nitrílico NBR
- 6.- Pistón: HOSTAFROM®
- 7.- Juntas pistón: caucho nitrílico NBR
- 8.- Juntas plano: caucho nitrílico NBR
- 9.- Resorte: acero especial.
- 10.- Operador: tubo de latón, núcleo en inoxidable



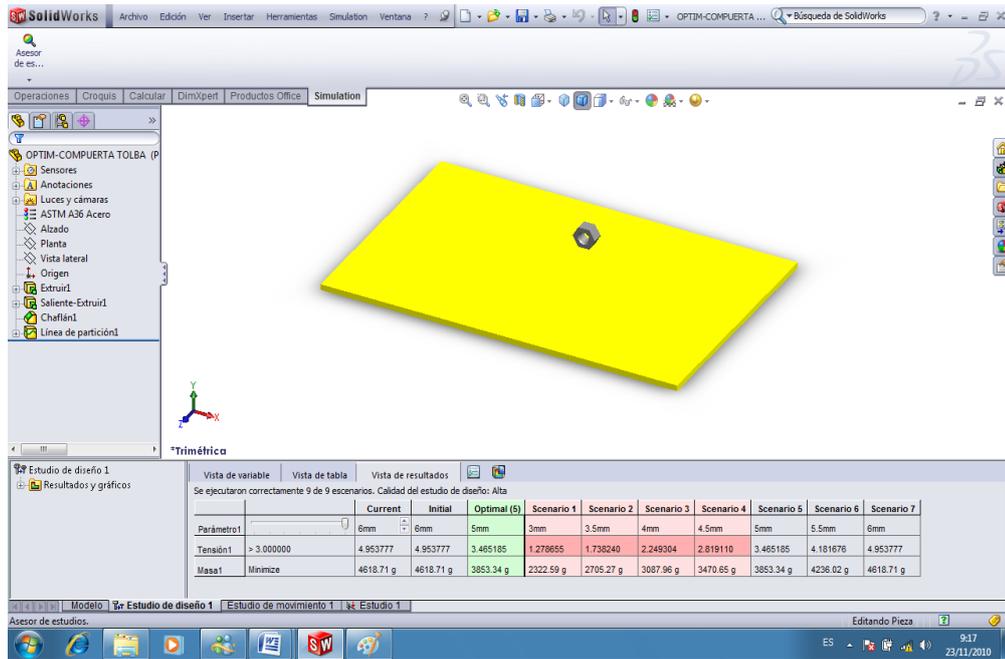
DEPÓSITOS CERTIFICADO CEE 87/404		CÓDIGO	ARTÍCULO	LITROS	ROSCA
	050101	50SBCV4	50L	2x1/2 2x1"	



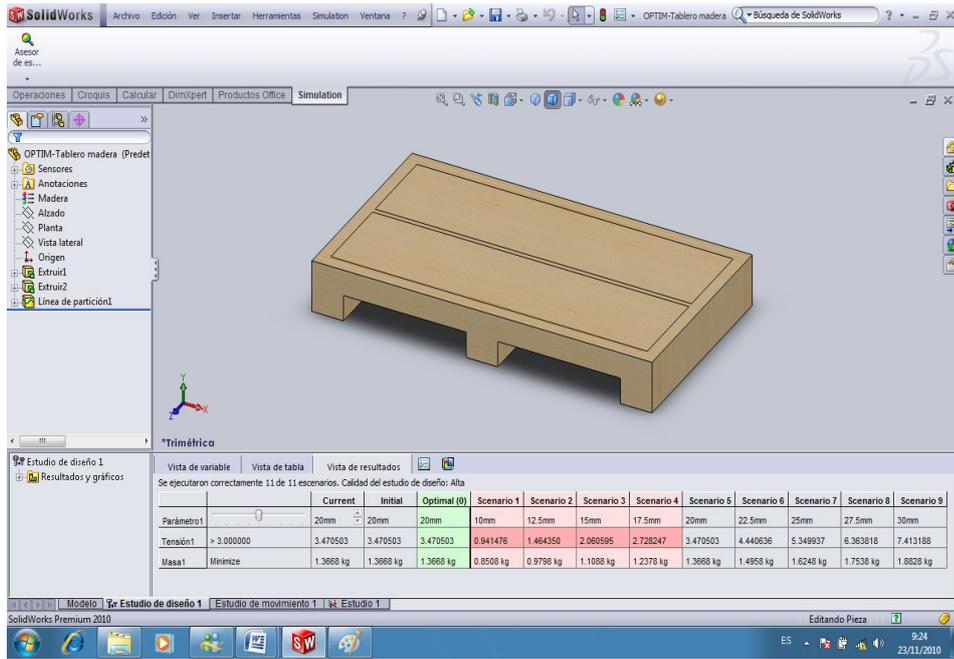
	Current	Initial	Optimal (4)	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7
Parámetro1	100mm	100mm	100mm	85mm	90mm	95mm	100mm	105mm	110mm	115mm
Tensión1	> 2.000000	2.367871	2.367871				2.337792			
Masa1	Minimize	47.9884 kg	47.9884 kg				47.9884 kg			



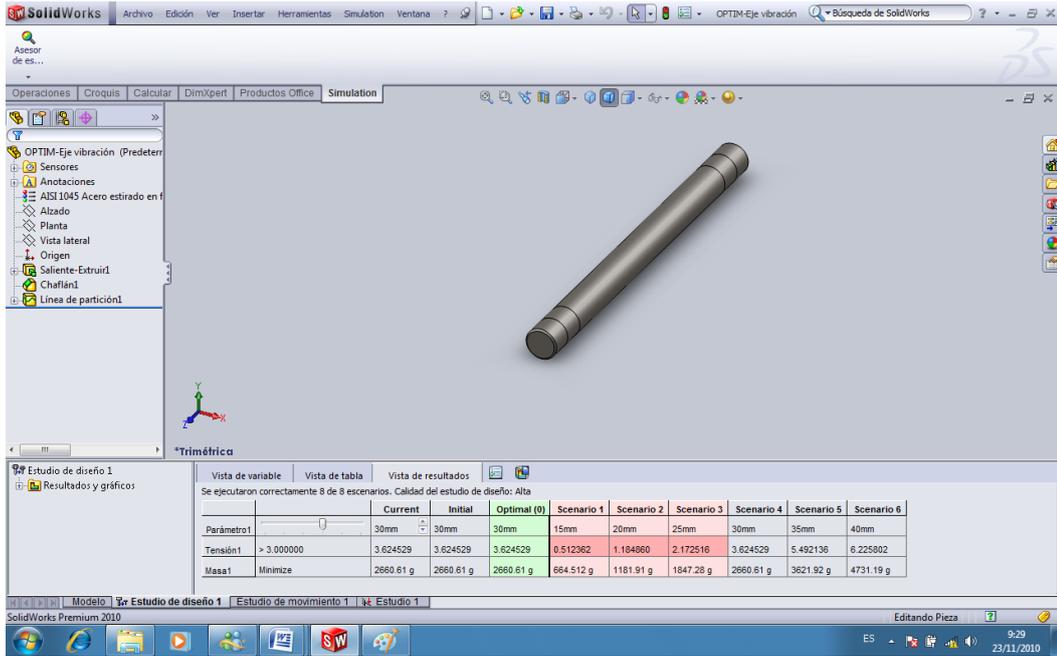
	Current	Initial	Optimal (0)	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Parámetro1	4mm	4mm	4mm	2mm	2.5mm	3mm	3.5mm	4mm
Tensión1 > 3.000000	3.535536	3.535536	3.535536	0.880014	1.478688	1.549766	2.980877	3.545204
Masa1 Minimize	44.5043 kg	44.5043 kg	44.5043 kg	22.3563 kg	27.9128 kg	33.4563 kg	38.9868 kg	44.5043 kg
Masa2 Minimize	44.5043 kg	44.5043 kg	44.5043 kg	22.3563 kg	27.9128 kg	33.4563 kg	38.9868 kg	44.5043 kg



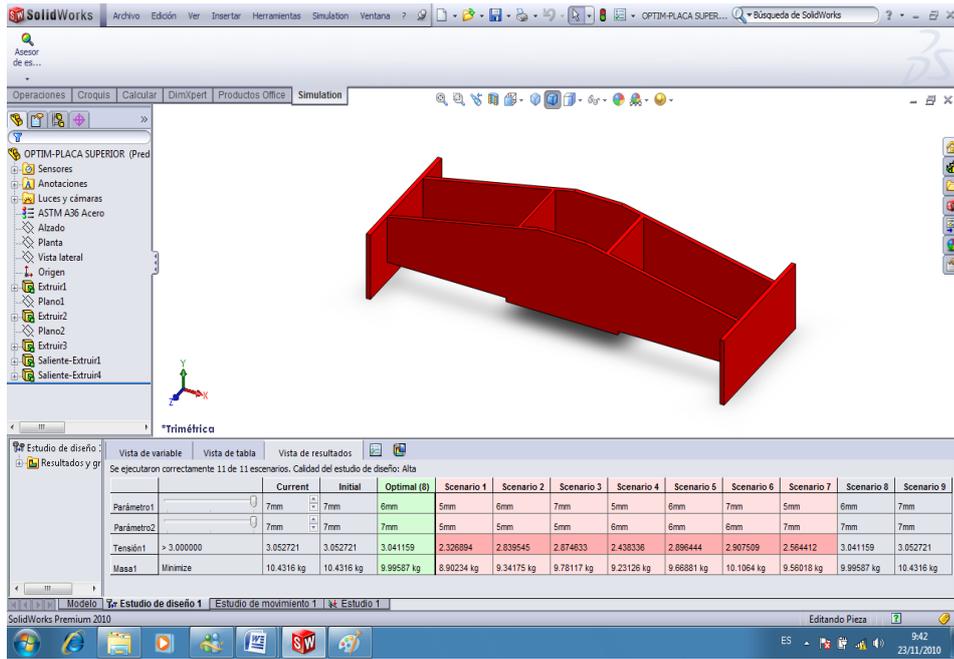
	Current	Initial	Optimal (5)	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7
Parámetro1	6mm	6mm	5mm	3mm	3.5mm	4mm	4.5mm	5mm	5.5mm	6mm
Tensión1	> 3.000000	4.953777	3.465185	1.278655	1.738240	2.249304	2.819110	3.465185	4.181676	4.953777
Masa1	Minimize	4618.71 g	3853.34 g	2322.59 g	2705.27 g	3087.96 g	3470.65 g	3853.34 g	4236.02 g	4618.71 g



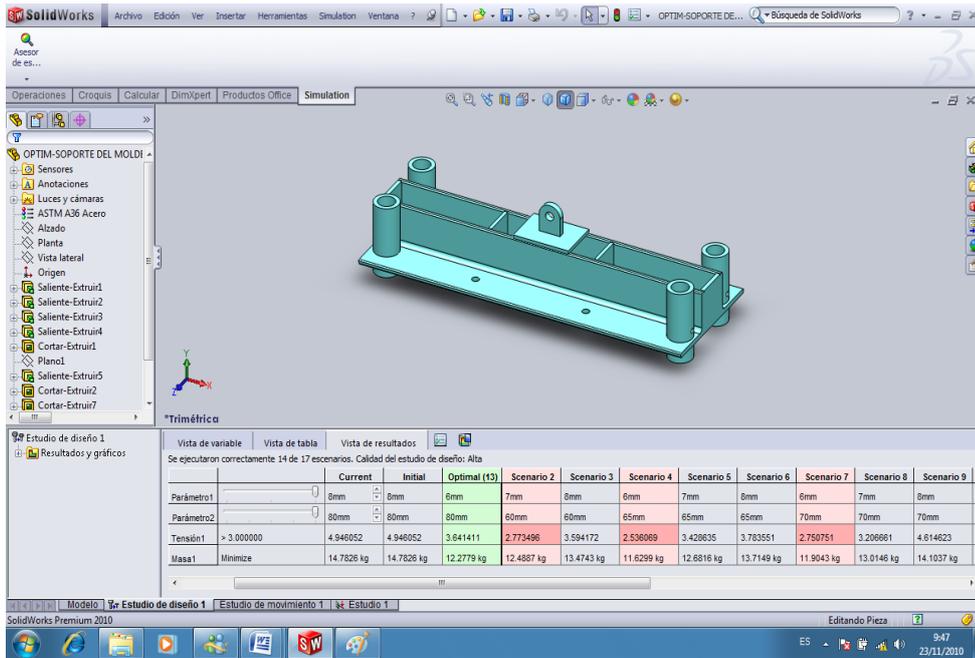
Vista de variable	Vista de tabla	Vista de resultados	Current	Initial	Optimal (0)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7	Escenario 8	Escenario 9
Se ejecutaron correctamente 11 de 11 escenarios. Calidad del estudio de diseño: Alta														
Parámetro1	20mm	20mm	20mm	20mm	20mm	10mm	12.5mm	15mm	17.5mm	20mm	22.5mm	25mm	27.5mm	30mm
Tensión1	> 3.000000	3.470503	3.470503	3.470503	3.470503	0.941476	1.464350	2.060595	2.728247	3.470503	4.440636	5.349937	6.363818	7.413188
Masa1	Minimize	1.3668 kg	1.3668 kg	1.3668 kg	1.3668 kg	0.8508 kg	0.9798 kg	1.1088 kg	1.2378 kg	1.3668 kg	1.4958 kg	1.6248 kg	1.7538 kg	1.8828 kg



	Current	Initial	Optimal (0)	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
Parámetro1	30mm	30mm	30mm	15mm	20mm	25mm	30mm	35mm	40mm
Tensión1	> 3.000000	3.624529	3.624529	0.512362	1.184860	2.172516	3.624529	5.492136	6.225802
Masa1	Minimize	2660.61 g	2660.61 g	664.512 g	1181.91 g	1847.28 g	2660.61 g	3621.92 g	4731.19 g

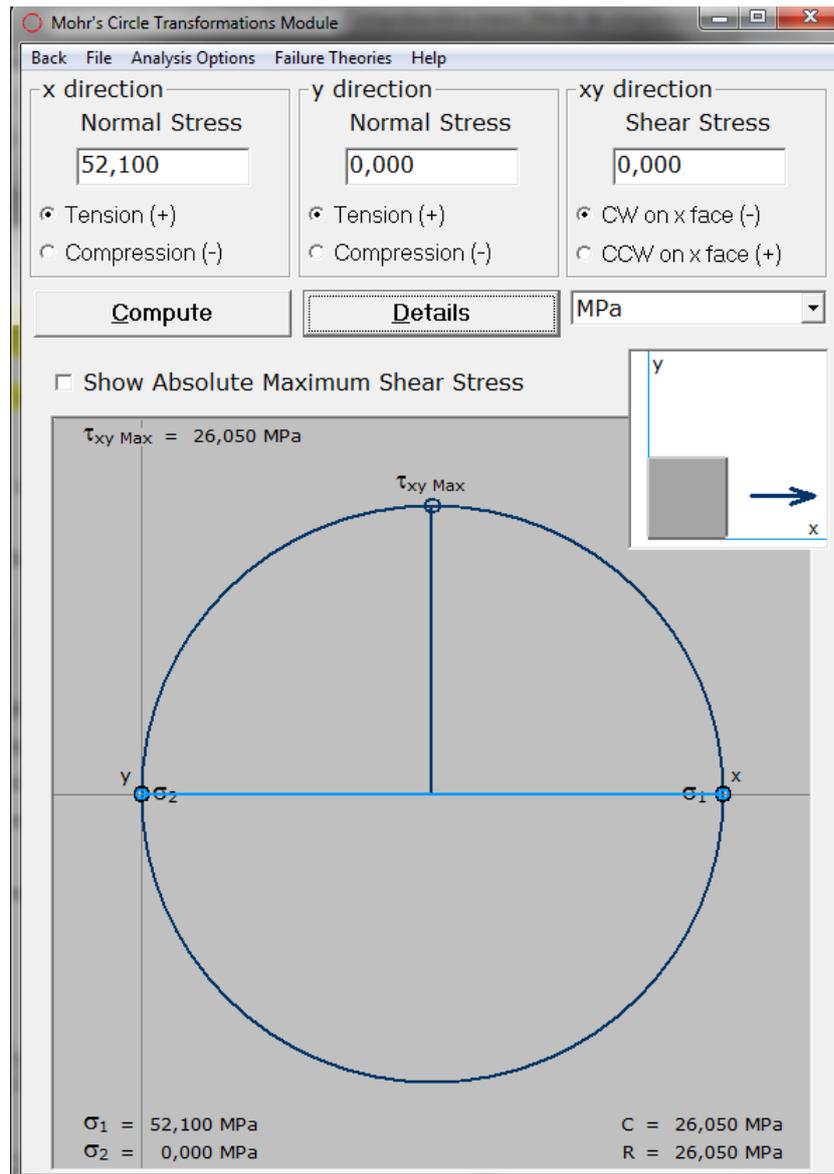


Vista de variable	Vista de tabla	Vista de resultados											
Se ejecutaron correctamente 11 de 11 escenarios. Calidad del estudio de diseño: Alta													
	Current	Initial	Optimal (0)	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8	Scenario 9	
Parámetro1	7mm	7mm	6mm	5mm	6mm	7mm	5mm	6mm	7mm	5mm	6mm	7mm	
Parámetro2	7mm	7mm	7mm	5mm	5mm	5mm	6mm	6mm	6mm	7mm	7mm	7mm	
Tensión1	> 3.000000	3.052721	3.052721	3.041159	2.326894	2.839545	2.874633	2.438336	2.896444	2.907509	2.564412	3.041159	3.052721
Masa1	Minimize	10.4316 kg	10.4316 kg	9.99587 kg	8.90234 kg	9.34175 kg	9.78117 kg	9.23126 kg	9.66881 kg	10.1064 kg	9.56018 kg	9.99587 kg	10.4316 kg



	Current	Initial	Optimal (13)	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8	Scenario 9
Parámetro1	8mm	8mm	6mm	7mm	8mm	6mm	7mm	8mm	6mm	7mm	8mm
Parámetro2	80mm	80mm	80mm	60mm	60mm	65mm	65mm	65mm	70mm	70mm	70mm
Tensión1	> 3.000000	4.946052	3.641411	2.773496	3.594172	2.536069	3.428635	3.783551	2.750751	3.206661	4.614623
Masa1	Minimize	14.7826 kg	12.2779 kg	12.4887 kg	13.4743 kg	11.6299 kg	12.6816 kg	13.7149 kg	11.9043 kg	13.0146 kg	14.1037 kg

	Current	Initial	Optimal (13)	Scenario 8	Scenario 9	Scenario 10	Scenario 11	Scenario 12	Scenario 13	Scenario 14	Scenario 15
Parámetro1	8mm	8mm	6mm	7mm	8mm	6mm	7mm	8mm	6mm	7mm	8mm
Parámetro2	80mm	80mm	80mm	70mm	70mm	75mm	75mm	75mm	80mm	80mm	80mm
Tensión1	> 3.000000	4.946052	3.641411	3.206661	4.614623		3.768847		3.641411	4.058261	4.947326
Masa1	Minimize	14.7826 kg	12.2779 kg	13.0146 kg	14.1037 kg		13.3902 kg		12.2779 kg	13.5398 kg	14.7826 kg



Calidades recomendadas para diferentes aplicaciones				Tamaño máximo y densidad de partículas		
Aplicación	Clase de calidad			Clase	Tamaño partícula $\mu\text{m}$	Densidad partícula $\text{mg}/\text{m}^3$
	Sólidos	Agua	Aceite			
Aire de agitación	3	5	3	1	0,1	0,1
Aire de almacenamiento	2	2	3	2	1	1
Aire de medición	2	3	3	3	5	5
Motores neumáticos grandes	4	4-1	5	4	40	sin especificar
Motores neumáticos pequeños	3	3-1	3			
Turbinas de aire	2	2	3			
Máquinas de calzado	4	4	5			
Máquinas para áridos y vidrio	4	4	5			
Limpieza de máquinas	4	4	4			
Construcción civil	4	5	5			
Transporte de sustancias granulares	3	4	3			
Transporte de sustancias pulverizadas	2	3	2			
Circuitos de energía fluidica	4	4	4			
Sensores fluidicos	2	2-1	2			
Máquinas de fundición	4	4	5			
Transporte de alimentos y bebidas	2	3	1			
Dispositivos industriales manuales	4	5-4	5-4			
Herramientas de mecanizado	4	3	5			
Minería	4	5	5			
Máquinas textiles y de embalaje	4	3	3			
Procesamiento de fotografía	1	1	1			
Cilindros neumáticos	3	3	5			
Controladores de presión	3	2	3			
Dispositivos de control de procesos	2	2	3			
Martillos perforadores	4	5-2	5			
Plantas de arenado	-	3	3			
Pistolas atomizadoras	3	3-2	3			
Máquinas de soldar	4	4	5			
Aire para trabajos generales	4	4	5			

Los valores indicados en la tabla, son sólo valores de referencia. En algunos casos se pueden aplicar varias clases simultáneamente. Al localizar las clases se deben considerar las condiciones ambientales —especialmente al seleccionar el punto de rocío.

Clase	Tamaño partícula $\mu\text{m}$	Densidad partícula $\text{mg}/\text{m}^3$
1	0,1	0,1
2	1	1
3	5	5
4	40	sin especificar

1. El tamaño de partícula está basado en la relación de filtración BN = 20.  
2. Los metros cúbicos ( $\text{m}^3$ ) están referidos al aire atmosférico libre, normalmente a condiciones atmosféricas standarizadas.

**Punto de rocío a presión (valores máximos)**

Clase	Punto de rocío $0^\circ\text{C}$
1	- 40°C
2	- 20°C
3	+ 2
4	+ 10
5	sin especificar

Puntos de rocío bajos deben ser prescritos expresamente.

**Contenido máximo de aceite**

Clase	$\text{mg}/\text{m}^3$
1	0,01
2	0,1
3	1,0
4	5
5	25

$\text{m}^3$  referidos a aire atmosférico.

Para mejor entendimiento a continuación se especifican valores típicos de contenido de aceite producidos por los compresores más comunes:

- Compresor de tornillo exento de aceite: 0,001-0,01  $\text{mg}/\text{m}^3$
- Compresor de tornillo lubricado: 2 - 15  $\text{mg}/\text{m}^3$
- Compresor de pistón lubricado: 2 - 10  $\text{mg}/\text{m}^3$
- Compresor de pistón exento de aceite: 0,001- 0,01  $\text{mg}/\text{m}^3$
- Compresor rotativo (paletas): 10 - 100  $\text{mg}/\text{m}^3$

Presión de trabajo en bar															
Diámetro cilindro, mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Consumo de aire en litros por cm de carrera del cilindro														
6	0,0005	0,0008	0,0011	0,0014	0,0016	0,0019	0,0022	0,0025	0,0027	0,0030	0,0033	0,0036	0,0038	0,0041	0,0044
12	0,002	0,003	0,004	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,018
16	0,004	0,006	0,008	0,010	0,011	0,014	0,016	0,018	0,020	0,022	0,024	0,026	0,028	0,029	0,032
25	0,010	0,014	0,019	0,024	0,029	0,033	0,038	0,043	0,048	0,052	0,057	0,062	0,067	0,071	0,076
35	0,019	0,028	0,038	0,047	0,056	0,066	0,075	0,084	0,093	0,103	0,112	0,121	0,131	0,140	0,149
40	0,025	0,037	0,049	0,061	0,073	0,085	0,097	0,110	0,122	0,135	0,146	0,157	0,171	0,183	0,195
50	0,039	0,058	0,077	0,096	0,115	0,134	0,153	0,172	0,191	0,210	0,229	0,248	0,267	0,286	0,305
70	0,076	0,113	0,150	0,187	0,225	0,262	0,299	0,335	0,374	0,411	0,448	0,485	0,523	0,560	0,597
100	0,155	0,231	0,307	0,383	0,459	0,535	0,611	0,687	0,763	0,839	0,915	0,991	1,067	1,143	1,219
140	0,303	0,452	0,601	0,750	0,899	1,048	1,197	1,346	1,495	1,644	1,793	1,942	2,091	2,240	2,389
200	0,618	0,923	1,227	1,531	1,835	2,139	2,443	2,747	3,052	3,356	3,660	3,964	4,268	4,572	4,876
250	0,966	1,441	1,916	2,392	2,867	3,342	3,817	4,292	4,768	5,243	5,718	6,193	6,668	7,144	7,619

A-24		ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)			HOJA 24 DE 26		
				Diseño de la junta			
Nombre de compañía				ESPE-L			
WPS N°				MBA 001			
Proceso de soldadura				SMAW-MANUAL			
Según norma				AWS D1.1			
Junta Utilizada	Tipo de junta	UNIÓN A ESCUADRA		Posición	Tope 2 F		
	Tipo de soldadura	DOBLE FILETE			Califica horizontal y vertical.		
	Cordón de respaldo	si <input checked="" type="checkbox"/>	no <input type="checkbox"/>				
	Preparar junta	si <input checked="" type="checkbox"/>	no <input type="checkbox"/>				
	Método	Amolado		Característica eléctrica			
	Angulo de ranura	0°			CA <input type="checkbox"/>	DC <sup>+</sup> <input checked="" type="checkbox"/>	
	Cara de la raíz	0 mm			DC <sup>-</sup> <input type="checkbox"/>		
	Abertura de raíz	±0.1 mm					
Limpieza	Limpiar las superficies antes de soldar		Técnica de soldadura	Técnica	un pase <input checked="" type="checkbox"/>	varios pases <input type="checkbox"/>	
Metal Base				Oscilación	si <input checked="" type="checkbox"/>	no <input type="checkbox"/>	
Especificación	ASTM A36			Limpieza entre pases	No		
Califica	Acero			Método de ensamble	Apuntalado		
Electrodo			Precalentamiento	Soldadura	Un lado <input type="checkbox"/>	Dos lados <input checked="" type="checkbox"/>	
Diámetro	3.2 mm			Temperatura	N/A		
Clasificación AWS	E 7018			Tiempo entre pases	N/A		
Especificación	AWS A5.1						
Casa Comercial	AGA		Aplicación de Soldadura de Estructuras.				
N° de pase	Metal de aporte			Tensión de trabajo			(Vel. de avance m/min)
	Denominación AWS	Denominación Comercial	Diámetro (mm)	Pol	Voltaje(v)	Amperaje (A)	
1	E 7018	B-10	3.2 mm	DC <sup>+</sup>	22 - 25	105	0.05 - 0.1
2	E 7018	B-10	3.2 mm	DC <sup>+</sup>	22 - 25	105	0.05 - 0.1
<b>NOTAS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Verificar alineación de la junta</li> <li>Asegurar la limpieza de las partes</li> </ul>							
<b>REALIZADO POR:</b> Polo Fernández Ch. Germánico Sinchiguano M.				<b>APROBADO POR:</b> Ing. Fausto Acuña DIRECTOR DE TESIS DEPARTAMENTO DE SOLDADURA ESPE-L			
FECHA: 13/05/2010				FECHA: 07/12/2010			

A-25		ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)			HOJA 25 DE 26		
				Diseño de la junta			
Nombre de compañía				ESPE-L			
WPS N°				MBA 002			
Proceso de soldadura				SMAW-MANUAL			
Según norma				AWS D1.1			
Junta Utilizada	Tipo de junta			UNIÓN A EN T			
	Tipo de soldadura			DOBLE FILETE			
	Cordón de respaldo			si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>			
	Preparar junta			si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>			
	Método			Amolado			
	Angulo de ranura			0°			
	Cara de la raíz			0 mm			
	Abertura de raíz			±0.1 mm			
Metal Base	Especificación			ASTM A36			
	Califica			Acero			
	Espesor			4 mm			
	Califica			Desde 3.2 a 12 mm			
Electrodo	Diámetro			3.2 mm			
	Clasificación AWS			E 7018			
	Especificación			AWS A5.1			
	Casa Comercial			AGA			
Aplicación de Soldadura de Estructuras.							
Precalent	Temperatura			N/A			
	Tiempo entre pases			N/A			
Técnica de soldadura	Técnica			un pase <input checked="" type="checkbox"/> varios pases <input type="checkbox"/>			
	Oscilación			si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>			
Limpieza entre pases			No Otros pases: No				
Método de ensamble			Apuntalado				
Soldadura			Un lado <input type="checkbox"/> Dos lados <input checked="" type="checkbox"/>				
Metal de aporte	Denominación AWS			Denominación Comercial			Diámetro (mm)
	Tensión de trabajo			Pol			
N° de pase	Voltaje(v)			Amperaje (A)			(Vel. de avance m/min)
	DC +			22 - 25			
1	E 7018	B-10	3.2 mm	DC +	22 - 25	105	0.05 - 0.1
2	E 7018	B-10	3.2 mm	DC +	22 - 25	105	0.05 - 0.1
NOTAS:							
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar alineación de la junta</li> <li>• Asegurar la limpieza de las partes</li> </ul>							
REALIZADO POR:				APROBADO POR:			
Polo Fernández Ch. Germánico Sinchiguano M.				Ing. Fausto Acuña DIRECTOR DE TESIS DEPARTAMENTO DE SOLDADURA ESPE-L			
FECHA: 13/05/2010				FECHA: 07/12/2010			

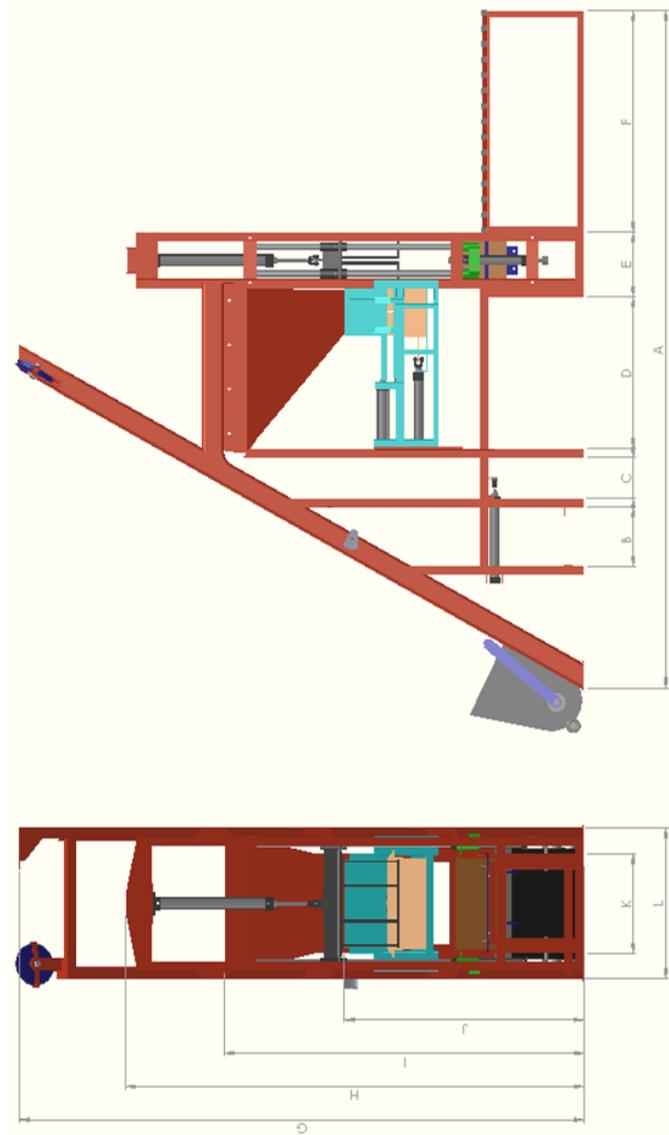
A-26		ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)			HOJA 26 DE 26		
				Diseño de la junta			
Nombre de compañía				ESPE-L			
WPS N°				MBA 003			
Proceso de soldadura				SMAW-MANUAL			
Según norma				AWS D1.1			
Junta Utilizada	Tipo de junta			UNIÓN A TOPE			
	Tipo de soldadura			CUADRADA			
	Cordón de respaldo			si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>			
	Preparar junta			si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>			
	Método			Amolado			
	Angulo de ranura			0°			
	Cara de la raíz			0 mm			
	Abertura de raíz			±0.1 mm			
Limpieza			Limpiar las superficies antes de soldar				
Metal Base	Especificación			ASTM A36			
	Califica			Acero			
	Espesor			4 mm			
	Califica			Desde 3.2 a 12 mm			
Electrodo	Diámetro			3.2 mm			
	Clasificación AWS			E 6011			
	Especificación			AWS A5.1			
	Casa Comercial			AGA			
	Aplicación de Soldadura de Estructuras.						
Posición	Tope			3 G			
	Califica vertical.						
Característica eléctrica	Corriente:						
	CA <input type="checkbox"/> DC <sup>+</sup> <input checked="" type="checkbox"/> DC <sup>-</sup> <input type="checkbox"/>						
Técnica de soldadura	Técnica			un pase <input checked="" type="checkbox"/> varios pases <input type="checkbox"/>			
	Oscilación			si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>			
	Limpieza entre pases			No Otros pases: No			
	Método de ensamble			Apuntalado			
	Soldadura			Un lado <input type="checkbox"/> Dos lados <input checked="" type="checkbox"/>			
	Precalentamiento			Temperatura N/A Tiempo entre pases N/A			
N° de pase	Metal de aporte			Tensión de trabajo			(Vel. de avance m/min)
	Denominación AWS	Denominación Comercial	Diámetro (mm)	Pol	Voltaje(v)	Amperaje (A)	
1	E 6011	Zip – 10 T	3.2 mm	DC <sup>+</sup>	22 - 25	105	0.05 – 0.1
2	E 6011	Zip – 10 T	3.2 mm	DC <sup>+</sup>	22 - 25	105	0.05 – 0.1
<b>NOTAS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar alineación de la junta</li> <li>• Asegurar la limpieza de las partes</li> </ul>							
<b>REALIZADO POR:</b> Polo Fernández Ch. Germánico Sinchiguano M.				<b>APROBADO POR:</b> Ing. Fausto Acuña DIRECTOR DE TESIS DEPARTAMENTO DE SOLDADURA ESPE-L			
<b>FECHA:</b> 13/05/2010				<b>FECHA:</b> 07/12/2010			

# MANUAL DE OPERACIÓN

## ESPECIFICACIONES

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Peso de la máquina	415.35 Kg.
Voltaje Nominal	220/440 V
Corriente Nominal	33.08 A
Potencia	9 Hp
Conexión del Motorreductor	Y-Δ
Velocidad de Motorreductor	3600 Rpm
Potencia del Compresor	3 Hp o 2.2 Kw
Presión	10 Bar o 145 Psi
Caudal	314 L/m o 11 CFM
Capacidad del Tanque del compresor	100 L o 26 Gal
Cilindros	6 Uni
Capacidad del Tolva	0.18 m <sup>3</sup>
Velocidad de subida del cangilón	0,1 m/s
Tiempo de subida del cangilón	25 s
Tiempo de descarga del cangilón	6 s
Tiempo de fabricación (ciclo)	23 s

## BREVES ESPECIFICACIONES



TIPO\TAMAÑO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Unidad
Bloque	3055	265	185	685	290	1000	2595	2105	1650	1100	450	680	mm
Adoquín	3055	265	185	685	290	1000	2595	2105	1650	850	450	680	mm

### **Pasos a seguir en el uso de la máquina.**

- Colocar los cilindros en posición inicial.



- Depositar el material en el cangilón.



- Escoger si se va a operar en manual o automático.



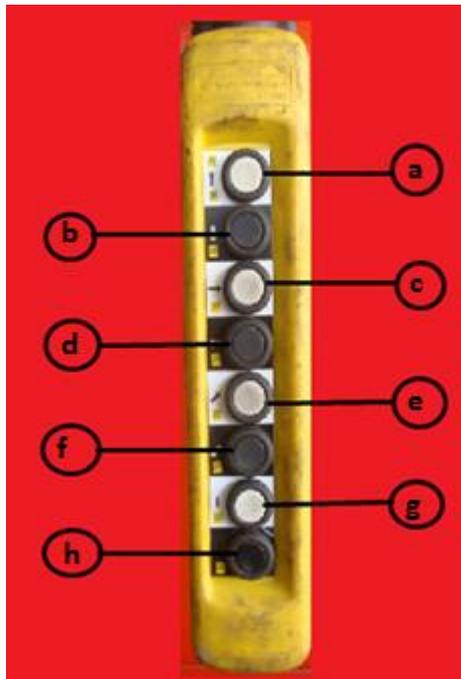
- Si se opera en manual girar el selector a la derecha.
- Oprimir el pulsador para encender el motorreductor que elevara el cangilón, para depositar el material en la tolva.



- Deje que se deposite totalmente el material en la tolva.



- Empiece el proceso manual con el mando de varios botones.



- Presione el botón para activar el cilindro A y abrir la compuerta de la tolva durante un tiempo y suéltelo para que la compuerta se cierre.
- Ahora presione el pulsador para activar el cilindro B, que es el que empuja y retrae la barredora, esta operación se realiza de 1 a 3 veces de acuerdo al requerimiento.
- Pulse el botón para activar el actuador C, este cilindro es el que está conectado a los moldes macho para bloque o adoquín, y se encarga de presionar la mezcla dentro de los moldes hembra.
- Una vez que el cilindro C, aplasta la mezcla, se presiona el botón que enciende el motor de la mesa vibradora. Este botón se lo mantiene presionado de acuerdo al tipo de mezcla que se use. Pero se recomienda una vibración con un tiempo de 10 a 20 segundos.
- Presione el botón para activar los cilindros D, que están conectados a los moldes hembra para bloque o adoquín, uno a cada extremo. Estos cilindros se encargan del desmoldeo y tienen un segundo pulsador en su mando para que se coloque en la posición inicial.
- Presione el pulsador para activar el retorno del cilindro C y dejarlo en la posición inicial.
- Ahora presione el pulsador para activar el cilindro E, que se encarga de enviar las tablas una a la vez.
- El bloque o el adoquín ha culminado su fabricación manual.

- Antes de colocar el selector en posición para automático, todos los cilindros se deben colocar en su posición inicial.
- Si se opera en automático girar el selector a la izquierda.



- Oprimir el pulsador INICIO.
- En caso de presentarse cualquier dificultad se debe pulsar el botón EMERGENCIA (Paro de emergencia).

### **Recomendaciones para mantenimiento.**

- Para un buen funcionamiento de la máquina, los cilindros neumáticos deben estar alineados correctamente, para evitar así posibles descentramientos o averías en los vástagos.
- Verificar la tensión en el cable de acero, para evitar desgaste o un posible rompimiento en el futuro.
- Proporcionar de una correcta lubricación a las chumaceras.
- Verificar periódicamente que los cables eléctricos y sus conexiones no presenten ningún desgaste para evitar así cortos circuitos.
- La parte más susceptible a daños, es el sistema de control automático (PLC), por lo que se debe revisar periódicamente el correcto funcionamiento del mismo, y de igual manera realizar una limpieza continua para evitar daños posteriores.
- La limpieza en general de toda la máquina se recomienda realizarla en seco, pero se puede utilizar agua o aire a presión, y se debe aplicar hasta en la parte más pequeña de la máquina.

**Inspección de mantenimiento preventivo.**

INSPECCIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
MÁQUINA BLOQUERA ADOQUINERA AUTOMATIZADA.					
ELEMENTOS	REVISIÓN				OBSERVACIONES
	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	
Máquina	X				Limpieza de la máquina.
Rodamientos				X	Verificar estado de de lubricación.
Motores				X	Revisión del voltaje.
Tornillos, tuercas y uniones soldadas			X		Verificar la correcta sujeción.
Estructura				X	Revisión visual de presencia de corrosión.
Conexiones eléctricas			X		Verificar buen aislamiento de cables

El presente trabajo, fue desarrollado en su totalidad por:

---

Polo Vinicio Fernández Chica  
C.I. 0704614205

---

Germánico Sinchiguano Molina  
C.I. 0502786056

Ing. Mario Jiménez  
**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

Dr. Eduardo Vásquez Alcázar  
**SECRETARIO ACADÉMICO**