



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO DE UN MOLDE PARA FABRICACIÓN DE
SUELAS FABYA TAMAÑO 37 DE POLIURETANO,
UTILIZANDO INGENIERÍA CAD CAM CAE”**

CAISAGUANO VEGA EDISON CRISTOBAL

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2015

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014-07-29

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

CAISAGUANO VEGA EDISON CRISTOBAL

Titulada:

**“DISEÑO DE UN MOLDE PARA FABRICACIÓN DE SUELAS FABYA
TAMAÑO 37 DE POLIURETANO, UTILIZANDO INGENIERÍA CAD CAM
CAE”**

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

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Miguel Escobar Guachambala
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Miguel Aquino
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CAISAGUANO VEGA EDISON CRISTOBAL

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO DE UN MOLDE PARA FABRICACIÓN DE SUELAS FABYA TAMAÑO 37 DE POLIURETANO, UTILIZANDO INGENIERÍA CAD CAM CAE”

Fecha de Examinación: 2015-07-20

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Miguel Escobar Guachambala DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Miguel Aquino ASESOR			

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. Marco Santillán Gallegos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

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

Caisaguano Vega Edison Cristobal

DEDICATORIA

A HASHEM y mi familia: mi mamá María, mi papá Juan, mis hermanas Hilda y Elizabeth, y hermanos Alex y David.

Edison Cristobal Caisaguano Vega

AGRADECIMIENTO

A HASHEM infinita y eternamente, mis padres, mis hermanas, mis hermanos. A mis profesores, amigos, compañeros y a todos quienes formaron parte de mi vida estudiantil politécnica.

No puedo dejar de reconocer y tener gratitud a mis distinguidos profesores Ing. Miguel Escobar, e Ing. Miguel Aquino de la ESPOCH, y a los generosos amigos señores Ing. Lenin Tirira, e Ing. Gonzalo Escobar; quienes en su momento contribuyeron con el gran valor de sus conocimiento, buena voluntad y apoyo para poder culminar el trabajo de tesis, a todos ustedes siempre gracias.

Edison Cristobal Caisaguano Vega

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	3
1.2.1 <i>Justificación técnica</i>	3
1.2.2 <i>Justificación económica</i>	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	5
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Fabricación de moldes para suelas de poliuretano.....	6
2.1.1 <i>Procesos de fabricación de suelas más comunes en la industria</i>	6
2.1.1.1 <i>Por inyección</i>	6
2.1.1.2 <i>Por compresión</i>	7
2.1.1.3 <i>Por transferencia</i>	8
2.1.2 <i>Tipos del molde de suela usados en la fabricación de suelas de PU</i>	9
2.1.3 <i>Consideraciones sobre el diseño de piezas moldeadas</i>	11
2.1.3.1 <i>Cantidades económica de producción</i>	11
2.1.3.2 <i>Complejidad de la pieza</i>	11
2.1.3.3 <i>Espesor de pared</i>	11
2.1.3.4 <i>Costillas de refuerzo</i>	11
2.1.3.5 <i>Radios de las esquinas y biseles</i>	11
2.1.3.6 <i>Agujeros</i>	11
2.1.3.7 <i>Ahusado</i>	12
2.1.3.8 <i>Tolerancias</i>	12
2.1.4 <i>Principales variables y parámetros para el diseño de un molde</i>	12
2.2 Suelas de poliuretano.....	13
2.2.1 <i>Poliuretano (PU)</i>	13
2.2.2 <i>Características del poliuretano</i>	14
2.2.3 <i>Tipos de suelas a base de poliuretano</i>	16
2.2.3.1 <i>Suelas de poliuretano</i>	15
2.2.3.2 <i>Suelas de TPU</i>	15
2.2.4 <i>Propiedades del poliuretano</i>	16
2.3 Códigos, normas y especificaciones de suelas.....	17
2.4 Centro de mecanizado, máquinas y herramientas.....	17
2.4.1 <i>Introducción a máquinas de control numérico y control numérico computarizado</i>	17
2.4.2 <i>Centro de maquinado</i>	18
2.4.3 <i>Tipos de centro de maquinado</i>	18
2.4.3.1 <i>Centro de maquinado de husillo vertical</i>	18
2.4.3.2 <i>Centro de maquinado de husillo horizontal</i>	19
2.5 Sistemas CAD/CAM/CAE en el diseño de moldes.....	20
2.5.1 <i>Definición sistema CAD</i>	20
2.5.2 <i>Definición sistema CAE</i>	21
2.5.3 <i>Definición sistema CAM</i>	21

3.	MODELADO Y VALIDACIÓN DE LA SUELA	
3.1	Generalidades.....	23
3.1.1	<i>Descripción de la suela</i>	23
3.1.2	<i>Material de la suela</i>	24
3.1.3	<i>Afectación al medioambiente por suelas de poliuretano</i>	24
3.2	Modelado de la suela con uso de software CAD.....	25
3.2.1	<i>Desarrollo en software CAD de suela de poliuretano fabya</i>	25
3.3	Validación de suela fabya.....	30
3.3.1	<i>Simulación de cálculo de ángulos de salida permisible</i>	30
3.3.2	<i>Dimensionado de la suela</i>	31
3.3.2	<i>Simulación de línea de partición adecuada para el mecanizado</i>	32
3.3.3	<i>Simulación de propiedades y variables de la suela</i>	32
4.	DISEÑO, SELECCIÓN, MODELADO Y VALIDACIÓN DEL MOLDE	
4.1	Generalidades.....	33
4.1.1	<i>La matriz QFD (quality function deployment) para el molde</i>	33
4.1.1.1	<i>Voz del usuario (VOC) para el molde</i>	33
4.1.1.2	<i>Voz del ingeniero para el molde</i>	34
4.1.1.3	<i>Resultados de la matriz QFD para el molde</i>	34
4.1.1.4	<i>Conclusiones de la matriz QFD para el molde</i>	35
4.1.2	<i>Especificaciones técnicas del molde</i>	36
4.2	<i>Análisis funcional del molde</i>	37
4.2.1	<i>Definición de módulos</i>	38
4.2.2	<i>Alternativas de solución para el modulo molde</i>	38
4.2.2.1	<i>Adecuación (molde)</i>	39
4.2.2.2	<i>Preparación (molde)</i>	39
4.2.2.3	<i>Recepción (molde)</i>	39
4.2.2.4	<i>Curado</i>	39
4.2.3	<i>Alternativas del módulo molde</i>	41
4.2.4	<i>Evaluación de soluciones del molde</i>	41
4.2.4.1	<i>Método ordinal corregido de criterios ponderados</i>	42
4.2.4.2	<i>Criterios de valoración del módulo</i>	42
4.3	Desarrollo de variables funcionales para el diseño del molde de suela ...	46
4.3.1	<i>Producción requerida</i>	46
4.3.2	<i>Selección del material</i>	46
4.3.3	<i>Numero de cavidades</i>	47
4.3.4	<i>Ángulos de desmoldeo</i>	48
4.3.5	<i>Material a inyectar y su contracción</i>	49
4.3.6	<i>Análisis de línea de partición</i>	49
4.3.7	<i>Superficie de separación</i>	50
4.3.8	<i>Núcleo – Cavidad</i>	50
4.3.9	<i>Desarrollar superficies de bloqueo</i>	51
4.3.10	<i>Salidas de aire</i>	52
4.3.11	<i>Simulaciones CAE moldes cavidad y núcleo</i>	52
4.3.12	<i>Análisis de resistencia mecánica</i>	53
4.3.13	<i>Deformación máxima permisible</i>	54
4.3.14	<i>Análisis térmico del molde</i>	55

4.4	Diseño del sistema de apertura y cierre del molde y validación mediante CAE.....	57
4.4.1	<i>Requerimiento funcional y parámetros de diseño</i>	58
4.4.2	<i>La matriz QFD para portamolde</i>	58
4.4.2.1	<i>Voz del usuario (VOC) para portamolde</i>	58
4.4.2.2	<i>Voz del ingeniero</i>	59
4.4.2.3	<i>Resultados de la matriz QFD para el portamolde</i>	59
4.4.2.4	<i>Conclusiones de la matriz QFD</i>	60
4.4.3	<i>Especificaciones técnicas</i>	61
4.5	Análisis funcional del portamolde.....	61
4.5.1	<i>Definición de módulos</i>	63
4.5.2	<i>Alternativas de solución para el módulo portamolde</i>	64
4.5.2.1	<i>Adecuación (portamolde)</i>	64
4.5.2.2	<i>Preparación (portamolde)</i>	64
4.5.2.3	<i>Recepción (portamolde)</i>	64
4.5.2.4	<i>Curado (Portamolde)</i>	65
4.5.3	<i>Alternativas del módulo portamolde</i>	65
4.5.4	<i>Evaluación de soluciones portamolde</i>	66
4.5.4.1	<i>Método ordinal corregido de criterios ponderados de portamolde</i>	66
4.5.4.2	<i>Criterios de valoración del módulo de portamolde</i>	67
4.5.5	<i>Dimensionamiento de elementos y componentes mecánicos</i>	70
4.5.5.1	<i>Modelado de elementos en CAD</i>	71
4.5.5.2	<i>Análisis de esfuerzos mediante software CAE</i>	72
4.5.6	<i>Selección de pernos de sujeción (molde – placa de sujeción)</i>	72
4.5.7	<i>Diseño de placas de sujeción</i>	81
4.5.8	<i>Selección de pernos de sujeción (molde, placa de sujeción- brazo)</i>	82
4.5.9	<i>Diseño de brazo mecánico</i>	90
4.5.10	<i>Selección de pernos (molde - brazo)</i>	96
4.5.11	<i>Diseño de pasador brazo-bancada</i>	104
4.5.12	<i>Diseño de pasador brazo – cilindro neumático</i>	113
4.5.13	<i>Diseño de pasador cilindro neumático – bancada</i>	122
4.5.14	<i>Diseño bancada</i>	131
4.5.15	<i>Selección de equipo y parámetros de automatización</i>	133
4.5.16	<i>Selección del cilindro neumático</i>	133
4.5.16.1	<i>Diseño del circuito neumático de potencia y control</i>	135
4.5.17	<i>Simulación del sistema neumático</i>	136
4.5.18	<i>Selección de los elementos neumáticos</i>	139
4.5.19	<i>Selección de la unidad técnica de mantenimiento (UTM)</i>	139
4.5.20	<i>Selección del compresor</i>	139
4.5.21	<i>Valoración final y ensamble de componentes armados</i>	141
5.	SIMULACIÓN VIRTUAL DEL MECANIZADO DEL MOLDE DE SUELA PARA MECANIZADO CNC	
5.1	<i>Variables de mecanizado</i>	142
5.1.1	<i>Velocidad de corte</i>	142
5.1.2	<i>Velocidad de rotación</i>	143
5.1.3	<i>Velocidad de avance</i>	143
5.1.4	<i>Profundidad de pasada o corte</i>	145
5.1.5	<i>Método de cálculo alternativo usado para mecanizado</i>	146
5.1.6	<i>Volumen de arranque de viruta o cantidad de viruta</i>	146

5.2	Programación CAM para mecanizado CNC.....	147
5.2.1	<i>Algoritmo programación CAM.....</i>	147
5.2.2	<i>Programación CAM y simulación CNC molde núcleo.....</i>	148
5.2.2.1	<i>Maquinados a realizarse molde núcleo.....</i>	148
5.2.2.2	<i>Generación y edición códigos CNC (núcleo).....</i>	150
5.2.2.3	<i>Simulación CAM molde núcleo.....</i>	150
5.2.3	<i>Programación CAM y simulación CNC molde cavidad.....</i>	151
5.2.3.1	<i>Maquinados a realizarse molde cavidad.....</i>	151
5.2.3.2	<i>Generación y edición códigos CNC (cavidad).....</i>	153
5.2.3.3	<i>Simulación CAM molde cavidad.....</i>	153
5.2.4	<i>Programación CAM y simulación CNC electrodos.....</i>	154
5.2.4.1	<i>Maquinados a realizarse en electrodos.....</i>	154
5.2.4.2	<i>Generación y edición códigos CNC (electrodos).....</i>	155
5.2.4.3	<i>Simulación CAM electrodos.....</i>	156
6.	DESARROLLO DE GUÍAS DE ELABORACIÓN Y ENSAMBLE DEL MOLDE DE SUELA FABYA	
6.1	Elaboración de diagramas guías de elaboración de procedimientos.....	157
6.1.1	<i>Componentes que conforman la máquina.....</i>	157
6.1.1.1	<i>Operaciones tecnológicas de los elementos de construcción.....</i>	158
6.1.2	<i>Flujograma de construcción y montaje.....</i>	160
6.1.2.1	<i>Guía y flujograma de bancada.....</i>	160
6.1.2.2	<i>Guía y flujograma de montaje de molde de suela.....</i>	160
6.1.2.3	<i>Guía y flujograma de montaje de unidad de apertura y cierre.....</i>	160
6.1.2.4	<i>Guía y flujograma de montaje de sistema neumático.....</i>	161
6.1.2.5	<i>Guía y flujograma de sistema eléctrico.....</i>	161
6.1.3	<i>Montaje de elementos.....</i>	161
6.1.3.1	<i>Montaje de la bancada.....</i>	161
6.1.3.2	<i>Montaje del molde.....</i>	162
6.1.3.3	<i>Montaje de unidad de apertura y cierre.....</i>	162
6.1.3.4	<i>Montaje de sistema neumático.....</i>	162
6.1.3.5	<i>Montaje de sistema eléctrico.....</i>	163
6.1.4	<i>Flujogramas de montaje.....</i>	163
6.2	Mantenimiento.....	164
6.2.1	<i>Bancada.....</i>	164
6.2.2	<i>Moldes.....</i>	164
6.2.3	<i>Sistema neumático.....</i>	165
6.2.4	<i>Sistema eléctrico.....</i>	165
7.	EVALUACIÓN ECONÓMICA	
7.1	Costos directos.....	166
7.2	Costos indirectos.....	169
7.3	Costos total.....	170
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
8.1	Conclusiones.....	171
8.2	Recomendaciones.....	172

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Características del poliuretano elastómero.....	16
2	Características del poliuretano Termoplástico.....	16
3	Propiedades de polímeros.....	17
4	Propiedades del poliuretano.....	24
5	Modelado de suela mediante CAD.....	25
6	Desarrollo de la matriz QFD para el molde.....	36
7	Especificaciones técnicas del molde.....	36
8	Combinación de soluciones para el modulo molde.....	41
9	Evaluación de cada criterio en el molde.....	43
10	Evaluación de soluciones respecto a la fácil operación del proceso.....	44
11	Evaluación de soluciones respecto a la confiabilidad del proceso.....	44
12	Evaluación de soluciones respecto a la producción del proceso.....	44
13	Evaluación de soluciones respecto al tiempo de moldeo.....	44
14	Evaluación de soluciones respecto al tiempo de la fácil limpieza.....	45
15	Evaluación de soluciones respecto al tiempo de un fácil ensamblaje.....	45
16	Evaluación de soluciones respecto a las dimensiones del molde.....	45
17	Conclusiones respecto al módulo molde.....	45
18	Aceros para moldes.....	47
19	Desarrollo superficies de bloqueo.....	51
20	Desarrollo de la matriz QFD para el portamolde.....	60
21	Especificaciones técnicas del portamolde.....	62
22	Combinación de soluciones para el modulo molde.....	66
23	Evaluación de cada criterio en el portamolde.....	68
24	Evaluación de soluciones respecto a la fácil operación a/c.....	68
25	Evaluación de soluciones respecto a la confiabilidad del portamolde.....	69
26	Evaluación de soluciones respecto a la producción de suela.....	69
27	Evaluación de soluciones respecto al peso máximo del molde.....	69
28	Evaluación de soluciones respecto a fuerza de apertura del portamolde.....	69
29	Evaluación de soluciones respecto al tiempo de moldeo.....	69
30	Evaluación de soluciones respecto a las dimensiones del portamolde.....	70
31	Conclusiones respecto al módulo molde.....	70
32	Cargas actuantes sobre estructura.....	131
33	Datos del cilindro neumático.....	134
34	Volumen admisible de viruta.....	145
35	Proceso CAM mecanizado del molde núcleo de suela.....	149
36	Proceso CAM mecanizado del molde cavidad de suela.....	152
37	Proceso CAM mecanizado de electrodos.....	155
38	Unidades para moldeo de suela.....	157
39	Operaciones tecnológicas de elementos de construcción.....	158
40	Montaje de bancada.....	162
41	Montaje del molde.....	162
42	Montaje de apertura y cierre.....	162
43	Montaje de sistema neumático.....	162
44	Montaje de sistema eléctrico.....	163
45	Tiempos de montaje y construcción del molde y portamolde.....	164

46	Costos directos molde.....	166
47	Costos directos portamolde.....	167
48	Costo directo total.....	169
49	Costo indirecto molde.....	170
50	Costo indirecto portamolde.....	170
51	Costo total.....	170

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Máquina de moldeo por inyección.....	7
2	Proceso de inyección.....	7
3	Proceso de compresión.....	8
4	Proceso de transferencia.....	9
5	Molde de inyección para suela.....	10
6	Molde de compresión para suela.....	10
7	Molde de transferencia de suela.....	10
8	Suelas de PU.....	15
9	Suelas de TPU.....	16
10	Centro de mecanizado CNC / 5 ejes / vertical / de alta velocidad MATRIX 800.....	19
11	Centro de mecanizado CNC / 4 ejes / horizontal / Haas EC-500.....	19
12	Sistema CAD.....	20
13	Sistema CAE.....	21
14	Sistema CAM.....	22
15	a) Suela Fabia b) Suela Fabya.....	23
16	Análisis de ángulo de salida.....	31
17	Dimensionamiento de la suela.....	31
18	Análisis línea de partición.....	32
19	Calculo de propiedades de la suela.....	32
20	Función primaria del molde.....	37
21	Diagrama de funciones secundarias para el molde.....	38
22	Estructura modular del molde.....	38
23	Material seleccionado aluminio PRODAX.....	48
24	Molde de una cavidad.....	48
25	Superficie de separación.....	50
26	Operación Núcleo - Cavidad.....	51
27	Moldes núcleo - cavidad.....	51
28	Salidas de aire 12x0.03mm.....	52
29	Análisis de resistencia mecánica en molde núcleo cavidad.....	53
30	Validación de resultados CAE resistencia (cavidad y núcleo).....	53
31	Análisis de deformación en moldes cavidad y núcleo.....	54
32	Validación de resultados CAE deformación (cavidad y núcleo).....	54
33	Análisis térmico para dos cavidades.....	56
34	Validación de resultados CAE térmico (dos cavidades).....	56
35	Análisis térmico para una cavidad.....	57
36	Validación de resultados CAE (una cavidad).....	57
37	Maquina inyectora de poliuretano.....	58
38	Función primaria del portamolde.....	62
39	Diagrama de funciones secundarias del portamolde.....	63
40	Estructura modular del portamolde.....	63
41	Predimensionamiento de la unidad de apertura y cierre.....	70
42	Primera estimación de portamolde.....	71
43	Diseño final molde y portamolde.....	72
44	Pernos molde – placa de sujeción.....	73

45	Selección de perno molde –placa de sujeción.....	77
46	Cargas ejercidas sobre los pernos molde – placa de sujeción.....	80
47	Resultados diseño CAE perno molde-placa de sujeción a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad.....	80
48	Validación pernos molde-placa de sujeción.....	80
49	Cargas actuantes en placa de sujeción.....	81
50	Resultados diseño CAE placa de sujeción a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad.....	81
51	Validación placa de sujeción.....	82
52	Pernos molde, placa de sujeción-brazo.....	83
53	Selección perno molde, placa de sujeción - brazo.....	86
54	Cargas ejercidas sobre molde placa de sujeción-brazo.....	89
55	Resultados diseño CAE perno (molde placa de sujeción-molde) a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad.....	89
56	Validación pernos placa de sujeción-brazo.....	90
57	Brazo mecánico.....	90
58	Centro de gravedad conjunto molde.....	90
59	Cargas aplicadas sobre brazo mecánico.....	95
60	Resultados diseño CAE brazo mecánico a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad.....	95
61	Validación brazo mecánico.....	96
62	Conjunto molde-brazo.....	96
63	Perno conjunto molde - brazo.....	97
64	Selección perno conjunto molde-brazo.....	100
65	Cargas y sujeciones sobre pernos molde - brazo.....	103
66	Resultados diseño CAE perno conjunto molde-brazo a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad.....	103
67	Validación perno molde – brazo.....	104
68	Pasador brazo -bancada.....	104
69	Diagrama pasador brazo – bancada plano zx.....	104
70	Diagrama pasador brazo – bancada plano zy.....	105
71	Diagrama de momento flector y cortante del pasador brazo bancad plano x-z.....	106
72	Diagrama de momento flector y cortante del pasador brazo bancad plano y-z.....	106
73	Diagrama de centro de gravedad y distancia perpendicular al pasador brazo-bancada.....	107
74	Cargas y sujeciones aplicadas sobre pasador brazo –bancada.....	112
75	Resultados diseño CAE pasador brazo - bancada a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad.....	112
76	Validación pasador brazo-bancada.....	113
77	Pasador brazo –cilindro neumático.....	113
78	Diagrama pasador brazo – cilindro neumático plano zx.....	113
79	Diagrama pasador brazo – cilindro neumático plano zy.....	114
80	Diagrama de momento flector y cortante del pasador brazo - cilindro neumático plano x-z.....	115
81	Diagrama de momento flector y cortante del pasador brazo - cilindro neumático plano y-z.....	116

82	Diagrama distancia perpendicular al pasador brazo – cilindro neumático.....	116
83	Cargas y sujeciones ejercidas sobre pasador bazo - cilindro neumático.....	121
84	Resultados diseño CAE pasador brazo – cilindro neumático a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad.....	121
85	Validación pasador brazo- cilindro neumático.....	122
86	Pasador cilindro neumático – bancada.....	122
87	Diagrama pasador cilindro neumático - bancada plano zx.....	123
88	Diagrama pasador cilindro neumático – bancada plano zy.....	124
89	Diagrama de momento flector y cortante del pasador cilindro neumático - bancada plano x-z.....	124
90	Diagrama de momento flector y cortante del pasador cilindro neumático – bancada plano y-z.....	125
91	Diagrama distancia perpendicular al pasador cilindro neumático – bancada	125
92	Cargas y sujeciones ejercidas sobre pasador cilindro neumático – bancada.....	130
93	Resultados diseño CAE pasador cilindro neumático - bancada a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad.....	130
94	Validación pasador cilindro neumático - bancada.....	131
95	Cargas actuantes y sujeciones ejercidas sobre la estructura de la bancada...	132
96	Resultados diseño CAE bancada a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad.....	132
97	Validación estructura (bancada).....	133
98	Selección cilindro neumático página oficial FESTO.....	134
99	Circuito neumático para la apertura y cierre del molde.....	135
100	Circuito de control del sistema neumático.....	136
101	Análisis del sistema neumático.....	136
102	Estudio de movimiento caso 1.....	137
103	Estudio de movimiento caso 2.....	137
104	Estudio de movimiento caso 3.....	138
105	Estudio de movimiento caso 4.....	138
106	Elementos neumáticos.....	139
107	Selección UTM.....	139
108	Selección de compresor.....	141
109	Posprocesado Fanuc 3 ejes moldes núcleo.....	150
110	Simulación CAM molde núcleo.....	151
111	Posprocesado Fanuc 3 ejes molde cavidad.....	153
112	Simulación CAM molde cavidad.....	154
113	Posprocesado (electrodos).....	156
114	Simulación CAM electrodos.....	156
115	Guía y flujograma de bancada.....	160
116	Guía y flujograma de molde de suela.....	160
117	Guía y flujograma de unidad de apertura y cierre.....	161
118	Guía y flujograma de sistema neumático.....	161
119	Guía y flujograma eléctrico.....	161
120	Flujograma de montaje.....	163

SIMBOLOGÍA

plg:	Pulgadas	in
Su:	Resistencia última a la rotura	kg/cm ²
N:	Newton	
σ	Esfuerzo	kg/cm ²
k_a	Factor de acabado superficial	
k_b	Factor de tamaño geométrico	
k_c	Factor de confiabilidad	
k_d	Factor de corrección de temperatura	
k_e	Factor de concentración de esfuerzos	
k_g	Factor de efectos varios	
n	Factor de seguridad	
I	Momento de inercia	kg-cm ²
M_T	Momento torsor	Nm
R_B	Reacción en B	N
R_A	Reacción en A	N
M_R	Momento resultante	N-m
τ_{xy}	Esfuerzo por torsión	N/mm ²
σ_{eq}	Esfuerzo equivalente	N/mm ²
C	Constante elástica de la junta	
S_e	Límite de fatiga	N/mm ²
S_y	Resistencia a la fluencia	MPa
S_{ut}	Resistencia a la rotura	MPa
A_t	Área de esfuerzo de tensión	mm ²
A_c	Área de diámetro menor	mm ²
Pc	Fuerza ejercida por el cilindro neumático	N
$P_{\text{mol-bra}}$	Fuerza ejercida por el peso combinado del molde y el brazo	N
σ_x	Esfuerzo por flexión	N/mm ²
F_i	Fuerza de pretensión	N
k_f	Coefficiente de sensibilidad	
S_p	Resistencia mínima de prueba	MPa
K_b	Rigidez del perno	N/mm
K_m	Rigidez del material	N/mm
d_c	Diámetro del perno	Mm
E_m	Módulo de elasticidad material	N/mm ²
E_b	Módulo de elasticidad del perno	N/mm ²
L_b	Longitud del perno	mm
L_i	Longitud del material	mm
K_{ff}	Coefficiente de concentración de tensiones a flexión	

K_{fax}	Coeficiente de concentración de tensiones axial	
d_e	Diámetro del eje o equivalente	in
Se'	Límite de resistencia a la fatiga	N/mm ²
V_c	Velocidad de corte	m/min
D	Diámetro de la fresa	mm
N	Velocidad de rotación de la fresa	Rpm
fn	Avance	mm/rev
P	Potencia teórica	kW
Pe	Potencia efectiva	kW
V	Voltaje	V
I	Corriente	A
Sz	Avance por diente	mm/diente
z	Numero de dientes de la fresa	
Vm	Volumen máximo	cm ³
Va	Volumen admisible	cm ³
a	Profundidad de corte	cm
b	Ancho de la fresa	cm
W	Volumen de arranque de viruta	cm ³ /min
L	Ancho de corte	mm
F	Avance por minuto	mm/min
d	Profundidad	mm
Ps	Límite elástico material del molde	kg/cm ²
Q	Cantidad de viruta	cm ³ /min

LISTA DE ABREVIACIONES

CAD	Diseño Asistida por Computador
CAM	Manufactura Asistida por Computador
CAE	Ingeniería Asistida por Computador
PU	Poliuretano
AWS	Sociedad Americana de Soldadura
ASNT	Sociedad Americana de Pruebas y Materiales
ISO	Organización Internacional para la Normalización
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
CNC	Control Numérico Computacional
EDM	Máquina de Descarga Eléctrica
EIM	Escuela de Ingeniería Mecánica
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
ESPE	Escuela Superior Politécnica del Ejercito
CIM	Manufactura Integrada por Computadora
SMAW	Soldadura por Arco Metálico Protegido
QFD	Despliegue de la Función de la Calidad
spm	Sistema de Procedimientos de Mecanizado

ANEXOS

A	Hoja técnico aluminio PRODAX
B	Propiedades mecánicas de pernos
C	Propiedades mecánicas de aceros
D	Factor de acabado superficial
E	Factor de confiabilidad k_c
F	Factor de corrección de temperatura k_d
G	Selección de soldadura
H	Mecanizado de desbaste núcleo
I	Mecanizado de afinado núcleo
J	Mecanizado de detalles núcleo
K	Mecanizado de desbaste cavidad
L	Mecanizado de afinado cavidad
M	Mecanizado de detalle 1 cavidad
N	Mecanizado de detalle 2 cavidad
O	Mecanizado de electrodos leyenda
P	Mecanizado de electrodos para números

RESUMEN

Este trabajo, surge de la necesidad de contribuir en la fabricación de suelas, impulsar el cambio de la matriz productiva, y sustituir la importación de suelas, así como dejar precedente de manufactura de moldes para el laboratorio de la escuela de ingeniería mecánica que se encuentra en labor de implementación.

Se estudiaron tres tipos de moldeo para poliuretano; inyección, compresión, transferencia. Con esta información se desarrolló la matriz QFD y se diseñó el molde: primero se modeló la suela mediante software CAD, validación y manufactura de la suela y molde mediante software CAE CAM realizándose simulación térmica, resistencia y deflexión, obteniéndose espesores y a su vez dimensiones mínimas y un peso del molde de 21.97 kg.

Se desarrolló además un portamolde que se encarga de abrir y cerrar el molde. Partiendo de la matriz QFD se toma en cuenta la disminución de los tiempos de producción y ligereza con un bajo consumo de energía. Todos sus elementos mecánicos son calculados de forma manual y comprobados mediante validación CAE. Un sistema semiautomático permite la apertura y cierre usando un cilindro neumático con una carrera de 250mm, el mismo que tiene la capacidad de elevar pesos de hasta 35kg (molde).

Posteriormente se presentan instructivos de construcción y montaje del molde y portamolde. Además se calcula el costo aproximado del molde de 2449 USD y para el portamolde de 1332 USD, cumpliendo el trabajo solicitado por la empresa auspiciante calzado CAVE.

ABSTRACT

This research was carried to contribute in the sole manufacturing, to motivate the productive-matrix change, to replace the sole importation and to leave a model of mold manufacturing in the laboratory of mechanics engineering school because it is implementing materials at the moment.

Three kinds of molding were studied for polyurethane such as: injection, compression and transference. From this information, QFD (Quality Function Deployment) matrix was developed and the mold was designed. First at all, the mold was shaped by means of CAD (Computer Aided Design), sole and mold were validated and manufacturing by CAE (Computer Aided Engineering) and CAM (Computer Aided Manufacturing) with thermal simulation, resistance and deflection. Thicknesses, minimum measurements and a mold weight of 21.9 kg were gotten.

A mold carrier which opens and closes the mold was made. From QFD matrix, production time reduction and lightness with a low consumption of energy were taken into account. All the mechanical elements were calculated manually and verified by CAE validation. A semi-automatic system open and closes this mold using an pneumatic cylinder with 250mm which lifts weights up to 35kg (mold).

Instructions about construction and assembly of the mold and mold carrier were showed. In addition, the estimated cost of 2449 USD for mold and 1332 for mold carrier were calculated in order to achieve the job applied by the sponsor enterprise shop store CAVE.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Cada vez, para Latinoamérica y para Ecuador, es más difícil competir con economías como las de China e India, las que basándose en mano de obra barata y en importantes avances tecnológicos producen bienes manufacturados a muy bajos costos además se suma la necesidad de producir más con menor consumo de energía por unidad de producto, para que el modelo sea sostenible en el tiempo.

El cambio de la matriz productiva es la prioridad número uno del plan nacional de desarrollo del Ecuador. Es necesario hacer énfasis que existen políticas de innovación y tecnología razón por la cual atendiendo el llamado de los actuales intereses nacionales es prioritario que los centros de Educación Superior contribuyan con proyectos y trabajos que construyan una plataforma de generación, difusión y aplicación del conocimiento sobre todo de aquellos como es la fabricación de moldes poco desarrollado en el país, logrando que se funda en esfuerzo permanente y robusto de investigación o desarrollo científica y tecnológica, coherente con los problemas productivos y sociales del país .

En esta labor de investigación y consulta se encontró el trabajo especial de grado titulado: “Desarrollo de guías de entrenamiento y hojas de proceso para el mecanizado del apaga llamas, martillo del mecanismo de disparo y palanca de sujeción del culatin retráctil del fusil HK utilizando el módulo de manufactura del software nx5 y centro de mecanizado vertical fadal vm 3016 del comando logístico reino de quito” presentado en septiembre de 2009, por Basantes Carrasco Christian Rubén y Gallardo Unda Pablo Andrés ante el tribunal de defensa del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la ESPE, como requisito para optar el título de Ingeniero Mecánico. El proyecto elabora una guía de entrenamiento del programa NX5 y hojas de proceso para el mecanizado, fresado de repuestos del fusil HK, convierte a este estudio en una oportunidad para mejorar los procesos de manufactura en CEMMG y de esta manera la

ESPE contribuye significativamente en la formación del talento humano y una extraordinaria fuente de información y guía en el área de la producción.

Dentro de la misma línea de investigación y consulta se encontró el trabajo que en noviembre del 2009 fue presentado en la Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH, La tesis de grado: “Diseño, modelación, simulación y construcción del molde para tapas de cilindro de gas de uso doméstico por inyección plástica” presentada por Daniel Alejandro Andino Núñez y Mayra Alejandra Paucar Samaniego previa la obtención del título de Ingeniero Mecánico. El proyecto además de realizar su diseño y manufactura por medio de computador (CAD CAM) se procedió a la validación mediante tecnología CAE para garantizar la calidad del producto controlando los parámetros de la materia prima PET.

Esta misma labor de investigación y consulta se encontró en la tesis de grado titulado: “Diseño y construcción de un molde para inyección de un casco decorativo de plástico, utilizando ingeniería CAD/CAM” presentado en febrero del 2013, por Miguel Ángel Escobar Guachambala ante el comité de examinación de la Escuela De ingeniería Mecánica de la ESPOCH, como requisito previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico. El trabajo de investigación fue realizado para evitar la aplicación del método prueba error y sus consecuentes correcciones o trabajos adicionales en la construcción de moldes. Con el objeto de obtener el producto plástico se procedió a realizar el modelado mediante software CAD (Diseño Asistido por Computador), se diseñó el molde utilizando normas técnicas internacionales de placas, accesorios, y con ayuda de software para moldes cabe mencionar que se validó el diseño utilizando Ingeniería CAE (Ingeniería asistida por computador). Finalmente se procedió al mecanizado mediante CAM (Manufactura asistida por computador). Esta investigación ayudo en la comprensión de los procesos actuales de manufactura y manejo de materiales y herramientas con la finalidad de comprender su uso y forma de aplicación. (ESCOBAR GUACHAMBALA, 2013)

La necesidad de contar con información correcta y veraz acerca de los trabajos, de diseño de moldes para la fabricación de suelas dentro de la industria del calzado con detalles de innovación y ejecución de los mismos no existe, que permitan al empresario o emprendedor de calzado o suelas conocer la tecnología y cubrir las necesidades y

limitaciones que siempre han tenido. La creciente competitividad que desarrolla esta cadena productiva en nuestro se debe a la salvaguardias impuesta en el 2007 para proteger la instrúa nacional del calzado. Hoy se busca sustituir importaciones en cuanto a suelas se refiere.

Este proyecto de titulación pretende en base al hecho de la lenta evolución tecnológica de este sector manufacturero en el Ecuador que es variado y tiene muchos detalles y como no es materia pertinente del trabajo no ampliaremos en ello, pero si mencionare que el incremento de la fabricación de suelas nacionales en la industria del calzado en el Ecuador va a depender, en buena medida , del acceso real y competitivo que podamos lograr, con el desarrollo de información recurrente, en la elaboración de moldes para su fabricación y alcanzar de manera rápida condiciones similares a las que tienen los máximos competidores como son los países de China, Colombia y Brasil. Es así que se desea contribuir con esta información a fin de ayudar a cambiar la matriz productiva de este sector. Logrando influir en el desarrollo y masificación de esta actividad

1.2 Justificación

1.2.1 Justificación técnica. La actual matriz productiva ha sido uno de los principales limitantes para que el Ecuador alcance una sociedad del Buen vivir, este hecho conduce plantearnos la transformación de la matriz productiva que implica el paso de un patrón de especialización primario exportador y extractivista a uno que privilegie la producción diversificada, ecoeficiente y con mayor valor agregado, así como los servicios basados en la economía del conocimiento y la biodiversidad. Enfocados en este concepto el desarrollo tecnológico es impulsado como política de estado en el actual Gobierno, atreves de los Institutos de Educación Superior se pretende que el país se desarrollen proyectos concernientes a temas que cambien la matriz productiva y que generen avances en el desarrollo de nuestra propia tecnología y conocimiento, que proyecten numerosas fuentes de empleo, contribuyendo de manera directa al área de la manufactura de productos que puedan ser elaborados en el país por ello es fundamental el uso de las capacidades y los conocimientos que podamos aportar por medio de este proyecto necesario para el sector de la industria del calzado afín de concentrar esfuerzos en el mismo objetivo común.

Ecuador debe generar mayor valor agregado en la producción, impulsado por la generación de una sociedad de conocimientos fundamentado en las capacidades de las y los ecuatorianos.

Es así que el incremento de la productividad de suelas, con un alto componente nacional que cumpla la normatividad y calidad, es directamente dependiente del acompañamiento tecnológico que brinden trabajos, como es el diseño de un molde para la elaboración de suelas por medio de la escuela de ingeniería mecánica de la ESPOCH y coadyuvar la transformación de la matriz productiva del sector manufacturero del calzado del país, revolución productiva a través del conocimiento y talento humano.

1.2.2 *Justificación económica.* La economía del Ecuador se ha caracterizado por la producción de bienes primarios para el mercado internacional, con muy poca o nula tecnificación. El Ecuador presenta una situación de intercambio desigual por el creciente diferencial entre los precios de las materias primas y el de los productos con mayor valor agregado y alta tecnología.

La balanza comercial del Ecuador es sensible y necesita que el dinero generado se quede dentro del país, al encontrarnos en una región con países que pueden devaluar su moneda, el Ecuador al ser un país dolarizado con la limitante de no poder imprimir dólares, es necesario que se genere la mayor cantidad de productos dentro del mismo país y evitar la salida de dólares, con las importaciones de productos que si se pueden desarrollar en el país, pero que necesita de incentivos económicos y oportunidades para cambiar la actual matriz productiva carente de tecnología y valor agregado en los productos, el aporte del diseño del molde es una tecnología con factores de costos rentables, por sustitución de importaciones dentro del sector productivo de la industria del calzado que ha crecido desde el 2009 un 250% hasta el 2014, estos moldes son la base principal para fabricar suelas y alcanzar los propósitos nacionales generando empleo e ingresos, y se logre sustituir las importaciones de suelas para el calzado. Pensando en el desarrollo de esta industria manufacturera tan laboriosa por medio de esta tesis a través de EIM de ESPOCH se pretende contribuir con el urgente y rápido desarrollo tecnológico que requiere.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Diseño de un molde para fabricación de suela Fabya tamaño 37 de poliuretano, mediante el uso de ingeniería CAD CAM CAE.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Analizar el desarrollo tecnológico de moldes de suelas.

Realizar el modelado de la suela con la ayuda de software CAD.

Desarrollar el proceso de manufactura para moldes de suela mediante el uso de software CAM.

Desarrollar selección y diseño de mecanismo de apertura y cierre del molde para facilitar la fabricación de la suela.

Cotizar el costo del molde para fabricación de suelas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Fabricación de moldes para suelas de poliuretano

la fabricación de moldes para suelas se constituyen de geometrías complejas, que se engloban dentro del uso de herramientas CAD como superficies difíciles de maniobrar por operadores de mecanizado, por ello se realizan en centros de maquinado CNC, que por medio del uso de aplicaciones CAM podemos elaborarlos, se desarrollan moldes en todo tipo de materiales de acero y aluminio, principalmente por ser comparativamente más baratos y presentar características tecnológicas superiores a otro metal, en cuanto a la elaboración de suelas se prestara mucha atención a los de aluminio.

2.1.1 *Procesos de fabricación de suelas más comunes en la industria.* Existen varios procesos para la fabricación de las suelas, pueden ser inyectadas o moldeadas en una máquina que cierra los moldes. En la mayoría de los casos la materia prima esta granulada y es fundida a temperaturas entre los 100°C y 170 °C para moldeo por inyección y 50° C para moldeo en frio, el polímero se vierte o inyecta en moldes fabricados como aluminio, acero, zamac o pasta con el diseño negativo de la suela. (Wikipedia, 2014).

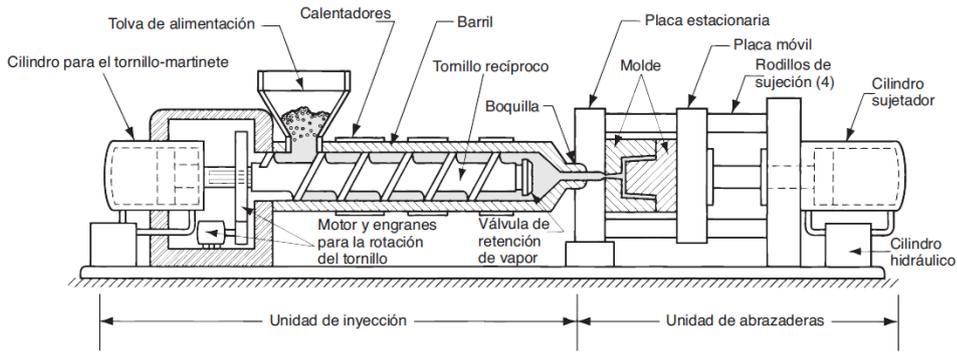
Los procesos para la elaboración de moldes de suelas varían no en la tecnología de fabricación con relación al mecanizado, sino en el desarrollo tecnológico de manufactura del producto a obtenerse en este caso la suela y del material del que está compuesto la suela.

2.1.1.1 *Por inyección.* El moldeo por inyección es un proceso con el que se calienta un polímero hasta que alcanza un estado muy plástico y se le fuerza a que fluya a alta presión hacia la cavidad de un molde, donde se solidifica. (CASTILLO, 2013). las partes principales son:

- Unidad de inyección.
- Unidad de abrazaderas.

Figura 1. Máquina de moldeo por inyección

FIGURA 13.21 Diagrama de una máquina de moldeo por inyección, del tipo de tornillo recíproco (se han simplificado algunos detalles mecánicos).



Fuente: GROOVER 2007

Figura 2. Proceso de inyección

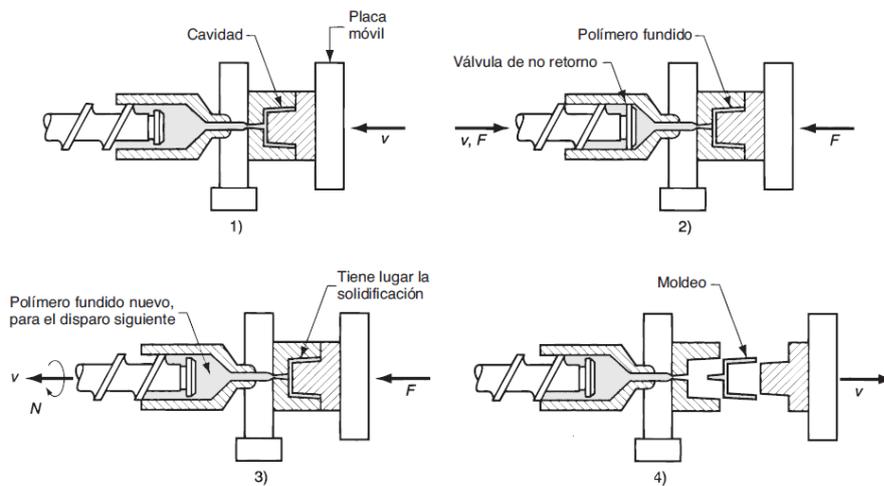


FIGURA 13.22 Ciclo común de moldeo: 1) molde cerrado, 2) se inyecta fluido a la cavidad, 3) se retrae el tornillo y 4) se abre el molde, y la pieza se expulsa.

Fuente: GROOVER 2007

2.1.1.2 Por compresión. En el moldeo por compresión se coloca una carga preformada de material, un volumen de polvo medido previamente o una mezcla viscosa de resina líquida y un relleno directamente en la cavidad caliente de un molde que, por lo general, se encuentra a unos 170°C, pero que puede ser mucho mayor.

El formado se realiza bajo presión a partir de un tapón o a partir de la mitad superior de la matriz. Las presiones van de 10 a 150 MPa, se forma una rebaba que luego se elimina por recortado o algún otro método (GROOVER, 2007).

Las ventajas más notables del moldeo por compresión en dichas aplicaciones incluyen las siguientes: los moldes son más sencillos, menos caros y requieren poco mantenimiento; menor desperdicio y esfuerzos residuales bajos en las piezas moldeadas.

Una desventaja frecuente son las duraciones mayores del ciclo y, por tanto, tasas de producción menores que las del moldeo por inyección (KALPAKJIAN, y otros, 2006)

Figura 3. Proceso de compresión

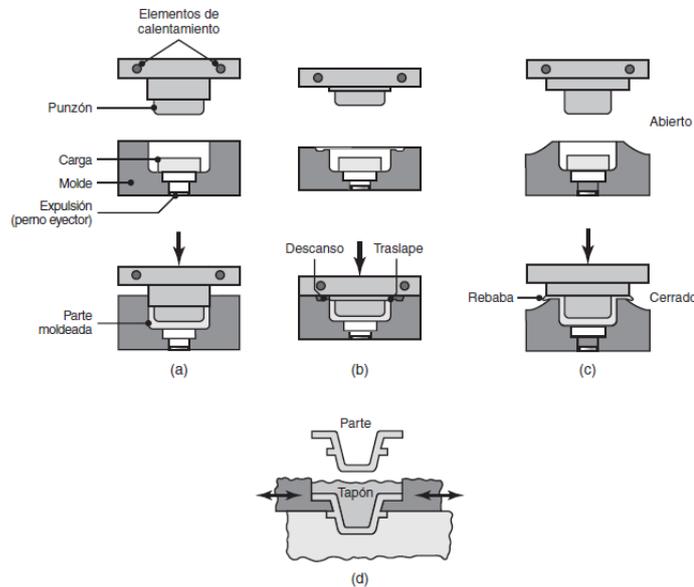


FIGURA 19.19 Tipos de moldeo por compresión; proceso similar al forjado: (a) positivo, (b) semipositivo y (c) rebaba, que se recorta posteriormente. (d) Diseño de matriz para fabricar una parte de moldeo por compresión con rebajes externos.

Fuente: KALPAKJIAN 2006

2.1.1.3 Por transferencia. El moldeo por transferencia es un desarrollo adicional del proceso de moldeo por compresión. La resina termofija sin curar se coloca en un recipiente o cámara de transferencia de calor y, después de que se calienta, se inyecta en moldes cerrados calientes.

Dependiendo del tipo de máquina utilizada, una leva, embolo o alimentador de tornillo giratorio hace que el material fluya a través de los canales angostos al interior de la cavidad del molde, a presiones hasta de 300MPa. Este flujo viscoso genera un calor considerable, que aumenta la temperatura del material y lo homogeniza.

El curado ocurre por enlaces cruzados. Puesto que la resina está fundida cuando entra en el molde, la complejidad de las partes y el control dimensional se aproxima a los moldes por inyección (KALPAKJIAN, y otros, 2006).

El moldeo por transferencia se relaciona de cerca con el de compresión, porque se utiliza

con los mismos tipos de polímero (termofijos y elastómeros) (GROOVER, 2007).

El proceso es adecuado sobre todo para formar intrincadas con espesores de pared variables. Los moldes tienden a ser más costosos que los del moldeo por compresión y parte del material sobrante se queda en los canales del molde durante el llenado, que luego se remueve.

Figura 4. Proceso de transferencia

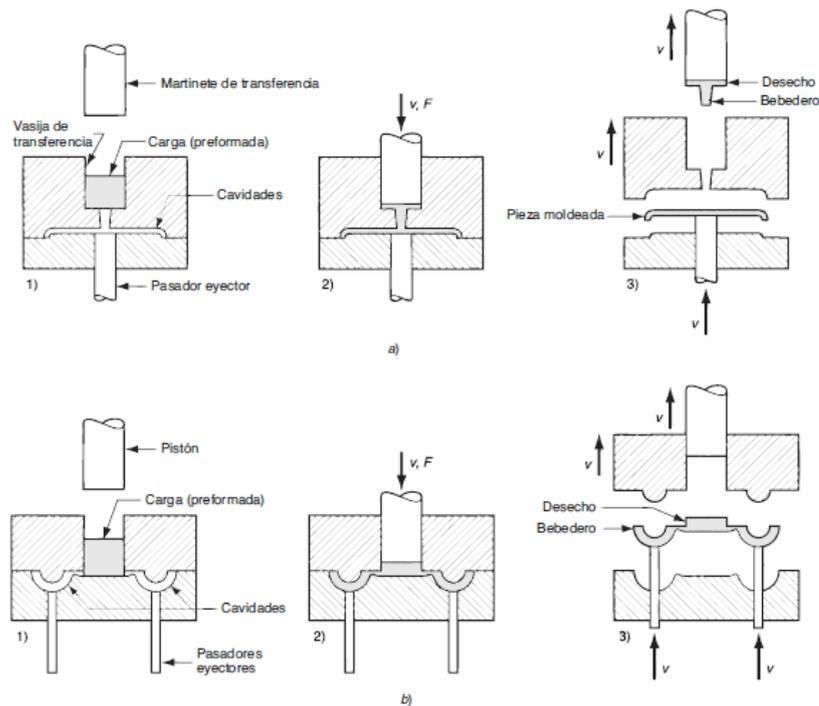


FIGURA 13.29 a) Moldeo por transferencia de vasija y b) moldeo por transferencia de pistón. El ciclo en ambos procesos es el siguiente: 1) se introduce la carga a la vasija, 2) el polímero suavizado se prensa y cura en la cavidad del molde y 3) se expulsa la pieza.

Fuente: GROOVER 2007

2.1.2 Tipos de molde de suela usados en la fabricación de suelas de PU. Para la fabricación de suelas de poliuretano se usan moldes de dos placas que al unirse en su interior forman la geometría de la suela. De acuerdo a los procesos de moldeo utilizados para la fabricación de suelas descritos anteriormente.

2.1.2.1 Por inyección. El molde consta de dos placas que se monta sobre una máquina que al cerrarse forman una cavidad en la que se inyecta el polímero dentro de la cavidad del molde.

Figura 5. Moldes de inyección para suelas



Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=f6xILolvlQ8.jpg>

2.1.2.2 *Por compresión.* El molde contiene en ocasiones resistencias que calientan el polímero en donde se vulcaniza el compuesto y se cura también consiste de dos placas que forman la cavidad que contiene la geometría de la suela.

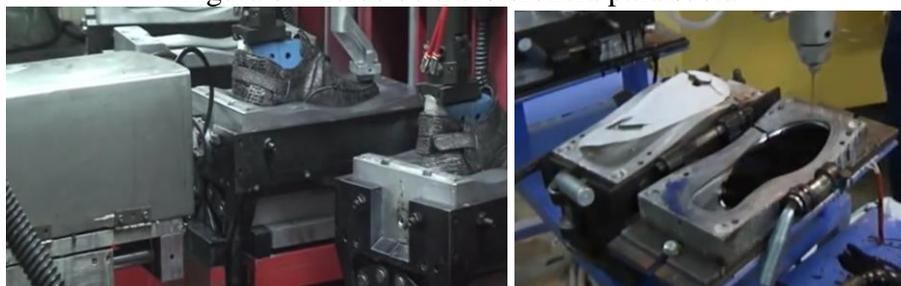
Figura 6. Moldes de compresión para suela



Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=HOx17ggKtos> (captura min34seg).jpg

2.1.2.3 *Por transferencia.* Estos tipos de moldes son como una combinación de los procesos de moldeado por compresión e inyección, en la gráfica se puede notar que la suela se fabrica y se une directamente a el zapato que se encuentra sobre una horma, cuando la horma y el molde de suela su ensamblan finalmente se inyecta el polímero.

Figura 7. Molde de transferencia para suela



Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=9U3jkQaIgDY.jpg>

2.1.3 *Consideraciones sobre el diseño de piezas moldeadas.* Hay muchos procesos para moldear plásticos. En este artículo se dan lineamientos que se aplican al moldeo por inyección, por compresión y transferencia (GROOVER, 2007). (recopilados de Bralla, McCrum y otras fuentes).

2.1.3.1 *Cantidades económica de producción:* Cada pieza moldeada requiere un molde único, en el cual para cualquiera de estos procesos es corto, en particular para el moldeo por inyección. Las cantidades mínimas de producción para este proceso son de alrededor de 10000 piezas; para el moldeo por compresión, 1000 piezas es lo mínimo, debido a los diseños más sencillos del molde que se necesita. El moldeo por transferencia se ubica entre las dos cifras anteriores. (GROOVER, 2007).

2.1.3.2 *Complejidad de la pieza:* Si bien las configuraciones geométricas más complejas de la pieza significan moldes más costosos, puede ser económico diseñar un molde complejo si la alternativa involucra muchos componentes individuales que se ensamblen juntos. (CASTILLO, 2013) . Una ventaja del moldeo de plásticos es que permite características funcionales múltiples para combinarse en una pieza.

2.1.3.3 *Espesor de pared:* Las secciones transversales gruesa por lo general son indeseables; con ellas se desperdicia material, es más probable que causen pandeos por la contracción y les toma más tiempo endurecer. (GROOVER, 2007).

2.1.3.4 *Costillas de refuerzo:* Se emplean en las piezas de plástico moldeado para obtener mayor rigidez sin un espesor de pared excesivo. Las costillas deben ser más delgadas que las paredes que refuerzan, a fin de minimizar las marcas de hundimiento en la pared exterior. (GROOVER, 2007).

2.1.3.5 *Radios de las esquinas y biseles:* Las esquinas agudas, tanto externas como internas son indeseables en las piezas moldeadas: interrumpen el flujo suave del material fundido, tienden a crear defectos superficiales y ocasionan las concentraciones de los esfuerzos en la pieza terminada. (GROOVER, 2007).

2.1.3.6 *Agujeros:* Es muy factible que ocurran en los moldes de plásticos, pero complican el diseño del molde y la remoción de la pieza. También generan interrupciones

en el flujo del material fundido. (GROOVER, 2007).

2.1.3.7 Ahusado: Una pieza moldeada debe diseñarse con un ahusado en sus lados para facilitar la remoción del molde. Esto tiene importancia especial en la pared interior de una pieza en forma de taza, porque el plástico moldeado se contrae contra la forma positiva del molde. El ahusado recomendable para los termofijos es alrededor de $1/2^\circ$ a 1° ; para los termoplásticos, por lo general varía entre $1/8^\circ$ y $1/2^\circ$. Los proveedores de compuestos de plástico para moldeo proporcionan valores recomendados del ahusado para sus productos. (GROOVER, 2007).

2.1.3.8 Tolerancias: Especifican las variaciones permisibles de la manufactura de una pieza. Aunque la contracción es predecible en condiciones muy controladas, son deseables tolerancias generosas para los moldeos por inyección debida a la variación de los parámetros del proceso que afectan la contracción, y a la diversidad de formas geométricas que existen para las piezas. (GROOVER, 2007).

2.1.4 Principales variables y parámetros para el diseño de un molde. El diseño de una molde, ya sea de inyección, compresión o transferencia, debe ser diseñado y verificado para determinar el tamaño general de la matriz, su número de cavidades y la capacidad requerida de la máquina, a fin de optimizar la operación total y producir partes a un costo mínimo.

Para disminuir las posibilidades de varios diseños de un mismo molde, exigen básicamente que se determinen parámetros que se listan a continuación Sin embargo en el capítulo de diseño se presentaran solo aquellos que nos permitan obtener el molde que requerimos:

- Evaluación de geometrías a moldearse.
- Selección del material para el molde.
- Capacidad de cierre.
- Capacidad de inyección.
- Velocidad de plastificación.
- Ángulos de desmoldeo.
- Calculo del número de cavidades.

- Líneas de partición.
- Máximo y mínimo de espesor y dimensiones posible del molde.
- Análisis de resistencia mecánica.
- Agujeros.
- Contracción.
- Canales de distribución.
- Punto de inyección.
- Diseño de pernos sometidos a corte.
- Tolerancias.
- Sistema de refrigeración.
- Guías y componentes.
- Ventilación y presión.
- Sistemas de expulsión.

2.2 Suelas de poliuretano

La suela es la parte del zapato que por lo general está formado por un material más resistente que el zapato en sí. Sirve para proteger la planta del pie y proporcionar tracción y mayor fricción para evitar caídas

Las suelas de poliuretano. Son las suelas cuyo material está compuesto por la mezcla de dos componentes el poliol e isocianato, además de un reactivo. Este material es ligero por lo que muchas veces se selecciona este material para suelas de dama que tienen plataforma o tacones altos. (BARRAGAN).

El poliuretano tiene buenas propiedades generales de alta resistencia, rigidez, dureza, resistencia excepcional a la abrasión, al corte y al desgarre (KALPAKJIAN, y otros, 2006).

2.2.1 Poliuretano (PU). Los poliuretanos (PU's) fueron desarrollados por Otto Bayer, en 1937, volviéndose un fantástico caso de éxito y un negocio de muchos mil millones de dólares en el mundo actual. Son elaborados por la reacción de poliadición de un isocianato (di o polifuncional) con un poliol y otros elementos reactivos, como: agentes de cura o extensores de cadena, conteniendo dos o más grupos reactivos; catalizadores; agentes de

expansión; surfactantes; cargas; agentes antienviejamiento; colorantes y pigmentos, retardadores de llama, desmoldantes, etc.

Los isocianatos pueden ser aromáticos alifáticos. Los compuestos hidroxilados pueden variar con relación al peso molecular, naturaleza química y funcionalidad. Los polioles pueden ser poliésteres, o presentar estructura hidrocarbonada. La naturaleza química y la funcionalidad de los agentes reactivos deben ser escogidas de acuerdo a las propiedades finales deseadas.

Esta flexibilidad permite la obtención de materiales con diferentes propiedades físicas y químicas, y hace con que los PU's ocupen posición importante en el mercado mundial de polímeros sintéticos de alto desempeño. (ECOBOOTS, 2015).

2.2.2 Características del poliuretano. Debido a que en este trabajo se tratará específicamente como material el poliuretano, describiremos propiedades que involucra sus aspectos técnicos, de producción, económicos y de otra índole, las consideraciones de este capítulo se limitan a los dos procesos, que son abordados desde los puntos de vista más estrechamente relacionados con los necesarios para la elaboración del molde.

Ligeras, pero altamente resistentes a la abrasión, el uso del poliuretano para la confección de suelas de zapato resistentes, es una solución idónea. Las suelas de poliuretano resultan muy prácticas por sus propiedades mecánicas, tanto a la hora de impermeabilizar el interior del calzado como en el impacto del pie con el suelo, mostrando excelentes resultados a largo plazo. Además, como ocurre con la elaboración de otros productos, el poliuretano se convierte en un aliado de los diseñadores, gracias a las infinitas posibilidades que ofrece.

Dentro del sector del calzado, los poliuretanos se encuentran en una amplia gama de tipos de calzado. Aunque es más conocido para los deportes y zapatos de trekking y botas, que también son ampliamente utilizadas para suelas de zapatos de negocios y la moda, así como de alta calidad de zapatos de seguridad.

En el caso de calzado elaborado con poliuretano, la gente suele dejar de utilizarlo solo porque se ha pasado de moda, puesto que los zapatos que contienen este material cuentan

con un largo ciclo de vida. En cualquier caso, cuando el calzado es finalmente depositado en el punto de reciclaje, el poliuretano empleado en el zapato se puede reutilizar junto con otros residuos sólidos.

2.2.3 Tipos de suelas a base de poliuretano. Existe una gran variedad de formas y tamaños de suelas para hombre y mujer, limitadas no solo por su diseño sino además por la extensa gama y variedad de actividades en las que se aplican por ello se listan dos grandes grupos en base a su origen polimérico,

2.2.3.1 Suelas de poliuretano. El poliuretano (PU), es un material obtenido aplicando un reactivo a la combinación de dos materiales: polioli e isocianato. El resultado es un producto de gran ligereza y flexibilidad, con una densidad óptima que permite un estupendo retorno elástico. Las podemos encontrar en diferentes modelos de zuecos de trabajo, calzado profesional para hostelería y calzado de sport. (Comodo, 2013).

Figura 8. Suelas de PU



Fuente: <http://www.zapateria-online.es/calzado/wp-content/uploads/2013/08/sandalia-piel-blanda-rojo.jpg>

2.2.3.2 Suelas de TPU. Obtenidas a partir de poliuretano termoplástico, son suelas especialmente cómodas, por sus características de flexibilidad, amortiguación de la pisada, capacidad antideslizante, y, como todo poliuretano, ligereza y aislamiento.

Debido a esta acumulación de ventajas, últimamente se utiliza cada vez más en sustitución del clásico poliuretano, y del caucho, en gran variedad de zapatos y zapatillas. Podemos encontrar este tipo de suelas en calzado de seguridad, botas de futbol, y demás calzado deportivo. (Comodo, 2013).

Las características que se obtienen en la suela dependen de la composición de los componentes en la reacción de poliadición del poliuretano

Figura 9. Suela de TPU



Fuente: <http://www.zapateria-online.es/calzado/wp-content/uploads/2013/08/nautico-piso-fuerte-piel.jpg>

2.2.4 Propiedades del poliuretano. El poliuretano. Según las variaciones de su química, entrecruzamiento y procesamiento, los poliuretanos pueden ser materiales termoplásticos, termofijos o elastómeros, de los que estos dos últimos son los que tiene mayor importancia comercial. (GROOVER, 2007).

Tabla 1. Características del poliuretano elastómero

Polímero:	Poliuretano (la composición química varía)		
Símbolo:	PUR	Gravedad específica:	1.25
Módulo de elasticidad:	10 MPa (1 200 lb/in ²) con elongación de 300%.	Límite superior de temperatura:	100 °C (210 °F)
Resistencia a la tensión:	60 MPa (8 000 lb/in ²)	Límite inferior de temperatura:	-50°C (-60 °F)
Elongación:	700% antes de fallar	Participación aproximada en el mercado:	Se enlista como termofijo, véase la tabla 8.4e.

Recopilada a partir de las referencias [2],[6],[9],[11] y otras fuentes.

Fuente: GROOVER 2007

Los poliuretanos termofijos con entrecruzamientos mínimos son elastómeros, y es común que la mayoría se produzca como espumas flexibles. En esta forma, se emplean mucho como materiales para vestiduras de muebles y asientos de autos. (RDV).

El poliuretano que no es esponja se moldea en productos que van desde suelas hasta defensas de coches, con el entrecruzamiento ajustado para obtener las propiedades que se quiere para la aplicación. (GROOVER, 2007).

Tabla 2. Características del poliuretano termoplástico

TABLA 8.4 (continúa): e) poliuretano.

Polímero:	El poliuretano se forma por la reacción de un polirol y un isocianato. La química varía mucho.		
Método de polimerización:	Etapas (condensación)	Elongación:	Depende del entrecruzamiento.
Módulo de elasticidad:	Depende de la química y el procesamiento.	Gravedad específica:	1.2
Resistencia a la tensión:	30 MPa (4 000 lb/in ²)	Participación aproximada en el mercado:	Alrededor de 4%, incluidos elastómeros

^a Común para poliuretano muy entrecruzado.

Recopilada a partir de las referencias [2],[4],[6],[7],[9] y [14].

Fuente: GROOVER 2007

De acuerdo al tipo de suela que se plantea en la tesis la cual consiste en una suela con taco para dama que se denomina fabya y que estará compuesta de poliuretano, se tiene la siguiente tabla de propiedades para moldeo de poliuretano. (uniovi.es).

Tabla 3. Propiedades de polímeros

Propiedad	Resina base				
	Poliéster	Fenólico	Epoxi	Melamina	Poliuretano
Calidad de moldeo	Excelente	Buena	Excelente	Buena	Buena
Moldeo por compresión					
Temperatura, °C	76,7-160	137,8-176,7	148,9-165,6	137,8-171,1	148,9-204,4
Presión, MPa	1,74-13,78	13,78-27,58	2,06-34,47	13,78-55,15	0,689-34,47
Contracción de molde, mm/mm	0,0-0,05	0,002-0,025	0,025-0,05	0,025-0,100	0,228-0,762
Densidad relativa	1,35-2,3	1,75-1,95	1,8-2,0	1,8-2,0	1,11-1,25
Resistencia tracción, MPa	173-206	35-69	97-206	35-69	31-55
Elongación, %	0,5-5,0	0,02	4	-	10-650
Módulo de elasticidad, Pa	0,55-1,38	2,28	2,09	1,65	-
Resistencia compresión, MPa	103-206	117-179	206-262	138-241	138
Resistencia flexión, MPa	69-276	69-414	138-179	103-159	48-62
Impacto, Izod, J/mm	0,1-0,5	0,5-2,5	0,4-0,75	0,2-0,3	Sin rotura
Dureza, Rockwell	M70-M120	M95-M100	M100-M108	-	M28-R60
Dilatación térmica, por °C	5-13(x10 ⁻⁴)	4x10 ⁻⁴	2,8-7,6 (x10 ⁻⁴)	3,8x10 ⁻⁴	25-51(x10 ⁻⁴)
Resistividad de volumen (a 50% RH, 23°C), ohm-cm	1-10 ¹⁴	7x10 ¹²	3,8x10 ¹⁵	2x10 ¹¹	2x10 ¹¹ -10 ¹⁴
Resistencia dieléctrica, V/mm	13.780-19.685	5.512-14.567	14.173	6.693-11.811	12.992-35.433
Constante dieléctrica					
A 60 Hz	3,8-6,0	7,1	5,5	9,7-11,1	5,4-7,6
A 1 kHz	4,0-6,0	6,9	-	-	5,6-7,6
Factor disipación					
A 60 Hz	0,01-0,04	0,05	0,087	0,14-0,23	0,015-0,048
A 1 kHz	0,01-0,05	0,02	-	-	0,043-0,060
Absorción de agua, %	0,01-1,0	0,1-1,2	0,05-0,095	0,9-21	0,7-0,9

Tabla 2.2.4.2.- Propiedades de plásticos termoesitables: resinas reforzadas con

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion8.PLASTICOS.MateriasPrimas.pdf>

2.3 Códigos, normas y especificaciones de suelas

Los códigos, normas y especificaciones son documentos que rigen y regulan actividades industriales; existe una variedad muy amplia de métodos de fabricación de suelas cuyo, productos, servicios, campo de aplicación, y estructura de estas, también son muy variados, El desempeño de las suelas son reguladas por diferentes normas como la ANSI Z41 luego reemplazada por la ASTM F2412-05, ISO 20344, NTE INEN 1922:92, 1923:92, 1924:92, 1925:92, 1926:92, Como el objetivo de la tesis es obtener los moldes no ahondaremos en el tema del diseño de una suela. (CARRASCO SANTANA, 2010).

2.4 Centros de mecanizado, máquinas y herramientas

2.4.1 Introducción a máquinas de control numérico y control numérico computarizado.

La innovación más importante en la automatización se inició con el control numérico (NC, por sus siglas en inglés) de las maquinas herramientas, es un método que controla los movimientos de los componentes de un a máquina, insertando instrucciones codificadas en forma de números y letras directamente en el sistema.

Este interpreta en forma automática esos datos y los convierte en señales de salida. Su vez, dichas señales controlan diversos componentes de las máquinas, como la activación y desactivación de la rotación de husillos, Cambio de herramientas, movimiento de la pieza de trabajo o de las herramientas a lo largo de trayectorias específicas, y activación y desactivación de fluidos de corte. A partir de este desarrollo histórico, ha habido un rápido avance en la automatización de la mayoría de los aspectos de manufactura.

Estos desarrollo comprenden la introducción de computadoras en la automatización, control numérico computarizado (CNC, por su siglas en inglés) cuando el equipo de control (montado en la maquina NC) se convirtió en un control por computadora local mediante software, control adaptable (AC), robots industriales, diseño, ingeniería y manufactura asistidos por computadora (CAD/CAE/CAM) y sistemas de manufactura integrados por computadora (CIM). (KALPAKJIAN, y otros, 2006).

2.4.2 *Centro de maquinado.* Un centro de maquinado es una máquina herramienta avanzada, controlada por computadora, que tiene la capacidad de realizar varias operaciones de maquinado en diferentes superficies y orientaciones de una pieza de trabajo sin tener que retirarla de su dispositivo o aditamento de sujeción. (KALPAKJIAN, y otros, 2006)

2.4.3 *Tipos de centros de maquinado.* Existen diversos diseños de centros de maquinado. Los dos tipos básicos son el de husillo vertical y el de husillo horizontal, pero muchas maquinas tienen la capacidad de operar en ambos ejes

2.4.3.1 *Centro de maquinado de husillo vertical.* También conocidos como centros de maquinado verticales (VCM, por sus siglas en ingles), tienen la capacidad de efectuar diversas operaciones de maquinado en partes con cavidades profundas, por ejemplo, en la fabricación de moldes de matrices. En la figura 10 se muestra un centro de maquinado de husillo vertical (que es similar a una fresadora de husillo vertical).

El carrusel o cargador de herramientas se encuentra a la izquierda de la figura y todas las operaciones y movimientos se dirigen y modifican por medio del tablero de control por computadora mostrado a la derecha. Debido a que las fuerzas de empuje en el maquinado vertical; se dirige hacia abajo, dichas maquinas tienen gran rigidez y producen partes con

buena precisión dimensional. Por lo general, son menos costosas que las máquinas de husillo Horizontal. (KALPAKJIAN, et al., 2006)

Figura 10. Centro de mecanizado CNC / 5 ejes / vertical / de alta velocidad
MATRIX 800



Fuente: <http://www.nauticexpo.es/prod/breton/centro-mecanizado-cnc-5-ejes-vertical-alta-velocidad-39238-291518.html>

2.4.3.2 Centro de maquinado de husillo horizontal También conocidos como centros de maquinado horizontales (HMC, por sus siglas en ingles), son adecuados para piezas de trabajo grandes y altas que requieren maquinado en muchas de sus superficies.

El pallet se puede girar en diferentes ejes a diversas posiciones angulares. Otra categoría de máquinas de husillo horizontal son los centros de torneado, que son tornos controlados por computadora con distinta características. En la figura 11 se muestra un centro de torneado de tres torretas; se construye con dos husillos horizontales y tres torretas equipadas con diversas herramientas de corte, usadas para realizar diferentes operaciones en una pieza de trabajo rotatoria o rotacional. (KALPAKJIAN, et al., 2006)

Figura 11. Centro de mecanizado CNC / 4 ejes / horizontal / Haas EC-500



Fuente: http://haascnc.com/DOCLIB/datasheets/DS_EC500_US.pdf

2.5 Sistemas CAD/CAM/CAE en el diseño de moldes

Las tecnologías CAD/CAM/CAE se encuentran ya en una fase de madurez. Su utilidad es indiscutible y han abierto posibilidades para el rediseño y fabricación impensables sin estas herramientas. La falta de sistemas de diseño va asociada a rediseños que se realizan sobre la marcha, con la consiguiente pérdida de tiempo y dinero.

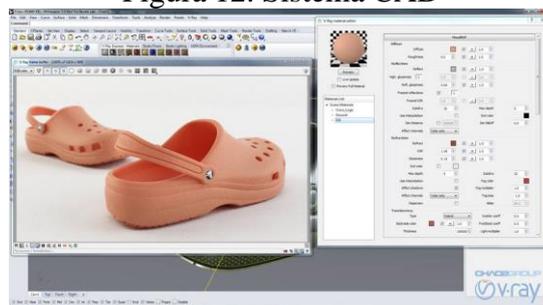
El factor tiempo también repercute de forma prioritaria en el desarrollo de prototipos. La competencia es cada día mayor y el tiempo de lanzamiento del producto es primordial a la hora de conseguir mayores beneficios.

Uno de los éxitos educacionales consistirá en preparar a estos estudiantes en el entorno industrial que le espera donde los sistemas integrados CAE están convirtiéndose en estándares. El futuro se muestra ambicioso tecnológicamente hablando, por la introducción de las células de fabricación flexible y el gran avance de los computadores y de los Robots. Todo ello lleva a pensar que en un futuro próximo la “Fabricación Automática” será una realidad. (LEAO, 2015)

2.5.1 Definición sistema CAD. El diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en inglés Computer – Aided - Design) comprende el uso de computadoras para crear planos de diseño y modelos de productos.

Por lo común, el diseño asistido por computadora se asocia con gráficos interactivos por computadora, conocidos como sistema CAD. Los sistemas de diseño asistido por computadora son herramientas poderosas y se utilizan en el diseño y modelado geométrico de componentes y productos. (KALPAKJIAN, y otros, 2006)

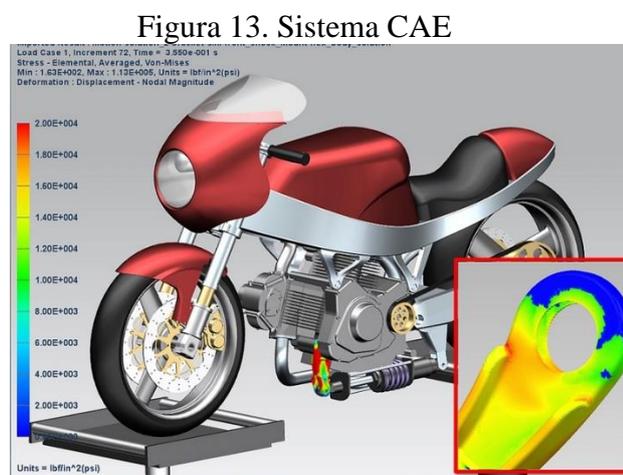
Figura 12. Sistema CAD



Fuente:<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=1615690345332380&set=a.1394760924091991.1073741832.100006742892914&type=1&theater.jpg>

2.5.2 Definición sistema CAE. La ingeniería asistida por computadora (CAE, por sus siglas en inglés Computer – Aided - Engineering) permite que diversas aplicaciones compartan la información en la base de datos.

Estas aplicaciones incluyen (a) el análisis de elementos finitos de esfuerzos, deformaciones, deflexiones y distribución de temperatura en estructuras y miembros de soporte de carga; (b) la generación, el almacenaje y la recuperación de datos de NC, y (c) el diseño de circuitos integrados y de diversos dispositivos electrónicos. (KALPAKJIAN, y otros, 2006)



Fuente: <http://www.dpncanada.com/industry-news/siemens-plm-software-unveils-nx-85-cad/cam/cae-release.jpg>

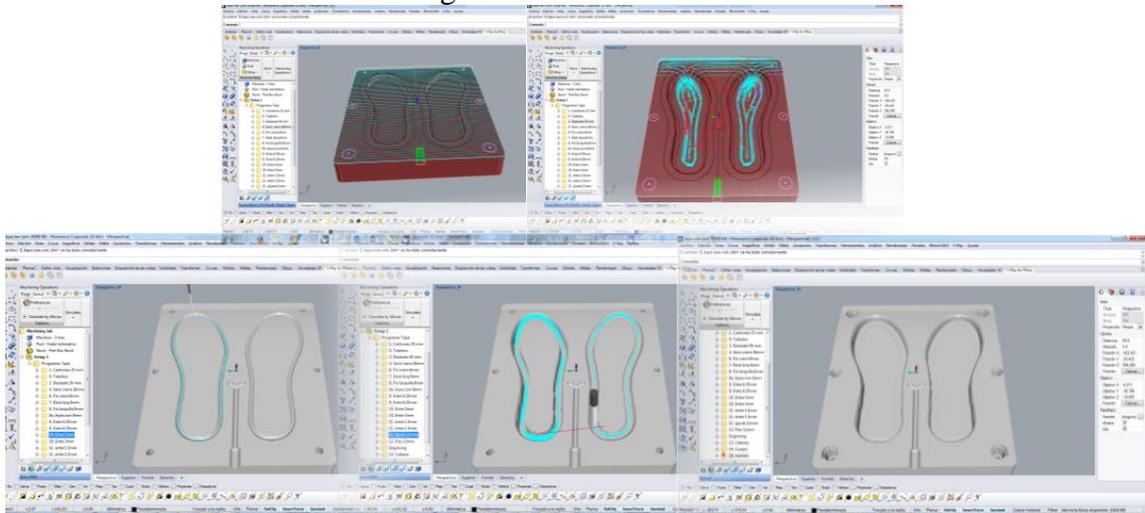
2.5.3 Definición sistema CAM. La manufactura asistida por computadora (CAM, por sus siglas en inglés Computer – Aided - Manufacturing) comprende el uso de computadoras para auxiliar en todas las fases de manufactura de un producto. Incluye muchas de las tecnologías descritas.

Debido a los beneficios conjuntos, a menudo el diseño asistido por computadora y la manufactura asistida por computadora se combinan en sistemas CAD/CAM. (KALPAKJIAN, y otros, 2006).

Un rasgo importante de CAD/CAM en las operaciones de maquinado es su capacidad para describir la trayectoria de las herramientas. Las instrucciones (programas) se generan en la computadora y el programador la puede modificar para optimizar la trayectoria de las herramientas.

El ingeniero o técnico puede desplegar y verificar en forma visual la trayectoria de las herramientas en caso de posibles colisiones con las prensa de sujeción, soportes fijos u otras interferencias. (KALPAKJIAN, y otros, 2006).

Figura 14. Sistema CAM



Fuente: <http://www.idcc3d.com/servicios/programacion-nc/.jpg>

CAPÍTULO III

3. MODELADO Y VALIDACIÓN DE LA SUELA

Para el modelado se utiliza la herramienta CAD y la herramienta CAE para el validado de la misma, procedimientos que se detallan en los apartados posteriores y que además contemplan parámetros que son usadas para el diseño de los moldes.

3.1 Generalidades

La tesis no se enfoca en el diseño de la suela sino en el molde para su fabricación por ello no ahondaremos en temas dirigidos a ventajas y características que pueden brindar la suela, Sin embargo se considera una suela que permiten analizar todas las variables que se deben cumplir en el proceso de modelado y validación de una suela como parámetros de partida para el diseño del molde.

3.1.1 Descripción de la suela. Para el modelado en CAD. Luego del proceso de investigación y de acuerdo al estudio e interés de personalización de suela de la empresa productora del calzado femenino CAVE, requiere plantearse fabricar sus propias suelas para ello se facilita su bosquejo.

Es así que de acuerdo a esta empresa se recogen los requerimientos del tipo de suela como su estética y talla 37 para su posterior modelado fig. 15 a) como propuesta experimental en este trabajo, el mismo que permitirá además dejar precedente de conocimiento de manufactura en la EIM de la ESPOCH. La denominamos fabya por poseer una configuración similar a la suela tipo fabia existente en el mercado fig. 15 b).

Figura 15. Suela a) Fabya, b) Fabia



Fuente: Autor

3.1.2 *Material de la suela.* Además de ser una suela con geometrías especiales, el material de poliuretano de nuestra suela en el Ecuador aun es baja, este tipo de material está en auge por la versatilidad en las características que posee, en cuanto al uso y aplicación, esto hace que debido a que se importa la mayor cantidad de suelas en poliuretano, su costo es elevado. por ello la suela seleccionada está compuesta del poliuretano que posee las siguientes propiedades de acuerdo a catálogo de BASF para la elaboración de suelas.

Tabla 4. Propiedades del poliuretano

Propiedades físicas y químicas

Estado físico:	líquido	
Olor:	similar a amina	
Umbral de olor:		no aplicable
Color:	claro a turbio	
Valor pH:	>= 7.0	
Punto de fusión:	< -10.00 °C	
Punto de ebullición:	> 190.00 °C	(< 5.000000 mmHg)
Punto de sublimación:		No hay información aplicable disponible.
Punto de inflamación:	> 100.00 °C	(copa cerrada)
Flamabilidad:	no inflamable	
Límite inferior de explosividad:		Para líquidos no relevante para la clasificación y el etiquetado El punto de explosión inferior puede estar 5 - 15 °C por debajo del punto de inflamación.
Límite superior de explosividad:		Para líquidos no relevante para la clasificación y el etiquetado
Autoinflamación:	> 350.00 °C	
Presión de vapor:	< 0.1 hPa	(25 °C)
Densidad:	8.7600 lb/USg	(25.00 °C)
densidad relativa:		No hay información aplicable disponible.
Densidad de vapor:		no aplicable
Coefficiente de reparto n-octanol/agua (log Pow):		sin especificar
Temperatura de autoignición:		sin especificar
Descomposición térmica:	Ninguna descomposición, si se almacena y aplica como se indica/está prescrito.	
Viscosidad, dinámica:	100.000 mPa.s	(25.00 °C)
Viscosidad, cinemático:		No hay información aplicable disponible.

Fuente: Catalogo BASF ELASTOPAN®41580A MIDSOLE ADDITIVE

3.1.3 *Afectación al medioambiente por suela de poliuretano.* El poliuretano tarda 200 años en degradarse a diferencia de otros materiales como el caucho y otros compuestos como EVA, PVC, etc.

Hoy en día existen estudios como Complete Recovery of Flexible Polyurethane Wastes by Two-Phase Glycolysis , presentada por los profesores de la Universidad de Castilla – La Mancha Juan Francisco Rodríguez, Antonio de Lucas, Ana María Borreguero y Diego Simón que habla de reciclar poliuretano recuperando los polioles, los cuales constituyen una buena materia prima para la industria. (Tripence.com, 2012).

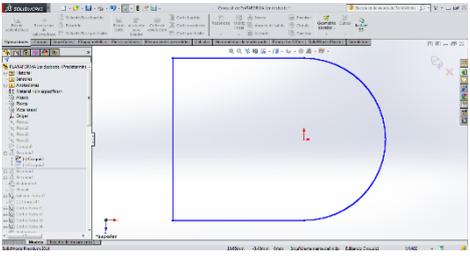
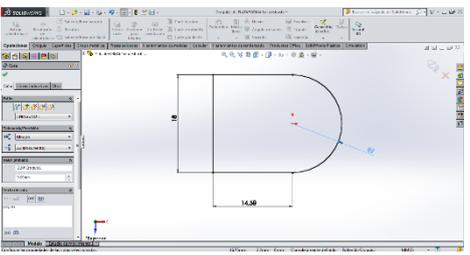
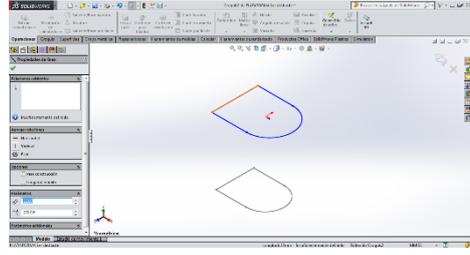
Por otra parte en nuestro país existe una solicitud de acceso denominada: “PRUEBAS DE DEGRADACIÓN DE POLIESTER POLIURETANO CON EL HONGO *Pestalotiopsis microspora* cepa endófito ecuatoriana E2712A”, solicitada por el Dr. Scott Strobell de la Universidad de Yale de los Estados Unidos de América a través de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador mediante Resolución 003 publicada en el Registro Oficial 186 del 18 de febrero de 2014. (Ambiente, 2014). , este hongo degrada el poliuretano usándolo como alimento.

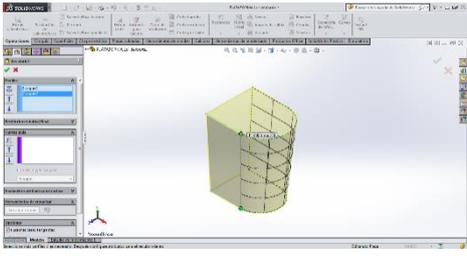
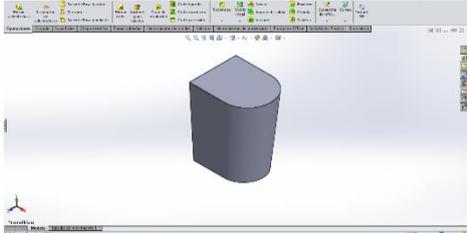
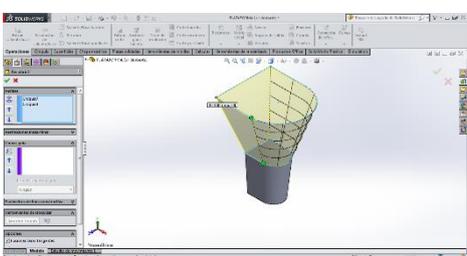
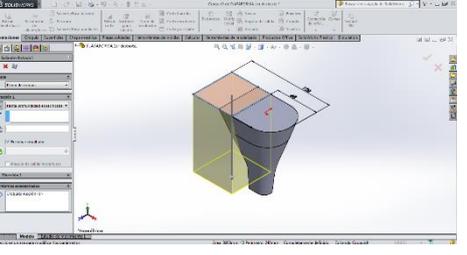
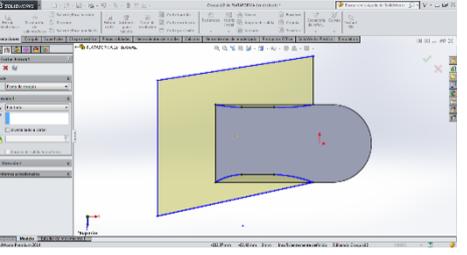
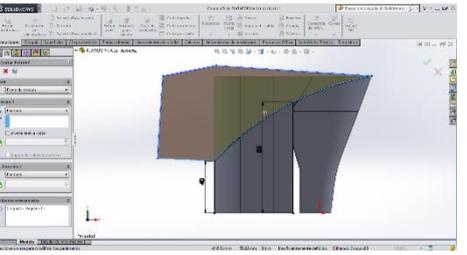
3.2 Modelado de la suela con uso de software CAD

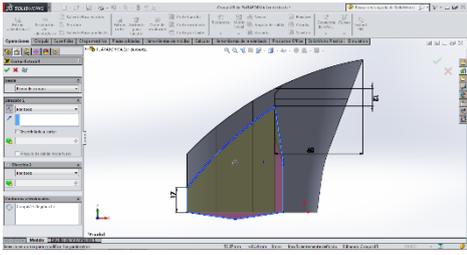
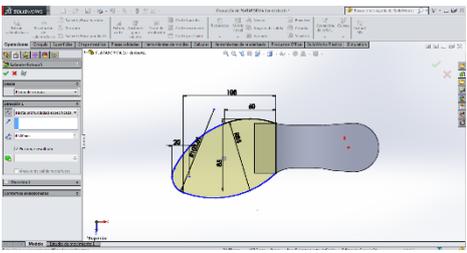
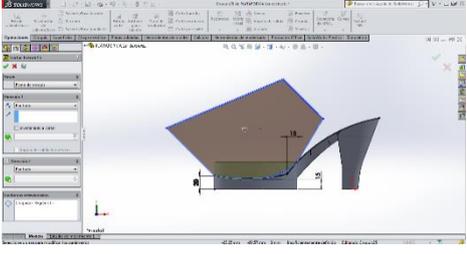
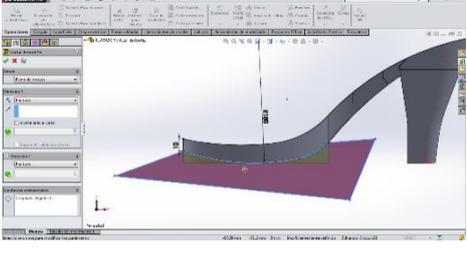
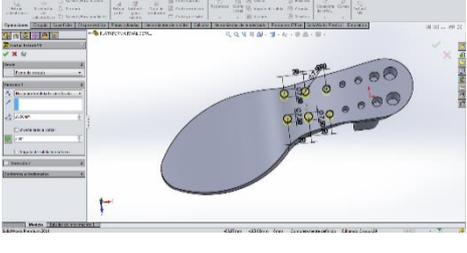
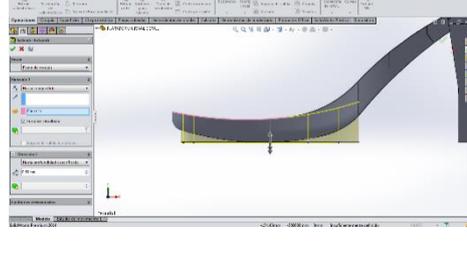
El CAD es la herramienta primaria usada para realizar el modelado de la suela. La conveniencia del uso de software y estrategias de modelado que se puedan desarrollar dependen de la destreza del diseñador y de acuerdo con los requerimientos necesarios para obtener el modelado de la suela.

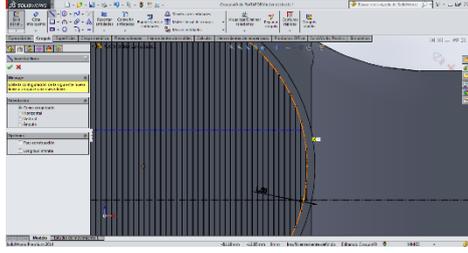
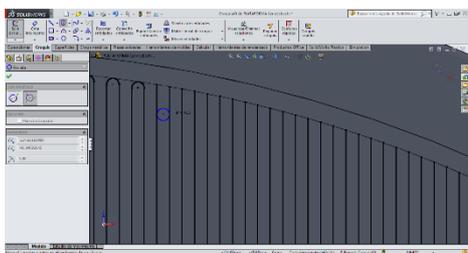
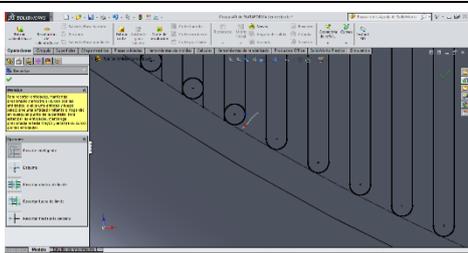
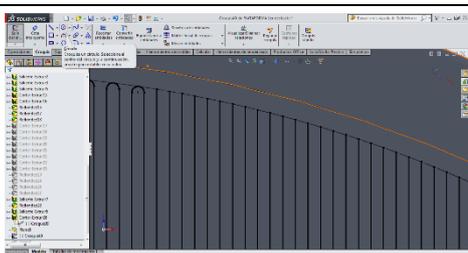
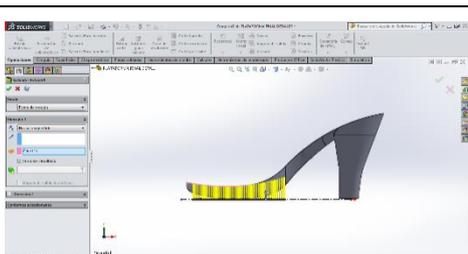
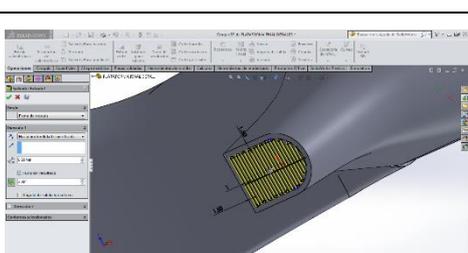
3.2.1 Desarrollo en software CAD de suela de poliuretano fabya

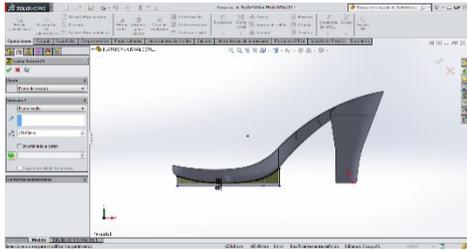
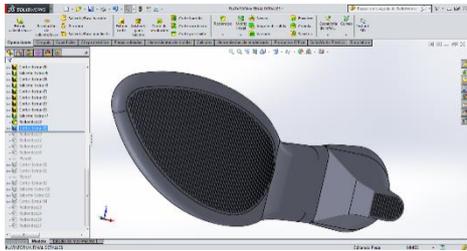
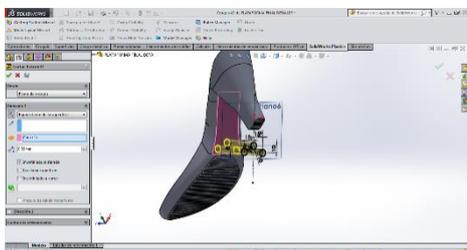
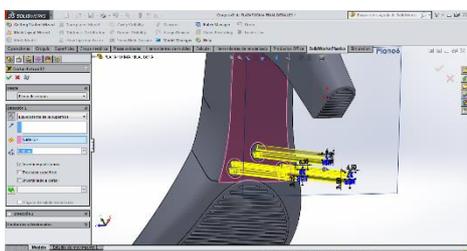
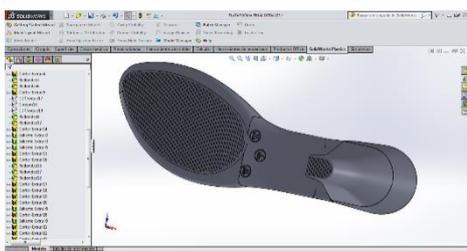
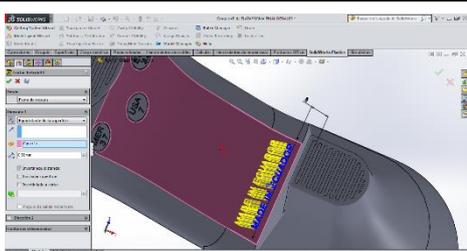
Tabla 5. Modelado de suela mediante CAD

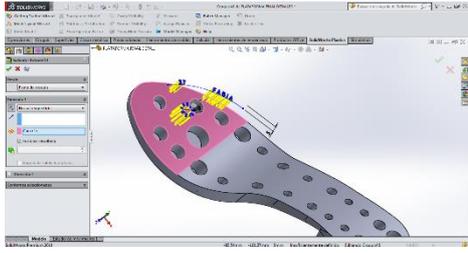
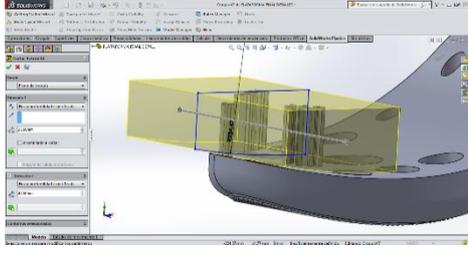
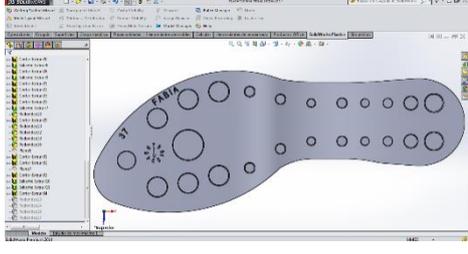
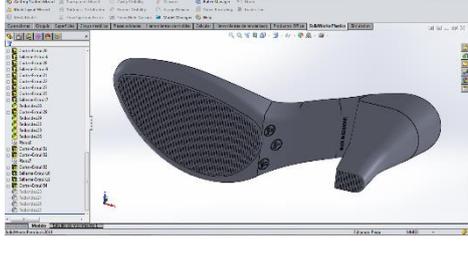
	<p>Se abre un ambiente de trabajo 3D y se realiza un croquis aproximado, se decide empezar desde la base del taco (talón) de la suela.</p>
	<p>Se procede a acotar de acuerdo a las medidas correctas de diseño.</p>
	<p>Se genera un plano paralelo al primer croquis y se realiza un nuevo croquis.</p>

	<p>Se utiliza la operación recubrir que va desde el primer croquis al segundo croquis, se tiene en cuenta que la selección se la debe realizar cuidadosamente, pues se deben seleccionar dos puntos que sean semejantes a los dos croquis.</p>
	<p>Se obtiene ya la base del taco como se muestra en la figura.</p>
	<p>A partir de la parte superior de la base, se genera una nueva operación de recubrir, para ello se realizó un nuevo plano paralelo a la cara superior de la base del taco, sobre esta se realiza el coquizado, y se selecciona los dos croquis teniendo en cuenta los parámetros mencionados anteriormente.</p>
	<p>Se realiza una extrusión, que permitirá tener una base para luego recortarla de acuerdo a la geometría deseada.</p>
	<p>Se corta el sólido creado, para ello se crea un croquis sobre la cara superior del bloque creado como se muestra.</p>
	<p>Se ubica en una vista lateral, para poder realizar la configuración del croquis, para luego poder recortar parte del sólido así tenemos como se muestra en la figura.</p>

	<p>Se continúa creando croquis para poder moldear la suela, para este caso el croquis creado se realiza sobre el plano lateral de la pieza.</p>
	<p>En una vista superior se crea un croquis que nos permitirá crear la parte delantera de la suela, como se ve. Este sólido también servirá de base para luego ir recortando hasta conseguir la configuración buscada.</p>
	<p>Sobre la vista lateral del sólido, como en los casos anteriores se genera un croquis, que permiten recortar el sólido así se tiene para la parte superior.</p>
	<p>En la misma vista lateral se realiza una operación similar a la anterior procurando siempre alcanzar la geometría deseada, por medio de un croquis que contemple estos parámetros. Es así que se observa en la figura el corte para la parte inferior de la parte frontal de la suela.</p>
	<p>Se realizan los agujeros que posee la suela, por medio de la operación recortar, cabe mencionar los agujeros tienen un ángulo de salida, misma que se le añade para practicar las perforaciones en el sólido.</p>
	<p>Como en el caso anterior se termina con las perforaciones, también en la parte frontal de la suela, además extruimos en el sentido que se muestra un sólido de 0.5mm como se muestra en la figura.</p>

	<p>Sobre el sólido extruido anteriormente, se genera las geometrías que se observan por medio de un offset al borde del solido principal.</p>
	<p>Luego se procede a ubicar circunferencias en las terminales de los canales.</p>
	<p>Se procede a recortar los círculos formando hileras perfectamente equidistanciadas.</p>
	<p>Se realiza un procedimiento similar al otro costado del croquis.</p>
	<p>Se procede a extruir las geometrías formadas como se ve en la figura.</p>
	<p>De la misma manera y en un plano colineal con el anterior croquis, también se extruye la misma configuración en la parte inferior del taco de la suela.</p>

	<p>Finalmente se recorta el material sobrante de las extracciones dejando 0.65mm.</p>
	<p>Luego de finalizados los cortes se tienen la siguiente configuración.</p>
	<p>Se crea un plano paralelo a la superficie, que se muestra, que servirá para elaborar el croquis de círculos dentro de los cuales ira el grabado de las tallas que tendrá la suela. Luego de ello se realiza el corte de los mismos.</p>
	<p>Se repite el mismo procedimiento anterior, generando en primer lugar un plano que permitirá croquizar los números correspondientes a las tallas de la suela, para luego por medio de la operación cortar extruir practicar el grabado de los mismos sobre el sólido.</p>
	<p>Se gira en el espacio la suela a fin de apreciar los detalles como se puede notar.</p>
	<p>También se realiza las mismas operaciones descritas anteriormente, para grabar el detalle del lugar de fabricación en este caso, MADE IN ECUADOR.</p>

	<p>En la parte superior de la suela por medio de la operación extruir, se practica los detalles restantes, como se menciona se realiza esto para formar un alto relieve de los mismos.</p>
	<p>Luego para dejarlo al nivel de la silueta y que cumpla niveles de simetría y estéticos se realiza un corte por medio de un croquis que contienen dicha silueta como se muestra en la figura.</p>
	<p>Se ubica en una vista superior para poder apreciar los detalles, a los cuales se les practica redondeos para eliminar las aristas vivas.</p>
	<p>Finalmente se realiza redondeos correspondientes al diseño de la suela con el cual se obtiene el modelado.</p>

Fuente: Autor

3.3 Validación de suela fabya

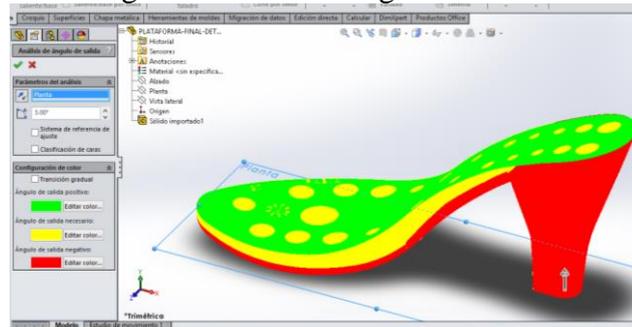
El objetivo de la validación es garantizar que cumpla parámetros primarios que se requiere para el diseño de moldes; me ayuda a asegurar que la suela pueda moldearse y su posterior desmoldeo sea óptimo, dando direccionamientos de cómo realizar el diseño del molde.

3.3.1 Simulación de cálculo de ángulos de salida permisible. El primer paso para la validación de la suela es determinar y juzgar el ángulo apropiado de inclinación, que otorga una ligera conicidad a las caras del modelo, que facilita la expulsión de la pieza cuando se quiere moldear, e incluso dificultad en el mecanizado de esta, este ángulo varía

generalmente entre 1° a 3° (GASTROW, 1998) y en función de las dimensiones de la pieza limitándose por la estética y funcionalidad para nuestro caso por tratarse de una pieza de producción en serie es recomendable ángulos de desmoldeo de 1° para las caras.

Cabe recalcar que en las paredes internas se usan mayores ángulos que en las caras externas.

Figura 16. Análisis ángulo de salida



Fuente: Autor

3.3.2 Dimensionado de la suela. Cuando el poliuretano que se vierte se enfría durante el proceso de moldeo, se endurece y se contrae. Antes de crear el molde, la suela se dimensiona ligeramente más grande para compensar la contracción plástica.

Para justificar el factor de contracción, escalamos el modelo antes de crear el núcleo y la cavidad. Este factor de contracción es un valor conocido que se basa en el tipo de plástico y las condiciones del molde, que para el poliuretano es del 1% de acuerdo a la tabla 3, mediante software CAD escalamos por medio de la herramienta Escala con respecto a su centro de gravedad.

Figura 17. Dimensionado de la suela



Fuente: El Autor

3.3.3 Simulación de línea de partición adecuada para el mecanizado. Es una línea denominada así porque es aquella que se forma cuando se unen la cavidad y el núcleo que son partes del molde, por medio de esta se establece la dirección de expulsión, al mismo tiempo que se forman superficies de partición y que permiten predefinir la forma que tendrá el molde que para nuestro caso estarán formadas de dos partes núcleo y cavidad.

De acuerdo al análisis de ángulos de salida como se puede observar en la figura 16, se seleccionan las aristas del análisis de inclinación caras positivas y negativas, en otras palabras el sitio donde sucede el cambio de color se debe generar las líneas de separación.

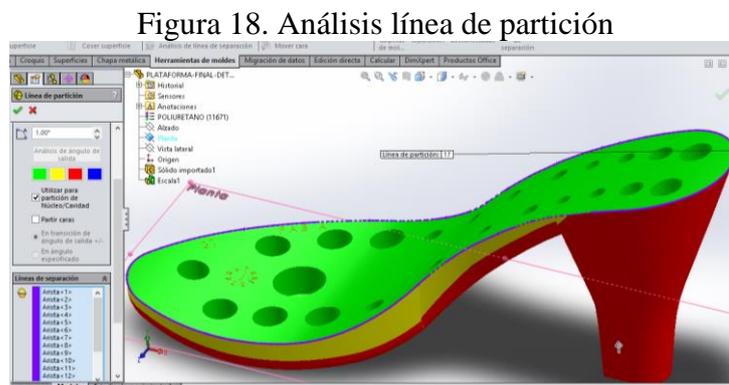
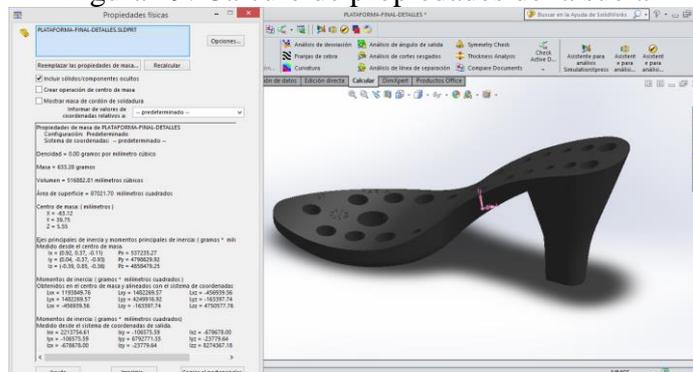


Figura 18. Análisis línea de partición

Fuente: El Autor

3.3.4 Simulación de propiedades y variables de la suela. Con la ayuda del software CAD se calcula los valores específicos de las variables de la suela para ello asignamos el material a la suela en este caso el poliuretano y obtener resultados en la tabla que se muestra.

Figura 19. Calculo de propiedades de la suela



Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO, SELECCIÓN, MODELADO Y VALIDACIÓN DEL MOLDE

El desempeño del molde es función directa de un adecuado uso y selección de criterios del diseñador, lo que significa que la combinación de variables técnicas, sumadas a la experiencia calificada usadas por el diseñador, también se pueden usar a causa de falta de datos o criterios indispensables para su avance.

4.1 Generalidades

El diseño como su definición es fundamental debido a que deben permitir cumplir con especificaciones en el desarrollo del molde, entre las cuales se encuentran: la posición del molde, la configuración del molde, el tipo y tamaño del molde, el proceso de fabricación de la suela, el tipo de metal, el espesor del metal y la técnica de manufactura del molde.

Se define como una condición de diseño, la disponibilidad en el medio de máquinas de centros de CNC, En el Ecuador es generalizado el uso de máquinas con controlador Fanuc, el cual cuando es cambiada afecta la habilidad del personal de manufactura a mecanizar, para manejar u operar una maquina automáticamente, y para realizarlos en el menor tiempo.

4.1.1 *La matriz QFD (Quality Funtion Deployment) para el molde.* La matriz QFD permite conseguir un diseño dirigido, que traduce y contrasta los requerimientos del cliente en requisitos técnicos apropiados en la etapa del diseño.

Por lo tanto para elaborar de la matriz QFD es necesario, conocer la voz del usuario, que es quien describe las demandas (requerimientos y deseos) de los usuarios, estos criterios son evaluados, como la voz del ingeniero que traduce y describe los requerimientos técnicos que deberán articularse para satisfacer las necesidades de los usuarios. (RIBA, 2002.)

4.1.1.1 *Voz del usuario (VOC) para el molde.* .Calzados CAVE auspiciante y

beneficiario de esta propuesta requiere se cuente con las siguientes características:

- Proceso de moldeo rápido.
- Molde simple.
- Moldes baratos.
- Moldeo fácil.
- Consume poca energía eléctrica.
- Alta productividad.
- Fácil manipulación.
- Fácil ensamblaje.

4.1.1.2 *Voz del ingeniero para el molde.* Luego de verificar la VOC se procede a traducir y convertir dichos requerimientos, de manera técnica obteniéndose las siguientes características.

- Bajo tiempo de ensamblaje.
- Bajo tiempo de operación.
- Bajo tiempo de moldeo.
- Producción con bajo consumo de energía.
- Base para diversidad de ensambles.
- Permita bajo tiempo de limpieza.
- Dimensión.
- Confiabilidad.
- Periodo de mantenimiento.
- Materiales

4.1.1.3 *Resultados de la matriz QFD para el molde.* En base al procedimiento expuesto en el libro denominado diseño concurrente elaborado por Carles Riba, se obtiene los resultados se indican más adelante.

Con el fin de evaluar y adecuar el método descrito por Carles Riba, en la columna A se considera el desempeño actual del producto en la empresa, pero como esta empresa aun no fabrica sus propias suelas se asignara una calificación de 1 en todos los parámetros.

En columnas como B y C se evalúa los moldes utilizados, para procesos de fabricación de suelas de poliuretano en otras empresas no productoras de calzado sino productoras de suelas. (Ver tabla 6).

Índice de mejora: Calculada de acuerdo a la fórmula.

$$\text{Índice de mejora} = \frac{\text{Objetivos}}{\text{Propia empresa}} \quad (1)$$

Ponderación: Se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Ponderacion} = \text{Índice de mejora} * \text{factor de venta} * \text{Importancia} \quad (2)$$

4.1.1.4 Conclusiones de la matriz QFD del molde. De acuerdo al resultado obtenido en la matriz QFD del molde, se destacan los siguientes requerimientos:

- Fácil ensamblaje.
- Fácil operación.
- Tiempo de moldeo suministro de energía.
- Diversidad de ensamblaje.
- Fácil limpieza.
- Confiabilidad.
- Materiales.

Donde el requerimiento técnico adaptado más importante se asemeja al moldeo por transferencia el cual consiste en un moldeo en frío donde el polímero fundido, es colado dentro del molde por medio de un dispensador de poliuretano a temperaturas superiores a 50 °C. Dichos molde no contienen canales refrigeración, Sin embargo su similitud con inyectoras radica en que el dispensador vierte el polímero sobre el molde y no se lo inyecta a elevadas presiones como se ve en la figura 30.

Los canales de calefacción elevan el costo de producción siendo los moldes de compresión aquellos que se relacionan con este sistema, generalmente se funde el poliuretano y tarda mayor tiempo para la producción de suela así como el uso de elevadas presiones para este método.

Suministro de energía		P	R	Calzados CAVE cuenta con tomas de 120 V de AC
Diversidad de ensambles		C	D	Es necesario que los diferentes moldes incluso de acuerdo al tamaño y modelos cumplan con facilidad en su ensamblaje sobre una portamolde.
Dimensión		D	R	Ancho de molde de 160 mm(promedio)
Confiabilidad		D	R	El proceso varía de acuerdo al compuesto del poliuretano con una confiabilidad del 90%.
Periodos de mantenimiento		C	R	El tiempo de mantenimiento es de 2 veces al año.
Materiales		D	R	Aluminio
Propone: M=Márquetin, C=Cliente, D=Diseño, P=Producción, F=Fabricación. R/D: R=Requerimiento: D=Deseo, MR=Modificación de Requerimiento. (TIRIRA, et al., 2014)				

Fuente: El Autor

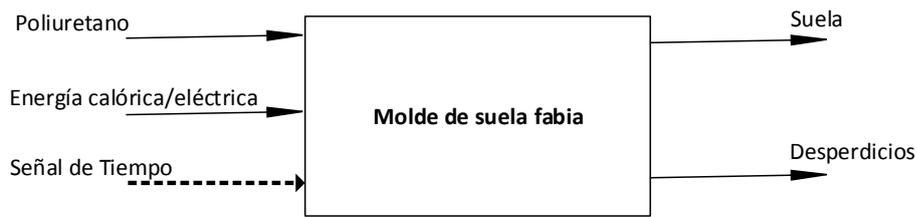
4.2 Análisis funcional del molde

La función que cumple el molde es, contener al poliuretano mientras este se cura, permitiendo obtener la suela, luego de que el polímero fundido se haya solidificado.

En nuestro caso es necesario realizar el diagrama funcional de primer nivel, el nivel 2 para el diseño molde, se considerara también como parte del nivel 1 para el desarrollo del portamolde. (Ver figura 20).

Para el análisis funcional, el primer nivel contempla señales como son el material de suela el cual es poliuretano, existe una temperatura de 50° C al momento de verter el polímero dentro del molde el mismo que se abre y se cierra por un sistema neumático consumiendo energía eléctrica y finalmente la señal de control que dependerá del tiempo necesario para obtener la suela.

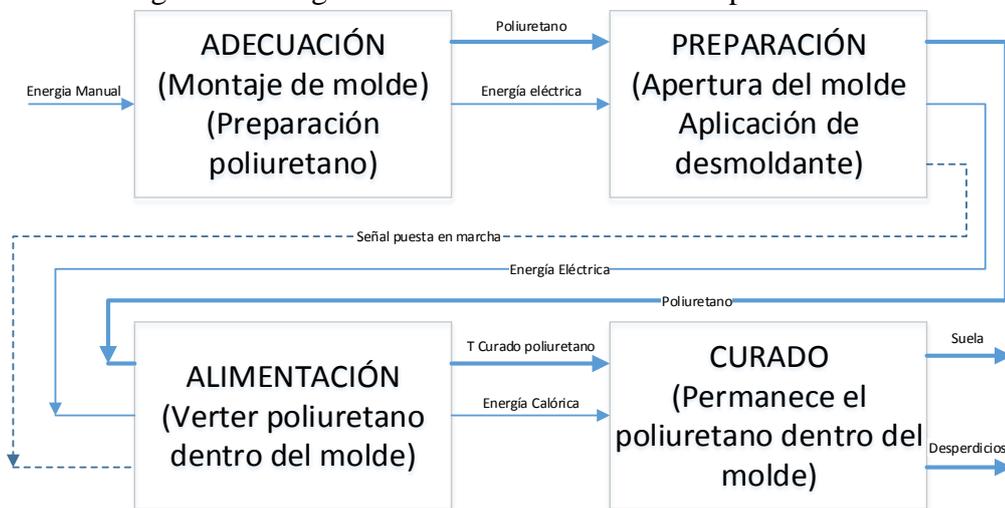
Figura 20. Función primaria del molde



Fuente: El Autor

Se presenta el diagrama de las funciones que tendrá que cumplir el molde afín de cumplir con el objetivo de elaboración de la suela.

Figura 21. Diagrama de funciones secundarias para el molde



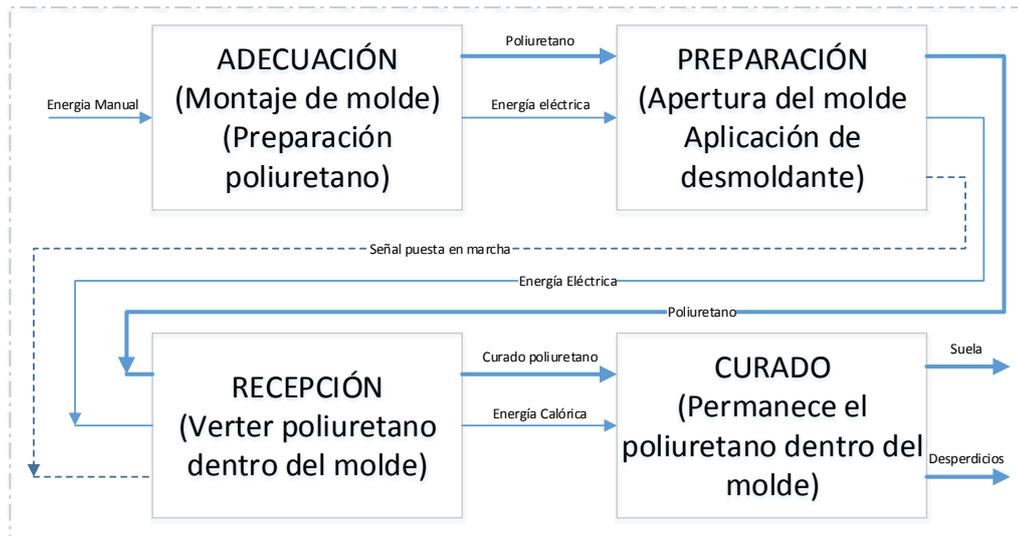
Fuente: El Autor

4.2.1 Definición de módulos. La definición de módulos permite dividir el producto (molde) en diferentes bloques funcionales. Esta asignación de módulos permite, que en el diseño se considere la facilidad de mantenimiento, contribuyendo a la reducción de costos y se facilitará la producción. (Ver figura 22).

En el diseño del molde las funciones desde la adecuación al curado permiten que el moldeado se de en un solo módulo.

4.2.2 Alternativas de solución para el módulo molde. El molde cumplirá con las siguientes acciones: adecuación, preparación, recepción, curado.

Figura 22. Estructura modular del molde



Fuente: Autor

A continuación plantea posibles soluciones para luego encontrar la mejor alternativa mediante la evaluación de la función del módulo.

4.2.2.1 Adecuación (molde). Ensamblar el molde en el sitio sobre portamolde. Para esta función el operador puede cambiar y ensamblar el respectivo molde, dependiendo de su necesidad de producción.

- Ventajas. Fácil desmontaje del molde en el portamolde permitiendo cambiar de manera rápida a otro de diferente diseño.
- Desventajas. Demora en regular el centrado.

4.2.2.2 Preparación (molde). Preparar superficie de molde para proceso de fabricación. Esto consiste en rociar desmoldante para poliuretano en las paredes del molde, procurando un fácil desmoldeo de la suela.

Rociado Automático.- Un rociado automático implica elevados costos de construcción del sistema de rociado, que ofrezca ventajas de confianza en su operación, además de que elevaría el costo producción, además de ser una operación sencilla y no requerida por el auspiciante.

Rociado Manual.- El rociado del desmoldante va acompañado de la limpieza que realiza el operador previo al moldeo de la suela misma que el operador puede garantizar su limpieza y aplicación de desmoldante.

4.2.2.3 *Recepción (molde)*. El molde recibe en la cavidad, el poliuretano. En este caso la función es contener el volumen de la suela a elaborarse, en la que el material no debe rebosar del mismo, sin embargo este tipo de elaboración de suela genera rebabas que son retiradas en otra operación denominada rebabado.

4.2.2.4 *Curado*. El molde cumple con la función del curado, que es la operación en la cual se produce el proceso de polimerización completa, entrelazando las moléculas por el calor y la presión durante el proceso.

Es preciso señalar que el material de poliuretano que proviene de las fabricas son el producto de un proceso de polimerización parcial es por ello que siendo el poliuretano un polímero termofijo se puede volver a usar por así decirlo, luego del curado al someterlos al calor estos ya no se pueden volver a reusar, sino que se degradan. Para el curado podemos dividirlo en dos grupos:

El primero.- se basa en un moldeo y polimerización "in situ" en sistema de tren de moldes o carrusel, con inyección dosificada de reactivos y catalizadores a temperatura en frío (50⁰C) o con aporte de calor en hornos (200⁰C) fig. 7.

Ventajas.

- Moldes simple sin refrigeración.
- Fáciles de fabricar.
- Fáciles de ensamblar.
- Moldes simples.

Desventajas.

- Para obtener características superiores algunos compuestos de PU necesitan recalentamientos

El segundo.-Inyección o compresión en máquinas convencionales con una colada de inyección y extrusión (130°C) fig. 5 y 6.

Ventajas.

- Bajo tiempo de curado

Desventajas

- Moldes con canales de refrigeración según el caso.
- Moldes más complejos.
- Canales de inyección.
- Mayor desperdicio de material.

4.2.3 Alternativas del módulo molde. Para obtener las mejores opciones de este módulo, de acuerdo a su compatibilidad, se combinan entre si las soluciones para cada función.

En base a la combinación se obtienen dos alternativas de solución que se pueden observar en la siguiente tabla 8.

Tabla 8. Combinación de soluciones para el modulo molde

Función	Componente	
Adecuación	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Ensamble y ubicación manual</div>	
Preparación	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Permite Rociado manual</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Permite rociado automático</div>
Recepción	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Cavidad receptora</div>	
Curado	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Curado en frío</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Curado inyección compresión</div>
Soluciones	Alternativa 1	Alternativa 2

Fuente: Autor

La primera alternativa trata de un molde más sencillo en cuanto a sus componentes que contiene, ya que estaría constituida de un núcleo y una cavidad que irían montados sobre un portamolde, que permite sujetarlos de manera que pueda abrirse y cerrarse permitiendo que se pueda verter el poliuretano dentro de la misma fig. 7.

En la alternativa dos se refiere a un molde con mayor cantidad de componentes en la que se necesita mecanizar canales para la inyección, calefacción y refrigeración además de la necesidad de contar con una maquina inyectora adecuada para soportar altas presiones, encareciendo el proceso fig. 5.

4.2.4 *Evaluación de soluciones del molde.* Para tomar decisiones correctas en el proceso de diseño es imperante evaluar las alternativas sin concentrarse en un solo aspecto sino en todo lo relacionado al diseño para ello presentamos los siguientes elementos.

- Alternativas.- Debe existir un mínimo de dos alternativas que posean características diferentes.
- Criterios.- Se deben establecer criterios sobre las cuales las alternativas serán evaluadas.

4.2.4.1 *Método ordinal corregido de criterios ponderados.* Al conocer el orden de preferencia de evaluación logramos predecir la solución entre diversas alternativas. Por esta razón se recomienda el método ordinal corregido de criterios ponderados, donde sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados. (TIRIRA, et al., 2014).

En este método cada criterio se confronta con los restantes mediante tablas y se desarrolla de la siguiente manera:

- Se asigna 1, si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor;>) que el de las columnas.

- Se asigna 0.5, si el criterio (o solución de las filas es equivalente (=) al de las columnas.
- Se asigna 0, si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor;<) que el de las columnas. (TIRIRA, et al., 2014).

4.2.4.2 Criterios de valoración del módulo. Con el fin de determinar que el módulo resulte más conveniente, se emplea el método ordinal corregido de criterios ponderados.

A continuación se listan los criterios de valoración más determinantes:

- Producción docenas/mes. Se considera este criterio en base a la cantidad producida por calzados CAVE y satisfacer sus necesidades.
- Confiabilidad. Su importancia radica en garantizar el tiempo de vida de los elementos, y la seguridad del equipo.
- Tiempo de moldeo. Es el tiempo que tarda la suela en alcanzar a polimerizarse mediante el curado.
- Fácil ensamblaje. La producción varía en cuanto a modelos por lo que requiere cambiar los moldes y que dicha operación no tarde demasiado.
- Fácil operación. Aumentar el desempeño del operador con procesos de elaboración simples.
- Fácil limpieza. El molde debe permitir limpiar y aplicar desmoldante.
- Dimensiones. Si bien existe diversidad de modelos también varían los tamaños por lo que se debe procurar que todos los moldes posean características dimensionales similares para su ensamble en el portamolde.

Tabla 9. Evaluación de cada criterio en el molde

Fácil operación = Confiabilidad > Producción = Tiempo de moldeo > Fácil limpieza = Fácil ensamblaje > Dimensiones

Criterio	Fácil operación	Confiabilidad	Producción Docena/mes	Tiempo de moldeo	Fácil limpieza	Fácil ensamblaje	Dimensiones	$\Sigma+1$	Ponderación
Fácil operación		0,5	1	0,5	1	1	1	6	0,2
Confiabilidad	0,5		1	0,5	0,5	1	1	5,5	0,1833
Producción docenas/mes	0,5	0,5		1	1	1	1	6	0,2
Tiempo de moldeo	0,5	0	0,5		1	1	1	5	0,1667
Fácil limpieza	0	0	0	0,5		0,5	0,5	2,5	0,0833
Fácil ensamblaje	0	0	0	0,5	0,5		0,5	2,5	0,0833
Dimensiones	0	0	0	0,5	0,5	0,5		2,5	0,0833
							Suma	30	1

Fuente: Autor

A continuación se evalúa cada una de las alternativas de solución con respecto a los criterios y características técnicas más preponderantes obtenidos de la casa de la calidad o matriz QFD que se desarrolló en base a los deseos y requerimiento del auspiciante calzados CAVE.

Tabla 10. Evaluación de soluciones respecto a la fácil operación de moldeo

Solución 1 > Solución 2				
Fácil operación	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0,667
Solución 2	0		1	0,333
		Suma	3	1

Fuente: Autor

Tabla 11. Evaluación de soluciones respecto a la confiabilidad del molde

Solución 1 = Solución 2

confiabilidad	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	1,5	0,5
Solución 2	0,5		1,5	0,5
Suma			3	1

Fuente: Autor

Tabla 12. Evaluación de soluciones respecto a la producción de la suela

Solución 2 = Solución 1				
producción	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	1,5	0,5
Solución 2	0,5		1,5	0,5
Suma			3	1

Fuente: Autor

Tabla 13. Evaluación de soluciones respecto al tiempo de moldeo

Solución 2 > Solución 1				
T. de moldeo	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	1	0,333
Solución 2	1		2	0,667
Suma			3	1

Fuente: Autor

Tabla 14. Evaluación de soluciones respecto al tiempo de la fácil limpieza del molde

Solución 1 > Solución 2				
F. Limpieza	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0,667
Solución 2	0		1	0,333
Suma			3	1

Fuente: Autor

Tabla 15. Evaluación de las soluciones respecto al tiempo de un fácil ensamblaje

Solución 1 > Solución 2				
F. Ensamblaje	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0,667
Solución 2	0		1	0,333
Suma			3	1

Fuente: Autor

Tabla 16. Evaluación de las soluciones respecto a las dimensiones del molde

Solución 1 = Solución 2				
Dim. molde	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	1,5	0,5
Solución 2	0,5		1,5	0,5
Suma			3	1

Fuente: Autor

Tabla 17. Conclusiones respecto al módulo molde

Conclusión	Fácil operación	Confiable	Producción Docena/mes	Tiempo de molde	Fácil limpieza	Fácil ensamble	Dimensiones	$\Sigma+1$	Prioridad
Solución 1	0,2x0,67	0,18x0,5	0,2x0,5	0,16x0,33	0,083x0,67	0,083x0,67	0,083x0,5	0,533	1
Solución 2	0,2x0,33	0,18x0,5	0,2x0,5	0,16x0,67	0,083x0,33	0,083x0,33	0,083x0,5	0,465	2

Fuente: Autor

La solución que más se ajusta con 0.533 a los criterios de evaluación pertenece a la alternativa 1 que consiste en un molde en frío.

4.3 Desarrollo de variables funcionales para el diseño del molde de suela

Se determinan las variables para garantizar la calidad del molde, que el molde además de funcional sea óptimo. Cuando se realiza un molde de acuerdo con una fundamentación técnica, este molde solo puede ser tan bueno como la fundamentación misma.

El propósito es justificar las variables para el desarrollo del molde. No se habla de moldes perfectos a los que ya no se le podrían realizar mejoras, se habla de moldes funcionales, es decir, que los moldes se garanticen en sus propiedades mecánicas y térmicas a fin de conseguir con el menor costo posible el producto final, en este caso la suela.

Basados en este primer criterio se fijan las variables empleadas para el desarrollo del molde, evitando que se produzcan moldes inaceptables. La no consideración de su fundamentación y obtención de variables por parte del personal involucrado en el diseño,

fabricación y montaje de un molde puede resultar en un molde que no cumple los requerimientos de calidad impuestas para el proceso final de producción.

4.3.1 *Producción requerida.* Es un requerimiento general principal para el diseño que permite tomar criterios de robustez del molde y pueda cumplir con una vida útil considerable antes de que pueda deteriorarse por fallas o desgaste de esta manera evaluamos de acuerdo a la investigación de productores y estudios de producción de suelas similares, que el volumen de producción para un par de suelas en el mes, es de aproximadamente 800 docenas/mes que es alto, y se justifica tal producción para poder compensar el costo del molde es así que el diseño debe ser muy robustos para el molde en cuanto a resistencia mecánica.

4.3.2 *Selección de material.* El molde para fabricación de suelas necesita además de los tópicos mencionados anteriormente, disipar el calor relativamente por criterios de acelerar la producción, además la apertura y cierre del molde debe ser lo más ligero posible para consumir menor energía al ejecutarse este proceso, que repercute también en el costo final de la suela.

Los materiales comunes usados para la fabricación de moldes de suelas son acero y aluminio que se clasifican en la tabla 18.

Ahora podemos notar que por ser más ligera que el acero y poseer una conductividad térmica mayor que la del acero y poseer propiedades y características mecánicas adecuadas como se podrá comprobar en la simulación de resistencia mecánica, seleccionamos el aluminio, catalogo IBCA 2010 (Ver Anexo A). (Ver figura 23).

4.3.3 *Número de cavidades.* La cantidad de cavidades del molde es un factor importante que influye directamente en el costo del molde, debido a que el molde costara más cuantas mayores cavidades tenga.

De acuerdo a criterio térmico y de producción se recomienda realizar moldes por separado para un mismo par de suelas con el fin de disipar más rápidamente el calor y sobretodo de la manera más uniforme posible y por ende lograr menores tiempos de producción, este criterio no deben ser utilizadas como guía para otros tipos de suela que poseen una

configuración diferente a la desarrollada, por lo tanto el molde por así decirlo estará dividido en dos para un mismo par de suelas como se muestra en la figura 24.

Tabla 18. Aceros para moldes (BOHMAN, 2010)

Tipo de Material	Aplicación	Características																																								
IMPAX SUPREME = 718 = AISI P20	<ul style="list-style-type: none"> Moldes de gran tamaño, donde el tratamiento térmico, resulta muy difícil y riesgoso Moldes de inyección para termoplásticos Moldes de extrusión para termoplásticos Moldes para soplado Herramientas de conformar sin arranque de viruta (templadas a la llama o nitruradas) Componentes estructurales, ejes 	<p>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS A 310 HB</p> <table border="1"> <tr> <td>Temperatura °C</td> <td>20</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>Densidad kg/m³</td> <td>7800</td> <td>7750</td> </tr> <tr> <td>Módulo de elasticidad N/mm²</td> <td>205000</td> <td>200000</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20°C</td> <td>—</td> <td>12.7x10⁻⁶</td> </tr> </table>	Temperatura °C	20	200	Densidad kg/m ³	7800	7750	Módulo de elasticidad N/mm ²	205000	200000	Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20°C	—	12.7x10 ⁻⁶																												
Temperatura °C	20	200																																								
Densidad kg/m ³	7800	7750																																								
Módulo de elasticidad N/mm ²	205000	200000																																								
Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20°C	—	12.7x10 ⁻⁶																																								
STAVAX = AISI 420	<p>Stavax es adecuado para todo tipo de herramientas de moldeo, pero especialmente para moldes que deban reunir requisito como:</p> <ul style="list-style-type: none"> Resistencia a la corrosión/manchas: Moldeado de PVC, acetatos Resistencia al desgaste: Moldeado de materiales Acabado superficial de gran calidad: Para producción de piezas ópticas como lentes de cámaras, cristales de gafas y artículos médicos. Molde de inyección para: Materiales termoplásticos, Materiales termoendurecibles Moldes de compresión/transferencia. Moldes de soplado para PVC, PET, etc. Moldes de extrusión, extrusión horizontal para varillas y perfiles 	<p>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS A 50 HRC</p> <table border="1"> <tr> <td>Temperatura °C</td> <td>20</td> <td>200</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>Densidad kg/m³</td> <td>7800</td> <td>7750</td> <td>7700</td> </tr> <tr> <td>Módulo de elasticidad N/mm²</td> <td>200000</td> <td>190000</td> <td>180000</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20 °C</td> <td>—</td> <td>11x10⁻⁶</td> <td>11.4x10⁻⁶</td> </tr> </table>	Temperatura °C	20	200	400	Densidad kg/m ³	7800	7750	7700	Módulo de elasticidad N/mm ²	200000	190000	180000	Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20 °C	—	11x10 ⁻⁶	11.4x10 ⁻⁶																								
Temperatura °C	20	200	400																																							
Densidad kg/m ³	7800	7750	7700																																							
Módulo de elasticidad N/mm ²	200000	190000	180000																																							
Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20 °C	—	11x10 ⁻⁶	11.4x10 ⁻⁶																																							
PRODAX	<p>ÁREAS DE APLICACIÓN:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ÁREAS DE APLICACIÓN</th> <th>PROTOTIPOS</th> <th>CORTA PRODUCCIÓN</th> <th>MEDIANA PRODUCCIÓN</th> <th>LARGA PRODUCCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Moldeado por soplado</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>Moldeado en vacío</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>Moldeado de espuma</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>Inyección de termoplásticos</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>(x)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Moldeado de caucho</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:</p> <table border="1"> <tr> <td>Densidad kg/m³</td> <td>2830</td> </tr> <tr> <td>Módulo de elasticidad</td> <td>71500 N/mm²</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de expansión térmica de 20 °C a 100 °C</td> <td>23 x 10⁻⁶</td> </tr> <tr> <td>Conductividad térmica W/m °C</td> <td>165</td> </tr> <tr> <td>Calor Específico J/kg °C</td> <td>890</td> </tr> </table>	ÁREAS DE APLICACIÓN	PROTOTIPOS	CORTA PRODUCCIÓN	MEDIANA PRODUCCIÓN	LARGA PRODUCCIÓN	Moldeado por soplado	x	x	x	x	Moldeado en vacío	x	x	x	x	Moldeado de espuma	x	x	x	x	Inyección de termoplásticos	x	x	(x)		Moldeado de caucho	x	x			Densidad kg/m ³	2830	Módulo de elasticidad	71500 N/mm ²	Coefficiente de expansión térmica de 20 °C a 100 °C	23 x 10 ⁻⁶	Conductividad térmica W/m °C	165	Calor Específico J/kg °C	890	
ÁREAS DE APLICACIÓN	PROTOTIPOS	CORTA PRODUCCIÓN	MEDIANA PRODUCCIÓN	LARGA PRODUCCIÓN																																						
Moldeado por soplado	x	x	x	x																																						
Moldeado en vacío	x	x	x	x																																						
Moldeado de espuma	x	x	x	x																																						
Inyección de termoplásticos	x	x	(x)																																							
Moldeado de caucho	x	x																																								
Densidad kg/m ³	2830																																									
Módulo de elasticidad	71500 N/mm ²																																									
Coefficiente de expansión térmica de 20 °C a 100 °C	23 x 10 ⁻⁶																																									
Conductividad térmica W/m °C	165																																									
Calor Específico J/kg °C	890																																									

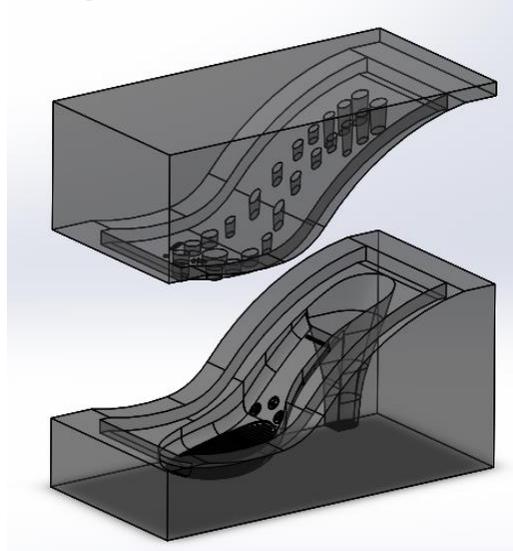
Fuente: (Bohman.2010)

Figura 23. Material seleccionado aluminio PRODAX

PRODAX Aluminio de alta resistencia para moldes de plástico		CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:	
<p>GENERALIDADES: Aluminio aleado de alta resistencia, suministrado con tratamiento térmico máximo alivio de tensiones y excelente estabilidad dimensional. La dureza de suministro es de 146-180 Brinell. Posee las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Excelente maquinabilidad, que se nota en los menores tiempos de maquinado y bajo costo de las herramientas. • Bajo peso, que es aproximadamente 1/3 del peso del acero. Su baja inercia hace posible mayor velocidad en los procesos de apertura y cierre de los moldes. • Alta conductividad térmica, que hacen más reducidos los ciclos de tiempo, menos complicados los sistemas de enfriamiento • Buena estabilidad, garantizando mínimas deformaciones durante y después del maquinado • Buena resistencia a la corrosión • Susceptible de tratamientos superficiales, como anodizado, cromado o niquelado, para incrementar la dureza, resistencia al desgaste y a la corrosión. 			
Densidad kg/m ³		2830	
Módulo de elasticidad		71500 N/mm ²	
Coefficiente de expansión térmica de 20 °C a 100 °C		23 x 10 ⁻⁶	
Conductividad térmica W/m °C		165	
Calor Específico J/kg °C		890	

Fuente: Materiales de Ingeniería Iván Bohman C.A.

Figura 24 Molde de una cavidad



Fuente: El Autor

4.3.4 *Ángulos de desmoldeo.* En cuestiones operativas, los ángulos deben ser adecuados para un desmoldeo rápido y permitir que esta actividad para el operador no sea compleja y por medio del software CAE se realizan varios intentos procurando que este ángulo sea el mínimo posible, como se mencionó en los apartado 3.3.1. se considera de 1° .

4.3.5 *Material a inyectar y su contracción.* Cuando diseñamos un molde, conocer el material que está compuesto el elemento a moldearse, nos otorga un parámetro muy importante como es la contracción que significa la cantidad que hay que aumentar a las dimensiones originales en el molde porque luego esta dimensiones disminuyen, a causa del enfriamiento de la suela.

Existe una variedad de tipos de compuestos de poliuretano para la elaboración de suelas. Para nuestra suela los requerimientos específicos que tiene el poliuretano con que se fabrica la suela se puede verificar según la Tabla 3. de este proyecto, basados en la recomendación de proveedores de materiales de poliuretano de suelas para un moldeo en frío tenemos:

1. Poliuretano (ELASTOPAN*41580A MIDSOLE ADDITIVE)

2. Contracción de 1% dada por el proveedor

El resultado del nuevo dimensionamiento lo podemos apreciar en la figura 17 del apartado 3.3.2.

4.3.6 *Análisis de línea de partición.* Este parámetro fue indicado anteriormente en el modelado de la suela, cabe recalcar que esta línea generará las superficies de contacto de los moldes, por esta línea será por donde se formara un rebaba de material no deseable de poliuretano y de acuerdo a su método de elaboración será cortado mediante el proceso de rebabado; para un correcto análisis, se utilizará de manera conjunta criterios basados también en la experiencia así.

Requisitos para la expulsión de la suela:

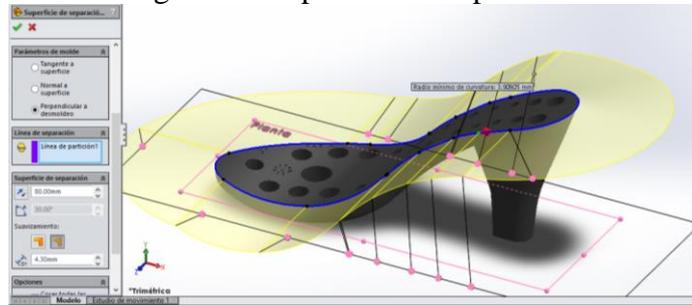
- Todas las caras deben tener un ángulo de salida desde la línea de separación que divide el núcleo de la cavidad.
- Las especificaciones del diseño deben incluir un ángulo de salida mínimo a partir del cual se realiza la prueba.
- Las superficies laterales de la cavidad deben mostrar un ángulo de salida positivo.
- Las superficies laterales del núcleo deben mostrar un ángulo de salida negativo.
- Todas las superficies deben mostrar un ángulo de salida mayor que el mínimo especificado por las especificaciones del diseño.
- No deben existir caras a ambos lados.

Así tenemos que el análisis desarrollado en el apartado 3.3.3 es correcto y satisfactorio cumpliendo nuestras necesidades.

4.3.7 *Superficie de separación.* Estas superficies son proyectadas alrededor de su perímetro, desde la línea de separación y servirá para separar la cavidad del núcleo del molde, por medio de la herramienta superficie de separación, para esto existen diferentes

técnicas para modelarlas, para nuestro caso la consideramos perpendicular a la dirección de extracción.

Figura 25. Superficie de separación

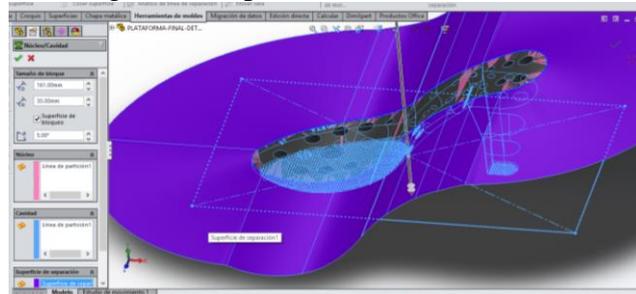


Fuente: Autor

4.3.8 Núcleo-Cavidad. Finalmente se croquiza un rectángulo en plano perpendicular a la dirección de la extracción, para crear los moldes del núcleo y la cavidad. Y como última etapa para luego mecanizarla se separan los cuerpos.

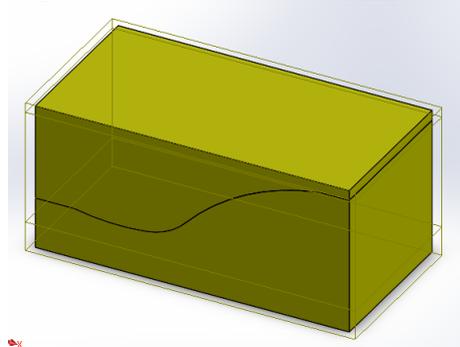
Por la tanto:

Figura 26. Operación Núcleo-Cavidad



Fuente: Autor

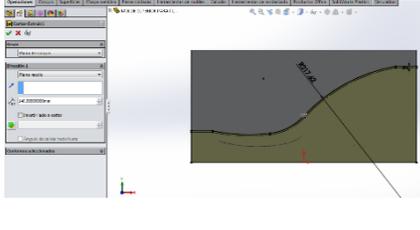
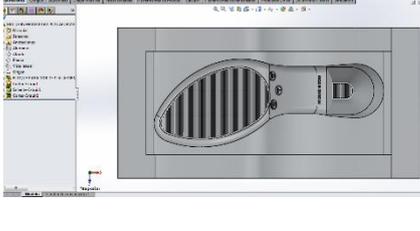
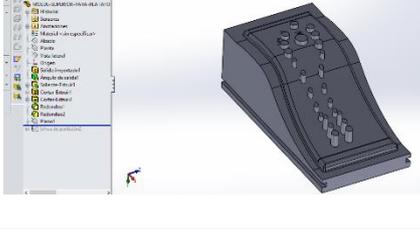
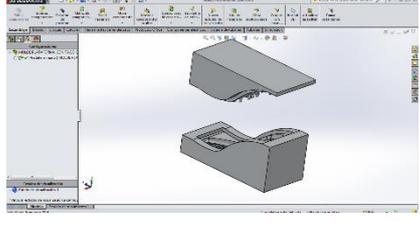
Figura 27. Moldes núcleo - cavidad



Fuente: Autor

4.3.9 Desarrollar superficies de bloqueo. Para lograr que el núcleo y la cavidad encajen en la apertura y el cierre de una manera correcta, creamos superficies inclinadas alrededor de las superficies de separación con un ángulo de 5° en dirección de la extracción, este ángulo evita daños en los moldes y se lo ejecuta en el paso anterior. Pero además se realiza el siguiente procedimiento complementario y generar un bloque para el centrado de los moldes.

Tabla 19: Desarrollo superficies de bloqueo

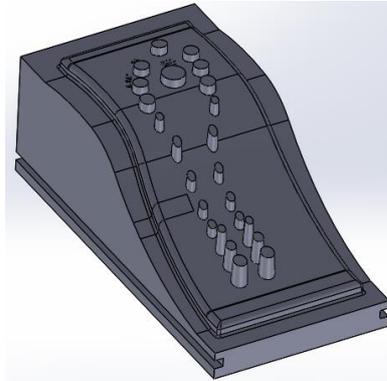
Procedimiento	
Abrimos el molde cavidad para editar el componente extruimos y volvemos a cortar	
La intención es formar una caja, que contenga la cavidad y que sirva de guía como se ve en la figura en nuestro caso de 10mm	
Se realizan un procedimiento similar para el núcleo para ello en lugar de sumar restamos el volumen de solido añadido a la cavidad,	
Finalmente obtenemos los moldes como se indican en la figura	

Fuente: Autor

4.3.10 Salidas de aire. Se considera el venteo que debe tener la cavidad del molde, al momento de cerrarse para expulsar el aire, como el tamaño de estas ranuras es mínimo permitirá la salida de aire y por la viscosidad que posee el poliuretano no alcanzara a fluir por ellas.

De acuerdo a GROOVER estos estrechos en la superficie de separación: seleccionamos de 0.03mm (0.001in) de profundidad y de 12 a 25mm (0.5 a 1.0in) de ancho para nuestro caso de 12mm para la salida de aire.

Figura 28. Salida de aire 12 x 0.03 mm



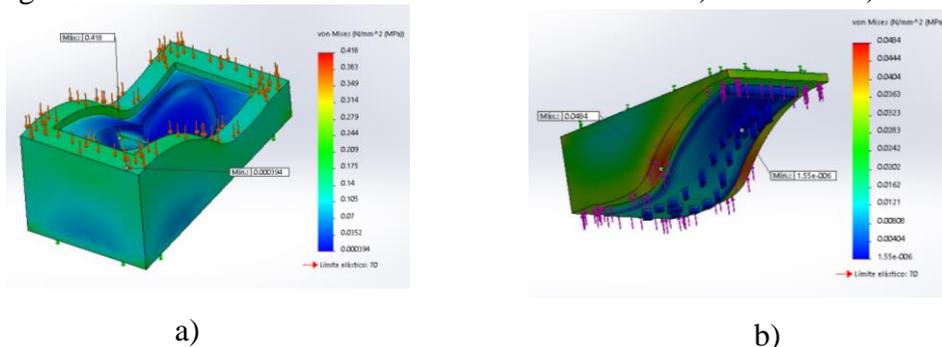
Fuente: Autor

4.3.11 Simulaciones CAE moldes cavidad y núcleo. Primero, realizamos un análisis de esfuerzos. Segundo, realizamos un análisis de deformación para verificar las variaciones en la dimensiones del molde a fin de determinar que los requerimientos específicos de estos parámetros determinen los detalles ideales de la suela y por ende del molde.

Luego, para encontrar el espesor del molde, ensayamos en función del espesor necesario para la producción de la suela, en el menor tiempo posible en base al tiempo aproximado de curado, que para una suela de este tipo de acuerdo a especificaciones de fabricantes es de 4 min como mínimo.

4.3.12 Análisis de resistencia mecánica. Los moldes deben soportar desgaste pero la principal característica es que no sufra fallas por causa de tensiones si se diseñaran con superficies delgadas.

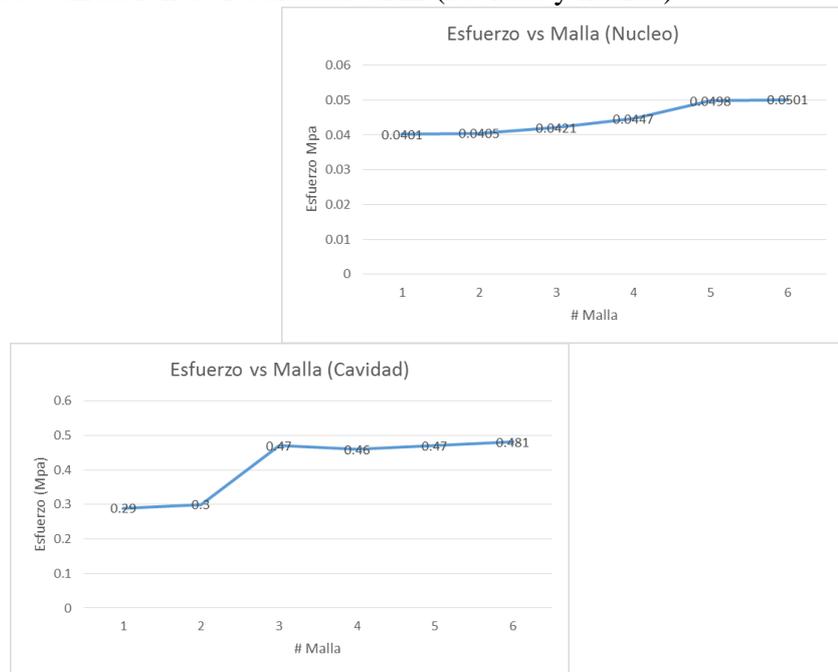
Figura 29. Análisis de resistencia mecánica en molde a) cavidad – b) núcleo



Fuente: Autor

Luego para validar el uso de la simulación, se varía la simulación en función del espesor o densidad de malla, haciéndola cada vez más fina hasta conseguir y verificar que tienda a un valor determinado como se muestra en las siguientes figuras.

Figura 30. Validación de resultados CAE (cavidad y núcleo)



Malla	Número de Nodos
1	10439
2	12367
3	14177
4	18510
5	29312
6	88880

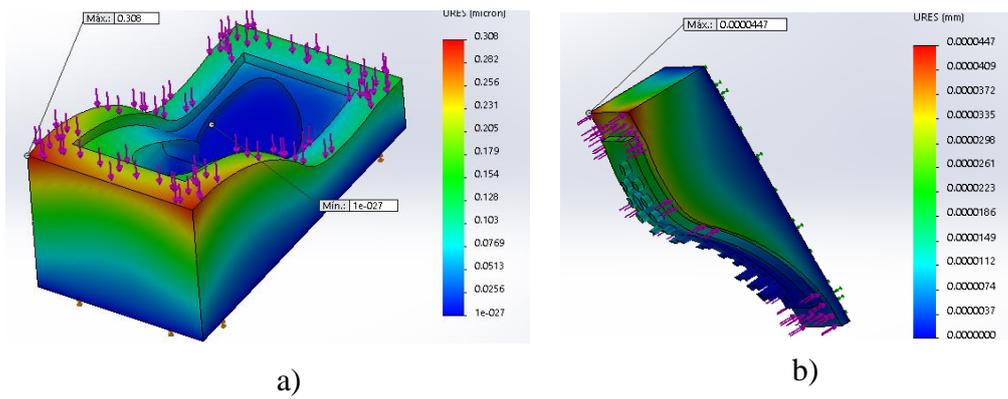
Malla	Número de Nodos
1	2890
2	9345
3	14582
4	17486
5	38526
6	82748

Fuente: Autor

Se puede ver que el máximo esfuerzo que se produce en los moldes luego del análisis CAE y verificado al variar las mallas de 0.48 MPa para un límite elástico de 70 MPa para el aluminio prodax, satisfaciendo las necesidades de diseño.

4.3.13 Deformación máxima permisible. El análisis de la deformación de moldes para tener un criterio de aceptación es muy sencilla, se requiere verificar que el molde no sufra deformaciones debido a todas las fuerzas y presiones actuantes a las que estar sujeto el molde de la suela evitando que la suela moldeada, tampoco modifique sus dimensiones.

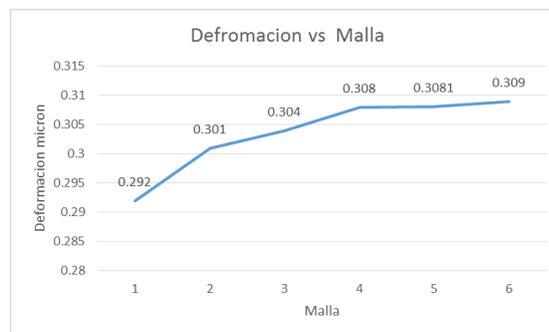
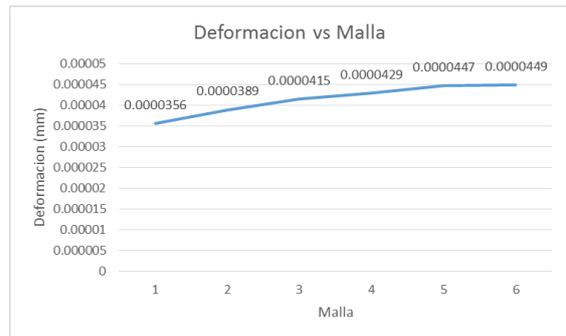
Figura 31. Análisis de deformación en molde a) núcleo y b) cavidad



Fuente: Autor

Ahora se realiza varias simulaciones con el efecto de conseguir que se marque una tendencia alrededor de un valor, para ello se simula en varias ocasiones pero variando la malla, haciendo que el elemento principal se subdivide en un mayor número de partes para el análisis de elementos finitos.

Figura 32. Validación de resultados CAE deformación (a) cavidad y (b) núcleo



Malla	Numero de nodos
1	10439
2	12367
3	14177
4	18510
5	29312
6	88880

(a)

Malla	Numero de nodos
1	2890
2	9345
3	14582
4	17486
5	38526
6	82748

(b)

Fuente: Autor

Del análisis CAE se puede verificar que existen deformaciones sumamente pequeñas del orden de las 0.309micras como la máxima, que favorecen las requerimientos de diseño.

4.3.14 *Análisis térmico del molde.* El molde debe poseer una configuración favorable que ayude a disipar el calor uniformemente, mejorando de esta manera los tiempos de producción, al acelerar el proceso de elaboración de la suela, con la que se disminuye el costo de la suela.

Se debe contrastar que este enfriamiento además permita al material de la suela obtener condiciones de calidad adecuada, evitando problemas de encogimiento rechupes, esfuerzos congelados y de extracción de la pieza.

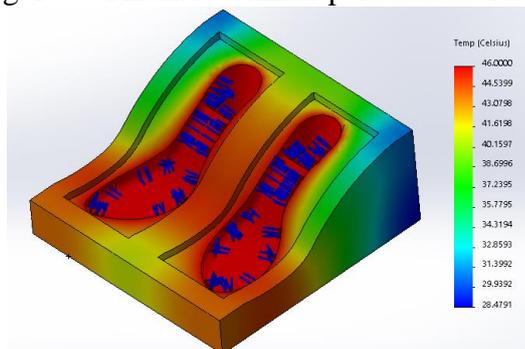
Además el criterio seleccionado para que cumpla con los espesores para que el curado del polímero sea el óptimo y por ende la calidad del suela sea buena se realizan en base a recomendaciones y consideraciones, en la que el molde al final de los cuatro minutos debe poseer una temperatura mínima de 20⁰ C y al tratarse de un moldeo en frio la temperatura del polímero será de 50° C.

De esta manera se realizan el análisis para dos tipos de posibles soluciones para la configuración que posea el molde siendo estas de una o dos cavidades en el molde, entonces se realiza el siguiente análisis

Para dos cavidades:

Esta consideración surge de la posibilidad de en un mismo molde sea practicidad las dos cavidades y resulte al mecanizado del molde la opción de montar en la CNC solo una vez el bloque o material primario.

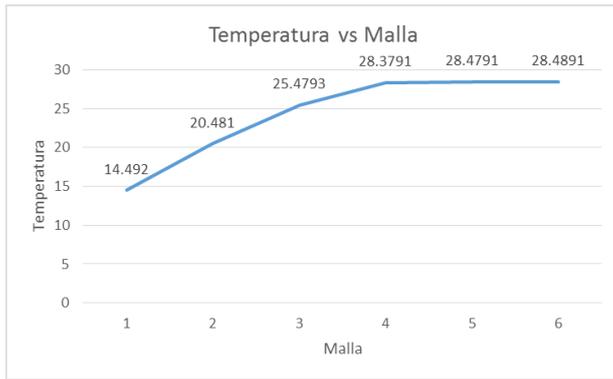
Figura 33. Análisis térmico para dos cavidades



Fuente: Autor

Ahora luego de varias simulaciones al variar la malla y obtener un tendencia alrededor de un determinado valor verificamos nuestra simulación, como se muestra en la siguiente figura tenemos:

Figura 34. Validación de resultado térmico (dos cavidades)



Malla	Numero de nodos
1	2727
2	7952
3	13511
4	16725
5	35405
6	75767

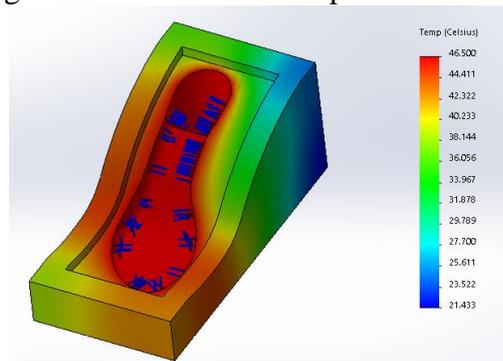
Fuente: Autor

- Para el lapso de 4 min en un régimen transitorio, para un ambiente convectivo de $8.9 W/m^2 \text{ } ^\circ K$. se obtiene una temperatura de $28^\circ C$ a $38^\circ C$ y relativamente tiene el doble de tamaño del de una cavidad, en este caso para disminuir esta temperatura debemos añadir más espacio entre moldes lo cual implica mayor cantidad de material aumentando el costo, además del peso en exceso que se obtendría.

Para una cavidad:

Se considera como criterio importante y principal el disminuir el tiempo de curado del poliuretano.

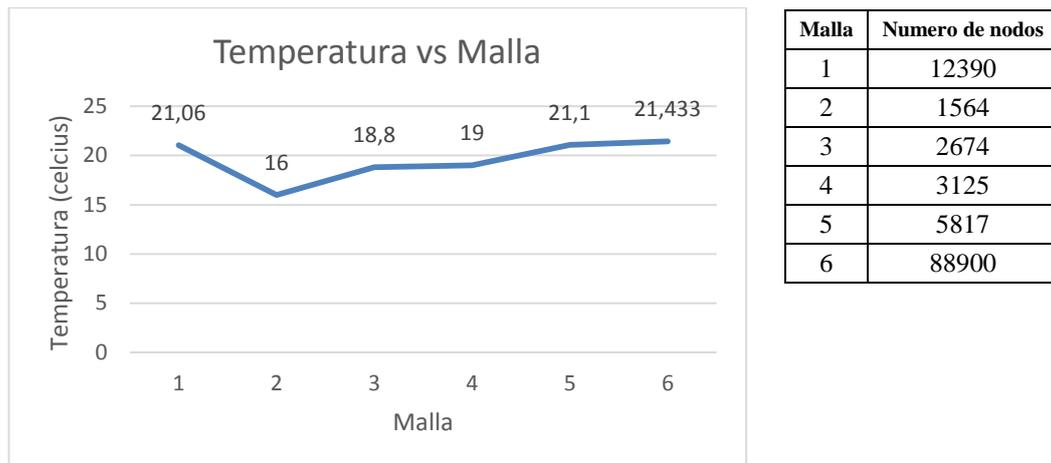
Figura 35. Análisis térmico para una cavidad



Fuente: Autor

De la misma manera que para dos cavidades realizamos la simulación variando el mallado, se considera el molde de una cavidad como la mitad del de dos cavidades, y obtenemos resultados que convergen alrededor de $21^\circ C$ como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 36. Validación de resultados CAE (una cavidad)



Fuente: Autor

- Para el lapso de 4 min en un régimen transitorio, para un ambiente convectivo de $8.9 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$. se obtiene una temperatura de 21° C a 31° C cumpliendo la temperatura referencial del molde para un proceso de fabricación de la suela de moldeo en frío

4.4 Diseño del sistema de apertura y cierre del molde y validación CAE

Tradicionalmente, se han usado determinadas herramientas clásicas para asegurar la calidad del futuro, como los cálculos de fatiga de elementos sometidos a sollicitaciones dinámicas o los ensayos de durabilidad de piezas y componentes, destinados a asegurar la fiabilidad del producto. Sin embargo, en tiempos más recientes han surgido nuevos métodos y ayudas al diseño que se basan en la concepción más global de la calidad como es el método QFD (quality functional deployment). (RIVA 2002)

Una vez que se ha diseñado el molde, el método más adecuado para abrir y cerrar el molde que se plantea: Es el uso de un sistema semiautomático con el uso de un cilindro neumático, que es una garantía para acelerar la rapidez del proceso, por ser una adecuada manera que facilita el proceso de verter el poliuretano, con una correcta aplicación del proceso de manufactura de las suela.

4.4.1 *Requerimiento funcional y parámetros de diseño.* La apertura del molde debe permitir que se aplique el desmoldante necesario en materiales de poliuretano, y poder desalojar la suela del molde evitando que se pegue a las paredes del molde y no exista fallas como desgarres, además debe permitir, que depositar el poliuretano en el molde sea

fácil, para lo cual identificamos las máquina que se usan para verter el poliuretano de manera vertical dentro del molde, como se muestran en la figura.

Figura 37 .Maquina inyectora de poliuretano



Fuente: http://www.transtecnica.com/es/?page_id=185

4.4.2 *La matriz QFD para portamolde.* En la siguiente matriz tiene por objeto principal asegurar que se tiene en cuenta la voz del usuario o cliente y la del ingeniero, a la vez que se constituye una ayuda para la planificación de la calidad durante todo el ciclo de vida. (RIVA 2002).

4.4.2.1 *Voz del usuario (VOC) para portamolde.* El auspiciante calzados CAVE requiere contar con un portamolde con las siguientes características:

- Que sea ligero.
- Que sea rápido.
- Que sea práctico.
- Fácil de maniobrar.
- Fácil de reparar.
- Que se puedan ensamblar diversidad de moldes. (Tamaño y modelos).
- Que no produzca fatiga en el operador.
- Que sea barato.
- Que sea ligero.

4.4.2.2 *Voz del ingeniero.* Luego de verificar la VOC se procede a traducir y convertir dichos requerimientos, de manera técnica obteniéndose las siguientes características.

- Peso máximo molde.

- Fuerza de apertura.
- Ergonomía.
- Rápido apertura y cierre del molde.
- Accionamiento simple.
- Versatilidad de moldes.
- Nivel de ruido.
- Suelas /minuto.
- Dimensión.
- Confiabilidad.
- Periodos de mantenimiento.
- Materiales.

4.4.2.3 *Resultados de la matriz QFD para el portamolde.* En base al procedimiento expuesto en el libro denominado diseño concurrente elaborado por Carles Riba, se obtiene los resultados en la tabla 20.

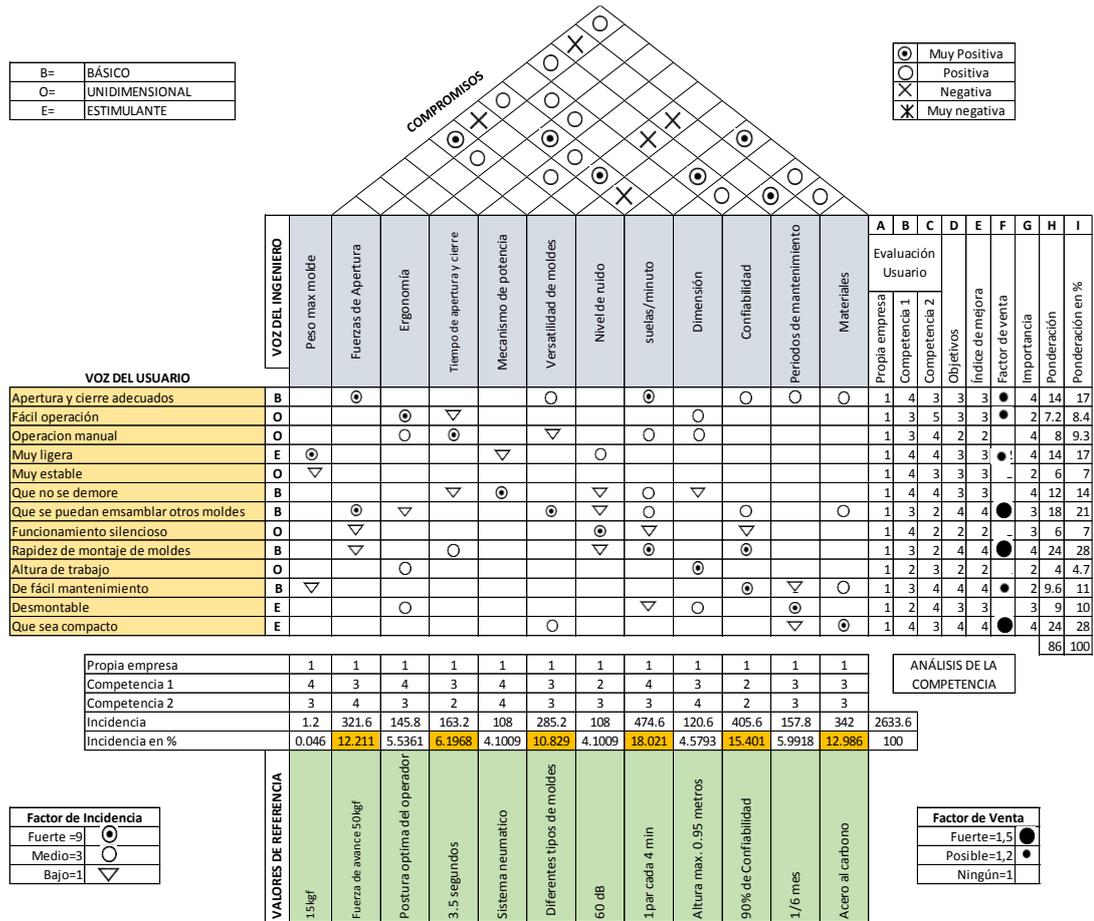
Con el fin de evaluar y adecuar el método descrito por Carles Riba, en la columna A se considera el desempeño actual del producto en la empresa, pero como esta empresa aun no fabrica sus propias suelas se asignara una calificación de 1 en todos los parámetros.

En columnas como B y C se evalúan los portamolde utilizados, para procesos de fabricación de suelas de poliuretano de empresa proveedora de esta maquinaria fig. 30 y de una fábrica con producción similar fig. 7.

Tabla 20. Desarrollo de la matriz QFD para el portamolde

B=	BÁSICO
O=	UNIDIMENSIONAL
E=	ESTIMULANTE

⊙	Muy Positiva
○	Positiva
×	Negativa
⊗	Muy negativa



Fuente: Autor

Índice de mejora: Se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Índice de mejora} = \frac{\text{Objetivos}}{\text{Propia empresa}}$$

Ponderación: Se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Ponderación} = \text{Índice de mejora} * \text{factor de venta} * \text{Importancia}$$

4.4.2.4 Conclusiones de la matriz QFD. De acuerdo al resultado obtenido en la matriz QFD, se destacan los siguientes requerimientos:

- Fuerza de apertura.
- Tiempo de apertura y cierre.
- Diversidad de moldes.
- Suelas/minuto.

- Confiabilidad.
- Materiales.

Donde el requerimiento técnico adaptado más importante es la facilidad del mecanismo reduciendo el esfuerzo del operador y lograr menores tiempos en la elaboración de las suelas.

4.4.3 Especificaciones técnicas. Mediante la matriz QFD se logra obtener especificaciones técnicas para el portamolde, como se muestran en la tabla 21.

4.5 Análisis funcional del portamolde

La función primaria que cumple el portamolde es, Facilitar la apertura y cierre del molde para el proceso de elaboración de suelas y la función secundaria son aquellas que permiten que la primaria se realice adecuadamente.

Cuando reconocemos el proceso que realizara la máquina, con sus respectivas funciones tanto primarias como secundarias, se desarrolla el diagrama de funciones asignando a los niveles 0 para función primaria y 1 para las funciones secundarias.

Conviene desarrollar el diagrama funcional hasta un nivel 2 ya que en este un despliegue mayor favorece encontrar determinadas soluciones. (TIRIRA, et al., 2014)

En cada diagrama funcional se tendrá diferentes tipos de entradas y salidas (control, material y energía). Que estarán presentes de acuerdo a la función que se requiere en la máquina.

En la siguiente tabla se realiza una compilación de las características técnicas que se requieren para el portamolde.

Así tenemos:

Tabla 21. Especificaciones técnicas del portamolde

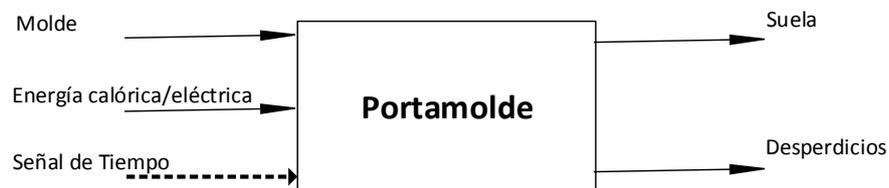
Empresa cliente: Calzados CAVE	Producto:	Fecha inicial:	2015-01-06
		Última revisión:	2015-02-08

Diseñador: Caisaguano Cristobal		Portamolde		Página 1.
Especificaciones				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Fuerza de apertura		D	R	El proceso tecnológico de operación permite elevar cargas de moldes hasta de 15kgf.
Tiempo de apertura y cierre		C	D	El moldeo en frio alcanza tiempos de 2 a 10 min para nuestra suela el tiempo es de 4 min de acuerdo a fabricantes de suelas.
Diversidad de moldes		P	R	Es necesario que los diferentes moldes incluso de acuerdo al tamaño y modelos cumplan con facilidad en su ensamblaje sobre una portamolde.
Suelas /minuto		P	D	Calzados CAVE produce una amplia gama de variados modelos en calzado para dama.500-1000 docenas cada mes.
Dimensión		D	D	Se destinara un espacio de 9 m ² en una primera etapa.
Confiabilidad		D	R	El proceso varía de acuerdo al compuesto del poliuretano con una confiabilidad del 90%.
Periodos de mantenimiento		C	R	El tiempo de mantenimiento es de 2 veces al año.
Materiales		D	R	Se ha de seleccionar materiales que cumplan con diseños y que permitan reducir costos de fabricación.
Propone: M=Márquetin, C=Cliente, D=Diseño, P=Producción, F=Fabricación. R/D: R=Requerimiento: D=Deseo, MR=Modificación de Requerimiento. (TIRIRA, et al., 2014)				

Fuente: Autor

Así tenemos para el portamolde el siguiente diagrama funcional de nivel 1.

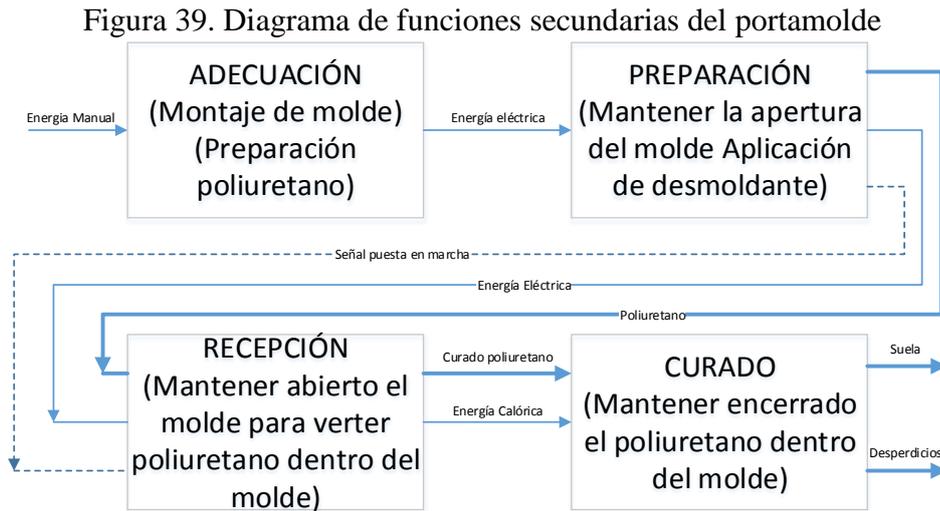
Figura 38. Función primaria del portamolde



Fuente: Autor

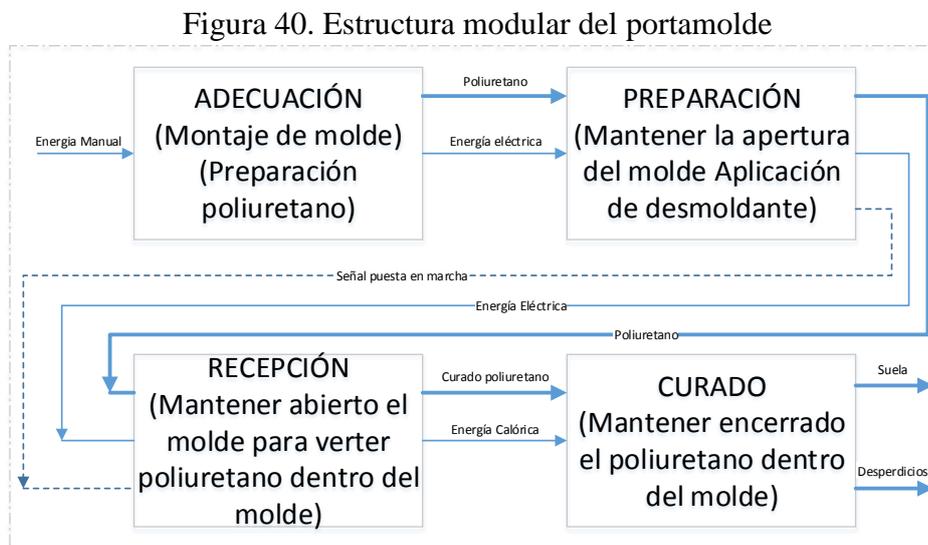
Para el análisis funcional, el primer nivel contempla señales como son el material de la suela que consiste en poliuretano, la señal de energía es electroneumática y la señal de control es el cierre del molde.

Ahora detallamos las funciones del diagrama de nivel 2 necesario para alcanzar el nivel 1 en la siguiente figura.



Fuente: Autor

4.5.1 Definición de módulos. La definición de módulos permite dividir el producto (portamolde) en diferentes bloques funcionales. Esta asignación de módulos permite que en el diseño se considere la facilidad de mantenimiento, contribuyendo a la reducción de costos y se facilitará la producción.



Fuente: Autor

En el diseño del portamolde las funciones desde el montaje del molde hasta el cierre del mismo para el curado permiten que el moldeo se de en un solo módulo.

4.5.2 *Alternativas de solución para el módulo portamolde.* El molde cumplirá con las siguientes acciones:

- Adecuación.
- Preparación.
- Recepción.
- Curado.

A continuación se describen las funciones, y señalamos alternativas de solución hasta encontrar la mejor alternativa.

4.5.2.1 *Adecuación (Portamolde).* Ensamblar sobre le portamolde el molde de las suela. Para realizar esta función se requiere de un operador que será el encargado de sujetar el molde.

- Ventajas. Esta operación al ser realizada por una persona se puede verificar si el molde se encuentra bien sujeto.
- Desventajas. Demora en los acoples.

4.5.2.2 *Preparación (portamolde).* El portamolde debe permanecer abierto con el fin de, que los moldes puedan ser limpiados si fuera necesario y luego rociados con desmoldantes.

Apertura Automático.- La apertura automático facilita la aplicación de desmoldante, disminuye el tiempo producción.

Apertura Manual.-El uso de una apertura manual implica acción directa de un operador que además debe limpiar y aplicar desmoldante dificultándose esta tarea.

4.5.2.3 *Recepción (Portamolde).* Cuando se vierte el poliuretano dentro de la cavidad del molde el sistema de apertura y cierre del portamolde permanece abierto.

Apertura Automática.- El operador que vierte el poliuretano dentro de la cavidad también es capaz de controlar el cierre del portamolde facilitando la operación y reduciendo personal al depender de un simple accionamiento.

Apertura Manual.-El operador necesitaría de ayuda en esta parte de la operación o si fuera el caso de hacerlo de manera individual tardaría mucho más en realizar dicho proceso pues debería dejar de inyectar y aplicar fuerza para el cierre o quitar el enclavamiento de un sistema mecánico.

4.5.2.4 Curado (Portamolde).- Para esta operación el portamolde debe mantener cerrado el molde aplicando una ligera presión que evite abrirla, hasta que cumpla el tiempo necesario para el proceso de polimerización.

Cierre Automático.-El cierre automático destaca su simpleza y facilidad de operación por parte del personal de la empresa, además de disminuir tiempos muertos en la producción.

Cierre Manual.-Para que el cierre sea adecuado necesita de un mecanismo que permita mantener presionada los moldes y requerirán de la participación del operador o de otro destinado únicamente para esta operación.

4.5.3 Alternativas del módulo portamolde. Para obtener las mejores opciones de este módulo, de acuerdo a su compatibilidad, se combina entre si las soluciones para cada función.

En base a la combinación se obtienen dos alternativas de solución que se pueden observar en la siguiente tabla 22.

La primera alternativa se refiere a realizar en el molde un mecanismo a manera de bisagra para abrirlo y cerrarlo, o uno mucho más complejo que permita mantener suspendido la parte superior del molde donde su apertura y cierre depende del esfuerzo físico del operador fig. 7.

La segunda alternativa usa un sistema electro neumático para la apertura y cierre del molde donde el operador podrá controlar el sistema por medio de un pulsador fig. 30.

Tabla 22. Combinación de soluciones para el módulo portamolde

Función	Componente	
Adecuación	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Ensamble y ubicación manual</div>	
Preparación	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Realiza y mantiene apertura manual</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Realiza y mantiene apertura automático</div>
Recepción	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Mantiene apertura manual</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Mantiene apertura neumática</div>
Curado	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Realiza y mantiene cerrado el molde de manera manual</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Realiza y mantiene cerrado el molde de manera automática</div>
Soluciones	Alternativa 1	Alternativa 2

Fuente: Autor

4.5.4 Evaluación de soluciones portamolde. Las decisiones correctas en el proceso de diseño son tomadas al evaluar las alternativas sin concentrarse en un solo aspecto sino en todo lo relacionado al diseño para ello presentamos los siguientes elementos.

- Alternativas.- Debe existir un mínimo de dos alternativas que posean características diferentes.
- Criterios.- Se deben establecer criterios sobre las cuales las alternativas serán evaluadas.

4.5.4.1 Método ordinal corregido de criterios ponderados. Al conocer el orden de preferencia de evaluación logramos predecir la solución entre diversas alternativas.

Por esta razón se recomienda el método ordinal corregido de criterios ponderados, donde sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados. (TIRIRA, et al., 2014).

Para este método cada criterio se confronta con los restantes mediante tablas y se desarrolla de la siguiente manera:

- Se asigna 1, si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; $>$) que el de las columnas.
- Se asigna 0.5, si el criterio (o solución de las filas es equivalente ($=$) al de las columnas.
- Se asigna 0, si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; $<$) que el de las columnas. (RIBA, 2002.).

4.5.4.2 *Criterios de valoración del módulo portamolde.* Con el fin de determinar que el módulo resulte más conveniente, se emplea el método ordinal corregido de criterios ponderados.

Listamos los criterios de valoración más determinantes:

- Producción docenas/mes. Se considera este criterio en base a la cantidad producida por calzados CAVE y satisfacer sus necesidades.
- Confiabilidad del portamolde. Su importancia radica en garantizar el tiempo de vida de los elementos, y la seguridad del equipo.
- Tiempo de moldeo. Es el tiempo que tarda la suela en alcanzar a polimerizarse mediante el curado.
- Peso máx. molde. El portamolde requiere cambiar los moldes y que dicha operación no sea complicada.
- Fácil mecanismo de apertura y cierre. Aumentar el desempeño del operador con procesos de elaboración simples.
- Fuerza de apretura. El portamolde de manera adecuada debe permitir mantener abierto o cerrado el molde.

- Dimensiones. Si bien existe diversidad de modelos también varían los tamaños por lo que se debe procurar que todos los moldes posean características dimensionales similares para su ensamble en el portamolde.

Tabla 23. Evaluación de cada criterio en el portamolde

Fácil operación = Confiabilidad > Producción > Peso máx. molde = Fuerza apertura > Tiempo de desmoldeo > Dimensiones									
Criterio	Fácil operación a/c	Confiabilidad	Producción Docena/mes	Peso máx. molde	Fuerza de apertura	Tiempo de moldeo	Dimensiones	$\Sigma+1$	Ponderación
Fácil operación a/c		0,5	1	0,5	1	1	1	6	0,21
Confiabilidad	0,5		1	0,5	0,5	1	1	5,5	0,193
Producción docenas/mes	0,5	0,5		0,5	0,5	1	1	5	0,175
Peso máx. molde	0,5	0	0,5		0,5	1	1	4,5	0,157
Fuerza de apertura	0	0	0	0,5		0,5	0,5	2,5	0,087
Tiempo de desmoldeo	0	0	0	0,5	0,5		0,5	2,5	0,087
Dimensiones	0	0	0	0,5	0,5	0,5		2,5	0,087
Suma								28,5	1

Fuente: Autor

A continuación se evalúa cada una de las alternativas como soluciones con respecto a los criterios adquiridos más destacado del análisis de la casa de la calidad o matriz QFD cuyo objetivo principal es considerar los parámetro y requerimientos del usuario.

Tabla 24. Evaluación de soluciones respecto a la fácil operación a/c

Solución 2 > Solución 1				
Fácil op. a/c	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	1	0,333
Solución 2	1		2	0,667
Suma			3	1

Fuente: Autor

Tabla 25. Evaluación de soluciones respecto a la confiabilidad portamolde

Solución 1 = Solución 2				
Confiabilidad	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	1,5	0,5
Solución 2	0,5		1,5	0,5
		Suma	3	1

Fuente: Autor

Tabla 26. Evaluación de las soluciones respecto a la producción de suela

Solución 2 > Solución 1				
Pro. suela	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	1	0,333
Solución 2	1		2	0,667
		Suma	3	1

Fuente: Autor

Tabla 27. Evaluación de las soluciones respecto peso máx. Molde

Solución 2 = Solución 1				
Peso max. mold	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	1,5	0,5
Solución 2	0,5		1,5	0,5
		Suma	3	1

Fuente: Autor

Tabla 28. Evaluación de las soluciones respecto a fuerza de apertura

Solución 1 = Solución 2				
F. apertura	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	1,5	0,5
Solución 2	0,5		1,5	0,5
		Suma	3	1

Fuente: Autor

Tabla 29. Evaluación de las soluciones respecto al tiempo de moldeo

Solución 1 > Solución 2				
T. moldeo	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	1	0,333
Solución 2	1		2	0,667

Suma	3	1
-------------	---	---

Fuente: Autor

Tabla 30. Evaluación de las soluciones respecto a las dimensiones del portamolde

Solución 1 = Solución 2				
Dim. portmolde	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	1,5	0,5
Solución 2	0,5		1,5	0,5
	Suma		3	1

Fuente: El Autor

Tabla 31. Conclusiones respecto al módulo portamolde

Conclusión	Fácil operación	Confiabilidad	Producción Docena/mes	Peso máx. molde	Fuerza de apertura	Tiempo de moldeo	Dimensiones	$\Sigma+1$	Prioridad
Solución 1	0.21x0.33	0.19x0.5	0.17x0.33	0.15x0.5	0.087x0.5	0.087x0.33	0.087x0.5	0,41	1
Solución 2	0.21x0.67	0.19x0.5	0.17x0.67	0.15x0.5	0.087x0.5	0.087x0.67	0.087x0.5	0,578	2

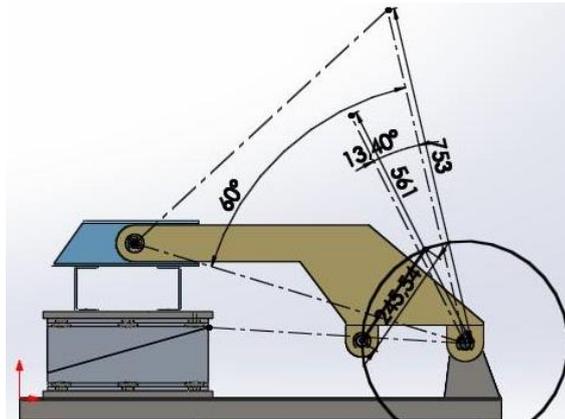
Fuente: Autor

La solución que más se ajusta a los criterios de evaluación pertenece a la alternativa 2 que consiste del uso de un sistema neumático semiautomático.

4.5.5 Dimensionamiento de elementos y componentes mecánicos. La finalidad en una etapa inicial es plantearse y establecer carreras adecuadas para que el molde pueda tener una fácil apertura además de prever que posea el menor número de elementos para aligerar el peso del brazo del mecanismo.

Así el pre diseño cuenta con criterios técnicos y necesarios en base a QFD para el diseño.

Figura 41. Pre dimensionamiento de la unidad de apertura y cierre



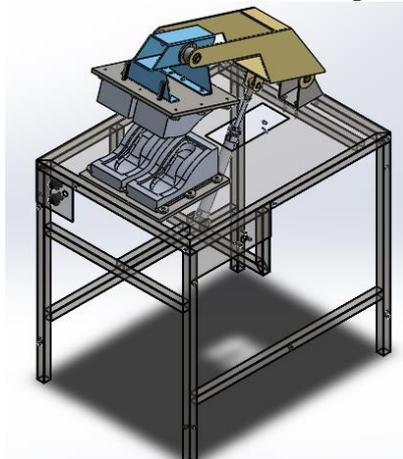
Fuente: Autor

Luego del dimensionamiento, se opta por realizar un pre diseño con todos los elementos que conformaran la unidad de apertura y cierre siempre tomando en cuenta que sea ligero y visualmente agradable.

Así tenemos luego de varias ensayos y pruebas la siguiente propuesta final.

Tanto el molde como el brazo de apertura y cierre del molde irán montados sobre una bancada que estará fijada al piso por medio de pernos.

Figura 42. Primera estimación de portamolde



Fuente: El Autor

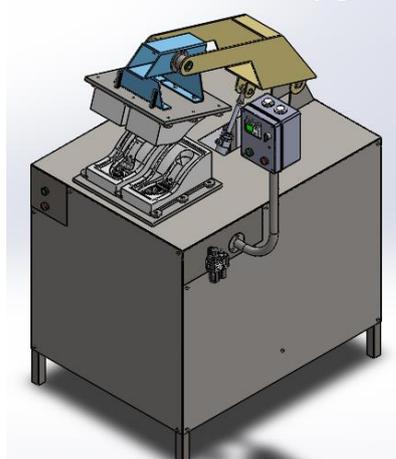
4.5.5.1 Modelado de elementos en CAD. Con la propuesta ya planteada al modelado CAD de cada uno de los elementos, se dimensionan y se asignan materiales según los requerimientos y funcionalidades previstas en QFD para que el proceso de moldeo de la suela sea adecuado.

Luego de modelado y dimensionado cada uno de los elementos, realizamos el ensamble final con todas sus elementos así tenemos fig. 43.

Cabe mencionar que este diseño final es el resultado del cálculo manual como primera estimación y luego verificada y validada por una serie de los análisis CAE complementados con la variación en cuanto al mallado correspondiente del elemento a fin de obtener un resultado que marque o tienda a determinado valor como se puede verificar más adelante.

Así tenemos:

Figura 43. Diseño final molde y portamolde



Fuente: Autor

4.5.5.2 Análisis de esfuerzos mediante software CAE. Los ensayos CAE son especialmente realizados para determinar la resistencia de los elementos de la unidad cierre y apertura del molde, de producir elementos adecuados dimensionalmente y funcionales para la operación.

Después de completar exitosamente las pruebas de análisis de los elementos, se considera como criterio principal de aceptación mínima el abaratar el costo de fabricación de estos elementos. Es así que tenemos:

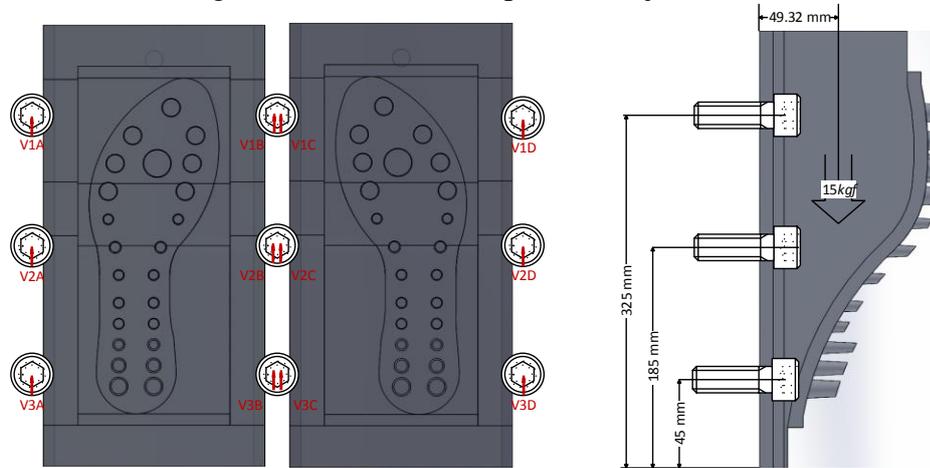
4.5.6 Selección de pernos de sujeción (molde - placa de sujeción). Los pernos están sujetos a tracción y corte y se consideran a una carga fluctuante de 15kgf, que varía desde cuando está cerrado el molde hasta el punto máximo de apertura.

Entonces se necesita determinar el tamaño apropiado de los pernos.

Para el soporte se establecen 6 pernos idénticos y por consideraciones de seguridad empléense pernos SAE 5.8 milimétrico y un factor de seguridad de 4 que absorberá la variación de las componentes del peso del molde que cambian por el giro, el alto valor del factor de seguridad se debe a que en una máquina lo último en fallar debe ser los elementos de unión.

Se realiza el siguiente cálculo con los datos de la figura 44 como se indica.

Figura 44. Pernos molde-placa de sujeción



Fuente: Autor

Corte primario máximo:

$$V_{1A} = V_{1B} = V_{2A} = V_{2B} = V_{3A} = V_{3B} = \frac{15}{6} = 2,5 \text{ kgf}$$

$$V_{1C} = V_{1D} = V_{2C} = V_{2D} = V_{3C} = V_{3D} = \frac{15}{6} = 2,5 \text{ kgf}$$

Se aplica el principio de Superposición.

$$\text{Perno } (V_{1B} + V_{1C}) = 5 \text{ kgf}$$

$$\text{Perno } (V_{2B} + V_{2C}) = 5 \text{ kgf}$$

Perno ($V_{3B} + V_{3C}$) = 5 kgf

Corte primario $\min=0$ porque en determinado momento el molde se encuentra cerrado

No existen fuerzas o condiciones que generen el corte secundario.

Generándose los siguientes esfuerzos por el corte:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{n(V1B + V1C)}{Ac} \quad (3)$$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{3(5)}{Ac} = \frac{15 \text{ kgf}}{Ac} = \frac{147,15 \text{ N}}{Ac}$$

Fuerza de tracción

$$F_{t1} = \frac{Mr_1}{\sum(r_i)^2} \quad (4)$$

Para cada una de las filas

$$F_{t1} = \frac{(15 \text{ kgf} * 49.32 \text{ mm}) * 325 \text{ mm}}{(325 \text{ mm})^2 + (185 \text{ mm})^2 + (45 \text{ mm})^2} = 1,694 \text{ kgf} = 16,58 \text{ N}$$

$$F_{t2} = \frac{(15 \text{ kgf} * 49.32 \text{ mm}) * 185 \text{ mm}}{(325 \text{ mm})^2 + (185 \text{ mm})^2 + (45 \text{ mm})^2} = 0,96 \text{ kgf} = 9,46 \text{ N}$$

$$F_{t3} = \frac{(15 \text{ kgf} * 49.32 \text{ mm}) * 45 \text{ mm}}{(325 \text{ mm})^2 + (185 \text{ mm})^2 + (45 \text{ mm})^2} = 0,23 \text{ kgf} = 2,3 \text{ N}$$

Obteniendo los siguientes esfuerzos por la tracción:

$$\sigma_{bm} = \frac{F_i}{At} + \frac{ncF_{max}}{2AtN} \quad (5)$$

$$\sigma_{ba} = \frac{ncF_{max}}{2AtN} \quad (6)$$

Se analiza los tres casos de superposición siendo el más grave el caso del perno ($V_{IB} + V_{IC}$) = 5 kgf porque además soporta mayor tracción, tenemos:

$$\sigma_{bm} = \frac{F_i}{At} + \frac{4c16,58}{2At2} = \frac{F_i}{At} + \frac{16,58c}{At}$$

$$\sigma_{ba} = \frac{4c16,58}{2At2} = \frac{16,58c}{At}$$

Ahora como la pretensión es:

$$F_i = 0,9 F_p \quad (7)$$

$$F_i = 0.9 S_p A_t \quad (8)$$

Para SAE 5,8 $S_p = 380 \text{ MPa}$ convirtiendo unidades $S_p = 380 \text{ N/mm}^2$.

Para hacer el primer intento asumimos $c = 0.4$

Se sustituye en (4.5) y (4.6) en los esfuerzos de tracción respectivamente:

$$\sigma_{bm} = \frac{0,9 * 380 * A_t}{A_t} + \frac{16,58 * 0,4}{A_t} = 342 + \frac{6,63}{A_t}$$

$$\sigma_{ba} = \frac{16,58 * 0,4}{A_t} = \frac{0,68}{A_t}$$

Sea $A_c = A_t$ se calcula los esfuerzos equivalentes usando el criterio de Von Mises Hencky.

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(\sigma_{ba})^2 + 4(\tau_a)^2} \quad (9)$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(\sigma_{bm})^2 + 4(\tau_m)^2} \quad (10)$$

Reemplazando los esfuerzos en (4.7) y (4.8) se tiene:

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{\left(\frac{6,63}{At}\right)^2 + 4\left(\frac{147,15}{At}\right)^2} = \frac{294,4}{At}$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{\left(342 + \frac{6,63}{At}\right)^2 + 4\left(\frac{147,15}{At}\right)^2}$$

Aplicando la ecuación de Goodman para zona de seguridad, se tiene:

$$\frac{\sigma_{eqa}}{Se} + \frac{\sigma_{eqm}}{Sy} = 1 \quad (11)$$

Se tiene el límite de fatiga.

(12)

$$\text{Para carga axial: } Se' = 0,45 * Sut$$

$$\text{Luego } Se = \frac{kc}{kf} * 0,45Sut \quad (13)$$

Se busca en tablas 8 -11 en Shigley roscas roladas Grado SAE 5.8 $kf=2$ y para una confiabilidad kc del 90% (Ver Anexo B).

$$Sp=380MPa$$

$$Sy=420MPa$$

$$Sut=520MPa$$

Se tiene el límite de fatiga luego de reemplazar kc , kf y Sut en (4.10):

$$Se = \frac{0.897}{2,2} * 0.45 * (580) = 95,4MPa = 95,4N/mm^2$$

Reemplazando Se , Sy , σ_{eqa} y σ_{eqm} en (4.9) se tiene:

$$\frac{294,4}{At} + \frac{\sqrt{(342 + \frac{6,63}{At})^2 + 4(\frac{147,5}{At})^2}}{420} = 1$$

Se obtiene una $At = 16,7914mm^2$

Luego se verifica en tabla 8-1 de (SHIGLEY , y otros, 2002) un área de esfuerzo de tensión aproximada de 20,1mm que corresponde a un perno M6x1 como se ve en la figura 45.

Esta selección no permitirá obtener los diferentes diámetros y áreas que permitirán realizar los cálculos a fin de obtener valores verdaderos en la selección del perno dentro del diseño del portamolde.

Figura 45. Selección de perno molde-placa de sujeción

Diámetro mayor nominal d	Serie de paso basto			Serie de paso fino		
	Paso p	Área de esfuerzo de tensión A _t	Área al diámetro menor A _r	Paso p	Área de esfuerzo de tensión A _t	Área al diámetro menor A _r
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884

Fuente: (SHIGLEY , y otros, 2002)

Con la rosca seleccionada M6 X 1. De acuerdo a Shigley la longitud ideal de un tornillo es aquella donde se proyecta uno o dos hilos de la tuerca después de que se aprieta y mediante cálculo tenemos de 25mm.

Realizando el recálculo para el perno seleccionado, en este cálculo la incógnita será, el coeficiente de seguridad así se tiene de los valores obtenidos de la figura 45.

$$At = 20,1mm^2$$

$$Ac = 17,9 mm^2$$

$$Ab = \frac{\pi(6)^2}{4} = 28,27mm^2$$

Se calcula la constante elástica de la junta C .

Según la teoría de ITO:

$$K_b = \frac{A_b E_b}{L_b} \quad (14)$$

$$K_b = \frac{28,27 * 2,1 \times 10^5}{25}$$

$$K_b = 237504,4 N/mm$$

$$K_{m1} = \frac{\pi E_m d_c}{\ln \left[5 \frac{(L_1 + 0.5d)}{(L_1 + 2.5d)} \right]} \quad (15)$$

$$K_{m1} = \frac{\pi * 2,1 \times 10^5 * 6}{\ln \left[5 \frac{(10 + 0.5 * 6)}{(10 + 2.5 * 6)} \right]}$$

$$K_{m1} = 4142709,9 N/mm$$

$$K_{m2} = \frac{\pi E_m d_c}{\ln \left[5 \frac{(L_2 + 0.5d)}{(L_2 + 2.5d)} \right]} \quad (16)$$

$$K_{m2} = \frac{\pi * 2,1 \times 10^5 * 6}{\ln \left[5 \frac{(15 + 0.5 * 6)}{(15 + 2.5 * 6)} \right]} = 3603097 N/mm$$

$$K_{m2} = 3603097 N/mm$$

(17)

$$\frac{1}{K_{mt}} = \frac{1}{K_{m1}} + \frac{1}{K_{m2}}$$

$$\frac{1}{K_{mt}} = \frac{1}{4142709.9} + \frac{1}{3603097}$$

$$K_{mt} = 1927053,67$$

Luego:

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_{mt}} \quad (18)$$

$$C = \frac{237504,4}{237504,4 + 1927053,67}$$

$$C = 0,109 \approx 0,11$$

Ahora se vuelve a calcular los esfuerzos reemplazando el valor de At en (4.1) y el valor de Ac y C en (4.3), (4.4) respectivamente:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{n(5)}{17,9} = 2,74n \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{bm} = 342 + \frac{n \cdot 16,58 \cdot 0,11}{2 \cdot 20,1 \cdot 2} = 342 + 0,023n \text{ Nmm}^2$$

$$\sigma_{ba} = \frac{n \cdot 16,58 \cdot 0,11}{2 \cdot 20,1 \cdot 2} = 0,023n \text{ Nmm}^2$$

Ahora se calculan los esfuerzos equivalentes:

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(\sigma_{ba})^2 + 4(\tau_a)^2} = \sqrt{(0,023n)^2 + 4(2,74n)^2} = 5,48n$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(\sigma_{bm})^2 + 4(\tau_m)^2} = \sqrt{(342 + 0,023n)^2 + 4(2,74n)^2}$$

Reemplazando en la ecuación de Goodman (4.9).

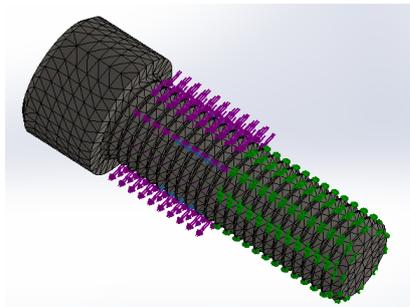
$$\frac{5,48n}{95,4} + \frac{\sqrt{(342 + 0,023n)^2 + 4(2,74n)^2}}{420} = 1$$

Obteniendo un coeficiente de seguridad de n=3.2 satisfactorio para el diseño.

Validación de diseño mediante software CAE para lo cual se modela el elemento a ser analizado, luego asignan el material, se aplican las cargas y sujeciones correspondientes:

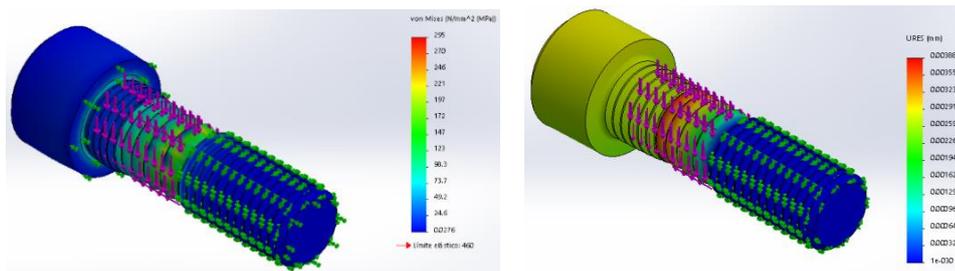
Se puede verificar que el diámetro obtenido de 6mm resiste a las cargas que sobre él se ejercen y no superan su límite de fluencia de 420 MPa, produciéndose deformaciones mínimas en el orden de milésimas de milímetro y para un FPS mínimo de 2.809.

Figura 46. Cargas ejercidas sobre los pernos molde-placa de sujeción.



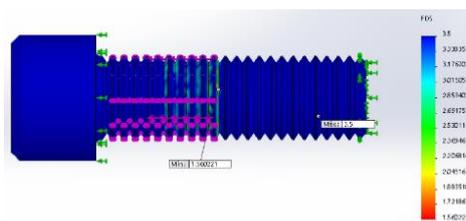
Fuente: Autor

Figura 47. Resultados Diseño CAE perno molde-placa de sujeción a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad.



(a)

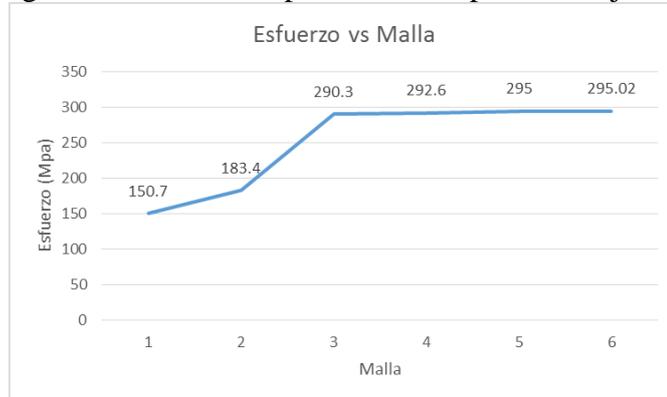
(b)



(c)

Fuente: Autor

Figura 48. Validación pernos molde-placa de sujeción



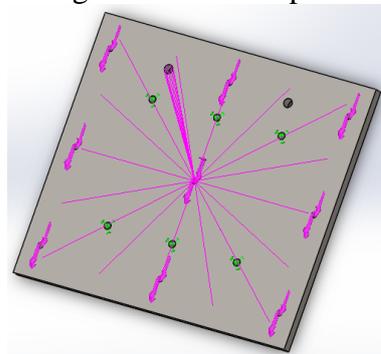
Fuente: Autor

4.5.7 *Diseño de placas de sujeción.* Para el diseño de esta placa se considera la fuerza del molde de 15kg que se ejerce por cada uno de los 6 pernos, calculados en el apartado anterior.

Es necesario para esta placa que soporte la carga sin deformarse, este a su vez ira montada por pernos al brazo del mecanismo, para lo cual también y de la misma manera estará soportada por 6 pernos, calculo que se verá más adelante.

Es necesario calcular el espesor de esta placa, para sumar a la carga que soportaran estos pernos para ello este análisis se realiza directamente en software CAE sin necesidad de algún tipo de cálculo previo, es así que se observa las cargas y las sujeciones.

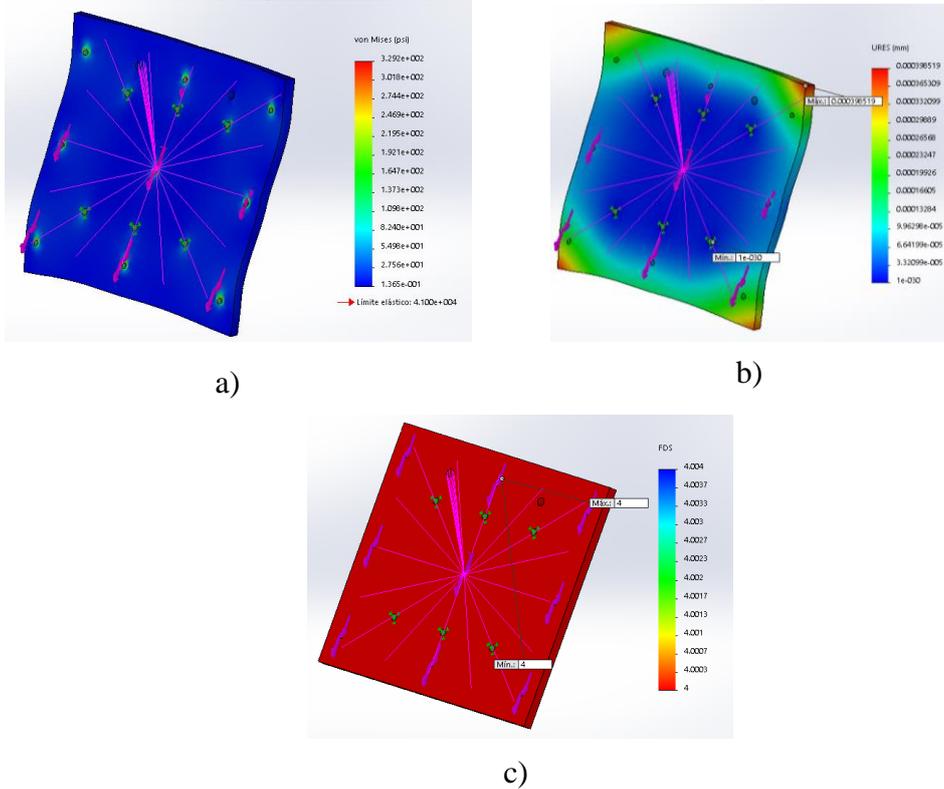
Figura 49. Cargas actuantes en placa de sujeción



Fuente: Autor

Luego se realiza la simulación y se verifica el esfuerzo, la deformación y el coeficiente de seguridad. Donde se varía de manera repetida diversos espesores de malla hasta obtener como se indica.

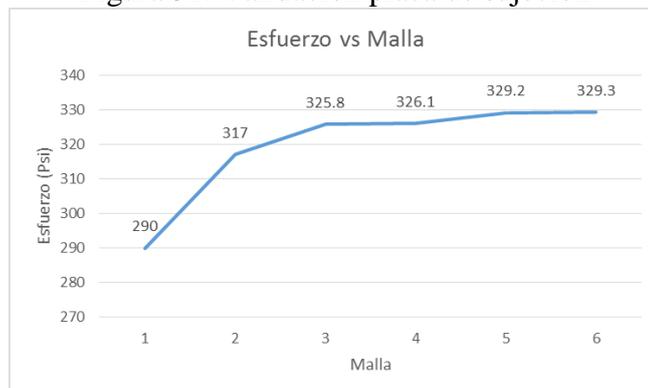
Figura 50. Resultados diseño CAE placa de sujeción a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad.



Fuente: Autor

Ahora se nota que la placa soporta el esfuerzo máximo sin superar su límite elástico y una deformación permisible favorable, para un coeficiente de seguridad de 4 satisfaciendo las necesidades del diseño.

Figura 51. Validación placa de sujeción



Fuente: Autor

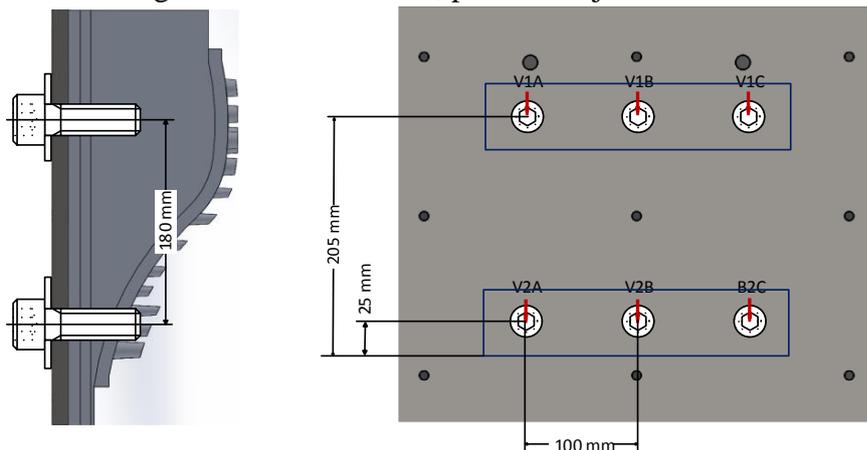
4.5.8 Selección de pernos de sujeción (molde, placa de sujeción-brazo). Los pernos están sujetos a tracción y corte, se considera la carga de 30 kgf del molde más el peso de los 12 pernos y la placa de sujeción de 8 kgf, Para un total de 38 kgf que varía desde cuando está cerrado el molde hasta el punto máximo de apertura.

Entonces se necesita determinar el tamaño apropiado de los pernos.

Para el soporte se establecen 6 pernos idénticos y por consideraciones de seguridad, empléense pernos SAE 5.8 milimétrico y un factor de seguridad de 4.

Se realiza el siguiente cálculo con los datos mostrados en la figura:

Figura 52. Pernos molde, placa de sujeción-brazo



Fuente: Autor

Corte primario máximo:

$$V_{1A} = V_{1B} = V_{1C} = V_{2A} = V_{2B} = V_{2C} = \frac{38}{6} = 5,83 \text{ kgf}$$

Corte primario min=0 porque en este punto el molde se encuentra cerrado

No existen fuerzas o condiciones que generen el corte secundario.

Generándose los siguientes esfuerzos por el corte:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{n (V_{1A} = V_{1C})}{Ac}$$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{4(5,83)}{Ac} = \frac{23,32 \text{ kgf}}{Ac} = \frac{228,8 \text{ N}}{Ac}$$

Fuerza de tracción

$$F_{t1} = \frac{Mr_1}{\sum(r_i)^2}$$

Para cada una de las filas

$$F_{t1} = \frac{(35 \text{ kgf} * 56,82 \text{ mm}) * 205 \text{ mm}}{(205 \text{ mm})^2 + (25 \text{ mm})^2} = 9,56 \text{ kgf} = 93,78 \text{ N}$$

$$F_{t2} = \frac{(35 \text{ kgf} * 56,82 \text{ mm}) * 25 \text{ mm}}{(325 \text{ mm})^2 + (185 \text{ mm})^2} = 1,17 \text{ kgf} = 11,44 \text{ N}$$

Obteniendo los siguientes esfuerzos por tracción:

$$\sigma_{bm} = \frac{F_i}{At} + \frac{ncF_{max}}{2AtN}$$

$$\sigma_{ba} = \frac{ncF_{max}}{2AtN}$$

Se analiza las dos filas de pernos y se puede deducir que los pernos superiores son los casos más extremos fundamentalmente porque soportan mayor tracción, los extremo como son V_{1A} , $V_{1C} = 5.83 \text{ kgf}$ se tiene:

$$\sigma_{bm} = \frac{F_i}{At} + \frac{4c93,78}{2At2} = \frac{F_i}{At} + \frac{93,78c}{At}$$

$$\sigma_{ba} = \frac{4c93,78}{2At2} = \frac{93,78c}{At}$$

Ahora como la pretensión es:

$$F_i = 0,9 F_p$$

$$F_i = 0,9 Sp At$$

Para SAE 5.8 $Sp=380MPa$ convirtiendo unidades $Sp=380 N/mm^2$.

Para hacer el primer intento se asume $c = 0.4$

Se sustituye (6.5) y (6.6) en (6.3) y (6.4) respectivamente:

$$\sigma_{bm} = \frac{0,9 * 380 * At}{At} + \frac{93,78 * 0,4}{At} = 342 + \frac{37,512}{At}$$

$$\sigma_{ba} = \frac{93,78 * 0,4}{At} = \frac{37,512}{At}$$

Sea $Ac=At$ se calcula los esfuerzos equivalentes usando el criterio de Von Mises Hencky.

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(\sigma_{ba})^2 + 4(\tau_a)^2}$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(\sigma_{bm})^2 + 4(\tau_m)^2}$$

Reemplazando los esfuerzos debidos a la tracción y corte en (6.7) y (6.8) se tiene:

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{\left(\frac{37,512}{At}\right)^2 + 4\left(\frac{228,8}{At}\right)^2} = \frac{459,13}{At}$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{\left(342 + \frac{37,512}{At}\right)^2 + 4\left(\frac{228,8}{At}\right)^2}$$

Aplicando la ecuación de Goodman para zona de seguridad, se tiene

$$\frac{\sigma_{eqa}}{Se} + \frac{\sigma_{eqm}}{Sy} = 1$$

Además límite de fatiga

$$\text{Para carga axial: } Se' = 0.45 * Sut$$

$$\text{Luego: } Se = \frac{kc}{kf} * 0.45Sut$$

Buscamos en tablas 8-11 en Shigley roscas roladas Grado SAE 5.8 $kf=2$ y para una confiabilidad kc del 90% ver ANEXO D

$$Sp=380MPa$$

$$Sy=420MPa$$

$$Sut=520MPa$$

Se tiene límite de fatiga luego de reemplazar (6.10) kf y kc y Sut en (6.11):

$$Se = \frac{0,897}{2,2} * 0,45 * (580) = 95,4MPa = 95,4N/mm^2$$

Reemplazando Se , Sy , σ_{eqa} y σ_{eqm} en (6.9) se tiene:

$$\frac{\frac{459,13}{At}}{95,4} + \frac{\sqrt{(342 + \frac{37,512}{At})^2 + 4(\frac{228,8}{At})^2}}{420} = 1$$

Se obtiene una $At = 26,54 \text{ mm}^2$

Luego se verifica en tabla 8.1 de (SHIGLEY , y otros, 2002) un área de esfuerzo de tensión de aproximada de 36,6 que corresponde a un perno de rosca M8x1,25 como se ve en la figura 42.

Se selecciona una rosca M8 X 1,25. De acuerdo a Shigley, la longitud ideal de un tornillo es aquella donde se proyecta uno o dos hilos de la tuerca después de que se aprieta siendo esta de 25mm.

Figura 53. Selección perno molde, placa de sujeción - brazo

Diámetro mayor nominal d	Serie de paso basto			Serie de paso fino		
	Paso p	Área de esfuerzo de tensión A_t	Área al diámetro menor A_c	Paso p	Área de esfuerzo de tensión A_t	Área al diámetro menor A_c
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259

Fuente: (SHIGLEY, y otros, 2002)

Realizando el recálculo para el perno seleccionado, en este cálculo la incógnita será el coeficiente de seguridad así se tiene.

$$A_t = 36,6 \text{ mm}^2$$

$$A_c = 32,8 \text{ mm}^2$$

$$A_b = \frac{\pi(8)^2}{4} = 50,3 \text{ mm}^2$$

Se calcula la constante elástica de la junta C .

Según la teoría de ITO:

$$K_b = \frac{A_b E_b}{L_b}$$

$$K_b = \frac{50,3 * 2,1 \times 10^5}{25}$$

$$K_b = 422520 \text{ N/mm}$$

$$K_{m1} = \frac{\pi E_m d_c}{\ln \left[5 \frac{(L_1 + 0.5d)}{(L_1 + 2.5d)} \right]}$$

$$K_{m1} = \frac{\pi * 2.1 \times 10^5 * 8}{\ln \left[5 \frac{(4+0.5*8)}{(4+2.5*8)} \right]}$$

$$K_{m1} = 2782046,3 \text{ N/mm}$$

$$K_{m1} = \frac{\pi E_m d_c}{\ln \left[5 \frac{(L_1+0.5d)}{(L_1+2.5d)} \right]}$$

$$K_{m1} = \frac{\pi * 2.1 \times 10^5 * 8}{\ln \left[5 \frac{(15+0.5*8)}{(15+2.5*8)} \right]}$$

$$K_{m1} = 3067349,03 \text{ N/mm}$$

$$\frac{1}{K_{mt}} = \frac{1}{K_{m1}} + \frac{1}{K_{m2}}$$

$$\frac{1}{K_{mt}} = \frac{1}{2782046,3} + \frac{1}{3067349,03}$$

$$K_{mt} = 1458869,9$$

Luego:

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_{mt}}$$

$$C = \frac{422520}{422520 + 1458869,9}$$

$$C = 0,2245 \approx 0,22$$

Ahora se vuelve a calcular los esfuerzos reemplazando el valor de At en (6.2) y el valor de Ac y C en (6.3). (6.4) respectivamente:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{n(5)}{32,8} = 1,5n \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{bm} = 342 + \frac{n \cdot 93,78 \cdot 0,22}{2 \cdot 36,6 \cdot 2} = 342 + 0,14n \text{ Nmm}^2$$

$$\sigma_{ba} = \frac{n \cdot 93,78 \cdot 0,22}{2 \cdot 36,6 \cdot 2} = 0,14n \text{ Nmm}^2$$

Ahora se calcula los esfuerzos equivalentes.

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(\sigma_{ba})^2 + 4(\tau_a)^2} = \sqrt{(0,14n)^2 + 4(1,5n)^2} = 3 \cdot n$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(\sigma_{bm})^2 + 4(\tau_m)^2} = \sqrt{(342 + 0,14n)^2 + 4(1,5n)^2}$$

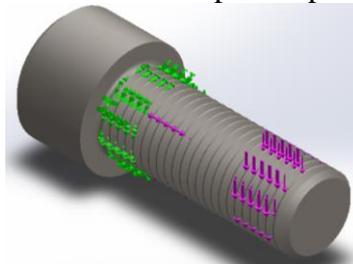
Remplazando en la ecuación de Goodman (6.9)

$$\frac{3n}{95,4} + \frac{\sqrt{(342 + 0,14n)^2 + 4(1,5n)^2}}{420} = 1$$

Obteniendo un coeficiente de seguridad de $n=5.8$ satisfactorio para el diseño.

Validación de diseño mediante software CAE para lo cual se modela el elemento a ser analizado, luego se asignan el material, se aplican las cargas y sujeciones correspondientes, obteniéndose un $n = 4.7$ satisfactorio para el diseño:

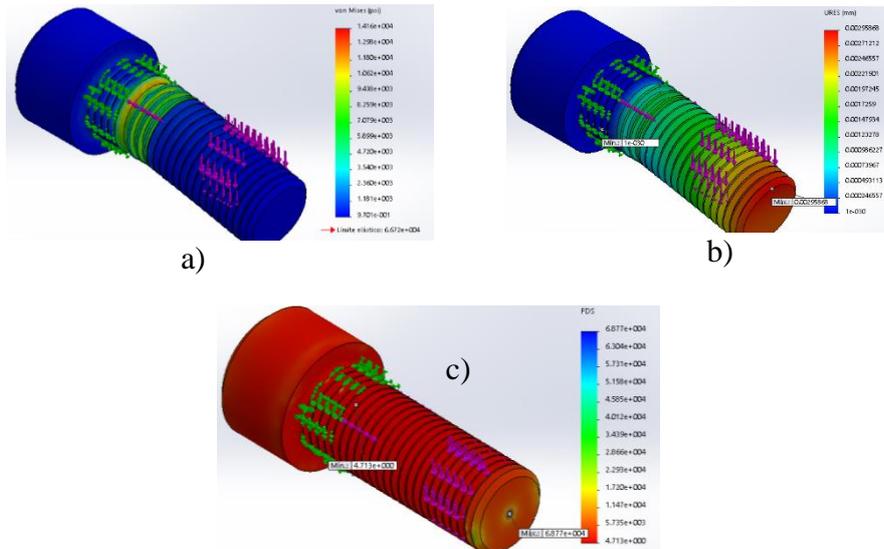
Figura 54. Cargas ejercidas sobre los pernos placa de sujeción – brazo



Fuente: Autor

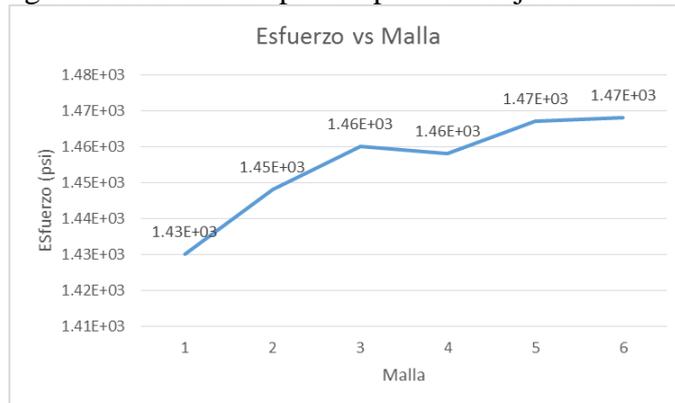
Se realiza diversos cálculos CAE en los cuales se modifica el mallado de para el elemento, hasta obtener una un marcada tendencia de estabilización en los datos del esfuerzo obteniéndose los siguientes resultados.

Figura 55. Resultados Diseño CAE a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad.



Fuente: Autor

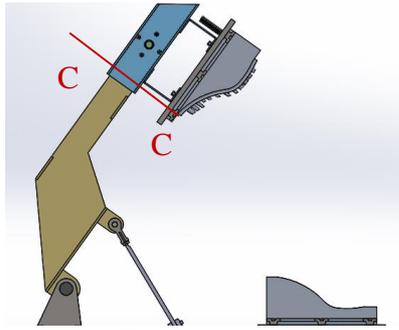
Figura 56. Validación pernos placa de sujeción – brazo



Fuente: Autor

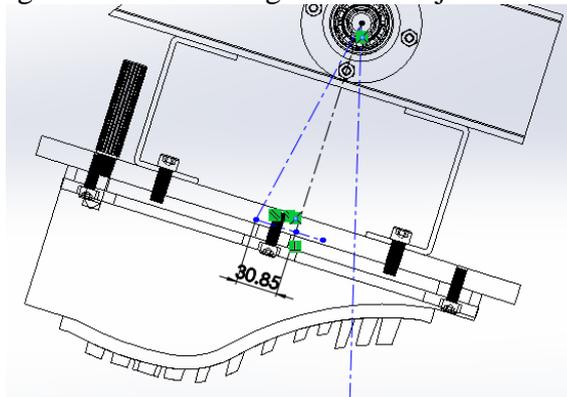
4.5.9 Diseño de brazo mecánico. Este elemento soporta el peso del molde. Para contrarrestar el esfuerzo de flexión generado por el molde se considera aumentar la distancia al eje neutro, por ello y en base a referencias de máquinas se comprueba cómo sigue.

Figura 57. Brazo mecánico.



Fuente: Autor

Figura 58. Centro de gravedad conjunto molde



Fuente: Autor

En el eje x

$$\sum F_x = 0$$

$$-752,9\cos 59 + R_{ax} = 0$$

$$R_{ax} = 387,78N \rightarrow$$

En el eje y

$$\sum F_y = 0$$

$$-P_{molde} + 752,9\sin 59 - R_{ay} = 0$$

$$-408,2N + 645,36 - R_{ay} = 0$$

$$+237,16 - R_{ay} = 0$$

$$R_{ay} = 237,16N \downarrow$$

Según el brazo se mueva las componentes de las fueras que sobre él se ejercen también irán variando de acuerdo a los ejes coordenados.

Flexión para este caso consideramos crítica la sección C – C

$$\sigma_f = \frac{Mc}{I_x} \quad (19)$$

$$\sigma_f = \frac{M_f(4)}{\frac{1}{12}t8}$$

$$\sigma_f = \frac{0,094M_f}{t}$$

Para el esfuerzo de flexión se considera el momento por el peso del molde y su componente misma.

$$M_f = P_{molde} * 14 + 143,9 = 408,2 * 14 + 143,9 = 9835Nmm$$

$$\sigma_f = \frac{924,5}{t}$$

Esta sección se comprime y se considera también este esfuerzo para asegurar nuestro diseño y que no falle, entonces se tiene el esfuerzo de axial.

$$\sigma_{ax} = \frac{F}{A} = \frac{408,2 * \text{sen}54}{A} = \frac{350}{8t}$$

Ahora:

Para el esfuerzo de flexión

$$\sigma_{fa} = \frac{924,5}{t}$$

$$\sigma_{fm} = 0$$

Para el esfuerzo axial

$$\sigma_{axa} = \sigma_{axm} = \frac{43,75}{t}$$

Los esfuerzos equivalentes de acuerdo al criterio de Von Mises Hencky serán:

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(\sigma_{fa} + \sigma_{axa})^2 + 3(\tau_{ta} + \tau_{ca})^2} \quad (20)$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(\sigma_{fm} + \sigma_{axm})^2 + 3(\tau_{ta} + \tau_{ca})^2} \quad (21)$$

Remplazando:

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{\left(\frac{924,5}{t} + \frac{43,75}{t}\right)^2} = \frac{924,5}{t} + \frac{43,75}{t}$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{\left(\frac{43,75}{t}\right)^2} = \frac{43,75}{t}$$

Ahora se mayor nuestros esfuerzos por concentración de tensiones en la sección C-C.

Asumiendo que $k_t = K_{ff} = K_{fax}$ y que $t=0,6\text{cm}$

Entonces $k_t = 2,1$

$$\sigma_{eqa} = K_{ff} \frac{900}{t} + K_{fax} \frac{43,75}{t} = 2,1 \frac{924,5}{t} + 2,1 \frac{43,75}{t}$$

$$\sigma_{eqm} = \frac{43,75}{t}$$

Límite de fatiga

$$Se = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_g Se' \quad (22)$$

Sea

$$k_i = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_g = 0.6$$

$$Se = 0,6 * (0,5 * 2520) = \frac{756kgf}{cm^2}$$

En la zona de seguridad de Goodman se tiene:

$$\frac{\left(\frac{1941,45}{t} + \frac{91,88}{t}\right)}{7416,36} + \frac{\frac{43,75}{t}}{24721,2} = \frac{1}{2}$$

Obtenemos un valor de $t = 0,5518cm \approx 6mm$

Se verifica con $t=6mm$:

$$\frac{D}{d} = \frac{8,84}{8} = 1,1$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0,5}{8} = 0,25$$

$$K_{tf} = 1,4$$

$$K_{fax} = 1,38$$

$$q = 0,75$$

$$q = 0,75$$

$$K_{ff} = 1 + q(K_{tf} - 1)$$

$$K_{fax} = 1 + q(K_{fax} - 1)$$

$$K_{ff} = 1 + 0,75(1,4 - 1) = 1,3$$

$$K_{fax} = 1 + 0,75(1,38 - 1) = 1,285$$

Reemplazando valores

$$k_a = 0,9 \text{ esmerilado}$$

$$k_b = 0,869 * de^{0,097} = 0,92$$

$$\text{Dónde: } de = 0,80792\sqrt{8x0,6} = 1,8$$

$$k_c = 0,814 \text{ para } R = 99\%$$

$$k_d = 1$$

$$k_e = 1$$

Sustituyendo los valores de los coeficientes se tiene

$$k_i = 0,67$$

$$Se = 0,67 * (0,5 * 2520) = 844,2 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\sigma_{eqa} = 1,3 \frac{924,5}{0,6} + 1,285 \frac{43,75}{0,6} = 2096,78 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{eqa} = \frac{43,75}{t} = \frac{43,75}{0,6} = 72,92 \text{ N/cm}^2$$

Para la zona de seguridad de Goodman:

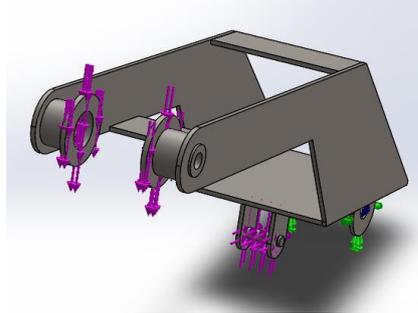
$$\frac{2096,78}{8281,602} + \frac{72,92}{24721,2} = \frac{1}{n}$$

Que otorga un $n = 3,9$ satisfactorio para el diseño.

Validación de diseño mediante software CAE para lo cual se modela el elemento a ser analizado, luego asignan el material, se aplican las cargas y sujeciones correspondientes.

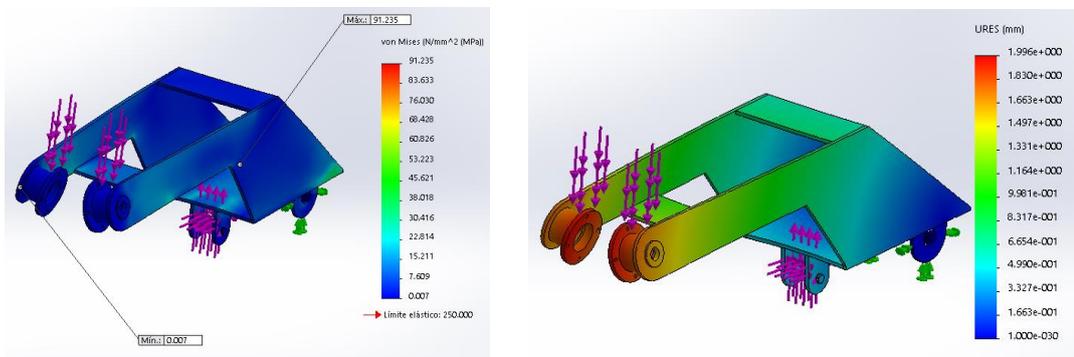
Luego de varias simulaciones, empleándose diferentes tipos mallas hasta conseguir una más densa que marque una tendencia a estabilizarse alrededor de determinado valor en la que su resultado varía poco se tiene.

Figura 59. Cargas aplicadas sobre brazo mecánico

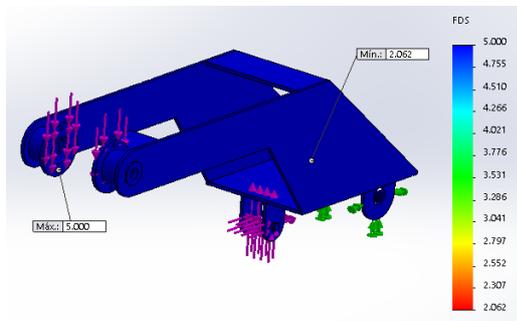


Fuente: Autor

Figura 60. Resultados Diseño CAE brazo mecánico a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad.



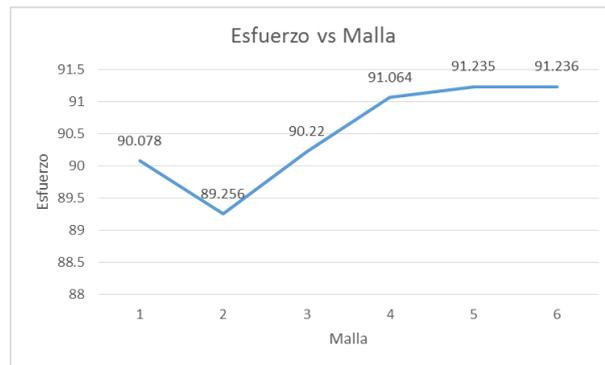
(b)



(c)

Fuente: Autor

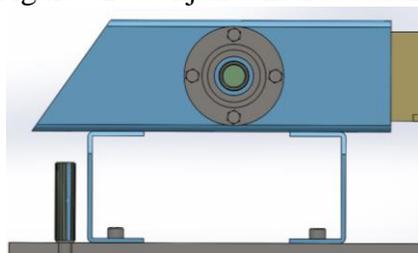
Figura 61. Validación brazo mecánico



Fuente: Autor

4.5.10 Selección de pernos molde-brazo. Este elemento de unión une el molde al brazo de apertura y cierre sumándose el peso del soporte estructural de 6,61kg al de la placa base y del molde sumando un total de 41,61kgf

Figura 62. Conjunto molde - brazo

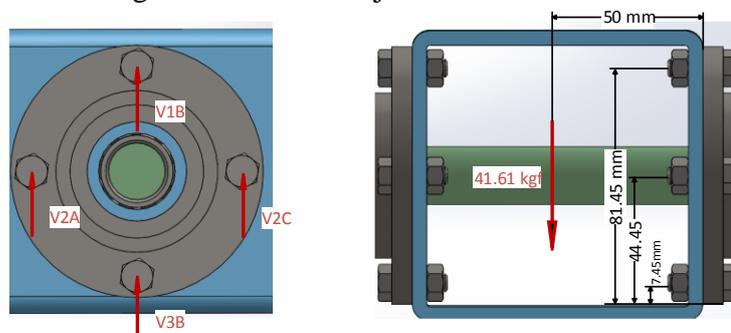


Fuente: Autor

Entonces se necesita determinar el tamaño apropiado de los pernos. Para esta unión, se establecen 8 pernos idénticos en total, distribuidos 4 a cada lado y por consideraciones de seguridad empléense pernos SAE 5,8 milimétrico y un factor de seguridad de 4.

Se realiza el siguiente cálculo con los datos mostrados en la figura:

Figura 63. Perno conjunto molde - brazo



Fuente: Autor

Corte primario máximo:

$$V_{2A} = V_{1B} = V_{3B} = V_{2C} = \frac{41,61/2}{4} = 5,20 \text{ kgf}$$

Por simetría se analiza un solo lado del elemento de la estructura que soportara las fuerzas.

Corte primario min=0 porque en un momento el molde se encontrara cerrado.

No existen fuerzas o condiciones que generen el corte secundario.

Se genera los siguientes esfuerzos por el corte:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{n (V_{1B})}{Ac}$$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{4(5,20)}{Ac} = \frac{20,8 \text{ kgf}}{Ac} = \frac{204,05 \text{ N}}{Ac}$$

Fuerza de tracción

$$F_{t1} = \frac{Mr_1}{\sum(r_i)^2}$$

Para cada una de las filas

$$F_{t1} = \frac{(20,81 \text{ kgf} * 50 \text{ mm}) * 81,45 \text{ mm}}{(81,45 \text{ mm})^2 + (44,45 \text{ mm})^2 + (7,45 \text{ mm})^2} = 9,78 \text{ kgf} = 95,94 \text{ N}$$

$$F_{t2} = \frac{(20,81 \text{ kgf} * 50 \text{ mm}) * 44,45 \text{ mm}}{(81,45 \text{ mm})^2 + (44,45 \text{ mm})^2 + (7,45 \text{ mm})^2} = 5,33 \text{ kgf} = 52,3 \text{ N}$$

$$F_{t3} = \frac{(20,81 \text{ kgf} * 50 \text{ mm}) * 7,45 \text{ mm}}{(81,45 \text{ mm})^2 + (44,45 \text{ mm})^2 + (7,45 \text{ mm})^2} = 0,89 \text{ kgf} = 8,73 \text{ N}$$

Obteniendo los siguientes esfuerzos por la tracción:

$$\sigma_{bm} = \frac{F_i}{At} + \frac{ncF_{max}}{2AtN}$$

$$\sigma_{ba} = \frac{ncF_{max}}{2AtN}$$

Se analiza el perno número $V_{IB}=5.2 \text{ kgf}$ para el análisis como el elemento más crítico, porque soporta la mayor tracción con 95.94 N que sobre él se ejercen, entonces tenemos:

$$\sigma_{bm} = \frac{F_i}{At} + \frac{4c95,94}{2At3} = \frac{F_i}{At} + \frac{63,96c}{At}$$

$$\sigma_{ba} = \frac{4c95,94}{2At3} = \frac{63,96c}{At}$$

Ahora como la pretensión es:

$$F_i = 0,9 F_p$$

$$F_i = 0,9 Sp At$$

Para SAE 5,8 $Sp = 380 \text{ MPa}$ convirtiendo unidades $Sp=380 \text{ N/mm}^2$.

Para hacer el primer intento se asume $c = 0.4$

Se sustituye en (8.6) y Sp en (8.3) y (8.4) respectivamente:

$$\sigma_{bm} = \frac{0.9 * 380 * At}{At} + \frac{63.96 * 0.4}{At} = 342 + \frac{25.6}{At}$$

$$\sigma_{ba} = \frac{63,96 * 0,4}{At} = \frac{25,6}{At}$$

Sea $A_c=At$ se calcula los esfuerzos equivalentes usando el criterio de Von Mises Hencky.

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(\sigma_{ba})^2 + 4(\tau_a)^2}$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(\sigma_{bm})^2 + 4(\tau_m)^2}$$

Reemplazando los esfuerzos en (8.7) y (8.8) se tiene:

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{\left(\frac{25,6}{At}\right)^2 + 4\left(\frac{204,05}{At}\right)^2} = \frac{408,9}{At}$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{\left(342 + \frac{25,6}{At}\right)^2 + 4\left(\frac{204,05}{At}\right)^2}$$

Aplicando la ecuación de Goodman para zona de seguridad

$$\frac{\sigma_{eqa}}{Se} + \frac{\sigma_{eqm}}{Sy} = 1$$

Se tiene para el límite de fatiga

$$\text{Para carga axial: } Se' = 0,45 * Sut$$

$$\text{Luego } Se = \frac{kc}{kf} * 0,45Sut$$

Se busca en tablas 8-11 en Shigley roscas roladas Grado SAE 5.8 $kf=2$ y para una confiabilidad kc de de 90% (Ver Anexo B).

$$Sp=380MPa$$

$$Sy=420MPa$$

$$Sut=520MPa$$

Se tiene el límite de fatiga luego de reemplazar (8.10), kc , kf y Sut en (8.11):

$$Se = \frac{0,897}{2,2} * 0,45 * (580) = 95,4MPa = 95,4N/mm^2$$

Reemplazando Se , Sy , σ_{eqa} y σ_{eqm} en (8.9) se tiene:

$$\frac{\frac{408,9}{At}}{95,4} + \frac{\sqrt{(342 + \frac{25,6}{At})^2 + 4(\frac{204,05}{At})^2}}{420} = 1$$

Se obtiene una $At = 23,5mm^2$

Luego se verifica en tabla 8-1 de (SHIGLEY , y otros, 2002) una área de esfuerzo de tensión aproximada de $36,6 mm^2$ que corresponde a un perno M8x1.25 como se ve en la figura 64.

Figura 64. Selección perno conjunto molde –Brazo

Diámetro mayor nominal d	Serie de paso basto			Serie de paso fino		
	Paso p	Área de esfuerzo de tensión A_t	Área al diámetro menor A_c	Paso p	Área de esfuerzo de tensión A_t	Área al diámetro menor A_c
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259

Fuente: (SHIGLEY , y otros, 2002)

Se selecciona una rosca M8 X 1,25 De acuerdo a Shigley La longitud ideal de un tornillo es aquella donde se proyecta uno o dos hilos de la tuerca después de que se aprieta siendo esta de 20 mm.

Realizando el recálculo para el perno seleccionado, en este cálculo la incógnita será el coeficiente de seguridad, así se tiene de la tabla anterior.

$$At = 36,6mm^2$$

$$Ac = 32,8 mm^2$$

$$Ab = \frac{\pi(8)^2}{4} = 50,3mm^2$$

Se calcula la constante elástica de la junta C.

Según la teoría de ITO:

$$K_b = \frac{A_b E_b}{L_b}$$

$$K_b = \frac{50.3 * 2,1 \times 10^5}{13}$$

$$K_b = 812538,46 \text{ N/mm}$$

$$K_{m1} = \frac{\pi E_m d_c}{\ln \left[5 \frac{(L_1 + 0.5d)}{(L_1 + 2.5d)} \right]}$$

$$K_{m1} = \frac{\pi E_m d_c}{\ln \left[5 \frac{(L_1 + 0.5d)}{(L_1 + 2.5d)} \right]}$$

$$K_{m1} = 7417994,32 \text{ N/mm}$$

$$K_{m1} = \frac{\pi E_m d_c}{\ln \left[5 \frac{(L_1 + 0.5d)}{(L_1 + 2.5d)} \right]}$$

$$K_{m1} = \frac{\pi * 2,1 \times 10^5 * 8}{\ln \left[5 \frac{(5 + 0.5 * 8)}{(5 + 2,5 * 8)} \right]}$$

$$K_{m1} = 8979236.81 \text{ N/mm}$$

$$\frac{1}{K_{mt}} = \frac{1}{K_{m1}} + \frac{1}{K_{m2}}$$

$$\frac{1}{K_{mt}} = \frac{1}{7417994,32} + \frac{1}{8979236,81}$$

$$K_{mt} = 4062144,83$$

Luego

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_{mt}}$$

$$C = \frac{812538,46}{812538,46 + 4062144,83}$$

$$C = 0,166 \approx 0,17$$

Ahora se vuelve a calcular los esfuerzos reemplazando el valor de At en (8.1) y el valor de Ac y C en (8.3), (8.4) respectivamente:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{n(5.2)}{32.8} = 1,6n \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{bm} = 342 + \frac{n \cdot 95,94 \cdot 0,17}{2 \cdot 36,6 \cdot 2} = 342 + 0,11n \text{ Nmm}^2$$

$$\sigma_{ba} = \frac{n \cdot 95,94 \cdot 0,17}{2 \cdot 36,6 \cdot 2} = 0,11n \text{ Nmm}^2$$

Ahora se calcula los esfuerzos equivalentes.

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(\sigma_{ba})^2 + 4(\tau_a)^2} = \sqrt{(0,11n)^2 + 4(1,6n)^2} = 3,2n$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(\sigma_{bm})^2 + 4(\tau_m)^2} = \sqrt{(342 + 0,11n)^2 + 4(1,6n)^2}$$

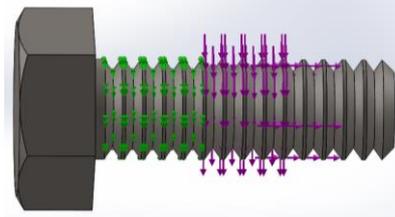
Reemplazando en la ecuación de Goodman (8.9)

$$\frac{3,2n}{95,4} + \frac{\sqrt{(342 + 0,11n)^2 + 4(1,6n)^2}}{420} = 1$$

Se obtiene un coeficiente de seguridad de $n=5,4$ satisfactorio para el diseño.

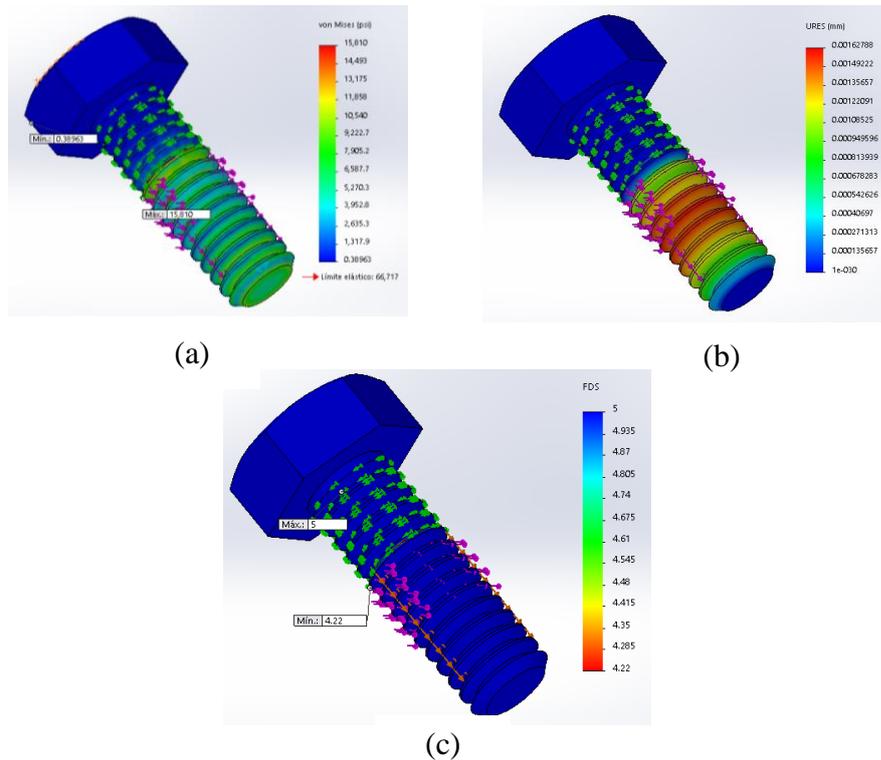
Validación de diseño mediante software CAE para lo cual se modela el elemento a ser analizado, luego asignan el material, se aplican las cargas y sujeciones correspondientes obteniéndose un n de 4.22 satisfactorio en el diseño como se puede observar:

Figura 65. Cargas y sujeciones sobre pernos molde-brazo



Fuente: Autor

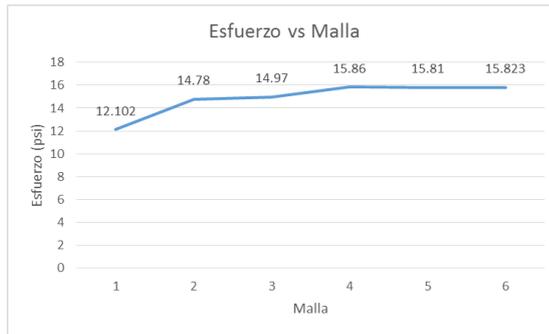
Figura 66. Resultados Diseño CAE perno conjunto molde-brazo a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad



Fuente: Autor

Finalmente se desarrollan varios análisis CAE variando el mallado de mi elemento cada vez más fino, hasta obtener una tendencia de acuerdo a un resultado como se puede observar en la siguiente figura.

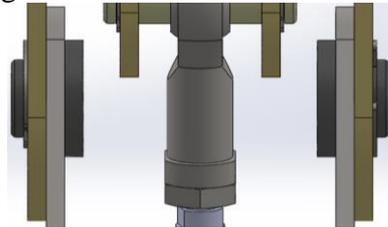
Figura 67. Validación perno molde - brazo



Fuente: Autor

4.5.11 *Diseño de pasador brazo-bancada.* Este elemento de unión estará sujeto a corte, uniendo sobre la estructura de la bancada, con el brazo del mecanismo de apertura y cierre.

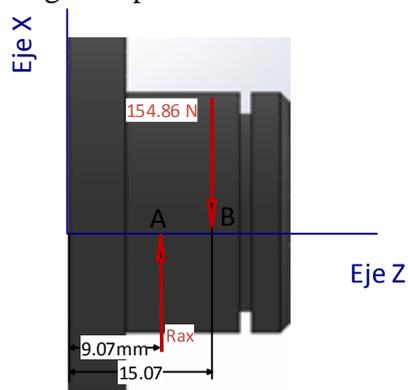
Figura 68. Pasador brazo - bancada



Fuente: Autor

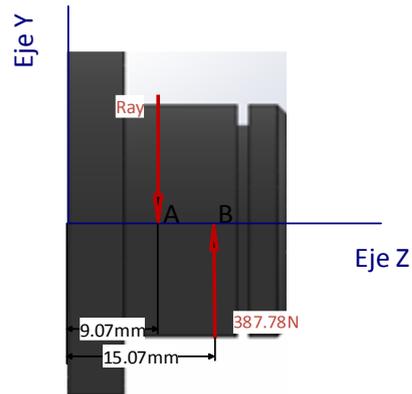
Se representan sobre el elemento las fuerzas que se ejercen sobre el plano x-z y sobre el plano y-z.

Figura 69. Diagrama pasador brazo- bancada plano zx



Fuente: Autor

Figura 70. Diagrama pasador brazo – bancada plano zy



Fuente: Autor

Se calcula las reacciones:

Después del análisis de fuerzas en el mecanismo del brazo se obtiene las reacciones que a su vez se ejercen en este elemento además añadimos el peso del brazo de 12 kgf, así y como se muestran en las figuras anteriores se calcula las reacciones.

En el plano x-z

$$\sum F_x = 0$$

$$-P_{mol-bra} + P_{csen59} - R_{ax} = 0$$

$$-519,93 + 645,36 - R_{ax} = 0$$

$$R_{ax} = 125,43 \text{ N } \uparrow$$

En el plano y-z

$$\sum F_y = 0$$

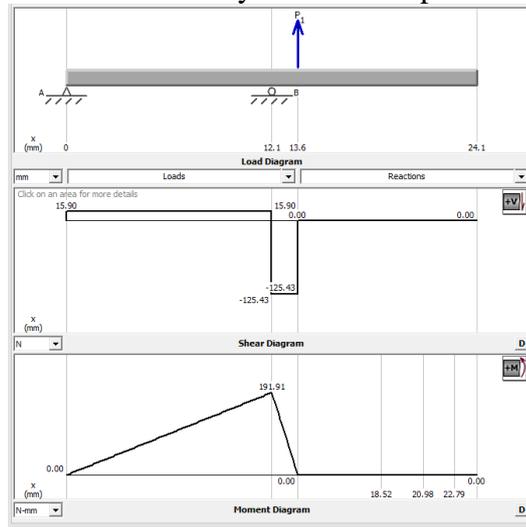
$$387,78 - R_{ay} = 0$$

$$R_{ay} = 387,78 \text{ N } \downarrow$$

Con los resultados anteriores y por medio del software MDSolids4.0 se obtiene los diagramas de momentos y cortantes.

Para el plano x-z

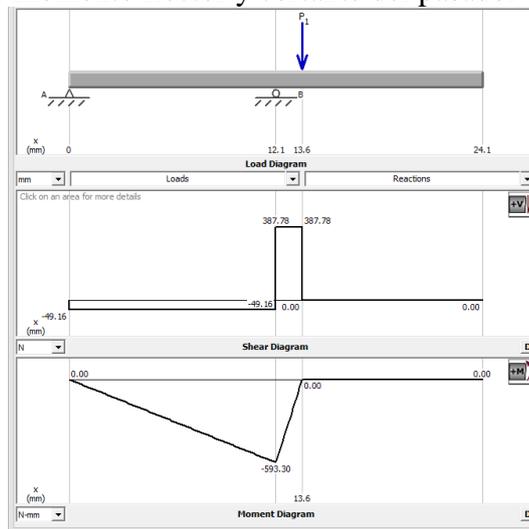
Figura 71. Diagrama de momento flector y cortante del pasador brazo bancada plano x-z



Fuente: Autor

Para el plano y-z

Figura 72. Diagrama de momento flector y cortante del pasador brazo-bancada plano y-z



Fuente: Autor

Se calcula los momentos resultantes para el punto A donde es más crítico, porque posee el mayor momento:

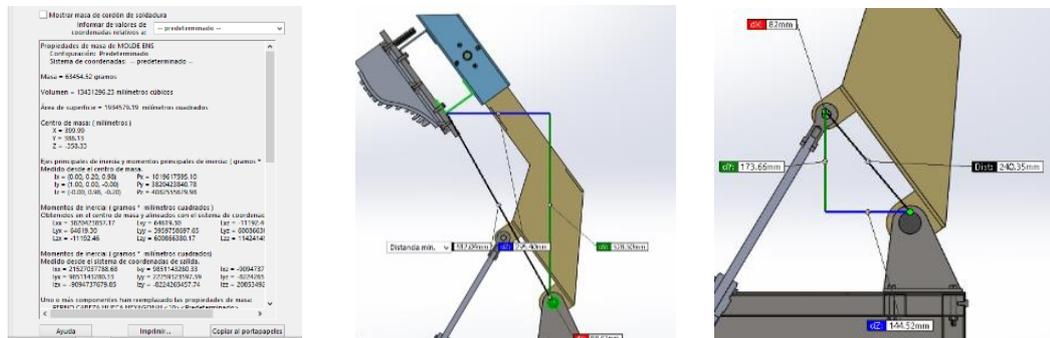
$$M_{RB} = M_{YZ}^2 + M_{XZ}^2$$

$$M_{RB} = \sqrt{593.3^2 + 191.9^2}$$

$$M_{RB} = M_{max} = 623,5 \text{ Nmm}$$

Este elemento además soportara un momento generado por las fuerzas Pc (fuerza ejercida por el cilindro) y Pmol-bra (peso del conjunto de moldes y el brazo) se calcula el caso donde sucede el mayor momento. Para esto se usa software CAE para determinar el centro de gravedad del conjunto.

Figura 73. Diagrama de centro de gravedad y distancia perpendicular al pasador brazo - bancada



Fuente: Autor

$$\sum M = 0$$

$$519,93 * 295 - 645,36 * 144 - 387 * 170 - M_T = 0$$

$$M_T = 5342,5 \text{ N} - \text{mm}$$

$$M_T = T = 5342,5 \text{ N} - \text{mm}$$

Se realiza el diseño estático del eje

Se aplica la teoría de esfuerzo cortante máximo:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{eq}} \quad (23)$$

Dónde:

$S_y = 26 \text{ kpsi} = 180 \text{ N/mm}^2$ Límite de fluencia del material para AISI 1010 (Ver Anexo C).

De acuerdo al criterio de Von Mises Hencky.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2}$$

Los esfuerzos por flexión:

$$\sigma_x = \frac{32M_{max}}{\pi * d^3} \quad (24)$$

$$\sigma_x = \frac{32 * 623,5}{\pi * d^3} = \frac{6350,9}{d^3}$$

Los esfuerzos por Torsión:

$$\tau_{xy} = \frac{16T}{\pi * d^3} \quad (25)$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 * 5342,5}{\pi * d^3} = \frac{27209,08}{d^3}$$

Reemplazando σ_x , τ_{xy} en (σ_{eq}):

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{6350,9}{d^3}\right)^2 + 4\left(\frac{27209,08}{d^3}\right)^2}$$

$$\sigma_{eq} = \frac{S_y}{n} \quad (26)$$

Se considera un $n=3$

$$\sqrt{\left(\frac{6350,9}{d^3}\right)^2 + 4\left(\frac{27209,08}{d^3}\right)^2} = \frac{180}{3}$$

$$d = 22,47 \text{ mm}$$

El diámetro necesario de $22,47 \approx 25$, finalmente se aproxima a un diámetro comercial de 38 mm para poder mecanizar y obtener la configuración planteada en la gráfica 69.

Diseño a fatiga

Para ello se toma el valor de 25mm calculado para diseño estático y se verifica.

Se calcula los esfuerzos en la sección A:

Flexión:

$$\sigma_{xm} = \sigma_{xa} \quad (27)$$

$$\sigma_{xa} = \frac{32M_{max}}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_{xa} = \frac{32 * 623,5}{\pi * 25^3} = 0,41 N/mm^2$$

Corte:

$$\tau_{xya} = \tau_{xym} \quad (28)$$

$$\tau_{xym} = \frac{16T}{\pi * d^3}$$

$$\tau_{xym} = \frac{16 * 5342,5}{\pi * 25^3} = 18,24 N/mm^2$$

Se calcula los esfuerzos equivalentes aplicando el criterio de Von Mises Hencky:

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(\sigma_{xm})^2 + 3 * (\tau_{xym})^2} \quad (29)$$

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(\sigma_{xa})^2 + 3 * (\tau_{xya})^2} \quad (30)$$

Remplazando:

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(0,41)^2 + 3 * (18,24)^2} = 31,6$$

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(0,41)^2 + 3 * (18,24)^2} = 31,6$$

Diseño por resistencia a fatiga.

$$Se' = 0,5 Sut \quad (31)$$

$Sut = 47 \text{ kpsi} = 320 \text{ N/mm}^2$ Para acero AISI 1010 HR.

Reemplazando en la ecuación se tiene:

$$Se' = 0,5 * 670 \text{ MPa} = 160 \text{ N/mm}^2$$

Límite de fatiga real se obtiene empleando la ecuación:

$$Se = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_g * Se'$$

Dónde:

$Se' = 160 \text{ N/mm}^2$ Límite de resistencia a la fatiga

$ka = 0,65$ Factor de acabado superficial (Ver anexo D)

Se determina gráficamente con $Sut = 1.320 \text{ GPa}$, y la curva de maquinado o estirado en frío.

$kb = 0,88$ Factor de corrección por tamaño

Para ello se usa la siguiente ecuación para pulgadas:

$$kb = 0,879 * de^{-0,107}$$

$$kb = 0,879 * (0,98425)^{-0,107}$$

$kc = 0,897$ Factor de confiabilidad (ver anexo E). Para una confiabilidad $R=90\%$

$kd = 1$ Factor de corrección de temperatura (ver anexo F) para una temperatura de 20°C .

$ke = 1$ Factor de concentración de esfuerzos

Cuando no hay concentración de esfuerzos se considera 1, además porque posee dos esfuerzos fluctuantes

Remplazando:

$$Se = 0,65 * 0,88 * 0,897 * 1 * 1 * 1 * 160$$

$$Se = 82,1 \text{ N/mm}^2$$

Se aplica el criterio de Goodman:

$$\frac{\sigma_{eqa}}{Se} + \frac{\sigma_{eqm}}{Sut} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{31,6}{82,1} + \frac{31,6}{320} = \frac{1}{n}$$

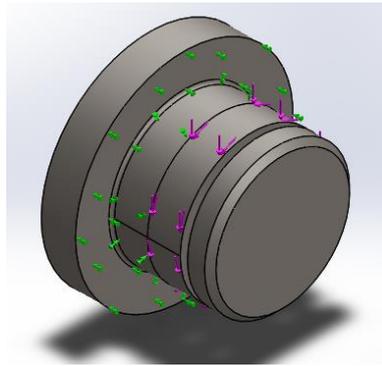
$$n = 2,06$$

Se verifica que para el diseño es confiable y satisfactorio para su construcción.

Ahora se hace uso del software CAE y se procede con el análisis de elementos finitos, para ello se asignan sujeciones, y cargas actuantes sobre el componente obteniéndose un factor de seguridad de 2,6.

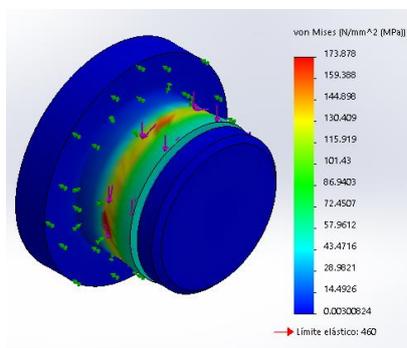
Así se tiene:

Figura 74. Cargas y sujeciones aplicadas sobre pasador brazo-bancada

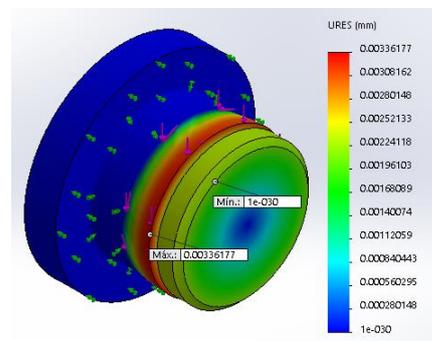


Fuente: Autor

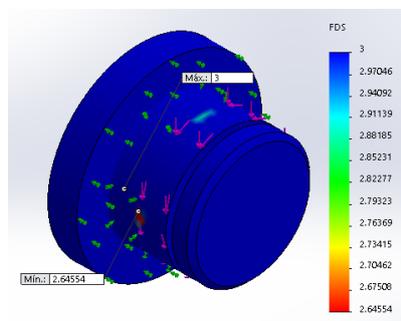
Figura 75. Resultados Diseño CAE pasador brazo - bancada a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad



(a)



(b)



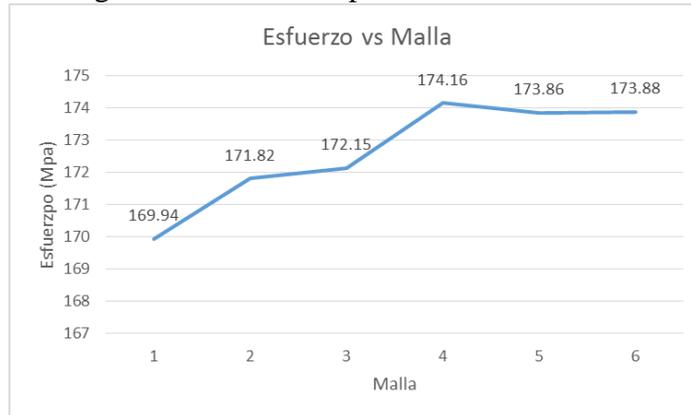
(c)

Fuente: Autor

Luego se realiza diversas simulaciones hasta alcanzar que se marque una tendencia en cuanto al resultado en este caso del esfuerzo.

Se discretiza variando el valor del mallado desde una malla gruesa hasta una de mayor número de elementos dividiendo al cuerpo en un mayor número de elementos.

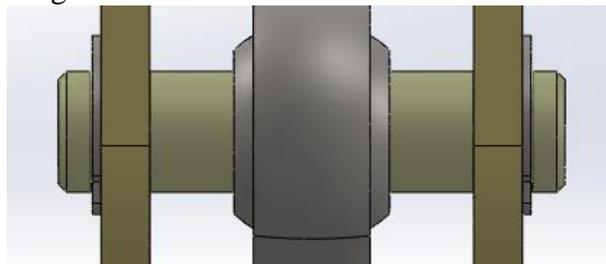
Figura 76. Validación pasador brazo-bancada



Fuente: Autor

4.5.12 *Diseño de pasador brazo- cilindro neumático.* En la figura se muestra la forma como sobre el eje se acopla Brazo y el extremo del cilindro neumático.

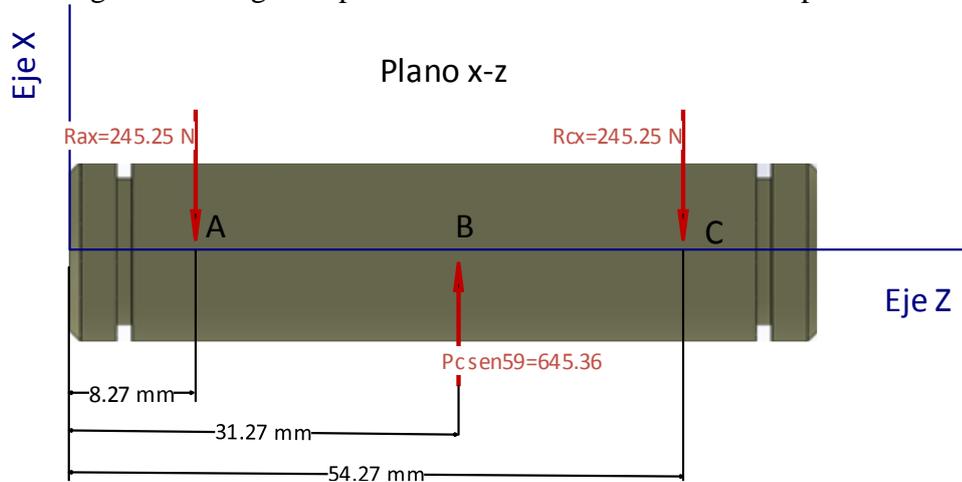
Figura 77. Pasador brazo-cilindro neumático



Fuente: Autor

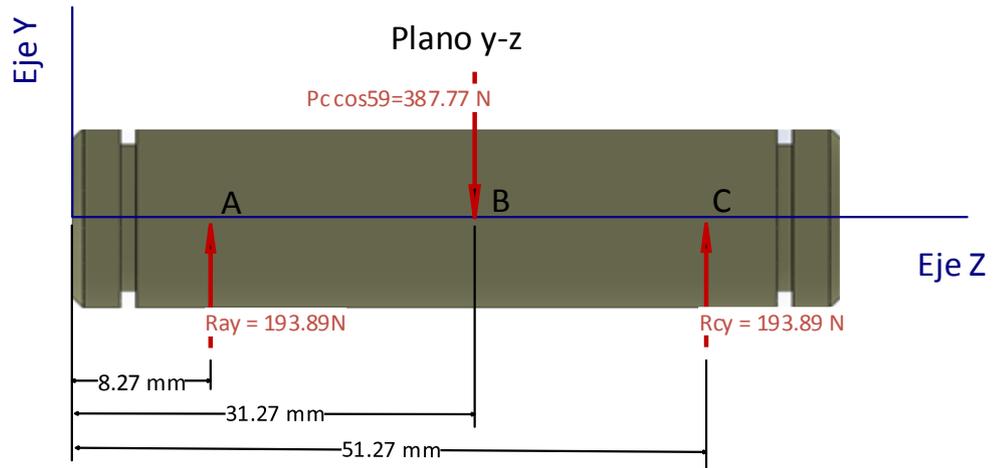
Se representa sobre el elemento las fuerzas que se ejercen sobre el plano x-z y sobre el plano y-z

Figura 78. Diagrama pasador brazo – cilindro neumático plano zx



Fuente: Autor

Figura 79. Diagrama pasador brazo – cilindro neumático plano zy



Fuente: Autor

Se calcula las reacciones:

La fuerza teórica ejercida por el cilindro, para una presión de 6 Bar en avance es de 752.9 N que se denomina como P_c además de que el ángulo formado por la horizontal con la apertura máxima de cierre es de 59° .

En el plano x-z

$$\sum F_x = 0$$

$$P_c \text{sen}59 + R_{ax} + R_{cx} - F_A - F_C = 0$$

$$R_{ax} = R_{cx}$$

$$752,9 * \text{sen}59 + 2R_{ax} - 245,25 - 245,25 = 0$$

$$R_{ax} = R_{cx} = -154,86N \downarrow$$

En el plano y-z

$$\sum F_y = 0$$

$$P \cos 59 - R_{ay} - R_{cy} = 0$$

$$R_{ay} = R_{cy}$$

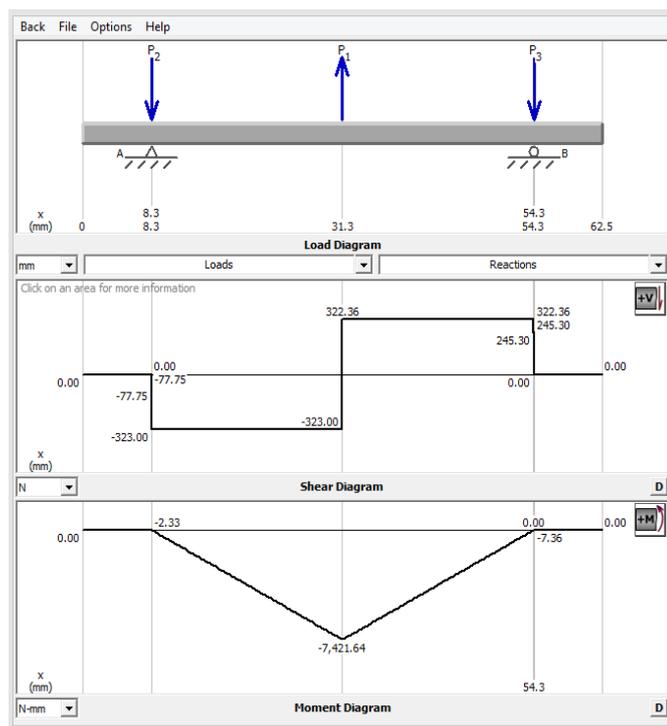
$$752,9 * \text{sen}59 - 2R_{ay} = 0$$

$$R_{ay} = R_{cy} = 193,89N$$

Con los resultados anteriores y por medio del software MDSolids4.0 Se obtiene los diagramas de momentos y cortantes.

Para el plano x-z

Figura 80. Diagrama de momento flector y cortante del pasador brazo – cilindro neumático plano x-z

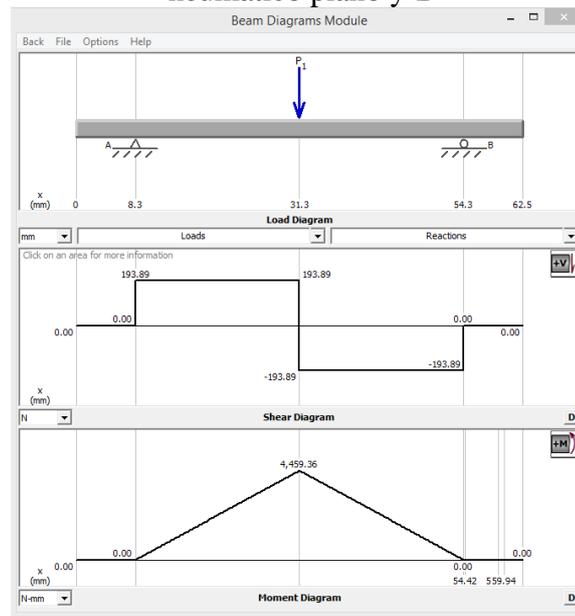


Fuente: Autor

Para el Plano y-z

De manera similar mediante el uso del software MDSolids4.0 se calcula en plano y-z el momento flector más elevado.

Figura 81. Diagrama de momento flector y cortante del pasador brazo – cilindro neumático plano y-z



Fuente: Autor

Se calcula los momentos resultantes para el punto B donde es más crítico:

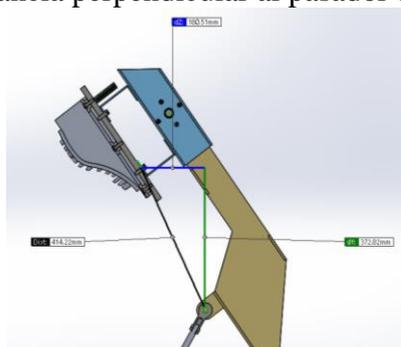
$$M_{RB} = M_{YZ}^2 + M_{XZ}^2$$

$$M_{RB} = \sqrt{7421,64^2 + 4459,36^2}$$

$$M_{RB} = 8658,33 \text{ Nmm}$$

Este elemento además soportara un momento generado por las fuerzas Pmol-bra se calcula el caso donde sucede el mayor momento. Para esto se usa software CAE para determinar el centro de gravedad del conjunto y determinar la distancia.

Figura 82. Diagrama distancia perpendicular al pasador brazo – cilindro neumático



Fuente: Autor

$$\sum M = 0$$

$$519,93 * 180,51 - 259 * 144 - 360 * 160 - M_T = 0$$

$$M_T = 1043.44 \text{ N} - \text{mm}$$

Se realiza el diseño estático del eje

Se aplica la teoría de esfuerzo cortante máximo se tiene:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{eq}}$$

Dónde:

$S_y = 27,5 \text{ kpsi} = 190 \text{ N/mm}^2$ Límite de fluencia del material para AISI 1015 HR (Laminado en caliente) ver anexo C.

De acuerdo al criterio de Von Mises Hencky.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2}$$

Los esfuerzos por flexión:

$$\sigma_x = \frac{32M_{max}}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_x = \frac{32 * 8658,33}{\pi * d^3} = \frac{88193,02}{d^3}$$

Los esfuerzos por Torsión:

$$\tau_{xy} = \frac{16T}{\pi * d^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 * 1043,44}{\pi * d^3} = \frac{5314,19}{d^3}$$

Reemplazando:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{88193,02}{d^3}\right)^2 + 4\left(\frac{53.14,19}{d^3}\right)^2}$$
$$\sigma_{eq} = \frac{Sy}{n}$$

Se considera un $n=3$

$$\sqrt{\left(\frac{88193,02}{d^3}\right)^2 + 4\left(\frac{5314,19}{d^3}\right)^2} = \frac{190}{3}$$
$$d = 11,2 \text{ mm}$$

El diámetro necesario de $11,2 \approx 15\text{mm}$ finalmente se aproxima a un diámetro comercial.

Diseño a fatiga

Se parte del valor de 15mm calculado para diseño estático y se verifica.

Se calcula los esfuerzos en la sección A:

Flexión:

$$\sigma_{xm} = \sigma_{xa}$$

$$\sigma_{xa} = \frac{32Ma}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_{xa} = \frac{32 * 8658,33}{\pi * 15^3} = 26,12\text{N/mm}^2$$

Corte:

$$\tau_{xya} = \tau_{xym}$$

$$\tau_{xym} = \frac{16T}{\pi * d^3}$$

$$\tau_{xym} = \frac{16 * 1043,44}{\pi * 15^3} = 1,57 N/mm^2$$

Se calcula los esfuerzos equivalentes aplicando el criterio de Von Mises Hencky:

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(\sigma_{xm})^2 + 3 * (\tau_{xym})^2}$$

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(\sigma_{xa})^2 + 3 * (\tau_{xya})^2}$$

Remplazando:

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(26.12)^2 + 3 * (1.57)^2} = 26,26$$

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(26.12)^2 + 3 * (1.57)^2} = 26,26$$

Diseño por resistencia a fatiga.

$$Se' = 0.5 Sut$$

$Sut = 50kpsi = 340N/mm^2$ Para acero AISI 1015 HR (laminado en caliente).

Reemplazando en la ecuación se tiene:

$$Se' = 0,5 * 340 MPa = 170 N/mm^2$$

Límite de fatiga real se obtiene empleando la ecuación:

$$Se = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_g * Se'$$

Dónde:

$Se' = 170 N/mm^2$ Límite de resistencia a la fatiga

$k_a = 0,69$ Factor de acabado superficial (Ver anexo D)

Obtenido gráficamente con 0.17GPa y la curva para laminado en caliente

$k_b = 0,93$ Factor de corrección por tamaño

Para ello se usa la siguiente ecuación para pulgadas:

$$k_b = 0,879 * d e^{-0.107}$$

$$k_b = 0,879 * (0.5905)^{-0.107}$$

$k_c = 0,897$ Factor de confiabilidad (ver anexo E). Para una confiabilidad R=90%

$k_d = 1$ Factor de corrección de temperatura (ver anexo F) para una temperaturas \leq de 450°C.

$k_e = 1$ Factor de concentración de esfuerzos se considera 1 porque no hay concentración de esfuerzos.

Remplazando:

$$S_e = 0,69 * 0,93 * 0,897 * 1 * 1 * 1 * 860$$

$$S_e = 97,85 \text{ N/mm}^2$$

Se aplica el criterio de Goodman:

$$\frac{\sigma_{eqa}}{S_e} + \frac{\sigma_{eqm}}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

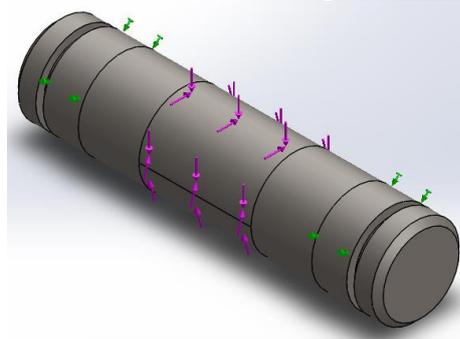
$$\frac{26,26}{97,85} + \frac{26,26}{170} = \frac{1}{n}$$

$$n = 2,36$$

Se considera que el coeficiente de seguridad de 2,36 es confiable para el diseño y satisfactorio para su construcción.

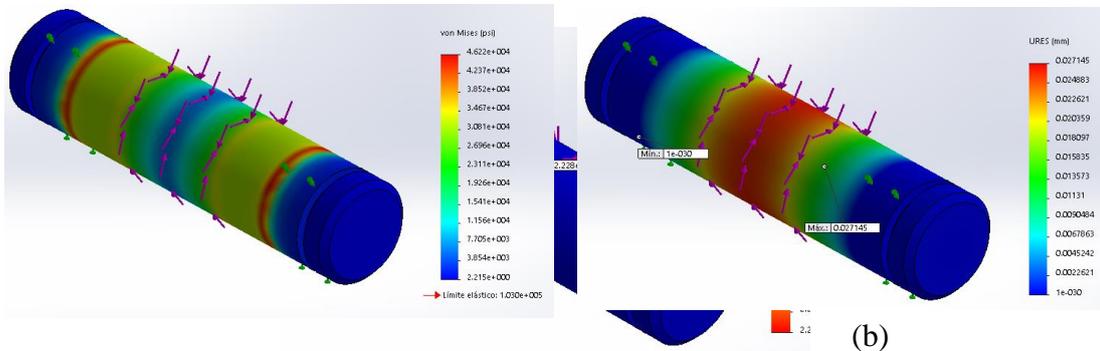
Ahora se ingresa al software CAE y se procede con el análisis del elemento, obteniendo por medio de esta herramienta un coeficiente de seguridad de 2,22 muy similar al obtenido en nuestro cálculo manual satisfaciendo nuestro requerimiento.

Figura 83. Cargas y sujeciones ejercidas sobre pasador brazo-cilindro neumático



Fuente: Autor

Figura 84. Resultados Diseño CAE pasador brazo – cilindro neumático a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad

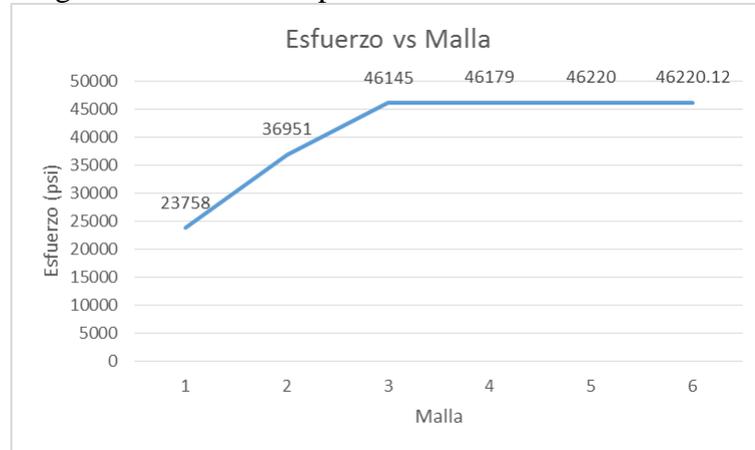


(c)

Fuente: Autor

Finalmente se desarrolla varias simulaciones, alterando el mallado haciéndolo cada vez más fino hasta lograr marcar una tendencia alrededor de determinado valor, como se muestra en la siguiente figura.

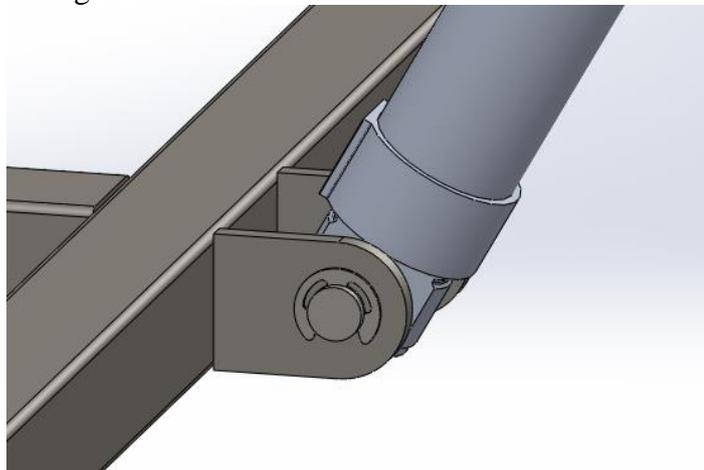
Figura 85. Validación pasador brazo cilindro neumático



Fuente: Autor

4.5.13 *Diseño de pasador cilindro neumático - bancada.* En la figura 70 se muestra la manera que se fija el cilindro neumático sobre la estructura de la bancada.

Figura 86. Pasador cilindro neumático - bancada



Fuente: Autor

Se representa en los diagramas siguientes el elemento con todas las fuerzas que sobre él se ejercen. Tanto para el plano x-z como y-z, en el que al peso de 50kgf además se añade 0.57kgf que es el peso del cilindro y por accesorios y el peso del aire despreciable que contiene el cilindro con un peso calculado final total de 51kgf.

Así se tiene:

Figura 87. Diagrama pasador cilindro neumático - bancada plano zx

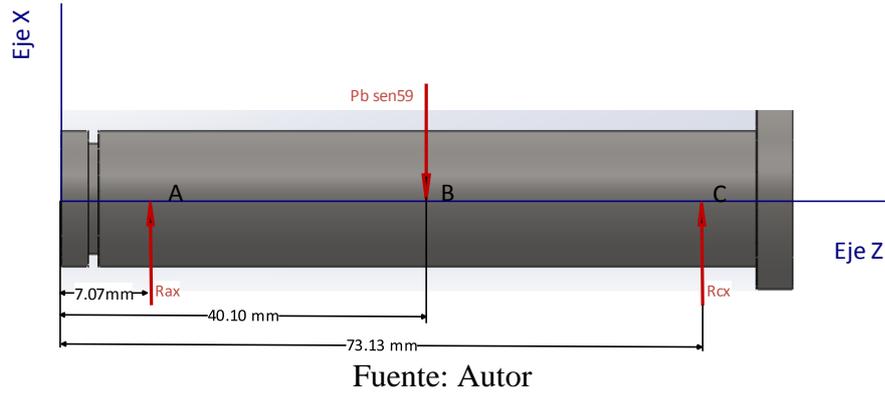
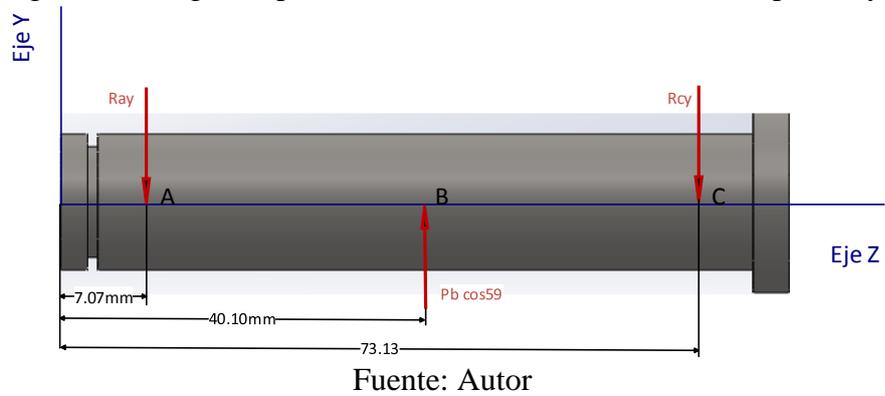


Figura 88. Diagrama pasador cilindro neumático – bancada plano zy



Se calcula las reacciones:

La carga total es de 53kgf ejercida sobre el centro del eje formando un ángulo de 59° con la horizontal.

En el plano x-z

$$\sum F_x = 0$$

$$-(Pc \text{sen} 59)/2 + R_{ax} + R_{cx} = 0$$

$$R_{ax} = R_{cx}$$

$$-520 * \text{sen} 59 + 2R_{ax} = 0$$

$$R_{ax} = R_{cx} = 223N \uparrow$$

En el plano y-z

$$\sum F_y = 0$$

$$P \cos 59 - R_{ay} - R_{cy} = 0$$

$$R_{ay} = R_{cy}$$

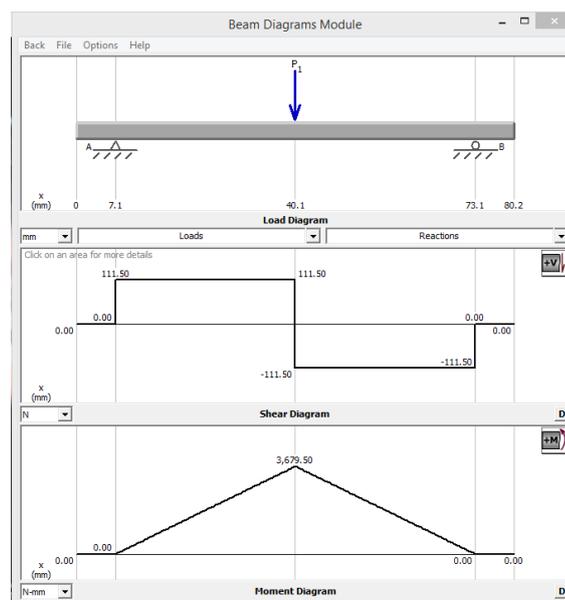
$$520 * \cos 59 - 2R_{ay} = 0$$

$$R_{ay} = R_{cy} = 134N \downarrow$$

Con los resultados anteriores y por medio del software MDSolids4.0 Se obtiene los diagramas de momentos y cortante.

Para plano x-z

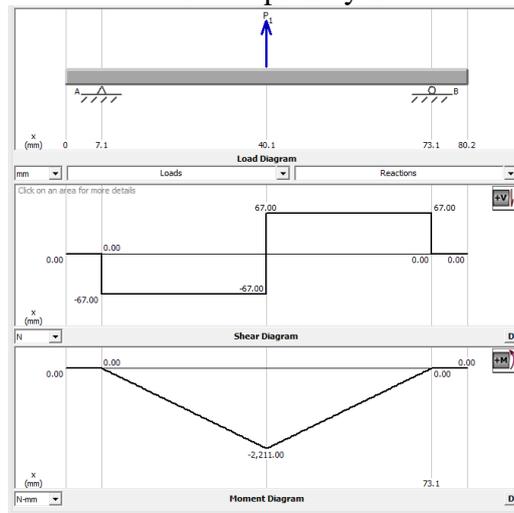
Figura 89. Diagrama de momento flector y cortante del pasador cilindro neumático - bancada plano x-z



Fuente: Autor

Para plano y-z

Figura 90. Diagrama de momento flector y cortante del pasador cilindro neumático – bancada plano y-z



Fuente: Autor

Se calcula los momentos resultantes para el punto más crítico B:

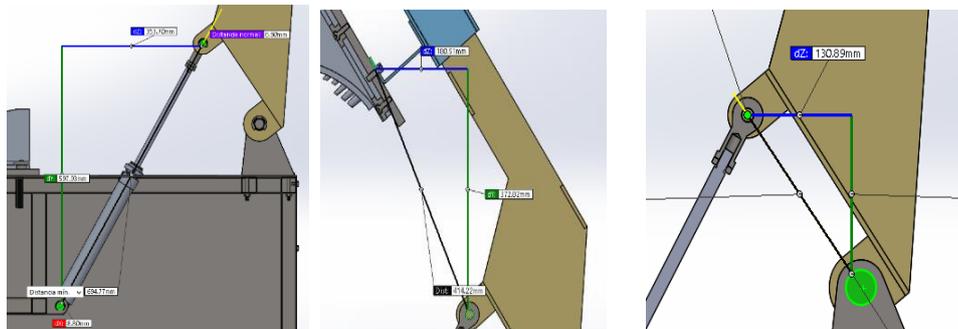
$$M_{RB} = M_{YZ}^2 + M_{XZ}^2$$

$$M_{RB} = \sqrt{3679.5^2 + 2211^2}$$

$$M_{RB} = M_{max} = 4292,7 \text{ Nmm}$$

Este elemento además soportara un momento generado por las fuerzas Pmol-bra además del peso del cilindro, se calcula el caso donde sucede el mayor momento. Para esto se usa software CAE para determinar el centro de gravedad del conjunto y determinar la distancia.

Figura 91. Diagrama distancia perpendicular al pasador cilindro neumático – bancada



Fuente: Autor

$$\sum M = 0$$

$$-268 * 597 + 445 * 353 - M_T + 1043,44 = 0$$

$$M_T = T = 1219 \text{ N} - \text{mm}$$

Se realiza el diseño estático del eje

Se aplica la teoría de esfuerzo cortante máximo:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{eq}}$$

Dónde:

$S_y = 27.5 \text{ kpsi} = 190 \text{ N/mm}^2$ Límite de fluencia del material para AISI 1015 HR (Laminado en caliente) ver anexo C.

De acuerdo al criterio de Von Mises Hencky.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

Los esfuerzos por flexión:

$$\sigma_x = \frac{32M_{max}}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_x = \frac{32 * 4292,7}{\pi * d^3} = \frac{43725,1}{d^3}$$

Los esfuerzos por torsión:

$$\tau_{xy} = \frac{16T}{\pi * d^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 * 1219,7}{\pi * d^3} = \frac{6212,15}{d^3}$$

Remplazando:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{43725,1}{d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{6212,15}{d^3}\right)^2}$$

$$\sigma_{eq} = \frac{Sy}{n}$$

Se considera un n=3

$$\sqrt{\left(\frac{43725,1}{d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{6212,15}{d^3}\right)^2} = \frac{190}{3}$$

$$d = 11,9 \text{ mm}$$

El diámetro necesario de $11,9 \approx 15$ mm, se aproxima a un diámetro comercial.

Diseño a fatiga

Se parte del valor de 15mm calculado para diseño estático y se verifica.

Se calcula los esfuerzos en la sección A:

Flexión:

$$\sigma_{xm} = 0$$

$$\sigma_{xa} = \frac{32Ma}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_{xa} = \frac{32 * 4292,7}{\pi * 15^3} = 12,96 \text{ N/mm}^2$$

Corte:

$$\tau_{xya} = \tau_{xym}$$

$$\tau_{xym} = \frac{16T}{\pi * d^3}$$

$$\tau_{xym} = \frac{16 * 1219}{\pi * 15^3} = 1,84 \text{ N/mm}^2$$

Se calcula los esfuerzos equivalentes aplicando el criterio de Von Mises Hencky:

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(\sigma_{xm})^2 + 3 * (\tau_{xym})^2}$$

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(\sigma_{xa})^2 + 3 * (\tau_{xya})^2}$$

Reemplazando:

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(12,96)^2 + 3 * (1,84)^2} = 13,4$$

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(12,96)^2 + 3 * (1,84)^2} = 13,4$$

Diseño por resistencia a fatiga.

$$Se' = 0,5 Sut$$

$Sut = 50 \text{ kpsi} = 340 \text{ N/mm}^2$ Para acero AISI 1015 HR (Laminado en caliente).

Reemplazando en la ecuación se tiene:

$$Se' = 0,5 * 1720 \text{ MPa} = 170 \text{ N/mm}^2$$

Límite de fatiga real se obtiene empleando la ecuación:

$$Se = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_g * Se'$$

Dónde:

$Se' = 860 \text{ N/mm}^2$ Limite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

$ka = 0,69$ Factor de acabado superficial (Ver anexo D)

Obtenido gráficamente mediante intersección para la curva de laminado en caliente con 1.7 GPa.

$kb = 0.88$ Factor de corrección por tamaño

Para ello se usa la siguiente ecuación para pulgadas:

$$kb = 0,879 * de^{-0.107}$$

$$kb = 0,879 * (0,98425)^{-0.107}$$

$kc = 0,814$ Factor de confiabilidad (ver anexo E). Para una confiabilidad R=99%

$kd = 1$ Factor de corrección de temperatura (ver anexo F) para una temperatura de 20°C.

$ke = 1$ Factor de concentración de esfuerzos se considera 1 porque no hay concentración de esfuerzos

Remplazando:

$$Se = 0,68 * 0,88 * 0,814 * 1 * 1 * 1 * 170$$

$$Se = 82,8 \text{ N/mm}^2$$

Se aplica el criterio de Goodman:

$$\frac{\sigma_{eqa}}{Se} + \frac{\sigma_{eqm}}{Sut} = \frac{1}{n}$$

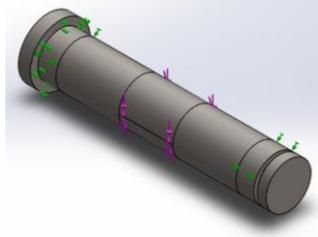
$$\frac{13,4}{82,8} + \frac{13,4}{170} = \frac{1}{n}$$

$$n = 4,15$$

Se verifica que para el diseño es confiable y satisfactorio para su construcción.

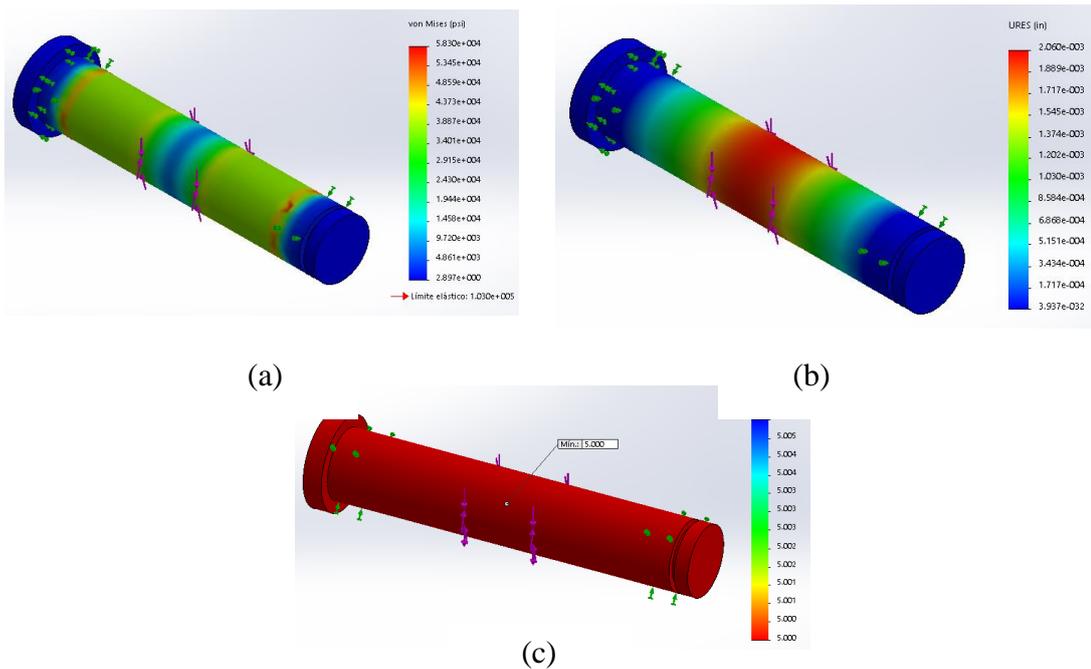
Ahora ya se ingresa los datos obtenidos al software CAE para su análisis y validación del diseño, obteniendo por este medio un coeficiente de seguridad de 5.

Figura 92. Cargas y sujeciones ejercidas sobre pasador cilindro neumático - bancada



Fuente: Autor

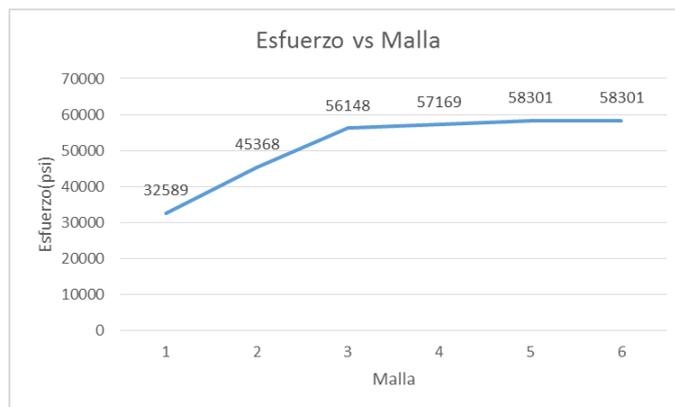
Figura 93. Resultados Diseño CAE pasador cilindro neumático - bancada a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad.



Fuente: Autor

Por último para el análisis CAE se varia el mallado a nuestro elemento con el fin de obtener el mismo resultado o que se marque una tendencia alrededor de un determinado valor como se muestra en la figura.

Figura 94. Validación pasador cilindro neumático – bancada



Fuente: Autor

4.5.14 Diseño bancada. Sobre la bancada se montan todos los elementos que ejercerán fuerzas sobre la misma, es así que se tiene una estructura construida en tubo cuadrado, con una placa para los botones de apertura y cierre y una caja de control.

Se realiza a un estudio estático. Cargas actuantes el peso del molde el peso de la caja de control y elementos internos además el peso del cuerpo del brazo y elementos de sujeción el peso del sistema neumático además del peso mismo de la estructura.

La estructura soporte es de tubo estructural cuadrado 20x3 cuyo material es ASTM A 36 con $F_y = 2552.143 \text{ kgf/cm}^2$ y $F_u = 5132.408 \text{ kgf/cm}^2$ y placas de acero de ASTM A36 con $F_y = 2552.143 \text{ kgf/cm}^2$ y $F_u = 5132.408 \text{ kgf/cm}^2$.

Para comprobar si los elementos resisten, se somete a la estructura al análisis estático mediante software CAE.

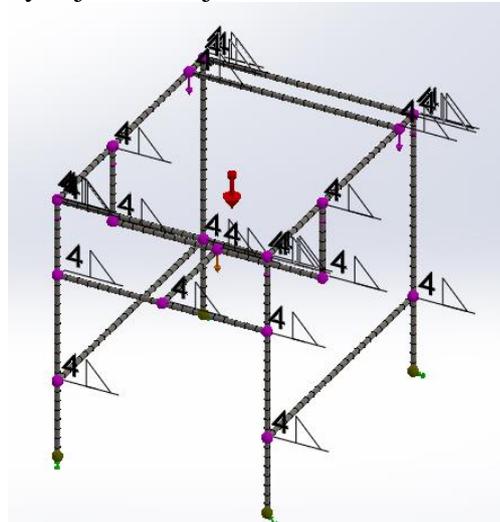
Tabla 32. Cargas actuantes sobre estructura

Cargas	Valor [kgf]
Peso de cilindro neumático	0,6
Peso de brazo apertura y cierre	25,0
Peso del molde	25,0
Peso componentes neumáticos y eléctricos	6,0
Peso de la estructura	20,0
Peso de láminas de acero	2,25

Fuente: Autor

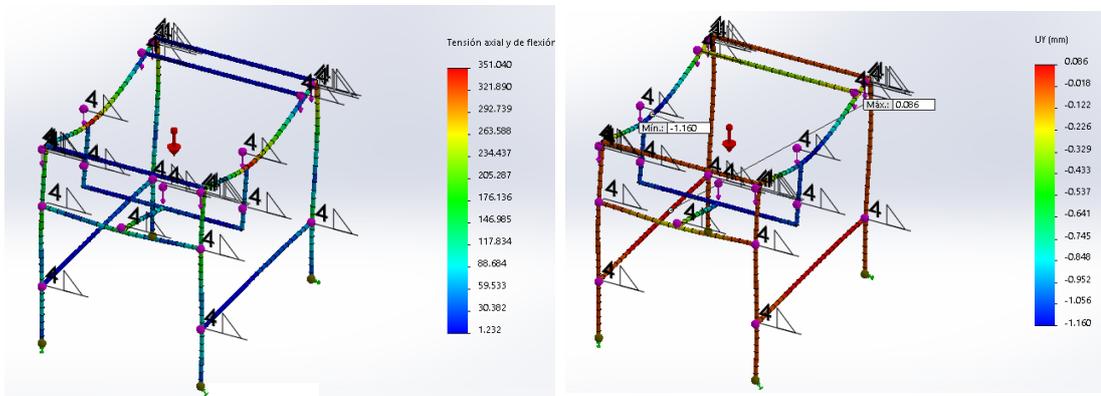
Para esta simulación se generan nodos en la estructura y luego se asignan las sujeciones y cargas.

Figura 95. Cargas y sujeciones ejercidas sobre la estructura de la bancada

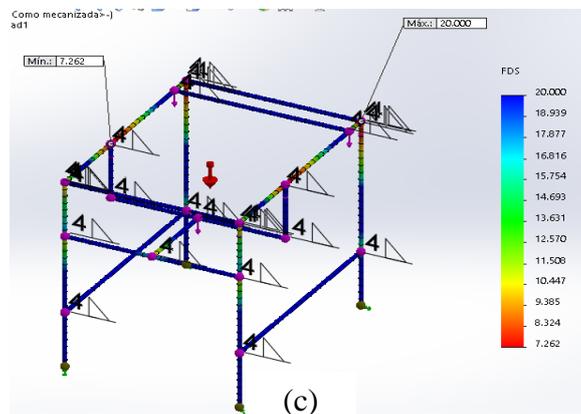


Fuente: Autor

Figura 96. Resultados Diseño CAE bancada a) Esfuerzos según Von Mises Hencky b) Deformación c) Coeficiente de seguridad.



(b)



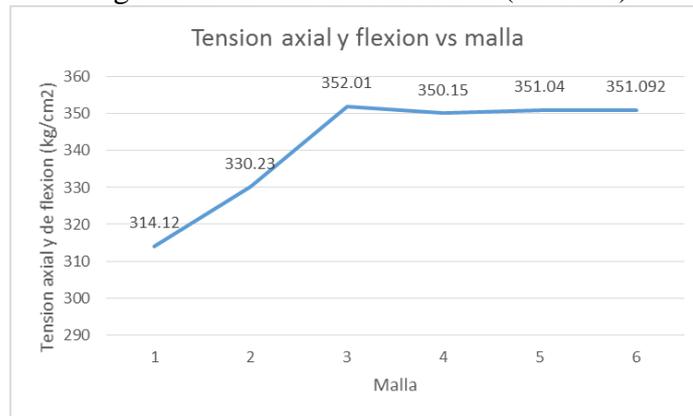
(c)

Fuente: Autor

De la fig. 4.9 se determina que los elementos estructurales soportan satisfactoriamente las cargas obteniendo el máximo esfuerzo que es de 351 kg/cm² para un factor de seguridad en la estructura mínimo de n=7 y una máxima de deflexión de 1.16 mm en el eje y.

Por ultimo para el análisis CAE se varia el mallado a nuestro elemento, con el fin de obtener el mismo resultado o que se marque una tendencia con respecto a determinado valor, obteniéndose como se muestra en la siguiente figura.

Figura 97. Validación estructura (bancada)



Fuente: Autor

4.5.15 Selección de equipo y parámetros de automatización. Luego de las calificaciones CAE que se realizaron a los elementos mecánicos y que cumplieron con los apartados anteriores para que el sistema de apertura y cierre sean válidas, pueden usarse mecanismos de automatización vigentes.

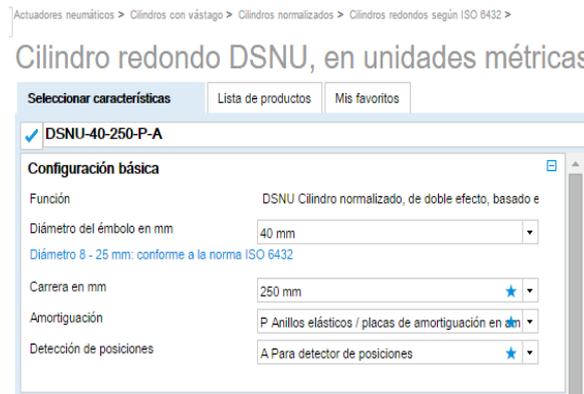
El uso del sistema electroneumático deberá realizar la operación de manera rápida, fácil y segura tanto para el molde como para el operador.

Este portamolde de acuerdo a QFD corresponde a un proceso semiautomático pues requerirá de una operador para accionar la apertura y cierre así como también para cargar el poliuretano dentro del molde de esta manera consta de un circuito neumático y un circuito de control que gobierna a una electroválvula 5x2 monoestable.

4.5.16 Selección del cilindro neumático. Par la selección el cilindro neumático hay que tener presente la condición de producción que es elevada aproximada 45 suelas al día con un par de molde ,el peso conjunto del molde y el brazo de cierre con sus elementos con la ayuda el software CAD es de 53kgf, Además de una carrera de 250mm.

Considerados los parámetros anteriores además de una fuerza mínima de 30 kgf para mantener un sello o presión de cierre del molde, para una detección de dos posiciones, con anillos amortiguadores elásticos en los finales de carrera y con diversas posibilidades de fijación, entonces se selecciona el cilindro neumático DSNU-40-250-P-A por medio de la ayuda de software FESTO en su página oficial en internet.

Figura 98 Selección cilindro neumático página oficial FESTO



Fuente: http://www.festo.com/cat/es_es/products_DSNU_1

A continuación se describen toda la característica del cilindro seleccionado DSNU-40-250-P-A.

Se puede notar que la fuerza con la que el cilindro va a abrir el molde es 35% mayor, además la fuerza de cierre corresponde a dos veces la requerida con lo cual se satisface considerablemente los requerimientos necesarios.

Tabla 33. Datos del cilindro neumático

Hoja de datos

Característica	Propiedades
Carrera	250 mm
Diámetro del émbolo	40 mm
Rosca del vástago	M12x1,25
Amortiguación	P: amortiguación por tope elástico/placa a ambos lados
Posición de montaje	indistinto
Construcción	Vástago Émbolo Camisa del cilindro
Detección de la posición	para sensores de proximidad
Presión de funcionamiento	1 ... 10 bar
Modo de funcionamiento	de doble efecto
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Clase de resistencia a la corrosión KBK	2
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	633,3 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	752,9 N
Masa móvil	630 g
Peso del producto	1.261 g
Tipo de fijación	con accesorios
Conexión neumática	G1/4
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Información sobre el material de la tapa	Aleación forjable de aluminio
Información sobre el material de las juntas	NBR TPE-U(PU)
Información sobre el material del vástago	Acero de aleación fina
Información sobre el material de la camisa del cilindro	Acero inoxidable de aleación fina

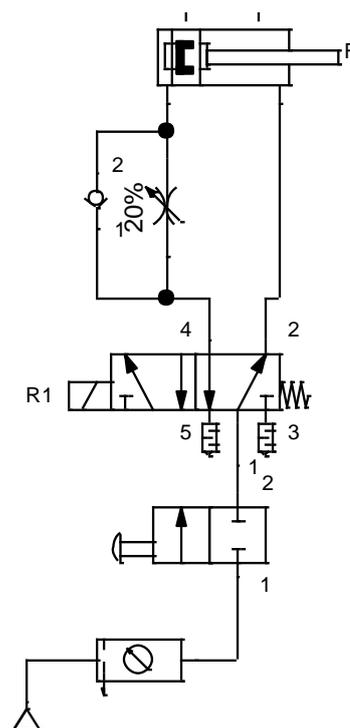
Fuentes: http://www.festo.com/cat/es_es/xDKI.asp

4.5.16.1 Diseño del circuito neumático de potencia y control. El circuito del sistema neumático es activar el cilindro neumático que cumpla con la carrera de 250mm para la apertura y el cierre del molde generando un ángulo de 59°,

Además debe poseer una rápida apertura y cierre además tanto al final como al inicio de la carrera de apertura deberá tener un amortiguamiento para aliviar la inercia del movimiento que afectan los elementos mecánicos como el molde los mismos que se encuentran en el cilindro.

Por último para modificar la velocidad de la carrera se añaden válvulas reguladoras de caudal para posibles modificaciones y optimizaciones en tiempos del proceso de tal manera que se puedan montar diferentes tipos de moldes que estén sujetos al mismo proceso de fabricación.

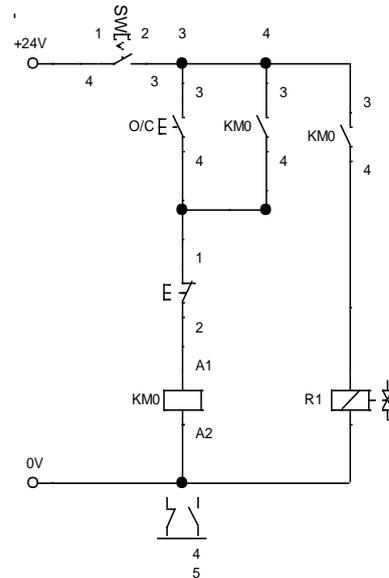
Figura 99. Circuito neumático para la apertura y cierre del molde



Fuente: Autor

Para el control de sistema neumático se tiene el siguiente circuito eléctrico que gobierna la electroválvula y consta de un pulsador para la apertura que permanece enclavado energizando la bobina de la electroválvula, hasta que se pulse otro pulsador que corta este enclavamiento permitiendo el cierre del sistema.

Figura 100. Circuito de control del sistema neumático



Fuente: Autor

4.5.17 Simulación del sistema neumático.-La simulación la realizamos mediante software FESTO para neumática como se observa en las gráficas.

Finalmente también analizamos el sistema neumático mediante software FESTO que nos otorga su página web principal, verificamos por medio de este, que el tiempo de posicionamiento del cilindro se corresponda al requerido de 4s prefijado dentro de QFD y sea el adecuado. Para ello llenamos los parámetros de funcionamiento como se observa en la siguiente figura.

Figura 101. Análisis del sistema neumático

1. Parámetros del sistema 2. Selección de los cilindros 3. Sistema 4. Simulación 5. Lista de piezas

Los parámetros del sistema - base para la selección Continuar >



tiempo de posicionamiento esperado: quiero alcanzar este tiempo de posicionamiento: s

Con válvula de estrangulación de retención

Regulación básica del cilindro

Longitud de carrera requerida: mm

Ángulo de instalación: deg

Dirección del movimiento: extender retirar

Alimentación de aire comprimido

Presión de funcionamiento: bar

Largo del tubo flexible: m

Equipo de mantenimiento: m

Válvula > Cilindro

Regulaciones de la carga

Masa en movimiento: kg

fuerza de impacto adicional: N

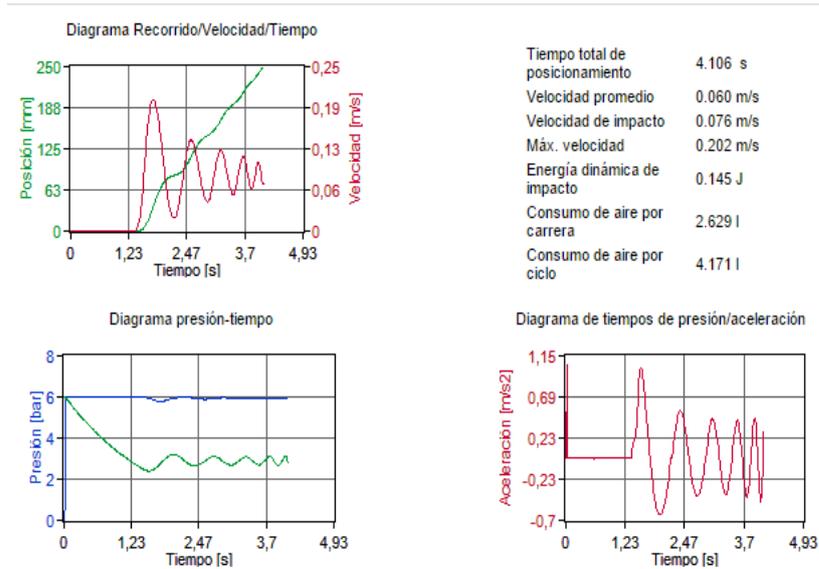
fuerza de fricción adicional: N

Fuente: http://www.festo.com/cat/es_es/products_DSNU_1

Así tenemos los siguientes estudios de movimiento para los cuatro tipos de casos que se pueden presentar.

Caso 1.- Cuando el molde se encuentra inicialmente cerrado y luego se presiona el botón para abrir el molde, entonces se tiene el siguiente comportamiento.

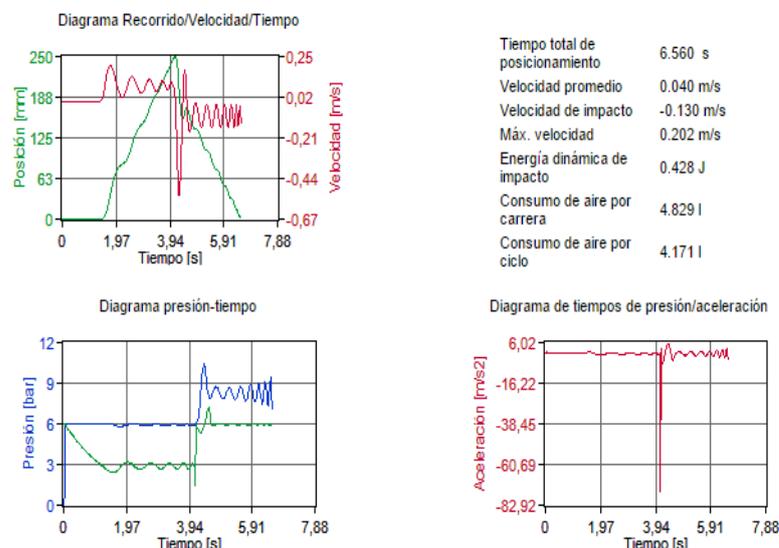
Figura 102. Estudio de movimiento caso 1



Fuente: http://www.festo.com/cat/es_es/products_DSNU_1

Caso 2.- Cuando el molde se encuentra inicialmente cerrado y luego se realiza un ciclo completo abriendo y volviéndolo a cerrar.

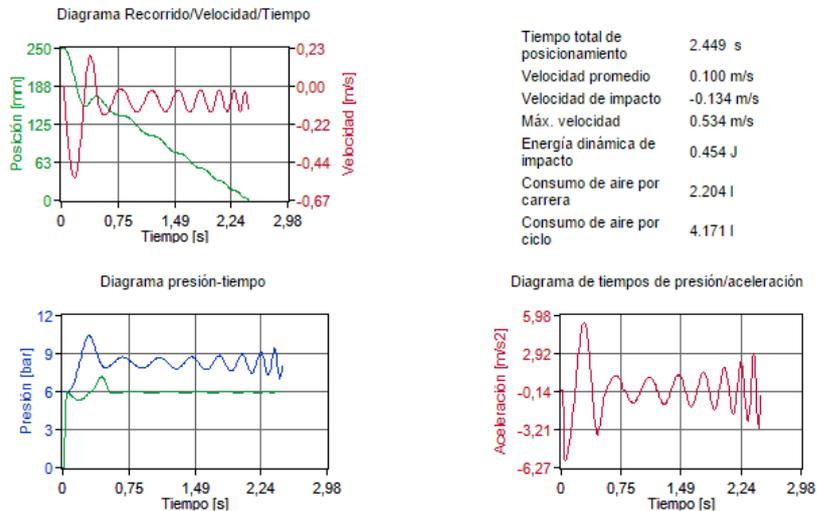
Figura 103. Estudio de movimiento caso 2



Fuente: http://www.festo.com/cat/es_es/products_DSNU_1

Caso 3.- Cuando el molde se encuentra completamente abierto y luego se procede a cerrarlo.

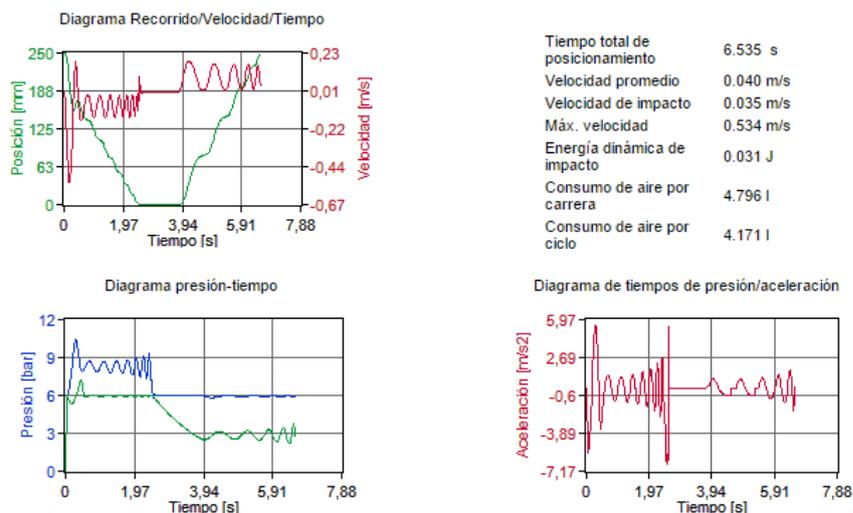
Figura 104. Estudio de movimiento caso 3



Fuente: http://www.festo.com/cat/es_es/products_DSNU_1

Caso 4.- Cuando el molde se encuentra completamente abierto y se realiza un ciclo entero desde esta posición es decir, el molde que esta inicialmente abierto se cierra y se vuelve a abrir.

Figura 105. Estudio de movimiento caso 4



Fuente: http://www.festo.com/cat/es_es/products_DSNU_1

Entonces los estudios se demuestra que el tiempo entre el avance y el retorno están dentro del rango requerido de 3.5 s en la apertura y 2 s en el retorno mejorando y satisfaciendo nuestras necesidades correctamente.

4.5.18 Selección de los elementos neumáticos. El circuito del sistema neumático se conforma por los elementos que se generan y obtienen en el mismo software de FESTO, a los cuales de ser necesario podemos variar o cambiar para obtener resultados muchos más satisfactorios, de esta manera se listan a continuación.

Figura 106. Elementos neumáticos

Lista de piezas

[Colocar en la cesta de compra](#)

<input type="checkbox"/>	Tipo	Denominación	Nº de art.
<input checked="" type="checkbox"/>	 DSNU-40-250-P-A	Cilindro redondo	195998
<input checked="" type="checkbox"/>	 GRLA-1/4-QS-10-D	Válvula de estrangulación y antirretorno	193148
<input checked="" type="checkbox"/>	 PUN-10X1,5-BL	Tubo flexible de material sintético	159668
<input checked="" type="checkbox"/>	 QS-1/4-10	Racor rápido roscado	153007
<input checked="" type="checkbox"/>	 CPE18-M1H-5L-1/4	Electroválvula	163142
<input checked="" type="checkbox"/>	 U-1/4	Silenciadores	2316
<input checked="" type="checkbox"/>	 QS-1/4-10	Racor rápido roscado	153007
<input checked="" type="checkbox"/>	 PUN-10X1,5-BL	Tubo flexible de material sintético	159668

Fuente: http://www.festo.com/cat/es_es/products_DSNU_1

Además de la unidad técnica de mantenimiento y el compresor como se puede ver.

4.5.19 Selección de la unidad técnica de mantenimiento (UTM). Para seleccionar la UTM de acuerdo a la lista que ofrece FESTO se selecciona la más cercana, y posteriormente se le otorga detalles específicos como es la conexión de rosca interior de G1/4 con un margen de regulación de presión de 0.5-7 bar como principales.

Figura 107. Selección UTM

Unidades de mantenimiento FRC/FRCS, serie D

Seleccionar características | Lista de productos | Mis favoritos

FRC5-1/4-D-7-MINI

Características básicas

Serie	Serie D
Función	<input checked="" type="checkbox"/> Unidad de mantenimiento, cerrable
Tamaño	MINI - Patrón uniforme de 40 mm (sin)
Conexión neumática	Rosca interior G1/4
Margen de regulación de la presión	0.5...7 bar
Grado de filtración	40 µm
Indicación de presión	Con manómetro
Purga de condensado	Manual con giro
Opción adicional	Sin

[Añadir a la cesta de compra](#)

- CAD/EPLAN
- Accesorios
- Documentación
- Hoja de datos
- Visualizar el resumen
- Otros
- Save as
- Selección válida
- Fecha de entrega + precio
- # 194868

Fuente: Autor

4.5.20 Selección del compresor. Para seleccionar el compresor se requiere calcular la capacidad requerida y la presión para lo que se realiza el siguiente cálculo.

Consumo de aire

$$Q = \frac{\pi}{4} * (d_1^2 - d_2^2) * h * (p + 1) * 10^{-6}$$

Dónde:

Q = Consumo de aire por cm de carrera [l]

d_1 = Diámetro del embolo 40[mm]

d_2 = Diámetro del vástago 16[mm]

h = Carrera 250[mm]

p = Presión relativa de funcionamiento 6[bar]

m = Cantidad de ciclos por minuto = 15 c/min

Reemplazando tenemos:

Consumo de aire de carrera de avance

$$Q_a = \frac{\pi}{4} * (40^2) * 250 * (6bar + 1bar) * 10^{-6} = 2,2 l$$

Consumo de aire de carrera de retroceso

$$Q_r = \frac{\pi}{4} * (40^2 - 16^2) * 250 * (6bar + 1bar) * 10^{-6} = 1,85 l$$

Consumo de aire por ciclo

$$Q = Q_a + Q_r = 4,05 l$$

Consumo de aire por ciclo

$$Q = (Q_a + Q_r)m = 60,75 l/min$$

Ahora de acuerdo al catálogo de Central Air para una presión de funcionamiento de 6 bares y un consumo de aire por ciclo de 60,75 l/min, se selecciona el siguiente compresor.

Figura 108. Selección de compresor

codigo	Volt/Ph	kW	HP	Deposito	T/min m³/h c.f.m	bar	p.s.i.	R.P.M.	n°	n°	dB(A)	LwA	BSP	L x D x H (cm)	kg
CA-MED 150-24F	230/1	1,1	1,5	24	100 6 3,5	8	116	1420	1	1	69	-	-	81x40x65	31
CA-SONIC150-24F	230/1	1,1	1,5	24	100 6 3,5	8	116	1420	1	1	56	-	-	81x40x75	38
CA-SONIC150-50F	230/1	1,1	1,5	50	100 6 3,5	8	116	1420	1	1	56	-	-	95x44x84	50
CA-MED300-50F	230/1	1,8	2,5	50	200 12 7,1	8	116	1420	2-V	1	72	-	-	95x44x75	48
CA-SONIC300-50F	230/1	1,8	2,5	50	200 12 7,1	8	116	1420	2-V	1	72	-	-	95x44x75	48
CA-MED600-90F-5	400/3	2x1,8	2x2,5	90	400 24 14	8	116	1420	2-V	1	76	-	-	105x44x82	87
CA-SONIC600-90F-5	400/3	2x1,8	2x2,5	90	400 24 14	8	116	1420	2-V	1	64	-	-	05x54x86	110

Fuente: El Autor

4.5.21 Valoración final ensamble de componentes armados. Luego de obtener resultados satisfactorios, y al tratarse del diseño de una propuesta de moldeo, se requiere visualizar el prototipo, consideramos pues así finalmente las herramientas CAD/CAM/CAE, Como mecanismo óptimo para validar y reducir tiempos en el diseño y evitar construir prototipos, que incurren en gastos innecesarios, la ventaja del uso de este tipo de herramientas, es que podemos modificarlo rápidamente y obtener resultados superiores y favorables en el diseño en este caso del molde para el fabricación de la suela, además de la unidad de cierre y apertura que permiten brindar como proyecto, una propuesta clara para el moldeo de la suela, quedando finalmente el conjunto armado como se ve en la figura 34.

Sería inapropiado y resultaría un análisis poco práctico, para el propósito de este proyecto desarrollar una WPS y la calificación de soldadores para cada tipo de conexión planteados, además que, un análisis resultaría para el lector bastante tedioso y confuso y como no es tema de esta tesis no profundizaremos y presentaremos.

Sin embargo cabe mencionar que al tratarse de una estructura común en la industria de acero al carbono y de acuerdo a la recomendación de soldabilidad de la tabla 11.1 de Juvinal se utilizara la soldadura por arco con electrodos 7010 para la junta (Ver Anexo G).

CAPÍTULO V

5. SIMULACIÓN VIRTUAL DEL MECANIZADO DEL MOLDE DE SUELA PARA MECANIZADO CNC.

Tan importante como el diseño del molde es el método para la elaboración del mismo, es decir la simulación del mecanizado del molde, se basa en la realización de procedimientos y la combinación de éstos formando un sistema de procedimientos, que permitan obtener un mecanizado adecuado. El término adecuado contempla que se pueda realizar en el menor tiempo posible y un adecuado y correcto uso de herramientas.

Los procedimientos de mecanizado que se presentan contemplan criterios de aceptación, que se desarrollan sobre la base de los requerimientos aplicable al arranque de viruta en el molde. La falta de conformidad con los procedimientos resultaría en mecanizados no idóneas.

5.1 Variables de mecanizado

En la ejecución del uso del CAM se cargan muchas variables que se optimizan para mejorar la calidad del mecanizado, en los procedimientos del *sistema de procedimientos de mecanizado (spm)* se especifican todas las variables que se deben cumplir para el proceso de mecanizado.

Debido a la gran cantidad de variables no se puede manejar en un solo procedimiento, por lo tanto, se ha desarrollado procedimientos y en cada uno de estos procedimientos se especificaran las diferentes variables que actúan dependiendo del tipo de método o herramienta a utilizar y así se puede englobar todas las variables de un proceso.

5.1.1 Velocidad de corte. Este parámetro de corte es proporcionado por los fabricantes y significa como el camino recorrido por fijo de un diente de fresa en metros o pies por minuto y en máquinas muy rápidas (rectificadoras) en m/s.

$$V_c = \frac{\pi * D * N}{1000} (m/min) \quad (32)$$

Dónde:

$$\pi = 3,1416$$

D = Diámetro de la Fresa o de la herramienta en mm

N = Rpm de la Fresa

5.1.2 *Velocidad de rotación (N)*. La fórmula para calcular resulta de la fórmula anterior despejando N, normalmente expresada en revoluciones por minuto. Calculándose entonces en función, a partir de la velocidad de corte que viene dada en tablas y del diámetro mayor de la pasada que se está mecanizando.

$$N = \frac{V_c * 1000}{\pi * D} (RPM) \quad (33)$$

5.1.3 *Velocidad de avance (V_F)*. Definido como la revolución de penetración de la herramienta en el material. En el torneado suele expresarse en mm/rev. No obstante para poder calcular el tiempo de torneado es necesario calcular el avance en mm/min de cada pasada.

$$V_F = N * fn \quad (34)$$

Dónde:

V_F = velocidad de avance (mm/min)

N = Revoluciones por minuto

fn = avance (mm/rev)

Este avance depende de:

- La fresa
- Material de la pieza
- La profundidad de corte (este influye en el avance y viceversa).
- Calidad de la superficie deseada

- La potencia de la maquina
- Sujeción de la pieza

Calculándose de la siguiente manera;

1. Primero se calcula la RPM
2. Calcular la potencia efectiva de la maquina (Pe).- Esta potencia es igual al 70% de la potencia teórica (P), debido al rozamiento, desplazamiento de las poleas, etc. Las unidades para indicar la potencia es kW (Kilowatt).

$$P = \frac{V * I}{1000} (kW) \quad (35)$$

$$Pe = \frac{P * 70}{100} (kW) \quad (36)$$

Dónde:

P=Potencia teórica en kW

V= Voltaje (V)

I = Corriente (A)

Pe = Potencia efectiva en kW.

El avance por minuto.- Se calcula en función del avance por diente (Sz), el número de dientes de la fresa (z) y el número de revoluciones de esta.

El avance por diente (Sz).- Es el desplazamiento de la mesa por cada diente de la fresa. Su valor no debe ser menor a 0.2mm; Se elige de acuerdo a la calidad de la superficie deseada, la dureza del material trabajado, la sujeción de la pieza, etc.

$$V_F = \frac{mm}{min} = S_z * z * N \quad (37)$$

Dónde:

Sz = Avance por diente (mm/diente)

z = Número de dientes de la fresa.

$N=Rpm$

El volumen máximo (V_m).- Es la cantidad máxima de viruta en cm^3 por kW de potencia que puede desprender la máquina en un minuto.

$$V_m = V_a * P_e \text{ (cm}^2\text{/kW)} \quad (38)$$

Dónde:

V_a = Volumen Admisible.

P_e = Potencia efectiva en kW.

El volumen admisible viene dado en tablas, en la siguiente tabla se muestra la V_a en cm^3 por kW/min para fresas frontales hasta 20% más.

Tabla 34. Volumen admisible de viruta

Material	Volumen admisible (cm^3)
Acero Dulce	12-15
Acero semiduro	10-14
Acero duro	9-12
Acero altamente aleado	6-8
Fundición gris	15-20
Latón	28-40
Aluminio	40-70

Fuente: (González de Cabañez, y otros, 2002) Diseño de piezas de plástico para inyección

El volumen admisible es la cantidad de viruta en cm^3 que puede desprender la maquina por cada kW de potencia en un minuto.

5.1.4 Profundidad de pasada o corte. Es la distancia radial que abarca una herramienta en su fase de trabajo. Depende de las características de la pieza y de la potencia de la máquina. Se calcula en función de V_m y del avance por minuto (avance/min).

$$a = \frac{V_m * 1000}{b * A_{min}} \quad (39)$$

Dónde:

a = Profundidad de corte

V_m = Volumen máximo en cm³ kW/min.

b = Ancho de la fresa.

A_{min} = Avance por minuto.

Para dar la profundidad de corte en la máquina, tomamos el 80% de la profundidad por el cálculo.

5.1.5 *Método de cálculo alternativo usado para mecanizado.* Detalladas las variables principales para el mecanizado para un tipo de cálculo, podemos calcular además, las mismas variables por otro método, que nos permiten estimar de mejor manera, el consumo dentro del sistema de control de producción para control de calidad.

5.1.6 *Volumen de arranque de viruta o Cantidad de viruta (cm³/min).* Es un cálculo que nos permite establece la cantidad de viruta que se desprenderá, los cuales se consiguen desarrollando el siguiente procedimientos aprobados por la empresa del grupo HI-TEC.

Primero determinamos la potencia así:

$$W = \frac{PS * Q}{6.12 \times 10^3} \quad (40)$$

$$Q = \frac{L * F * d}{1000} \quad (41)$$

Dónde:

PS = Depende del material para acero normal 250-300kg/mm², Fundicion 150kg/mm² y aluminio <250kg/mm²

Q = Cantidad de viruta (cm³/min)

L = Ancho de corte (mm)

F = Avance por minuto (mm/min)

d = Profundidad de corte (mm).

5.2 Programación CAM para mecanizado CNC

El propósito de la simulación es asegurar la calidad de los procedimientos y obtener el molde de la suela, para lo cual, se debe realizar una adecuada inspección y evaluación de las variables cargadas en función de los requerimientos para el mecanizado.

5.2.1 Algoritmo programación CAM. Los pasos a seguir en cada uno de los procesos a fin de conseguir el molde se rigen de acuerdo al algoritmo que planteamos donde se encuentran los pasos que permiten cargar las variables como velocidades, avances, selección de la herramienta, operación de maquinado etc.

- Se abre el programa de CAM
- Se selecciona el archivo que se va a programar buscando la dirección donde se tiene el dibujo.
- Se define el sistema de coordenadas.
- Se crea un bloque alrededor de nuestra pieza donde posteriormente se formará la cavidad y el núcleo.
- Luego se selecciona la máquina de trabajo para el caso fresado (Mill) en todas las operaciones.
- Se selecciona el proceso de maquinado para una se parte de operaciones como contour, pocket, face, 2D high speed etc. de acuerdo a la necesidad.
- Una vez seleccionada el proceso de operación correspondiente se otorga un nombre al programa para poder identificarlo.
- Después se selecciona en nuestro dibujo la pieza que vamos a cortar.

- A continuación se abre una ventana en la que se selecciona la herramienta a utilizarse en la operación
- Luego de seleccionada la herramienta se configuraron todos los parámetros de corte. Se asignan los valores de avance (Feed Rate), revoluciones (Spindle Speed), la posición que ocupara la herramienta, etc.
- En la misma ventana se dirige a la opción parámetros de corte donde se puede configurar la compensación de la herramienta a la derecha o izquierda.
- Luego en otra opción de linking parameters se configura valores de espesor y corte de las piezas en profundidad además de posiciones de altura de seguridad de la herramienta.
- Por último se cierra esta ventana dando clic en aceptar.
- Luego de terminado las operaciones de maquinado, se simula para ver el recorrido de la herramienta
- Finalmente se genera el código para programar CNC mediante la operación post selected operations se recomienda encender la opción Edit para que nos habrá el código después de crearlo, damos aceptar.
- Se busca una dirección adecuada y guardamos el archivo en la ubicación deseada.

5.2.2 Programación CAM y simulación CNC molde núcleo. Antes de enviar al taller un molde debe cumplir con una correcta programación en cuanto a su mecanizado.

Hay que mencionar que existen dos tipos de programación en las máquinas de control numérico. La primera se la realiza a pie de máquina y por su sencillez se lo realiza directamente, mientras que la programación CAD/CAM se utiliza cuando las geometrías son más complicadas como es nuestro caso.

5.2.2.1 Maquinados a realizarse molde núcleo. Para obtener el molde núcleo partimos de bloque de aluminio que se adquieren bajo pedido de acuerdo a dimensiones pre

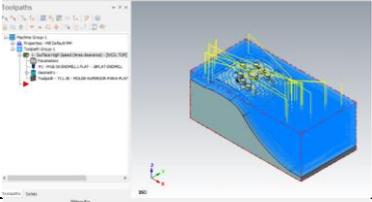
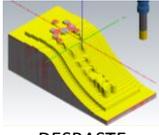
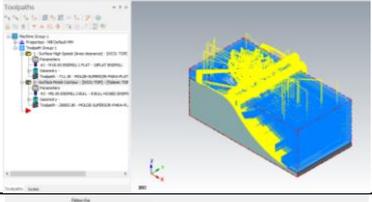
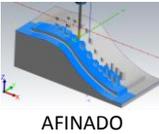
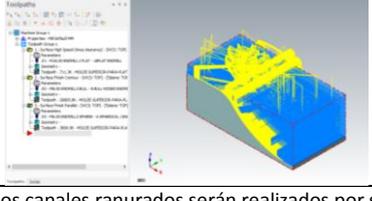
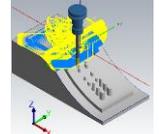
establecidas para nuestro caso de (160 x 135 x320) mm. Al material se realiza las siguientes operaciones:

- **Desbaste.**-Se realiza pases rápidos con una fresa plana con un diámetro de 16 mm, se deja en exceso de 0.5mm para su posterior acabado (Ver nexa H)
- **Afinado.**-Se realiza un afinado mediante un porta insertos con un diámetro de 10 mm y un radio de 5mm para este caso las velocidades aumentan y los pases son más cortos afín de no dejar material remanente (Ver nexa I).
- **Detalles.**-La suela posee detalles de información que son mecanizadas con un buril de diámetro 6mm y afilada hasta obtener un radio de 0.2mm (Ver nexa J).

Realizar estas hojas de proceso permite, lograr realizar una inspección y evaluación a través de un resumen de procedimiento y garantizar una adecuada interpretación de los criterios de las variables usadas en el mecanizado. (Ver tabla 35)

Tabla 35 Proceso CAM mecanizado del molde núcleo

PROCESOS CAM PARA MECANIZADO DE MOLDE							
Proyecto: Molde núcleo para suela fabya			Elaborado por: Caisaguano E.				
			Identificación: Molde cavidad suela fabya				
			Material: Aluminio Prodax				
			Dimensiones(160x135x320)mm				
			Tipo de molde: Molde para fabricación de suela				
			Proceso de mecanizado: mecanizado vertical CNC				
			Requerimiento de calidad:				
			Observaciones:				
PASOS	Esquema	Descripción de operación	Herramienta	Variables			
				Tasa de alimentación	Profundidad de corte	Velocidad de giro	Tiempo
				Plg/min	mm	rpm	Min

1			Fresa Plana D16	1.5DC	2	3500	2:38
2			Porta insertos (Ø 10R5)	0.3DC	0.5	2800	1:10
3			Buril (Ø6R0.2)	0.12DC	1	3600	1:58
Nota: Los canales ranurados serán realizados por su simplicidad en una fresadora convencional a 10mm del borde con una profundidad de 8mm.							

Fuente: Autor

5.2.2.2 Generación y edición códigos CNC (núcleo). El software CAM permite obtener códigos CNC que consisten en un conjunto de números y letras que siguen un estándar por la EIA (Electronic Industries Association) o la ISO (International Standards Organization) a los que se deben depurarlos y editarlos conforme al controlador de la maquina a usarse para este caso se tiene un controlador Fanuc.

Figura 109. Posprocesado Fanuc 3 ejes moldes núcleo

```

%
O0121 (MOLDE- N U C L E O)
 (DATE=DD-MM-YY-10-06-15TIME=HH:MM-20:37)
 (MATERIAL-ALUMINUMM- P R O D A X)
 (T1|18FLATENDMILL|H1)|
 (T2|8BULL-NOSEDENDMILL|H2)
 (T3|6SPHERICAL/BALL-NOSEDENDMILL|H3)
N100G21
N110G0G17G40G49G80G90
N120T1M6
N130G0G90G54X-125.674Y-43.674A0.S3800M3
N140G43H1Z50.
N150Z6.025
N160G1Z5.525F120.
N170X-125.663Z5.316
N180X-125.63Z5.109
N190X-125.576Z4.907
N200X-125.501Z4.712
N210X-125.406Z4.525
N220X-125.292Z4.349
N230X-125.16Z4.187
N240X-125.012Z4.039
N250X-124.849Z3.907
N260X-124.674Z3.793
N270X-124.487Z3.698
N280X-124.292Z3.623
N290X-124.089Z3.569
N300X-123.883Z3.536

```

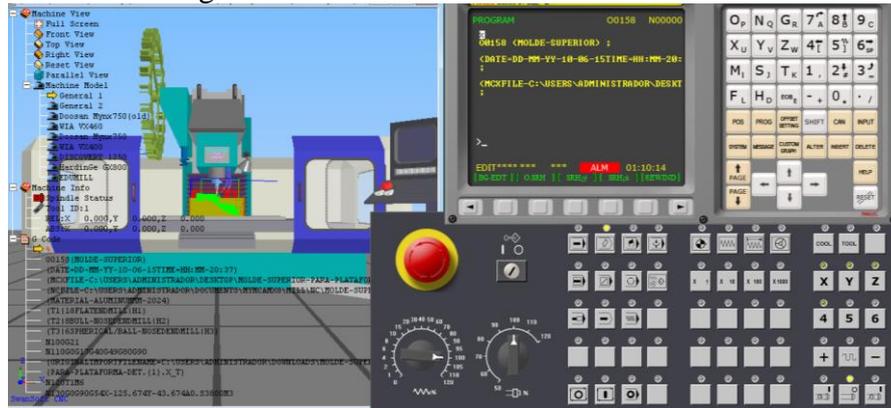
Fuente: Autor

5.2.2.3 Simulación CAM molde núcleo.- Hoy en día se usan simuladores que conllevan

mejoras de rendimiento del proceso, evitando realizarlas físicamente moldes piloto o prueba, Esto permite que se pueda verificar la programación y por ende reducir costos y tiempos necesarios en la fabricación de un molde.

En la siguiente figura se puede verificar los códigos CNC mediante la simulación del mecanizado del molde en un control Fanuc de tres ejes.

Figura 110. Simulación CAM molde núcleo



Fuente: Autor

5.2.3 Programación CAM y simulación CNC molde cavidad. A causa de las geometrías complejas el molde cavidad requiere de programación CAD/CAM que permitan la elaboración de este, que de otro modo sería difícil alcanzarlos hasta por el mas experto operador.

Para esto se carga todas las variables que corresponden al molde cavidad, cuyos valores de mecanizado se encuentran claramente definidos en la tabla 36 como se muestra más adelante.

5.2.3.1 Maquinados a realizarse molde cavidad. Para obtener el molde cavidad partimos de bloque de aluminio que se adquieren bajo pedido de acuerdo a dimensiones pre establecidas para nuestro caso de (160 x 140 x320) mm.

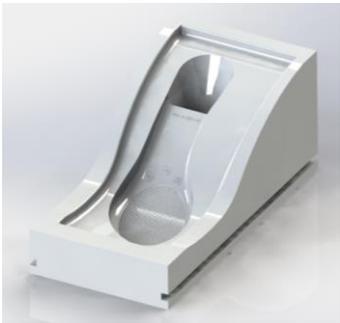
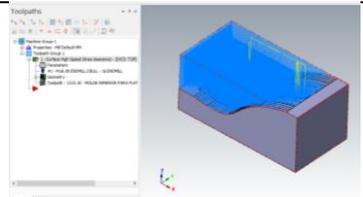
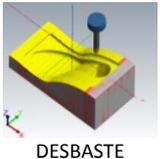
Al material se le realizará las siguientes operaciones:

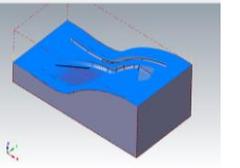
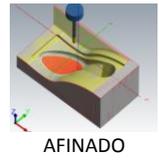
- **Desbaste.**-Se realiza pases rápidos con una fresa plana con un diámetro de 16 mm dejando un offset de 0.25mm (Ver Anexo K)

- **Afinado.**-Se realiza un afinado mediante un porta insertos con un diámetro de 10 mm y un radio de 5mm para este caso las velocidades aumentan y los pases son más cortos afín de no dejar material remanente (Ver Anexo L).
- **Detalles.**-La suela posee detalles de información que son mecanizadas con un buril de diámetro 6mm y afilada hasta obtener un radio de 0.2mm (Ver anexo M).
- **Detalles.**-De manera similar también se mecanizan los detalles dela parte inferior de las suela con un buril de 6mm de diámetro y un radio de 0.2mm (Ver anexo N).

A continuación se presenta el resumen del procedimiento, y garantizar una adecuada interpretación de los criterios de las variables usadas en el mecanizado, indicándose las dimensiones del material para su mecanizado así como la velocidad de corte número de revoluciones, etc. (Ver tabla 36).

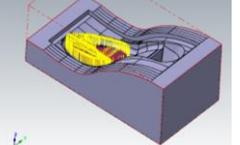
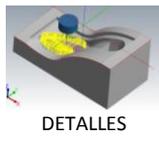
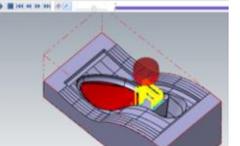
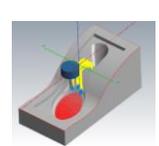
Tabla 36. Proceso CAM mecanizado del molde cavidad

PROCESOS CAM PARA MECANIZADO DE MOLDE							
Proyecto: Molde cavidad para suela fabya				Elaborado por: Caisaguano E.			
				Identificación: Molde cavidad suela fabya			
				Material: Aluminio Produx			
				Dimensiones(160x140x320)mm			
				Tipo de molde: Molde para fabricación de suela			
				Proceso de mecanizado: mecanizado vertical CNC			
				Requerimiento de calidad:			
Observaciones:							
PASOS	Esquema	Descripción de operación	Herramienta	Variables			
				Tasa de alimentación	Profundidad de corte	Velocidad de giro	Tiempo
				Plg/min	Mm	rpm	Min
1		 DESBASTE	Fresa Plana D16	1.5DC	2	3500	2:38

2				Porta insertos (\varnothing 10R5)	0.3DC	0.5	2800	1:10
---	---	---	---	---	-------	-----	------	------

AFINADO

continuación

3				Buril (\varnothing 6R0.2)	0.12DC	0.1	3600	1:58
4				Buril (\varnothing 6R0.2)	0.12DC	0.1	3600	1:58

DETALLES

DETALLES

Nota: Los canales ranurados serán realizados por su simplicidad en una fresadora convencional a 10mm del borde con una profundidad de 8mm.

Fuente: Autor

5.2.3.2 Generación códigos CNC y edición (cavidad). El software CAM permite obtener códigos CNC que consisten en un conjunto de números y letras que siguen un estándar por la EIA (Electronic Industries Asociation) o la ISO (International Standars Organization) a los que se deben depurarlos y editarlos conforme al controlador de la maquina a usarse para este caso se tiene un controlador Fanuc.

Figura 111. Posprocesado fanuc 3 ejes molde cavidad

```

%
O0101 (MOLDE C A V I D A D)
 (DATE=DD-MM-YY-10-06-15TIME=HH:MM-20:59)
 (MATERIAL-ALUMINUMMM- P R O D A X)
 (T1|16ENDMILL|H1)
 (T2|10SPHERICAL/BALL-NOSEENDMILL|H2)
 (T3|6ENGRAVINGBIT|H3)
N100G21
N110G0G17G40G49G80G90
N120T1M6
N130G0G90G54X-42.55Y0.A0.S3500M3
N140G43H1Z50.
N150Z3.525
N160G1Z3.025F120.
N170X-42.561Z2.816
N180X-42.594Z2.609
N190X-42.648Z2.407
N200X-42.723Z2.212
N210X-42.818Z2.025
N220X-42.932Z1.849
N230X-43.064Z1.687
N240X-43.212Z1.539
N250X-43.374Z1.407
N260X-43.55Z1.293
N270X-43.737Z1.198
N280X-43.932Z1.123
N290X-44.134Z1.069
N300X-44.341Z1.036
N310X-44.55Z1.025|
N320G3X-55.95Y-11.4Z.4I0.J-11.4

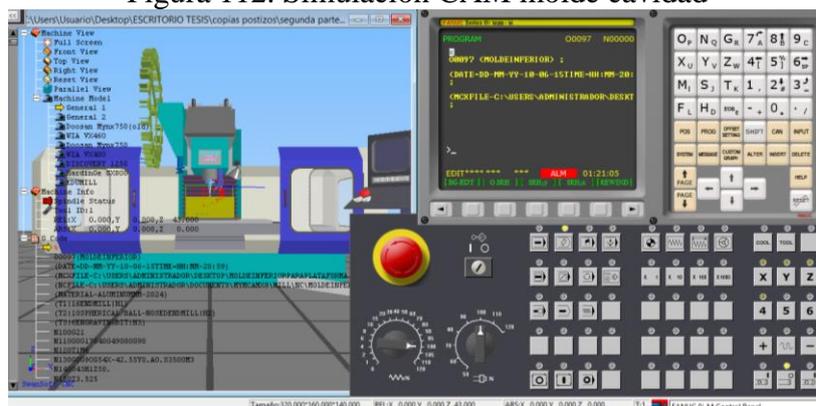
```

Fuente: Autor

5.2.3.3 Simulación CAM molde cavidad.- Hoy en día se usan simuladores que conllevan mejoras de rendimiento del proceso, evitando realizarlas físicamente moldes piloto o prueba, Esto permite que se puede verificar la programación y por ende reducir costos y tiempos necesarios en la fabricación de un molde.

En la siguiente figura se puede verificar los códigos CNC mediante la simulación del mecanizado del molde en un control Fanuc de tres ejes.

Figura 112. Simulación CAM molde cavidad



Fuente: El Autor

5.2.4 Programación CAM y simulación CNC electrodos. Existen detalles en la suela que son pequeños y que requieren de mayor precisión, por esta razón es necesaria la operación de electroerosión por penetración.

5.2.4.1 Maquinados a realizarse en electrodos. Para obtener los electrodos partimos de barras de graffito, que se adquieren bajo pedido de acuerdo a dimensiones pre fijadas para nuestro caso de (12) mm de diámetro. Al material se le realizará las siguientes operaciones:

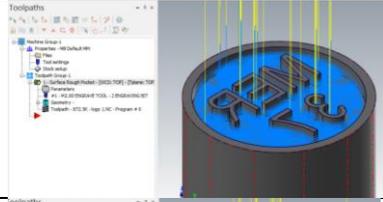
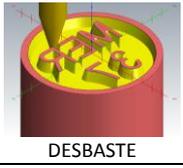
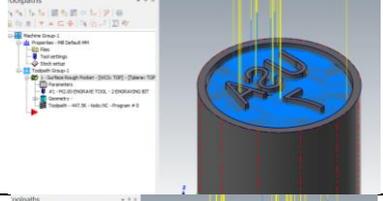
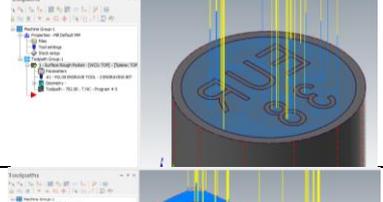
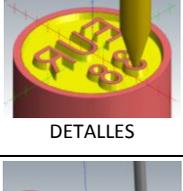
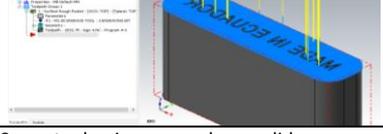
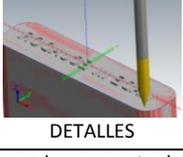
- Grabado.-Se practica sobre el material un grabado en nuestro caso se realiza este procedimiento con un buril de diámetro de 2 mm y procuramos afilar la punta del mismo generándose un ángulo de 15° hasta obtener un diámetro aproximado de 0.3mm. de ser necesario luego del mecanizado se realiza y corrige errores de manera manual (Ver anexo O, P).

El procedimiento se repite de manera similar para los tres electrodos restantes por ello presentamos un único procedimiento, que permita brindar una adecuada interpretación de los criterios de las variables usadas en el mecanizado.

De ser necesario estos electrodos se tendrá que practicar un pulido manual para mejorar de manera considerable los detalles a fin de obtener una gran definición al momento de elaborarse la suela.

Tabla 37 Proceso CAM mecanizado del molde cavidad

PROCESOS CAM PARA MECANIZADO DE MOLDE							
Proyecto: Molde cavidad para suela fabya			Elaborado por: Caisaguano E.				
			Identificación: Molde cavidad suela fabya				
			Material: Aluminio Prodax				
			Dimensiones(12 mm)mm				
			Tipo de molde: Molde para fabricación de suela				
			Proceso de mecanizado: mecanizado vertical CNC				
			Requerimiento de calidad:				
Observaciones:							
PASOS	Esquema	Descripción de operación	Herramienta	Variables			
				Tasa de alimentación	Profundidad de corte	Velocidad de giro	Tiempo
				Plg/min	m	rpm	Min

1			Buril D2 con Angulo de 15° con d 0.3	0.12 DC	0.1	360 0	1:20
2			Buril D2 con Angulo de 15° con d 0.3	0.12D C	0.1	360 0	1:10
3			Buril D2 con Angulo de 15° con d 0.3)	0.12D C	0.1	360 0	1:10 8
4			Buril D2 con Angulo de 15° con d 0.3)	0.12D C	0.1	360 0	1:58
Nota: Se parte de piezas en sobremedida que son adecuadas por parte del proveedor, para el grabado final de ser necesario sean retocadas de manera manual para obtener resultados satisfactorios.							

Fuente: Autor

5.2.4.2 Generación y edición códigos CNC (electrodos). El software CAM permite obtener códigos CNC que consisten en un conjunto de números y letras que siguen un estándar por la EIA (Electronic Industries Asociation) o la ISO (International Standars Organization) a los que se deben depurarlos y editarlos para nuestro se puede observar el encabezado y parte del programa.

Figura 113. Posprocesado (electrodos)

```

%
O0000 (LOGO 2)
 (DATE=DD-MM-YY - 15-06-15 TIME=HH:MM - 21:17)
 (MCX FILE - C:\USERS\ADMINISTRADOR\DESKTOP\POZTISO\LOGO 2.MCX-8)
 (NC FILE - C:\USERS\ADMINISTRADOR\DOCUMENTS\MY MCAMX8\MILL\NC\LOGO 2.NC)
 (MATERIAL - G R A F I T O )
 ( T1 | 2 ENGRAVING BIT | H1 )
N100 G21
N110 G0 G17 G40 G49 G80 G90
N120 T1 M6
N130 G0 G90 G54 X1.812 Y-1.958 A0. S3500 M3
N140 G43 H1 Z25.
N150 Z4.9
N160 G1 Z-.2 F100.
N170 X1.68 Y-2.001 F200.
N180 X1.576 Y-2.024
N190 X1.608 Y-2.128
N200 G3 X1.812 Y-1.958 I-1.595 J2.116
N210 G1 X1.879 Y-1.83
N220 X1.654 Y-1.905
N230 X1.493 Y-1.94
N240 X1.467 Y-2.01
N250 X1.553 Y-2.29
N260 G3 X2.275 Y-1.576 I-1.54 J2.278
N270 X1.879 Y-1.83 I1.707 J-3.093
N280 G1 X1.833 Y-1.74
N290 X1.628 Y-1.808
N300 X1.44 Y-1.849
N310 X1.419 Y-1.851
N320 X1.358 Y-2.014

```

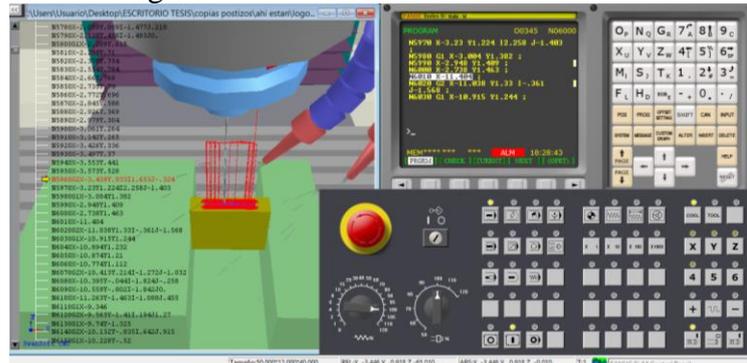
Fuente: Autor

5.2.4.3 Simulación CAM electrodos.- Hoy en día se usan simuladores que conllevan

mejoras de rendimiento del proceso, evitando realizar físicamente moldes piloto o prueba, Esto permite que se puede verificar la programación y por ende reducir costos y tiempos necesarios en la fabricación de un molde.

En la siguiente figura podemos verificar los códigos CNC mediante la simulación del mecanizado de los electrodos.

Figura 114. Simulación CAM electrodos



Fuente: Autor

CAPÍTULO VI

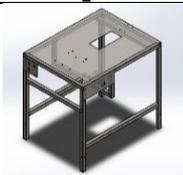
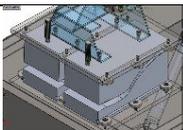
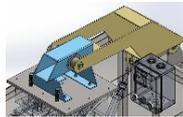
6. DESARROLLO DE GUÍAS DE ELABORACIÓN Y ENSAMBLAJE DEL MOLDE Y PORTAMOLDE DE SUELA FABYA

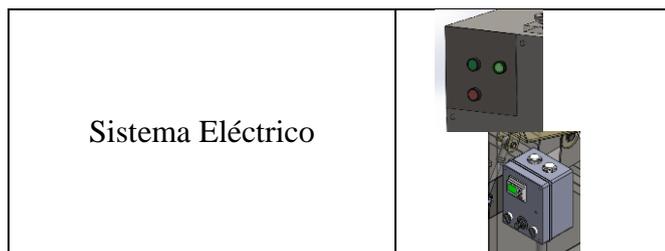
6.1 Elaboración de diagramas guías de elaboración de procedimientos

En este capítulo se ha generado guías, para una correcta comprensión de cómo está conformada el portamolde y el molde, con el fin de orientar su construcción y el montaje. Estos diagramas seguirán una estructura similar para cada sistema o unidad de componentes, de la misma forma los pasos seguidos y especificados de cada parámetro.

6.1.1 *Componentes que conforma la máquina.* Para el desarrollo de este proyecto mostrado en la Figura 43, la misma que está diseñada, consta de las siguientes unidades principales.

Tabla 38. Unidades para moldeo de suela

Unidades	Esquema
Bancada	
Molde de suela	
Unidad de apertura y cierre	
Sistema neumático	



Fuente: Autor

6.1.1.1 Operaciones tecnológicas de los elementos de construcción. Las operaciones tecnológicas a desarrollarse para obtener los elementos se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 39. Operaciones tecnológicas de elementos de construcción

SISTEMA	ELEMENTO	No	OPERACIÓN TECNOLÓGICA	TIEMPO (horas)
Bancada	Estructura base	1	Medición (metrología)	1
		2	Corte (amoladora)	2
		3	Limado (lima)	0,3
		4	Soldadura (eléctrica)	4
		5	Pulido	1
		6	Pintado	1
	Soporte para caja de control	7	Medición (metrología)	0,3
		8	Corte	0,6
		9	Limado (lima)	0,1
		10	Barolado	0,3
		11	Doblado	0,3
		12	Soldado	0,3
		13	Taladrado	0,1
		14	Pulido	0,1
		15	Pintado	0,1
		16	Empernado	0,1
	Placa de botonera	17	Trazado	0,4
		18	Corte	0,3
		19	Limado	0,2
		20	Doblado	0,2
		21	Taladrado	0,1
		22	Empernado	0,05
		23	Pulido	0,1
		24	Pintado	0,2
SISTEMA	ELEMENTO	No	OPERACIÓN TECNOLÓGICA	TIEMPO (horas)
Molde de suela	Molde cavidad	25	Alineación (CNC reloj palpador)	0,1
		26	Centrado (CNC palpador de cantos)	0,1
		27	Punteado (CNC boca de centros)	0,1
		28	Cavidades (CNC)	5,5
		29	Fresado de agujeros guías	0,5
		30	Erosión de detalle	0,3
		31	Fresado canales guía	1
		32	Salidas de aire	0,1
	Molde núcleo	33	Alineación (CNC reloj palpador)	0,1
		34	Centrado (CNC palpador de cantos)	0,1
		35	Punteado	0,1

		36	Perforado de cavidad	0,5
		37	Perforado de guías	0,5
		38	Fresado de núcleo	5,5
		39	Perforado pernos guía	0,6
		40	Fresado canales guía	0,6
Unidad de apertura y cierre	Brazo mecánico	41	Trazado	1
		42	Corte plasma	2
		43	Doblado	0,6
		44	Barolado	0,5
		45	Pres soldado	0,6
		46	Soldado	1,5
		47	Perforado	0,6
		48	Pulido	0,5
		49	Limado agujeros	0,5
		50	Pintado	0,3
	Placas de unión	51	Trazado	0,2
		52	Cortes plasma	0,3
		53	Punteado	0,05
		54	Taladrado	0,1
		55	Roscado	0,2
		56	Limado	0,1
		57	Pulido	0,1
		58	Pintado	0,15
Sistema neumático	Compresor	59	Instalación	0,15
		60	Conexiones	0,1
	Electroválvula	61	Conexiones electricas	1
		62	Conexiones neumáticas	1
	Unidad de mantenimiento	63	Conexiones	0,2
	Sensores	64	Instalación	0,1
		65	Conexiones	0,1
	Cilindro neumático	66	Instalación	0,1
67		conexiones	0,1	
SISTEMA	ELEMENTO	No	OPERACIÓN TECNOLÓGICA	TIEMPO (horas)
Sistema eléctrico	Caja de tablero	68	Taladrado	0,1
		69	Limado	0,1
		70	Pulido	0,1
		71	Montaje riel	0,05
		72	Instalación de Breakers	0,05
		73	Instalación de Botoneras	0,05
		74	Conexiones al pulsador NA	0,05
		75	Remachado	0,2
	Ensamblaje general	76	Ensamble de unidad de apertura y cierre sobre bancada	0,5
		77	Ensamblaje del molde sobre bancada	0,6
78		Empotrado de la bancada	0,2	

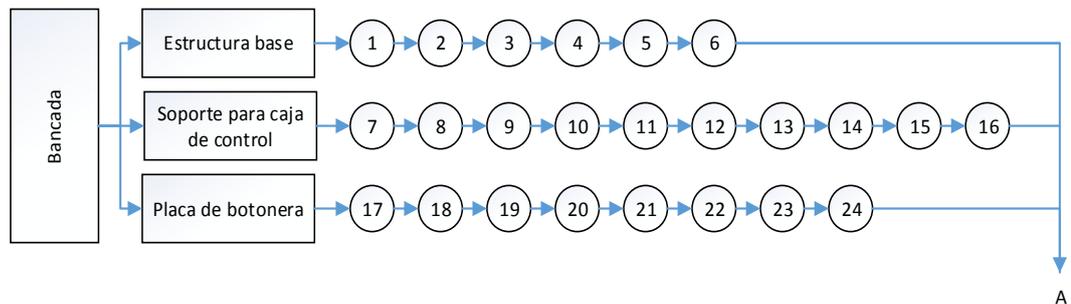
	79	Conexión del sistema neumático y tablero de control	0,5
	80	Ensayos de funcionamiento	0,1
		TOTAL	43,6

Fuente: Autor

6.1.2 *Flujograma de construcción y montaje.* De acuerdo a cada uno de los módulos se tiene:

6.1.2.1 *Guía y flujograma de Bancada.* Se define la secuencia de operaciones total de la estructura, la misma que por principio se compone de los elementos estructurales y de soportes laminados para las cajas de operación.

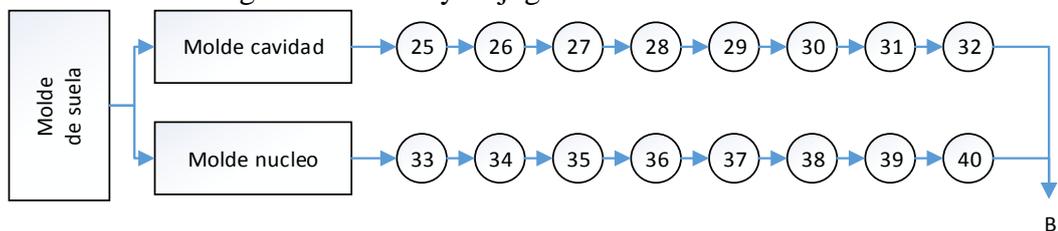
Figura 115. Guía y flujograma de bancada



Fuente: Autor

6.1.2.2 *Guía y flujograma de montaje de molde de suela.* Se define la secuencia de operaciones del molde, aquí se consideran también las placas de sujeción de los moldes.

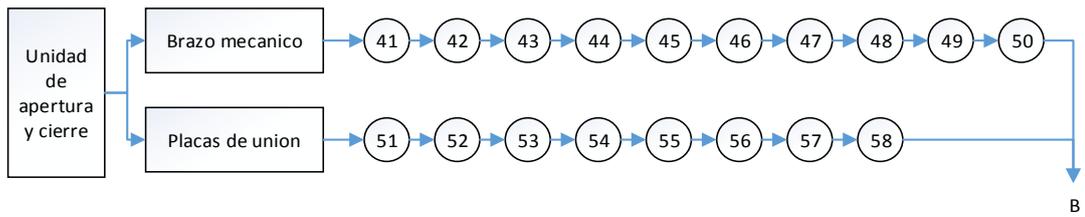
Figura 116. Guía y flujograma de molde de suela



Fuente: Autor

6.1.2.3 *Guía y flujograma de montaje de unidad de apertura y cierre.* Se define la secuencia de operaciones del brazo mecánico.

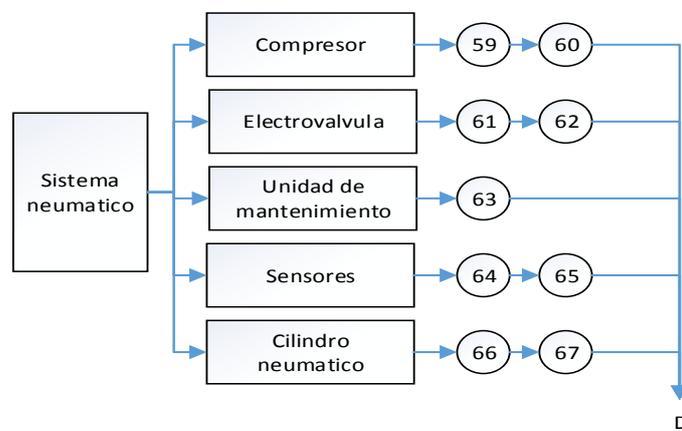
Figura 117. Guía y flujograma de unidad de apertura y cierre.



Fuente: Autor

6.1.2.4 *Guía y flujograma de montaje de sistema neumático.* Se define la secuencia de operaciones del sistema neumático.

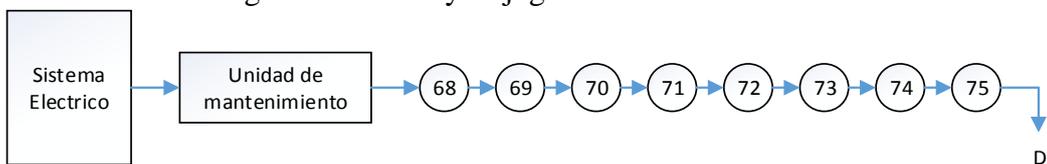
Figura 118. Guía y flujograma de sistema neumático



Fuente: Autor

6.1.2.5 *Guía y flujograma de sistema eléctrico.* Se define la secuencia de operaciones del sistema eléctrico.

Figura 119. Guía y flujograma de sistema eléctrico



Fuente: Autor

6.1.3 *Montaje de elementos.* Se estiman los tiempos de montaje de los diferentes unidades y sistemas que componen el conjunto completo.

6.1.3.1 *Montaje de la bancada*

Tabla 40. Montaje de bancada

Montaje de bancada		
Operación	Símbolo	Tiempo (h)
Trasladar elemento en el punto de ensamble	M1	0,1
Montaje de la estructura	M2	0,15
Montaje de caja de pulsadores	M3	0,15
Ajuste pernos de anclaje	M4	0,5
SUBTOTAL		0,9

Fuente: Autor

6.1.3.2 Montaje del molde

Tabla 41. Montaje del molde

Montaje del molde		
Operación	Símbolo	Tiempo (h)
Trasladar moldes en el punto de ensamble	M5	0,1
Montaje sobre la estructura	M6	0,15
Ajuste pernos de sujeción	M7	0,5
SUBTOTAL		0,75

Fuente: Autor

6.1.3.3 Montaje de unidad de apertura y cierre

Tabla 42. Montaje de apertura y cierre

Montaje de apertura y cierre		
Operación	Símbolo	Tiempo (h)
Traslado de elemento en el punto de ensamble	M8	0,1
Situar brazo de apertura y cierre	M9	0,5
Ajuste de pasadores	M10	0,3
Montaje de placas de sujeción	M11	0,4
Ajuste final de pernos	M12	0,5
SUBTOTAL		1,8

Fuente: Autor

6.1.3.4 Montaje de sistema neumático

Tabla 43. Montaje de sistema neumático

Montaje de sistema neumático		
Operación	Símbolo	Tiempo (h)
Trasladar elemento en el punto de ensamble	M13	0,1
Montaje de cilindro neumático	M14	0,75
Montaje de válvula y electroválvula	M15	0,5
Montaje de UTM	M16	0,5
Ajuste final de pasador con vincha	M17	0,3
SUBTOTAL		2,15

Fuente: Autor

6.1.3.5 Montaje de sistema eléctrico

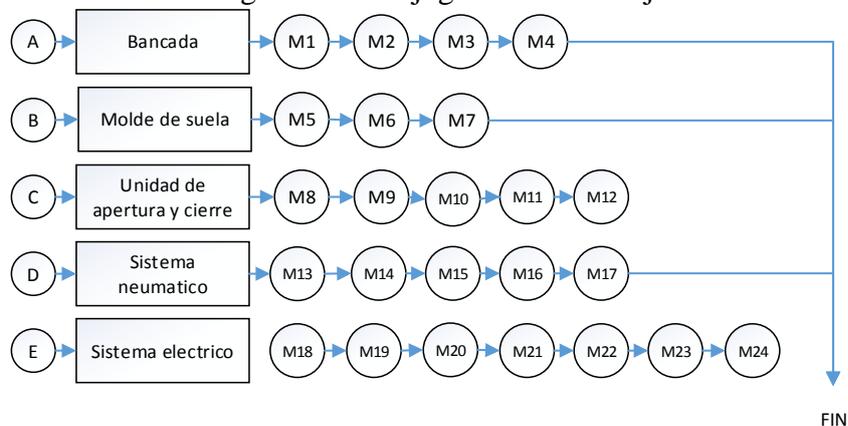
Tabla 44. Montaje de sistema eléctrico

Montaje de sistema eléctrico		
Operación	Símbolo	Tiempo (h)
Trasladar elemento en el punto de ensamble	M18	0,1
Montaje de circuito de control	M19	0,75
Montaje de circuito de potencia	M20	0,75
Montaje de soporte para control	M21	0,5
Montaje de caja de control	M22	0,5
Montaje de botoneras	M23	0,5
Fijación remaches y pernos	M24	0,4
SUBTOTAL		3,5

Fuente: Autor

6.1.4 *Flujogramas de montaje.* Se elaboran flujogramas que indican las operaciones de montaje de los sistemas y unidades del conjunto final

Figura 120. Flujograma de montaje



Fuente: Autor

Finalmente en la siguiente tabla se indican los tiempos de construcción y montaje que conllevaría la elaboración del molde y su respectivo porta molde.

Para ello se suman los tiempos de construcción y montaje

Tabla 45. Tiempos de montaje y construcción del molde y porta molde

Parámetros	Tiempo (h)
Tiempo de construcción	43,6
Tiempo de montaje	9,1
TIEMPO TOTAL	52,7

Fuente: Autor

El molde y porta molde tardarían en fabricarse y ponerse a punto en un tiempo de 52,7h, que de acuerdo a una jornada laboral de 8 horas diarias, equivalen a un lapso de 7 días laborables.

6.2 Mantenimiento

Dentro de las precauciones, especificaciones, operación, mantenimiento, ajustes, soluciones de problemas es necesario seguir las siguientes recomendaciones y de mantenimiento como medidas preventivas.

6.2.1 Bancada. Se debe colocar la bancada sobre una superficie lisa, de manera que el molde se encuentre nivelado para que no ocurra al momento de cerrarse se genere la formación de rebabas por el desbordamiento del polímero. Verificar si la bancada se encuentra fija al suelo revisando los pernos de anclaje.

6.2.2 Moldes. Se debe colocar Los moldes sobre la superficie lisa de la parte superior de la bancada, se debe procurar limpiar dicha superficie para asegurar un mayor apriete por medio de los pernos, que fija el molde cavidad como el molde núcleo, el molde se encontrara cerrado y se procederá con el ensamble.

El molde luego de utilizado no debe ser sometido a cambios bruscos de temperatura que ocasionaría condensaciones que pueden generar corrosión asimismo libre de líneas de agua o goteras.

Una adecuada limpieza de la superficie del molde con solventes evitar el uso de toallas o materiales que dañen las superficies altamente lisas para quitar acumulación de gases, polvo, grasas polímero y otras resinas que se acumulan favoreciendo características óptimas para el moldeo, además de evitar daños del mismo alargando su vida útil, ya en procesos de producción usar desmoldantes para polímeros amorfos.

6.2.3 *Sistema neumático.* El cilindro hidráulico consta también con amortiguamientos los mismos que se pueden modificar para asegurar el cerrado del molde que se puede variar al momento del montaje del molde se debe regularlos si fuera necesario y asegurarse de que el sistema no tenga fugas.

6.2.4 *Sistema eléctrico.* Se debe procurar evitar que los conductores estén en contacto con regiones en donde se pueden formar agua a causa de la condensación asimismo se debe evitar acumulación de polvo que lleguen a dañar los componentes eléctricos y generen cortos.

CAPÍTULO VII

7. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Esta evaluación económica se realiza de forma aproximada, teniendo en cuenta que el diseño, materiales, mecanizado, montaje del molde como de la máquina, servirán para tener idea del costo de fabricación del molde. Por el motivo de la gran cantidad de variaciones que intervienen es complicado fijar un precio totalmente exacto. Por ejemplo la falta de precisión en el cálculo de las horas de mecanizado que son estimados

Para realizar el presupuesto se ha dividido en dos partes:

- El molde de la suela fabya
- Porta molde

7.1 Costos directos

Los costos directos son los que intervienen directamente en la construcción de la máquina para moldeo como son materiales, mano de obra, equipos, herramientas y transporte:

Molde.

Tabla 46. Costos directos molde

A. Materiales				
Descripción	Unid.	Precio Unit. (USD)	Cantidad	Subtotal (USD)
Aluminio Prodax (350x150x140)	Kg	600	2	1200
Lijas	u	0,60	3	1,80
SUBTOTAL A =				1201,8
B. Equipos y Herramientas				

Continúa

Descripción	Costo (USD)/ Hora	Horas de Equipo	Subtotal (USD)	
Centro de mecanizado vertical	25	30	750	
Rectificadora	10	0.4	4	
Sierra de brazo oscilante	1,15	4	4,6	
SUBTOTAL B =			758,6	
C. Lista de mano de obra				
Descripción	Cat.	Sal. real / hora total (USD)	Horas-Hombre	Subtotal (USD)
Diseño del molde	C1	3,5	40	140
Operadores Maquinas Herramientas	C1	3,5	25,25	88,375
SUBTOTAL C =				228,375
D. Transporte de materiales				
Descripción	Unid.	Precio Trans (USD)	Cantidad	Subtotal (USD)
Moldes	u	40	1	40
SUBTOTAL D =				40
Costos directos SUBTOTAL (A+B+C+D)=				2228,77

Fuente: Autor

Portamolde.

Tabla 47. Costos directos Portamolde

A. Materiales				
Descripción	Unid.	Precio Unitario (USD)	Cantidad	Subtotal (USD)
Plancha de acero galvanizado 4x8 pies 3 mm ASTM A 36 SAE1008	u	15	0,2	3
Plancha de acero galvanizado 4x8 pies 1mm ASTM A36 SAE1008	u	15	0,5	7,5
Plancha de acero galvanizado 4x8 pies 0.3 mm ASTM A36 SAE1008	u	12	2,5	30
Tubo cuadrado de acero A36 20x20x2mm	m	4	12	48
Eje de acero AISI 4130 de Ø 38 mm x 28 mm	kg	3,15	1	3,15
Eje de acero AISI 4340 de Ø 16 mm x 59.54mm	kg	2,6	1	2,6
Eje de acero AISI 4340 de Ø 16 mm x 80 mm	kg	2.6	1	2,6

Perno de cabeza hueca hexagonal M5X0.8 Grado SAE 5.8 con tuerca	u	0,85	20	17
Perno de cabeza hexagonal M8x1.25 Grado SAE 5.8 con tuerca	u	0,48	10	4,8
Perno de anclaje HILTI kwin bolt 3 de 3/8 in	u	1,50	4	6
Arandela plana de retención Ø 20 mm	u	0,14	8	1,12
Arandela plana de retención Ø 12 mm	u	0,10	10	1
Arandela plana de retención Ø 14 mm	u	0,12	8	0,96
Canal C acero A36 80 x 8	u	0,5	2	1
Platina 100 x 6mm	u	25	1	25
Gabinete modular 20x20x15	u	15,80	1	15,80
Pulsador 22mm monobloquenate VERDE CAMSCO FPB-EA1	u	1,55	1	1,55
Pulsador 22mm INC ROJO CAMSCO FPB-EA2	u	1,55	1	1,55
Contactador fuerza 9ª 2HP 120V GMC9 LG (B-19981)	u	12,78	1	12,78
Conductor Cu gemelo SPT #2 x12 CABLEC	m	1,176	4	4,704
Conductor Cu Flexible #14 Rojo CABLEC	m	0,246	4	0,98
Bornera de cables	u	0,11	6	0,66
Riel de montaje	m ²	1,75	0,18	0,32
Pintura gris	gal	1,80	1	1,80
Electrodos	kg	22,5	0,5	11,25
Disco de corte 115x1x22BOSCH	u	2	1	2
Disco para pulido	u	2	1	2
Compresor	u	130	1	130
Descripción	Unid.	Precio Unitario (USD)	Cantidad	Subtotal (USD)
Electroválvula FESTO	u	50	1	50
Bobina electroválvula 110V	u	0,60	2	1,2
Cilindro Neumático	u	110	1	110
Finales de Carrera	u	5	2	10
Racor rapido Festo	u	2	6	12
Silenciador Festo	u	3	1	3
Manguera FESTO	u	1,50	6	9
Unidad de mantenimiento FESTO	u	150	1	1,50
Tyner	gal	10	1	10
Válvula de estrangulación y antirretorno	u	15	1	15
Pulsador de emergencia	u	20	1	20

Tubo flexible	m	1,75	2	3,5
Lijas	u	0.60	7	4,2
Otros	u	50	1	50
SUBTOTAL A =				638
B. Equipos y Herramientas				
Descripción		Costo (USD) / Hora	Horas de Equipo	Subtotal (USD)
Soldadora eléctrica		3,25	4	13
Fresadora		1,35	0,5	0,675
Rectificadora		1,35	0,4	0,54
Sierra de brazo oscilante		1,15	1	1,15
Torno		1,35	3	4,05
Amoladora		1,22	0,5	0,61
Cortadora por plasma		4,5	0,75	3,375
Cizalla hidráulica		1,05	0,30	0,315
Baroladora		1,75	0,10	0,175
Dobladora manual		1,8	0,10	0,18
Taladro de pedestal		1,75	0,15	0,263
Calibrador		0,9	0,30	0,27
Taladro manual		1,31	0,4	0,52
Esmeril Machuelos		0,85	0,4	0,34
Herramientas menores		1,05	2	2,1
SUBTOTAL B =				27,536
C. Lista de mano de obra				
Descripción	Cat.	Sal. real (USD)/ hora	Horas-Hombre	Subtotal (USD)
Diseño del portamolde	C1	3,5	40	140
Tornero	C1	3,5	3	10,5
Mecanico	C1	3,5	52,7	184,45
Soldador	C1	3,5	4	14
Operador plasma	C1	3,5	3	10,5
Electricista	C1	3,5	1,5	5,25
SUBTOTAL C =				364,7
D. Transporte de materiales				
Descripción	Unid.	Precio Trans (USD)	Cantidad	Subtotal (USD)
Materiales	U	80	1	80
SUBTOTAL D =				80
Costos directos SUBTOTAL (A+B+C+D)=				1105,236

Fuente: Autor

Tabla 48. Costo directo total

Item	Descripción	Subtotal (USD)
1	Costo directo subtotal molde	2228,77 USD
2	Costo directo subtotal portamolde	1105,236 USD
Total costos directos		3334,006 USD

Fuente: Autor

7.2 Costos indirectos

Lo costos indirectos se consideran como un 20% de los costos directos los cuales estarían distribuidos como se muestra se considera una utilidad de 0 por tratarse de un trabajo de investigación.

Molde

Tabla 49. Costos indirectos molde

Item	Denominación	Porcentaje (%)	Valor (USD)
1	Imprevistos diseño costos directos	10	222,87
2	Supervisión Trabajos	5	111,43
3	Utilidad	0	0
4	Otros	5	111,43
Total costos indirectos		20%	445,754

Fuente: Autor

Portamolde

Tabla 50. Costos indirectos Portamolde

Item	Denominación	Porcentaje (%)	Valor (USD)
1	Imprevistos diseño costos directos	10	110,52
2	Supervisión Trabajos	5	55,26
3	Utilidad	0	0
4	Otros	5	55,26
Total costos indirectos		20%	221,0472

Fuente: Autor

7.3 Costo total.

Es el costo total del proyecto y es la suma de costos directos e indirectos

Tabla 51. Costo Total

Item	Denominación	Molde	Porta molde	Valor (USD)
1	Costos directos	2228,77	1105,236	3334,006
2	Costos indirectos	445,754	221,0472	665,8
COSTO TOTAL				4000,80

Fuente: Autor

CAPÍTULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

Se determinó que los procedimientos de métodos de fabricación de las suelas de poliuretano, en base a moldes de compresión, transferencia e inyección, difieren por las características a obtenerse en la suela y el tipo de compuesto de poliuretano siendo el menos costoso los moldes de transferencia y los de inyección los más caros a causa de los canales de refrigeración, constituyéndose un factor condicionante de pre diseño e ingenieriles del molde.

Se obtuvo una propuesta básica, para el desarrollo del modelado CAD de la suela basada en especificaciones del cliente.

Se desarrolló una base metodológica para el diseño del molde de la suela fabya de tamaño 37 de poliuretano.

En función del uso del sistema CAD/CAE se logró realizar, analizar y validar las dimensiones del molde en función de simulaciones de térmicas de resistencia y deflexión.

El uso de la herramienta CAM es capaz de elaborar procesos de trayectoria de las herramientas de mecanizado a través de modelos de manera automática no eficiente, requiriendo siempre modificar todos sus parámetros a fin de obtener un molde que presente el menor costo posible, para lo que se requiere de gran conocimiento empírico.

Mediante el análisis que parte de una matriz QFD, hasta obtener la solución por el método de criterios ponderados se logró determinar que un sistema neumático que permite el cierre y apertura del molde de manera rápida, favorece tiempos de producción además de los ingenieriles aumentando el desempeño del operador.

Se determinó un costo de 2449 dólares el costo del molde y de 1332 dólares para todo el mecanismo portamoldes, considerando que se trata de un prototipo y que este diseño representaría tan solo una celda de un conjunto de porta moldes.

8.2 Recomendaciones

Realizar los siguientes trabajos complementarios y aplicativos:

Construir el molde y porta moldes para verificar el diseño utilizando los códigos de programación obtenidos.

Aplicación de diferentes tipos software CAD/CAM/CAE y realizar análisis comparativo acerca de que software es más versátil y rápido para moldes que posean este tipo de configuración.

Realizar pruebas y estudio para disminuir el peso del brazo de la unidad de cierre mediante la perforación de las placas y favorezca a un menor consumo de energía del sistema neumático.

Adaptar los pasos desarrollados a procedimientos-guía para la aplicación específica necesaria en la práctica para laboratorios de mecánica, debido a que en la actualidad la escuela de Ingeniería Mecánica se encuentra implementando un laboratorio de manufactura.

BIBLIOGRAFÍA

Ambiente, Ministerio del. 2014. Ecuador ama la vida. [En línea] 16 de Abril de 2014. [Citado el: 25 de Marzo de 2015.] <http://www.ambiente.gob.ec/tag/ambiente/>.

BARRAGAN, MILEE. academia .edu. [En línea] [Citado el: 1 de Abril de 2015.] http://www.academia.edu/6273949/Como_se_fabrica_una_suela.

BOHMAN, IVÁN. 2010. Materiales de ingeniería. Guayaquil : s.n., 2010.

CARRASCO SANTANA, JOSE ANTONIO. 2010. Diseño y construcción de un maquina para ensayos de flexión de suelas de calzado de seguridad de acuerdo con la norma ASTM-F2412-05. Tesis. Quito : s.n., 2010.

CASTILLO, TATIANA. 2013. [En línea] 16 de 05 de 2013. [Citado el: 03 de 01 de 2015.] <http://procesosparaplasticos.blogspot.mx/>.

Comodo, Camina. 2013. Camina Comodo. [En línea] 2013. [Citado el: 20 de Marzo de 2015.] <http://www.zapateria-online.es/calzado/suela-calzado/>.

ECOBOOTS. 2015. ECOBOOTS. [En línea] 2015. [Citado el: 20 de Abril de 2015.] <http://www.ecoboos.com.br/es/poliuretano>.

ESCOBAR GUACHAMBALA, MIGUEL ANGEL. 2013. [En línea] 2013. [Citado el: 12 de 01 de 2015.] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2479/1/15T00523.pdf>.

GASTROW, HANS. 1998. *Moldes de inyección para plásticos*. [trad.] Juan Jiménez Molina. Segunda. España : Barcelona Activa, 1998.

González de Cabañez, Antoni y González Mestre, Santiago. 2002. Diseño de piezas de plástico para inyección. 2002.

GROOVER, MIKELL P. 2007. *Fundamentos de manufactura moderna*. México, D. F. : McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2007.

KALPAKJIAN, SEROPE y SCHMID, STEVEN. 2006. *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México D. F. : Pearson Educación de México, S.A. de C.V., 2006.

LEAO, LUCAS. 2015. E3 Series. [En línea] 28 de Enero de 2015. [Citado el: 18 de Marzo de 2015.] <http://www.cim-team.com.br/blog-de-ingenieria-electrica-moderna/cad-vs-cae-vs-cam-diferencias>.

Premiun, Solidworks office. 2006. Moldes. *Folleto training*. 2006.

RDV. [En línea] [Citado el: 01 de 02 de 2015.] http://html.rincondelvago.com/polimeros_12.html.

RIBA, CARLES. 2002.. *Diseño Concurrente*. Barcelona : Edicions UPC, 2002. pág. 226.

SHIGLEY , JOSEPH E. y MISCHKE, CHARLES R. 2002. *Diseño en ingeniería mecánica.* [trad.] Javier Cárdenas León. Sexta. México D. F. : McGRAW-HILL/INTERAMERICANA, 2002. pág. 456.

TIRIRA, LENIN y CASTRO, DIEGO. 2014. *DISEÑO DE MAQUINA DESPULPADORA DE FRUTAS.* RIOBAMBA : s.n., 2014.

Tripence.com. 2012. Triple enlace química. [En línea] 7 de Octubre de 2012. [Citado el: 1 de Mayo de 2015.] <http://tripence.com/2012/10/07/un-trabajo-espanol-sobre-reciclado-de-poliuretano-fue-premiado-en-un-congreso-en-estados-unidos/>.

uniovi.es. uniovi.es. [En línea] [Citado el: 15 de Marzo de 2015.] <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion8.PLASTICOS.MateriasPrimas.pdf>.

Wikipedia. 2014. wikipedia. [En línea] 4 de Marzo de 2014. [Citado el: 1 de Marzo de 2015.] <http://es.wikipedia.org/wiki/Suela>.

