

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CIENCIAS DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA



TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA:

AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE TERMOFORMADO PARA LA
ELABORACIÓN DE MOLDES DE CHOCOLATE EN LA EMPRESA 'GOLOSINAS Y
ALGO MÁS'

AUTOR: ESTEBAN GABRIEL BRUSIL ARELLANO

DIRECTOR: ING. CARLOS VILLARREAL

IBARRA – ECUADOR

2016



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional determina la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de Identidad:	100322810-1
Apellidos y Nombres:	Brusil Arellano Esteban Gabriel
Dirección:	Juan De la Roca y Pasaje I
Email:	estebanbr90@outlook.com
Teléfono Fijo:	062958771
Teléfono Móvil:	0980683463

DATOS DE LA OBRA	
Título:	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE TERMOFORMADO PARA LA ELABORACIÓN DE MOLDES DE CHOCOLATE EN LA EMPRESA 'GOLOSINAS Y ALGO MÁS'
Autor:	Brusil Arellano Esteban Gabriel
Fecha:	10 de febrero del 2016
Programa:	Pregrado
Título por el que opta:	Ingeniería en Mecatrónica
Director:	Ing. Carlos Alfonso Villarreal Bolaños

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Esteban Gabriel Brusil Arellano, con cédula de identidad Nro. 100322810-1, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 10 días del mes de febrero de 2016

EL AUTOR:



Firma

Nombre: Brusil Arellano Esteban Gabriel

Cédula: 100322810-1



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

**DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR
DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Esteban Gabriel Brusil Arellano, con cédula de identidad Nro. 100322810-1, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículos 4,5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: “AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE TERMOFORMADO PARA LA ELABORACIÓN DE MOLDES DE CHOCOLATE EN LA EMPRESA ‘GOLOSINAS Y ALGO MÁS’”, que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERA MECATRÓNICA, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en el formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 10 días del mes de febrero de 2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'E. Brusil', is written over a horizontal line.

Firma

Nombre: Brusil Arellano Esteban Gabriel

Cédula: 100322810-1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DECLARACIÓN

Yo, Esteban Gabriel Brusil Arellano, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado calificación profesional; y certifica la verdad de las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Esteban Brusil Arellano", is written over a horizontal line.

ESTEBAN GABRIEL BRUSIL ARELLANO

C.I.: 100322810-1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

En calidad de Director de Trabajo de Grado, presentado por el señor Esteban Gabriel Brusil Arellano, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que dicho trabajo fue realizado por mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, reading "Carlos Alfonso Villarreal B.", is written over a horizontal line.

Ing. Carlos Alfonso Villarreal Bolaños

DIRECTOR DE PROYECTO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres, que siempre estuvieron listos para brindarme toda su ayuda, con la esperanza de retribuir en un poquito su esfuerzo.

A mis abuelos, que me han dado su cariño y apoyo incondicional.

A mis hermanos, que siempre trabajaron hombro con hombro junto a mí en la consecución de mis objetivos.

A todas la personas que llenan de luz a mi vida.

Este trabajo es para ustedes.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por los dones recibidos y por bendecirme para poder llegar a este momento de mi vida profesional.

Mejor es apoyarse en el Señor, que confiar en los inteligentes.

Salmos 118, 9

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN.....	i
1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	i
2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD	ii
3. CONSTANCIA	ii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	iii
DECLARACIÓN.....	iv
CERTIFICACIÓN DEL ASESOR.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xxi
PRESENTACIÓN	xxii
CAPÍTULO I. FUNDAMENTO TEÓRICO	1
1.1 Introducción.....	1
1.1.1 Definición del problema	1
1.1.2 Objetivos.....	2
1.1.3 Alcance	2
1.1.4 Justificación	3
1.2 El Termoformado	3
1.2.1 Introducción al Termoformado.....	3
1.2.2 Historia	4
1.2.3 Materia Prima para Termoformado	5
1.2.3.1 Polímeros	5
1.2.3.1.1 Clasificación de los polímeros según su comportamiento mecánico y térmico	6
1.2.3.1.2 Estado amorfo y cristalino.....	7
1.2.3.1.2.1 Transición Vitrea y Fundido.....	8
1.2.3.1.3 Polímeros adecuados para el termoformado.....	10

1.2.4	Equipo para termoformado.....	12
1.2.4.1	Calefacción.....	12
1.2.4.1.1	Clasificación de la transferencia de calor.....	13
1.2.4.1.2	Medios de transmisión de calor.....	14
1.2.4.1.3	Temperaturas y ciclos de formado.....	15
1.2.4.1.4	Determinación de la temperatura correcta en el material.....	16
1.2.4.2	Sistema de vacío y presión de aire.....	16
1.2.4.2.1	Métodos de formado.....	16
1.2.4.3	Moldes para termoformado.....	19
1.2.4.3.1	Criterios para el diseño del molde.....	19
1.2.4.3.2	Materiales empleados.....	21
1.2.5	Variables del termoformado.....	21
1.2.6	Aplicaciones del termoformado.....	23
CAPÍTULO II. PREDISEÑO DE LA MÁQUINA TERMOFORMADORA.....		25
2.1	Definición del problema.....	25
2.1.1	Método ordinal corregido de criterios ponderados.....	26
2.1.2	Factores considerados para el diseño de la máquina de termoformado.....	27
2.1.2.1	Capacidad de la máquina.....	27
2.1.2.2	Materia prima para moldes.....	28
2.1.2.3	Calentamiento.....	29
2.1.2.4	Método de formado.....	34
2.1.2.4.1	Elementos del formado al vacío.....	38
2.1.2.4.1.1	Elemento de succión.....	38
2.1.2.5	Automatismos.....	42
2.1.2.5.1	Compresor.....	43
2.1.2.5.2	Válvulas.....	43
2.1.2.5.3	Dispositivos ejecutores o actuadores.....	44
2.1.2.6	Funcionamiento.....	45
2.1.2.6.1	Fuente de energía.....	46
2.1.2.6.2	Tiempo del proceso.....	46
2.1.2.7	Elementos constitutivos.....	47
2.1.2.7.1	Tubos estructurales Norma ASTM A-500.....	48
2.1.2.7.2	Plancha de acero Norma ASTM A-588M.....	48
2.1.2.7.3	Plancha de acero Norma AISI 304.....	48

2.1.2.7.4	Otros elementos	49
2.1.2.7.4.1	Rodamientos	49
2.1.2.7.4.2	Bastidor y seguros	49
2.2	Características generales.....	49
2.2.1	Estructuración de la máquina	50
2.2.1.1	Ventajas	51
2.2.1.2	Desventajas	52
CAPÍTULO III. DISEÑO DE LA MÁQUINA TERMOFORMADORA		53
3.1	Datos técnicos del policloruro de vinilo (PVC).....	53
3.2	Proceso de diseño	53
3.2.1	Etapa de sujeción	54
3.2.1.1	Seguros de sujeción	55
3.2.2	Etapa de calentamiento	56
3.2.2.1	Calor transferido	57
3.2.2.2	Armazón del módulo de calor	65
3.2.3	Etapa de vacío.....	65
3.2.3.1	Cámara de vacío	65
3.2.3.2	Aspiradora	66
3.2.4	Estructura y automatismos.....	68
3.2.4.1	Sistema neumático	68
3.2.4.2	Estructura de la máquina	76
3.2.4.2.1	Cálculo de vigas.....	77
3.2.4.2.2	Cálculo de columnas.....	85
3.2.4.2.3	Análisis estático estructural	92
3.2.4.2.4	Desplazamiento de módulo calefactor.....	93
3.2.4.2.4.1	Cálculo de ejes.....	94
3.2.4.2.4.2	Selección de rodamientos	96
3.2.5	Sistema de control	98
3.2.5.1	Unidad programable de control	99
3.2.5.1.1	Microcontrolador	103
3.2.5.2	Sensor de temperatura	107
3.2.5.3	Programación del microcontrolador	108
3.2.5.3.1	Desarrollo de la programación	110
3.2.5.3.2	Simulación y diagrama esquemático electrónico	110

3.2.5.4	Sistema eléctrico.....	112
CAPÍTULO IV. CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO		
114		
4.1	Elementos de la máquina.....	114
4.1.1	Maquinaria y herramientas	114
4.1.1.1	Maquinaria.....	114
4.1.1.2	Herramientas.....	115
4.1.2	Equipo de seguridad	115
4.1.3	Proceso de elaboración de los elementos de la máquina	116
4.1.3.1	Estructura de la máquina	116
4.1.3.2	Cámara de vacío	117
4.1.3.3	Bastidor.....	118
4.1.3.4	Módulo de calor.....	118
4.1.4	Elementos adquiridos	119
4.1.4.1	Sistema neumático.....	119
4.1.4.2	Calefactor.....	121
4.1.4.3	Succión.	121
4.1.5	Sistema electrónico.....	122
4.2	Montaje físico de los elementos de la máquina	125
4.2.1	Estructura de la máquina	125
4.2.2	Sistema neumático.....	126
4.2.3	Sistema electrónico.....	126
4.3	Pruebas y ajustes.....	126
4.4	Análisis de resultados	127
4.4.1	Tiempo del proceso	127
4.4.2	Calidad del producto final	129
4.4.3	Resultados varios.....	129
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE COSTOS.....		
130		
5.1	Costos directos.....	130
5.1.1	Estructura de la máquina	130
5.1.2	Sistema de vacío	131
5.1.3	Sistema neumático.....	131
5.1.4	Sistema de calentamiento	132
5.1.5	Sistema eléctrico.....	132
5.1.6	Costos de fabricación.....	133

5.2	Costos indirectos.....	133
5.3	Costo total.....	134
5.4	Valor actual neto (VAN) y Tasa interna de retorno (TIR)	135
CONCLUSIONES.....		138
RECOMENDACIONES		139
BIBLIOGRAFÍA		140
PUBLICACIONES EN LÍNEA		140
REFERENCIAS		142
ANEXOS		143
ANEXO 1. Empleo de materiales en moldes de termoformado.....		143
ANEXO 2. Datos técnicos del PVC.....		145
ANEXO 3. Propiedades de la atmósfera a gran altitud		147
ANEXO 4. Propiedades del aire a presión constante		148
ANEXO 5. Fuerza del cilindro en el lado de extensión		149
ANEXO 6. Consumo de aire del cilindro.....		150
ANEXO 7. Dimensiones estándar de tuberías (en pulgadas).....		151
ANEXO 8. Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería		152
ANEXO 9. Datos para seleccionar rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda.....		153
ANEXO 10. Especificaciones Cilindro RAL 20x150-S		154
ANEXO 11. Especificaciones Cilindro FVB-32X400-S		154
ANEXO 12. Especificaciones controlador de temperatura inteligente REX-C100		155
ANEXO 13. Tiempo y temperatura de formado para distintos materiales		158
ANEXO 14. Desarrollo de la programación		159
ANEXO 15. Manual de operación y mantenimiento		167
ANEXO 16. Diseño en PCB de tarjetas de control y de acondicionamiento		185
ANEXO 17. Planos mecánicos y eléctricos		187

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Polímeros comunes usados para el termoformado y sus temperaturas de formado	11
Tabla 2. Evaluación del peso específico de cada criterio para etapa de calentamiento.....	31
Tabla 3. Evaluación del peso específico del criterio robustez para etapa de calentamiento.	32
Tabla 4. Evaluación del peso específico del criterio estabilidad para etapa de calentamiento.....	32
Tabla 5. Evaluación del peso específico del criterio rango de temperatura para etapa de calentamiento.....	33
Tabla 6. Evaluación del peso específico del criterio costo para etapa de calentamiento. ...	33
Tabla 7. Conclusiones de selección de alternativa para etapa de calentamiento.....	34
Tabla 8. Evaluación del peso específico de cada criterio para método de formado.....	35
Tabla 9. Evaluación del peso específico del criterio relieve para método de formado	36
Tabla 10. Evaluación del peso específico del criterio seguridad para método de formado.	36
Tabla 11. Evaluación del peso específico del criterio equipos necesarios para método de formado.....	37
Tabla 12. Conclusiones de selección de alternativa para método de formado	37
Tabla 13. Evaluación del peso específico de cada criterio para elemento de succión.....	40
Tabla 14. Evaluación del peso específico del criterio disponibilidad para elemento de succión	41
Tabla 15. Evaluación del peso específico del criterio succión para elemento de succión...	41
Tabla 16. Evaluación del peso específico del criterio costo para elemento de succión	42
Tabla 17. Conclusiones de selección de alternativa para elemento de succión.....	42
Tabla 18. Datos del tiempo de calentamiento en función de la distancia	64
Tabla 19. Muestras satisfactorias en función de la potencia de aspiradoras	67
Tabla 20. Factor de carga en función de la aplicación requerida	71
Tabla 21. Evaluación del peso específico de cada criterio para unidad programable de control.....	101
Tabla 22. Evaluación del peso específico del criterio eficiencia para unidad programable de control.....	101
Tabla 23. Evaluación del peso específico del criterio dimensiones para unidad programable de control.....	102
Tabla 24. Evaluación del peso específico del criterio consumo para unidad programable de control.....	102

Tabla 25. Evaluación del peso específico del criterio costo para unidad programable de control.....	102
Tabla 26. Conclusiones de selección de alternativa para etapa de calentamiento.	103
Tabla 27. Evaluación del peso específico de cada criterio para microcontrolador.	104
Tabla 28. Evaluación del peso específico del criterio programación para microcontrolador.	105
Tabla 29. Evaluación del peso específico del criterio voltaje para microcontrolador.....	105
Tabla 30. Evaluación del peso específico del criterio estabilidad para microcontrolador	105
Tabla 31. Evaluación del peso específico del criterio costo para microcontrolador	106
Tabla 32. Conclusiones de selección de alternativa para etapa de calentamiento.....	106
Tabla 33. Costo de la estructura de la máquina.....	130
Tabla 34. Costo de etapa de vacío.	131
Tabla 35. Costo del sistema neumático.	131
Tabla 36. Costo del sistema de calentamiento.....	132
Tabla 37. Costo del sistema eléctrico.	132
Tabla 38. Costos de mano de obra.....	133
Tabla 39. Costos indirectos.....	134
Tabla 40. Costos de mano de obra.....	134
Tabla 41. Ingresos y egresos antes de la implementación.....	135
Tabla 42. Ingresos y egresos después de la implementación.....	136
Tabla 43. Ingresos y egresos después de la implementación.....	136
Tabla 44. Indicadores VAN y TIR.	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuadro descriptivo de los polímeros.....	5
Figura 2. Clasificación de los polímeros	6
Figura 3. Sistema amorfo	7
Figura 4. Efecto de la temperatura en los polímeros termoplásticos.....	8
Figura 5. Calor vs. Temperatura para un polímero cristalino y amorfo	10
Figura 6. Resistencia a la deformación vs. Temperatura para distintos polímeros	12
Figura 7. Termoformado al vacío.....	17
Figura 8. Termoformado a presión.....	18
Figura 9. Termoformado mecánico	19
Figura 10. Alambre de níquel-cromo en espiral.....	29
Figura 11. Resistencias tubulares.	30
Figura 12. Resistencia cerámica.....	30
Figura 13. Bomba de vacío.....	38
Figura 14. Generador de vacío.	39
Figura 15. Motor de aspiradora.	39
Figura 16. Elementos de un circuito neumático.....	43
Figura 17. Electroválvula 5/2 monoestable.....	44
Figura 18. Elementos de un cilindro neumático.....	45
Figura 19. Pasos principales para el proceso de formado al vacío	46
Figura 20. Espesor vs tiempo de calentamiento del PVC	47
Figura 21. Estructuración de la máquina de termoformado	51
Figura 22. Bastidor para láminas.....	54
Figura 23. Dimensiones del bastidor para láminas de PVC	55
Figura 24. Seguros tipo “Sash Lock”	56
Figura 25. Panel de calor posicionado en la máquina	57
Figura 26. Dimensiones de la resistencia tubular	59
Figura 27. Aspiradora y cámara de vacío para pruebas.....	67
Figura 28. Cilindro 1 para desplazamiento de módulo de calentamiento	69
Figura 29. Cilindros 2 y 3 para desplazamiento de bastidor de sujeción	69
Figura 30. Ilustración del factor de carga en función de la aplicación requerida.....	71
Figura 31. Pandemiento de lámina de PVC.....	73
Figura 32. Condiciones iniciales del sistema neumático.....	74

Figura 33. Simulación (Fase 1) del proceso del sistema neumático.....	75
Figura 34. Simulación (Fase 2) del proceso del sistema neumático.....	75
Figura 35. Diagrama de estado y diagrama de mando (Fase 1) del proceso del sistema neumático.....	76
Figura 36. Diagrama de estado y diagrama de mando (Fase 2) del proceso del sistema neumático.....	76
Figura 37. Estructura de la máquina.....	77
Figura 38. Vista lateral alámbrica para el cálculo de vigas.	77
Figura 39. Marco ABECD.....	78
Figura 40. Momento de extremo fijo.....	79
Figura 41. Equilibrio de momentos en juntas.....	80
Figura 42. Diagrama de fuerzas en la viga BC.....	81
Figura 43. Diagrama de cortes en la viga BC.....	82
Figura 44. Diagrama de momentos en la viga BC.....	82
Figura 45. Sección transversal de tubo cuadrado hueco.....	84
Figura 46. Columna CD de la estructura.....	86
Figura 47. Valores de K para obtener la longitud efectiva.....	87
Figura 48. Desplazamiento resultante estático de la estructura.....	92
Figura 49. Distribución del factor de seguridad.....	93
Figura 50. Ejes y rodamientos del panel de calor desde vista superior.....	94
Figura 51. Eje del panel de calor.....	94
Figura 52. Diagrama de entradas y salidas del sistema de control.....	98
Figura 53. Microcontrolador.....	99
Figura 54. PLC.....	100
Figura 55. Termocupla tipo J.....	107
Figura 56. Controlador de temperatura.....	108
Figura 57. Flujograma del proceso de programación.....	109
Figura 58. Diagrama de bloques.....	110
Figura 59. Diagrama esquemático electrónico.....	111
Figura 60. Calibres AWG.....	113
Figura 61. Estructura terminada.....	116
Figura 62. Cámara de vacío terminada.....	117
Figura 63. Bastidor terminado.....	118
Figura 64. Módulo de calor terminado.....	118
Figura 65. Compresor Porten.....	119

Figura 66. Cilindros RAL 20x150-S EMC.....	120
Figura 67. Cilindro FVBC 32x400-S EMC.....	120
Figura 68. Válvulas 5/2 EMC.....	120
Figura 69. Resistencia tubular.	121
Figura 70. Aspiradora Shop-Vac.....	121
Figura 72. Diagrama de conexiones del sistema electrónico.	122
Figura 72. Acondicionamiento de la Señal 1 (Válvula 1).	123
Figura 73. Acondicionamiento de la Señal 2 (Válvula 2).	123
Figura 74. Acondicionamiento de la Señal 4 (Salida a 110V).	124
Figura 75. Fuente de voltaje para el sistema electrónico.....	124
Figura 76. Diagrama de bloques con las etapas del sistema electrónico.	125
Figura 77. Tiempo de elaboración de matriz para moldes (en minutos).	128
Figura 78. Tiempo de formado para elaboración de moldes (en minutos).....	128
Figura 79. Calidad del producto final.....	129

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cambios finitos en la energía interna	58
Ecuación 2. Densidad en función de masa y volumen	58
Ecuación 3. Razón neta de transferencia de calor por radiación entre dos superficies	60
Ecuación 4. Ley del gas ideal	62
Ecuación 5. Ecuación general de pendiente-deflexión	78
Ecuación 6. Momentos de extremo fijo.....	79
Ecuación 7. Módulo de sección requerido (1).....	83
Ecuación 8. Módulo de sección requerido (2).....	83
Ecuación 9. Momento de inercia para una sección cuadrada hueca.....	84
Ecuación 10. Distancia de eje a la fibra extrema.....	84
Ecuación 11. Fórmula de Euler alternativa.....	86
Ecuación 12. Carga admisible	87
Ecuación 13. Radio de giro de la sección transversal.....	89
Ecuación 14. Relación de esbeltez.....	89
Ecuación 15. Constante de la columna.....	90
Ecuación 16. Fórmula de J. B. Johnson para columnas cortas.....	90
Ecuación 17. Ecuación para el esfuerzo cortante	95
Ecuación 18. Duración nominal de rodamientos.....	97



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

RESUMEN

El presente proyecto consiste en la automatización del proceso de termoformado para la elaboración de moldes de chocolate en la empresa “Golosinas y Algo Más”, mediante el diseño y construcción de una máquina que cumpla con este objetivo, con el fin de aumentar la variedad de figuras de chocolate, reduciendo el tiempo, el costo y la dificultad que conlleva esta labor.

Para lograr este objetivo se inició con la investigación pertinente del tema, para posteriormente diseñar el sistema mecánico y de control para la máquina termoformadora. Luego se continuó con la construcción de la máquina, economizando en cuanto a costos de fabricación de la máquina sin descuidar la calidad. Una vez terminada la etapa de construcción, se realizó la implementación y se hicieron algunas pruebas de funcionamiento, lo que permitió que se efectúen distintos ajustes para lograr un desempeño óptimo. Junto con todo esto se elaboró un manual de usuario y mantenimiento de la máquina para que la persona encargada de su operación tenga el conocimiento necesario al momento de utilizarla.

La máquina de termoformado ocupará un área de aproximadamente 0.7m^3 y constará de etapas de sujeción, de calentamiento y de succión. El proceso de termoformado comenzará con el ingreso de los parámetros (temperatura, tiempo de calentamiento) y con la sujeción de la lámina de PVC, para luego calentarla de acuerdo a los valores ingresados previamente. Cuando la hoja de plástico alcance la temperatura adecuada, mediante vacío o succión se adaptará a la forma de una matriz previamente elaborada, para luego ser retirada y usada para realizar figuras de chocolate. Este proceso será automático.

El movimiento automático será realizado por cilindros neumáticos, gobernados por electroválvulas; un compresor proveerá de aire a presión. El vacío será efectuado por una aspiradora común y el control se realizará mediante un microcontrolador. La máquina poseerá además un tablero control con visualización del proceso en una LCD; también contará con pulsadores, perillas de control y luces indicadoras.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ABSTRACT

This project is about the automation of the process of thermoforming to elaborate chocolate molds in "Golosinas y Algo Más" enterprise. This objective will be developed throughout the design and construction of a machine. This process will be developed with the objective to add more designs for the elaboration of chocolate figures, to innovate in the local market. This machine will save financial resources and will make production process easy.

In order to get this goal, the process began with a search about the theme. Then, the mechanical and control system was designed and the machine construction took place, saving resources but with no affecting quality. Once construction stage was done, some functioning proofs were developed. This let us fix some parts in order to get an optimal performance. After that, user and maintenance guides were written to let the users know how to use the machine.

This machine will cover an area of $0,7 \text{ m}^3$ and will have three main stages: placing, heating and suction. The thermal forming process will start by setting some parameters (temperature, heating time) and by placing the plastic material which will be heated. When the plastic reaches the temperature needed, automatically it will be moved over the pattern, which was previously placed. This process will use suction to make the plastic take the form required.

Automatic process will be performed by pneumatic cylinder and controlled by electronic valves. A compressor will provide the air pressure. The vacuum will be created by a vacuum cleaner and all of these steps will be controlled by a microprocessor. The machine will have a panel with a LCD screen. It also will work by using press buttons, controlling handlers and readable lights.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

PRESENTACIÓN

En la actualidad, el proceso de elaboración de moldes para chocolate en la empresa “Golosinas y Algo Más” se viene desarrollando de manera manual, con los respectivos inconvenientes que esto conlleva.

Para comprar estos moldes en otras ciudades existen varios inconvenientes que ocasionan pérdidas en tiempo y producción, tales como gastos en transporte, dificultades para encontrar proveedores, entre otros.

En vista de la dificultad para su elaboración y de los problemas que existen para adquirir los moldes fuera de la ciudad, se requiere de un proceso sencillo que permita abastecer de moldes en cantidades suficientes y con figuras variadas.

La empresa está en crecimiento ya que el mercado es muy amplio. Si el proceso de obtención de moldes fuese más eficaz, se mejorarían las ventas y se ampliaría el mercado, ya que el producto sería variado y con formas creativas.

Este trabajo de grado se realiza con la finalidad de optimizar el proceso de elaboración de moldes para figuras de chocolate, con la ayuda de la tecnología. La implementación de esta máquina ayudará a mejorar el tiempo de producción, facilitará el trabajo y disminuirá costos.

CAPÍTULO I. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 Introducción

1.1.1 Definición del problema

En la actualidad, el proceso de elaboración de moldes para chocolate en la empresa “Golosinas y Algo Más” se viene desarrollando en un horno de cocina, donde se calienta al material de donde se obtendrá el molde. Cuando este alcanza la temperatura adecuada se saca del horno y se hace presión, usando moldes de madera macho y hembra, para lograr la deformación deseada.

Para comprar estos moldes en otras ciudades existen varios inconvenientes que ocasionan pérdidas en tiempo y producción, tales como gastos en transporte, dificultades para encontrar proveedores, entre otros.

En vista de la dificultad para su elaboración y de los problemas que existen para adquirir los moldes fuera de la ciudad, se requiere de un proceso sencillo que permita abastecer de moldes en cantidades suficientes y con figuras variadas.

La empresa está en crecimiento ya que el mercado es muy amplio. Si el proceso de obtención de moldes fuese más eficaz, se mejorarían las ventas y se ampliaría el mercado, ya que el producto sería variado y con formas creativas.

Este trabajo de grado se realiza con la finalidad de optimizar el proceso de elaboración de moldes para figuras de chocolate, con la ayuda de la tecnología. La implementación de esta máquina ayudará a mejorar el tiempo de producción, facilitará el trabajo y disminuirá costos.

1.1.2 Objetivos

a) Objetivo General

- Aumentar la variedad de figuras de chocolate manteniendo la calidad del producto mediante la implementación de una máquina automática para el proceso de termoformado.

b) Objetivos Específicos

- Determinar los aspectos que influyen en el proceso de termoformado.
- Desarrollar un diseño para la máquina de termoformado.
- Construir la máquina en base al diseño desarrollado.
- Implementar la máquina de termoformado en el lugar de trabajo y verificar su funcionamiento correcto, realizando los ajustes necesarios.
- Elaborar manuales de uso y mantenimiento.

1.1.3 Alcance

Se optimizará el proceso de elaboración de moldes para figuras de chocolate de una manera sencilla para quien la maneje. Se podrán obtener moldes para chocolate a partir de varios materiales, tales como acetato, polietileno, PET, PVC, entre otros.

Los moldes obtenidos servirán para la elaboración de nuevas figuras de chocolate y para su venta en la ciudad de Ibarra, a más de esto serán comercializados para que otras personas los utilicen en la zona norte del país.

1.1.4 Justificación

La automatización del proceso se da por la necesidad de ampliar la variedad que existe actualmente en el mercado y facilitar la elaboración de los moldes para chocolate, aumentando así la producción.

La manera en la que se están fabricando los moldes en la actualidad demanda de mucho tiempo y paciencia, ya que se necesita elaborar dos piezas, macho y hembra, con el espacio adecuado entre ellas. Asimismo existe riesgo de quemaduras, porque se trabaja con un horno de cocina a elevadas temperaturas y se manipula las piezas constantemente. La implementación del nuevo sistema disminuiría el tiempo y esfuerzo del trabajador, además de abaratar costos de mano de obra.

La complejidad estaba limitada a figuras planas, por lo expuesto anteriormente. La implementación de esta máquina permitirá obtener moldes con cualquier tipo de relieve.

Reuniendo los anteriores aspectos, se tendría como consecuencia que el proyecto tiene muchas ventajas, porque la empresa obtendría mayores ingresos y abastecería la demanda que existe y está en aumento.

1.2 El Termoformado

1.2.1 Introducción al Termoformado

Se puede definir al termoformado como el proceso que consiste en dar forma a una lámina o película termoplástica. Ésta lámina se ablanda por efecto del calor y se adapta a la forma de un molde o matriz mediante diferentes tipos de presión.

Para pasar desde los gránulos de material plástico hasta llegar al objeto terminado existe un proceso llamado extrusión. La extrusión es el proceso primario para formado de láminas, el termoformado es un paso secundario de transformación.

1.2.2 Historia

Según (Plastiglas de México, 2002), a inicios del siglo XX se utilizaban diferentes técnicas de formado de láminas de diversos materiales, tales como metal y vidrio. Posteriormente a la segunda Guerra Mundial y con el adelanto en el ámbito de los termoplásticos, aumentó la comercialización y se modernizaron los procesos de manufactura, lo que trajo consigo al desarrollo de los procesos de termoformado.

Durante los años cincuenta aumentó considerablemente la producción de materiales termoplásticos y, por tanto, los productos realizados con ellos. En los 60's y 70's se consolidó la industria del termoformado, ya que los grandes consumidores y la competitividad entre productos hizo apremiante la fabricación de máquinas más eficientes.

Desde la década de los 80's hasta la actualidad, se ha mejorado notablemente el proceso de termoformado. Se han establecido líneas de producción capaces de producir los artículos terminados a partir de pellet de resina, con un mínimo de desperdicio y con un monitoreo continuo y computarizado. Se prevé que en el futuro exista una escasez de personal técnico capacitado, ya que los conocimientos tradicionales no serán suficientes. Será muy necesario realizar capacitaciones para incrementar los conocimientos del profesional termoformador y para dar mayor equilibrio a esta industria.

1.2.3 Materia Prima para Termoformado

La materia prima utilizada para el proceso de termoformado son los polímeros, ya que cumplen con los requerimientos necesarios para este método de conformado por sus características y propiedades.

1.2.3.1 Polímeros

Los polímeros en la actualidad son uno de los materiales con más aplicaciones en múltiples áreas de la vida cotidiana.

Un polímero es un compuesto que consiste en moléculas de cadena larga, cada molécula está hecha de unidades repetitivas que se conectan entre sí. Puede haber miles o millones de unidades en una sola molécula de polímero. El término se deriva de las palabras griegas *poly*, que significa muchos, y *meros*, que significa parte. La mayoría de los polímeros se basan en el carbono y, por consiguiente, son considerados sustancias químicas orgánicas. Sin embargo, el grupo también incluye un número de polímeros inorgánicos. (Groover, 2007, p.144)

En la Figura 1 se puede observar un cuadro descriptivo de los polímeros.

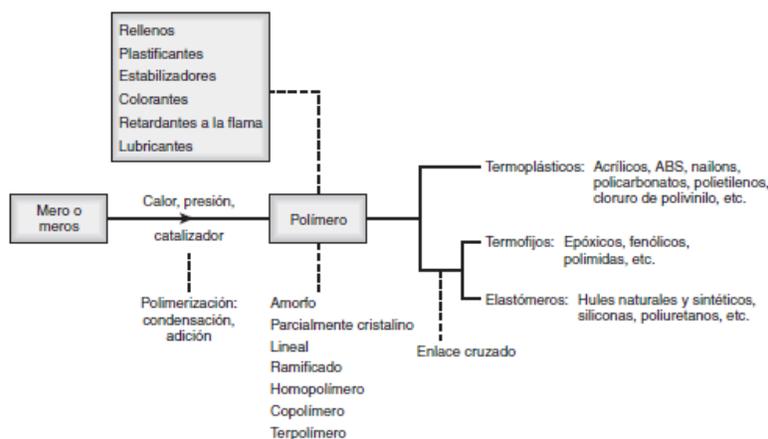


Figura 1. Cuadro descriptivo de los polímeros. Adaptado de Kalpakjian, S., Schmid, S. R. (2008).

1.2.3.1.1 Clasificación de los polímeros según su comportamiento mecánico y térmico

Según (Askeland, 1998), se pueden dividir a los polímeros en plásticos y cauchos. En esta clasificación (según su comportamiento) para estudiarlos técnicamente se los analizará en 3 categorías, donde la primera y la segunda son plásticos y la tercera es el caucho, como se puede observar en la Figura 2.

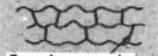
Comportamiento	Estructura general	Diagrama
Termoplástico	Cadenas lineales flexibles	
Termoestable	Red rígida tridimensional	 Con enlaces cruzados
Elastómero	Cadenas lineales con enlaces cruzados	 Con enlaces cruzados

Figura 2. Clasificación de los polímeros. Adaptado de Askeland, D. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales (3ra ed.). (p.450).

a) Polímeros Termoplásticos

Los polímeros termoplásticos, o simplemente termoplásticos (TP) son materiales que a temperatura ambiente permanecen sólidos, pero al ser calentados se vuelven líquidos viscosos. Esta propiedad permite que estos polímeros tomen diversas formas. Su aplicación es sencilla y económica. Se puede repetir el ciclo de calentamiento y conformado en múltiples ocasiones sin que se degrade de manera representativa.

b) Polímeros Termoestables

Los polímeros termoestables o termofijos (TS) son materiales que pueden ser moldeados al igual que los termoplásticos, con la diferencia que no soportan ciclos repetidos de calentamiento. Las altas temperaturas producen una reacción química que convierte al

polímero en un sólido que no se puede fundir. Si vuelven a ser calentados, se carbonizan en vez de suavizarse.

c) Elastómeros

Los elastómeros (E) son polímeros que pueden deformarse elásticamente en grandes cantidades. Existen elastómeros pueden estirarse hasta 10 veces su longitud inicial y aun así volver a su forma original sin deformaciones permanentes. Tienen una estructura similar a los termofijos, aunque sus propiedades son muy diferentes.

1.2.3.1.2 Estado amorfo y cristalino

Según (Askeland, 1998), existen dos tipos básicos de polímeros: amorfos y cristalinos. En los polímeros amorfos, las cadenas moleculares están desordenadas, enrolladas al azar. Se pueden identificar a este tipo de polímeros por su transparencia, ya que carecen de cargas y pigmentos. En los polímeros cristalinos, las moléculas son química y geoméricamente uniformes en su estructura. Adoptan una estructura muy ordenada. Debido a que los polímeros no se cristalizan al 100%, un término más preciso sería polímeros semicristalinos, ya que tienen zonas cristalinas rodeadas de regiones amorfas. Véase la Figura 3.

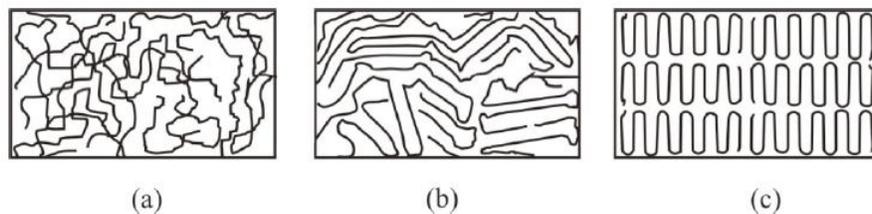


Figura 3. Sistema amorfo (a), semicristalino (b) y cristalino (c). Adaptado de Universidad de Alicante (2009).

1.2.3.1.2.1 Transición Vitrea y Fundido

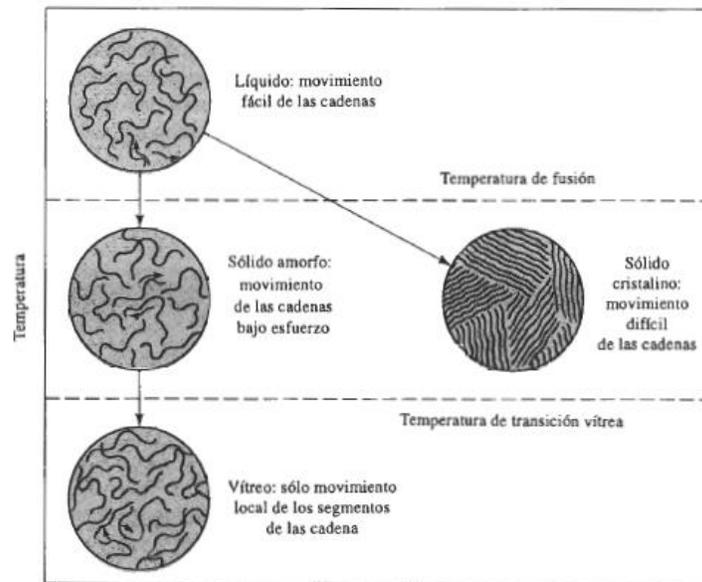


Figura 4. Efecto de la temperatura en los polímeros termoplásticos. Adaptado de Askeland, D. (1998).

Ciencia e Ingeniería de los Materiales (3ra ed.). (p.463).

Según (The University of Southern Mississippi, 2001), existen diferencias entre la transición vítrea y la fusión de un polímero. El fundido es algo que ocurre en los polímeros cristalinos, cuando las cadenas de polímeros dejan a sus estructuras cristalinas y se convierten en un líquido desordenado. La transición vítrea, en cambio, es algo que le ocurre a los polímeros amorfos, o sea a los polímeros cuyas cadenas están esparcidas sin ningún ordenamiento aun cuando están en estado sólido. Cuando un polímero se encuentra por encima del punto de transición vítrea, es decir, en su estado “caucho”, es blando y flexible. Se puede ver el efecto de la temperatura en un polímero termoplástico en la Figura 4.

Pero hasta los polímeros considerados cristalinos tienen zonas amorfas, que aproximadamente forman del 40 al 70% del polímero. Esto explica por qué una muestra de

un polímero puede experimentar tanto una transición vítrea como una fusión. Cabe aclarar que la parte cristalina será la causante de la fusión, y la porción amorfa de la transición vítrea.

Hay otra diferencia entre la transición vítrea y la fusión. Al calentar un polímero cristalino a velocidad constante, la temperatura aumenta proporcionalmente. Sin embargo, la temperatura seguirá aumentando hasta que se llegue al punto de fusión del polímero. Cuando esto pase, la temperatura permanecerá constante por un instante, aun cuando se proporcione más calor, hasta que el polímero se haya fundido completamente. Posteriormente la temperatura comenzará a subir nuevamente. Este intervalo se da por que la fusión necesita de energía, y la energía que se suministre al polímero durante el punto de fusión será utilizada en la fusión únicamente, El calor agregado durante este punto se denomina calor latente de fusión.

Cuando el polímero ya consigue fundirse, la temperatura empieza a subir de nuevo, pero a una velocidad más lenta. Al estar en estado líquido (fundido), el polímero tiene mayor capacidad calorífica que al estar en estado sólido, de manera que puede absorber más calor con incrementos de temperatura menores. La capacidad calorífica se puede definir como la cantidad de calor necesaria para incrementar un grado Celsius la temperatura de un gramo de polímero.

La fusión de los polímeros conlleva una absorción de calor y un cambio en su capacidad calorífica. Todo cambio debido al calor que implique un aumento o disminución en la capacidad calorífica y un calor latente, se designa como transición de primer orden.

Cuando se calienta un polímero amorfo hasta la temperatura de transición vítrea no sucede lo mismo que al calentar un polímero cristalino. Al llegar a la temperatura de transición vítrea (T_g), la temperatura sigue aumentando. No hay calor latente en la transición vítrea. La temperatura sigue aumentando por encima de la transición vítrea, aunque no a la misma

velocidad que por debajo. El polímero experimenta un aumento en la capacidad calorífica luego de alcanzar la temperatura de transición vítrea. Debido a que involucra un cambio en la capacidad calorífica pero no un calor latente, esta transición se denomina transición de segundo orden.

En la Figura 5 se pueden ver las curvas, que muestran la cantidad de calor versus la temperatura que debería obtenerse.

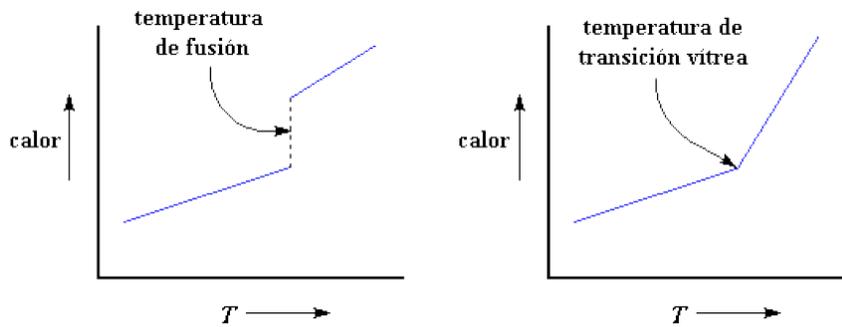


Figura 5. Calor vs. Temperatura para un polímero cristalino y amorfo. Adaptado de The University of Southern Mississippi. (2001). La Transición Vítrea. Recuperado de: <http://pslc.ws/spanish/tg.htm>

1.2.3.1.3 Polímeros adecuados para el termoformado

Todos los polímeros termoplásticos son aptos para el proceso de termoformado, debido a que presentan un cambio en su módulo de elasticidad, dureza y capacidad de resistencia bajo carga. Si se proporciona una temperatura superior a la de deformación por calor, se pandeará cuando la fuerza de gravedad sea suficiente para causar esta deformación, ya que el material tenderá a volverse en un estado similar al hule.

Tabla 1

Polímeros comunes usados para el termoformado y sus temperaturas de formado

Polímeros	Temperatura de deflexión al calor			Temperatura de termoformado		
	A 264 PSI (°C)	A 66 PSI (°C)	Sin carga (°C)	Temp. de la hoja (°C)	Temp. del molde (°C)	Temp. de ayuda (°C)
Acrílico extruido	94	98		135-175	65-75	
Acrílico cell-cast	96	110		160-180	65-75	
Acetobutirato de celulosa	65-75	75-80	120-150	140-160		
Polietileno de alta densidad		60-80	100	145-190	95	170
Polipropileno (PP)	55-65	110-115	140	145-200		
Poliestireno (PS)	70-95	70-100	100	140-170	45-65	90
Poliestireno de alto impacto	85-95	90-95	120	170-180	45-65	90
Estireno acrilonitrilo (SAN)	100	105		220-230		
Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)	75-115	80-120	95	120-180	70-85	90
Polivinilo de cloruro (PVC)	70	75	110	135-175	45	80
Policarbonato (PC)	130	140	160	180-230	95-120	140

Nota: La temperatura de deflexión al calor indica a cuantos grados empiezan a ceder los polímeros. La temperatura de formado indica a cuantos grados se puede dar la forma deseada a los polímeros. Adaptado de Plástiglas de México. (2002). Manual Técnico de Termoformado. (p.8). Recuperado de: http://www.plastiglas.com.mx/images/content/PLASTIGLAS_INST/uploads/1167953021504Termoformado.pdf

Los termoplásticos amorfos son rígidos cuando están por debajo de su temperatura de transición y parecidos al caucho por encima de ésta. En cambio un termoplástico 100% cristalino no mostraría un punto de transición vítrea perceptible, y pasaría de un estado sólido a líquido en un punto de fusión, como ya se ha explicado. Los polímeros reales no tienen un 100% de cristalinidad, por lo que tendría un comportamiento híbrido. La Figura 6 muestra una curva con la resistencia a la deformación de cada tipo de polímero.

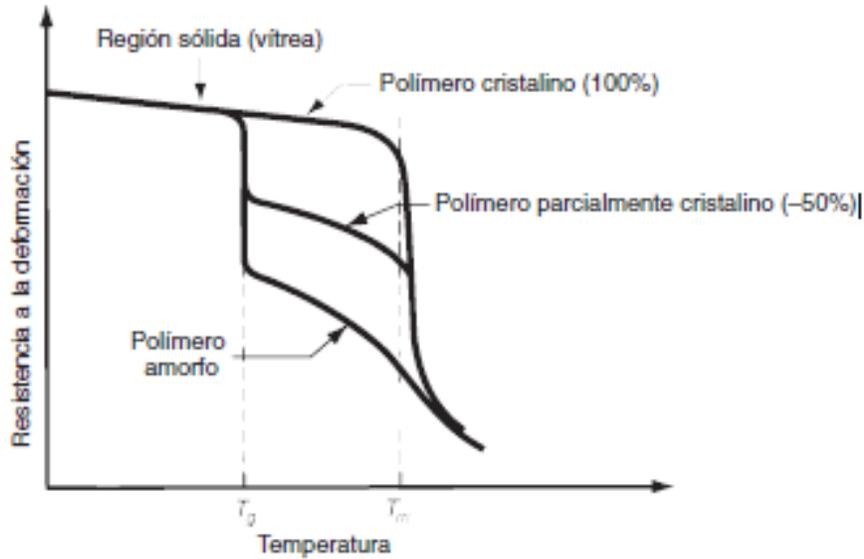


Figura 6. Resistencia a la deformación vs. Temperatura para distintos polímeros. Mientras la temperatura sea mayor, los polímeros presentan menor resistencia. Se muestran las curvas para los distintos tipos de polímeros. Adaptado de Groover, M. (2007). Fundamentos de manufactura moderna (3ra ed.). (p.157).

1.2.4 Equipo para termoformado

Existen varios tipos de configuraciones. Están compuestas de diferentes estaciones donde se realizan las operaciones necesarias al material, en un proceso continuo. Los elementos más relevantes son:

- Fuente de calentamiento
- El sistema de vacío/presión de aire.
- El molde para el termoformado.

1.2.4.1 Calefacción

Según (Plastiglas de México, 2002), el calentamiento es una de las etapas que puede presentar dificultades y que consume más tiempo en el proceso de termoformado. La

duración del periodo de calentamiento necesario para suavizar la lámina depende del tipo de polímero, de su grosor y de su color.

Estos aspectos pueden conllevar un mal aprovechamiento de recursos, por lo cual es preciso aclarar las cuestiones que se pueden presentar en la operación de calentamiento de plásticos.

1.2.4.1.1 Clasificación de la transferencia de calor

Según (Cengel, 2007), se puede clasificar a la transferencia de calor en tres fenómenos distintos: conducción, convección y radiación.

a) Conducción

Es la transferencia de calor de una parte a otra del mismo cuerpo, o entre dos cuerpos que estén en contacto físico entre ellos, sin desplazamiento apreciable de las partículas del cuerpo.

b) Convección

Es la transferencia de calor de un punto a otro por medio de un líquido, fluido o gas. En la convección normal, el movimiento del fluido se debe a la diferencia entre las densidades como resultado de diferencias de temperatura. En la convección forzada, se produce por medios mecánicos.

c) Radiación

Es la transferencia de calor de un cuerpo a otro que no se encuentra en contacto con él, gracias al movimiento ondulatorio a través del espacio.

1.2.4.1.2 Medios de transmisión de calor

Según (Plastiglas de México, 2002), se pueden dividir los medios de transmisión de calor en cuatro tipos: por contacto, por inmersión, por convección y por radiación infrarroja.

a) Calentamiento por contacto

Este es el método más rápido de calentamiento. Consiste en colocar a la lámina de plástico en contacto con una placa caliente de metal. Se usa este medio especialmente en la producción de artículos pequeños y delgados.

b) Calentamiento por inmersión

Este método consiste en sumergir la lámina de plástico en un líquido, que transfiera el calor de manera uniforme y breve. Su uso está limitado al moldeo de piezas con láminas grandes o gruesas, ya que su manipulación es complicada.

c) Calentamiento por convección

Los hornos con convección de aire proporcionan un calentamiento uniforme y secan algunos materiales que tengan cierto grado de humedad. Estos hornos son ampliamente usados por las características que prestan.

d) Calentamiento por radiación infrarroja

Este método provee de un calentamiento instantáneo y por lo tanto sus ciclos de exposición son cortos, normalmente unos segundos son suficientes.

e) Calentamiento interno

Los equipos para realizar este proceso son muy costosos, por lo que no tiene mucha aceptación en el área del termoformado. No se puede usar con todos los termoplásticos, además que los tiempos de enfriamiento son demasiado largos. Estas desventajas impiden que este proceso sea empleado con más frecuencia.

1.2.4.1.3 Temperaturas y ciclos de formado

Se deben conocer ciertos términos, descritos a continuación:

a) Temperatura de desmoldeo

A esta temperatura la pieza puede ser retirada del molde sin que se desfigure. Se podría remover a temperaturas más altas si se emplean instrumentos de enfriamiento

b) Límite inferior de operación

Es la temperatura más baja a la que la hoja puede ser termoformada sin que existan esfuerzos internos. Si el material es procesado a temperaturas inferiores a este límite, se producirán esfuerzos internos que ocasionarán distorsiones, pérdida de brillo, agrietamientos, entre otros cambios físicos en el producto obtenido.

c) Temperatura normal de formado

Temperatura a la cual la hoja de plástico deberá ser formada en un proceso normal. Dicha temperatura deberá ser uniforme en toda la lámina. Si el termoformado es de poca profundidad se pueden manejar temperaturas un poco más bajas, ergo ciclos más cortos, con ayuda de presión de aire o vacío; no obstante, si se requieren formados profundos u operaciones de pre-estiramiento, detalles o radios complicados, son necesarias temperaturas elevadas.

d) Límite superior de operación

Temperatura en la cual la lámina empieza a degradarse, se empieza a desleír y no se puede manejar. Se pueden sobrepasar estas temperaturas, pero se deben mejorar las propiedades físicas de la lámina previamente.

1.2.4.1.4 Determinación de la temperatura correcta en el material

Según (Plastiglas de México, 2002), la determinación de la temperatura correcta en las láminas es preponderante en el proceso de termoformado. En la práctica no es fácil precisar la temperatura de la hoja; la determinación se basa principalmente en el comportamiento de la lámina. Durante el cambio progresivo durante el proceso de calentamiento la lámina cede (punto de revenido), signo que sirve para establecer la temperatura adecuada. A este fenómeno se le conoce también como pandeamiento.

1.2.4.2 Sistema de vacío y presión de aire

La técnica del termoformado consiste en calentar y ablandar una lámina de material termoplástico y adoptarla a la forma del molde correspondiente. Es necesario emplear una fuerza externa para someter a la hoja y obligarla a que reproduzca el perfil y los detalles del molde. Además, se utilizará la presión de aire para el automatismo de la máquina.

1.2.4.2.1 Métodos de formado

Según (Groover, 2007), se puede clasificar a los métodos para efectuar la etapa de formado en tres categorías principales: termoformado al vacío, termoformado de presión y termoformado mecánico.

a) Termoformado al vacío

Para este método de termoformado se utiliza una presión negativa para empujar una lámina precalentada contra un molde positivo o negativo. El proceso se ilustra en la Figura 7, en su forma más básica.

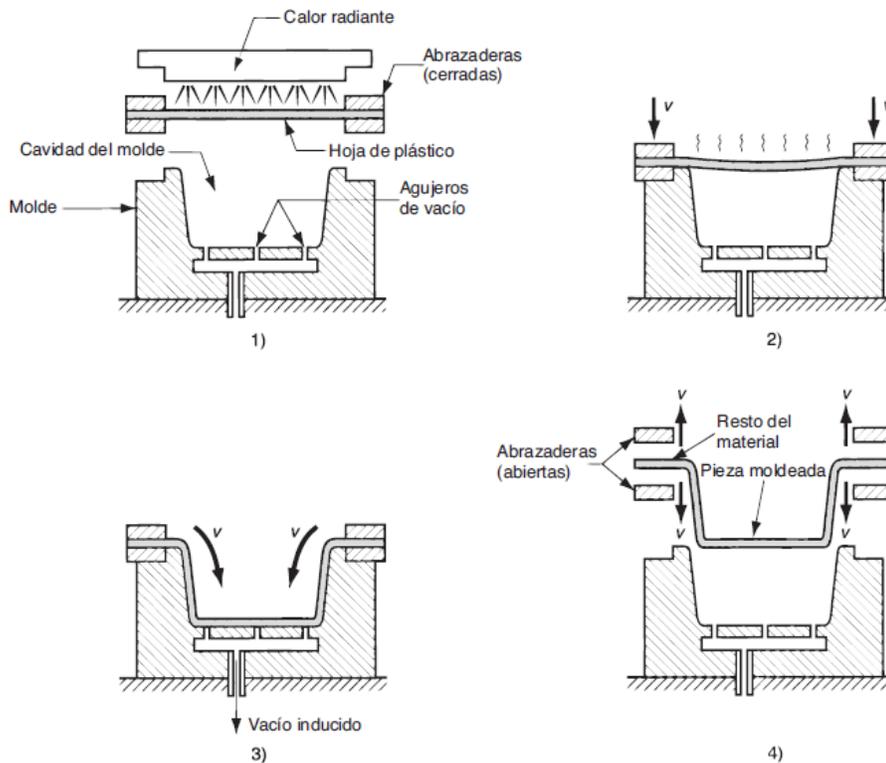


Figura 7. Termoformado al vacío: 1) una hoja de plástico se suaviza con calentamiento; 2) la hoja suavizada se coloca sobre una cavidad de molde cóncava; 3) un vacío empuja la hoja hacia la cavidad; y 4) el plástico se endurece al contacto con la superficie fría del molde, y posteriormente se elimina y recorta del resto del material. Adaptado de Groover, M. (2007). Fundamentos de manufactura moderna (3ra ed.). (p.294).

b) Termoformado de presión

Se presenta como una alternativa al proceso de termoformado al vacío. Implica una presión positiva que empuja al plástico precalentado hacia el molde. Ésta es conocida como termoformado de presión o por soplado. Su ventaja con respecto al proceso de termoformado al vacío es que se pueden generar presiones más grandes, ya que el vacío tiene un máximo (teóricamente hablando) de 1 atm. En el proceso de termoformado de presión son frecuentes las presiones de 3 a 4 atm. Los pasos a seguir son muy similares al proceso anterior; la diferencia radica en que la lámina se presuriza desde arriba, hacia el molde. Se ilustra el proceso en la Figura 8.

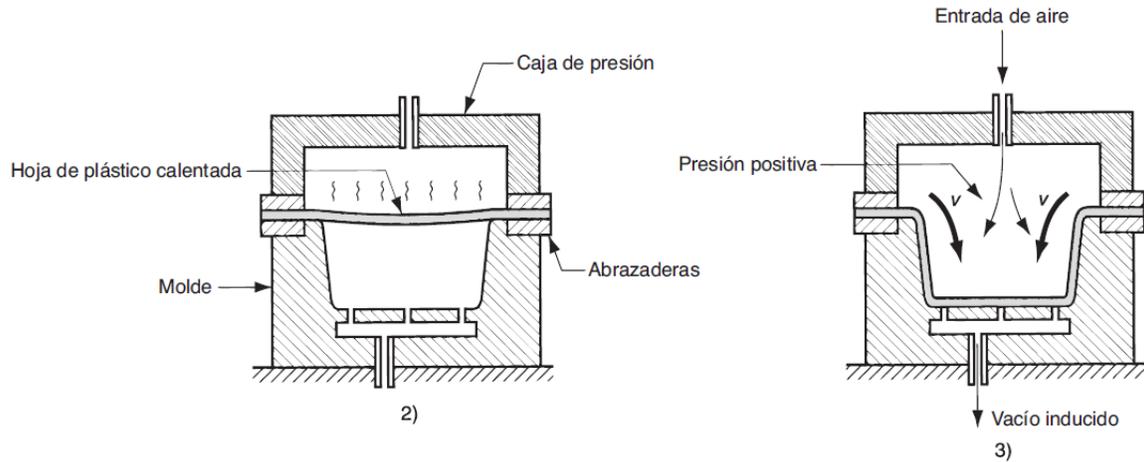


Figura 8. Termoformado a presión: La secuencia es similar a la de la Figura 7, la diferencia está en que: 2) la hoja se coloca sobre la cavidad de un molde y 3) una presión positiva fuerza la hoja hacia la cavidad.

Adaptado de Groover, M. (2007). Fundamentos de manufactura moderna (3ra ed.). (p.296).

c) Termoformado mecánico

El tercer método se conoce como termoformado mecánico, emplea moldes positivos y negativos que se juntan y hacen presión contra la lámina de plástico caliente, lo que obliga a la lámina a adoptar la forma de ellos. Éste método no utiliza la presión de aire (positiva o negativa). La desventaja es que requiere de dos mitades del molde, complementarias entre si, lo que conlleva mayor costo de fabricación; pero, por otra parte, se tiene facilidad para detallar la superficie de la hoja. Este proceso se puede observar en la Figura 9.

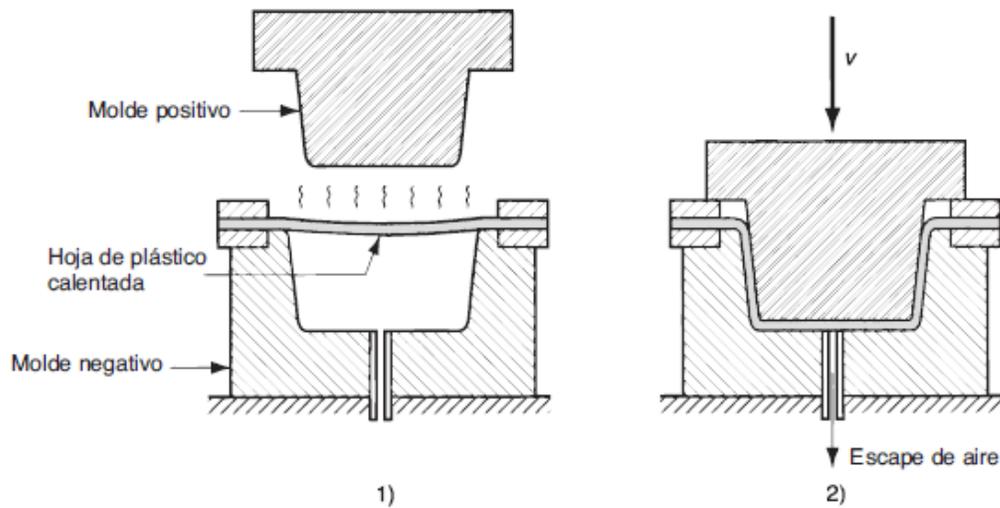


Figura 9. Termoformado mecánico: 1) hoja calentada sobre un molde negativo y 2) molde cerrado para dar forma a la hoja. Adaptado de Groover, M. (2007). Fundamentos de manufactura moderna (3ra ed.). (p.297).

1.2.4.3 Moldes para termoformado

De acuerdo a la técnica de termoformado seleccionada, se debe considerar varios aspectos importantes para el proceso, ya que si se utilizan técnicas inadecuadas se pueden presentar problemas en la obtención de la pieza especificada, lo que conlleva pérdidas de tiempo, dinero y recursos.

Según (Plastiglas de México, 2002), se deben tomar en cuenta varios criterios que son esenciales para producir piezas termoformadas, junto con la forma, dimensiones y apariencia de la pieza.

1.2.4.3.1 Criterios para el diseño del molde

- a) Un molde macho es fácil de usar, barato y apto para su aplicación en termoformado de piezas profundas que su contraparte, un molde hembra.

- b) Los moldes deben contar con bastantes orificios de vacío para que la hoja pueda adaptarse a las partes críticas del molde. Los orificios deben hacerse en las partes más profundas del molde. Deben ser lo suficientemente pequeños (de 1/32" a 1/8" de diámetro) para no dejar marcas en la lámina. Se puede mejorar el vacío ensanchando el orificio en la parte interna.
- c) Deben existir conductos que posibiliten la circulación de algún refrigerante (agua o aceite, por ejemplo), cuando se requiera controlar la temperatura.
- d) Si las dimensiones de la pieza a formar sean críticas, la matriz o molde debe elaborarse de una dimensión que compense la contracción del polímero. El porcentaje de encogimiento que debe esperarse en el enfriamiento es de 1% como máximo.
- e) Para obtener áreas planas al enfriar el material, se recomienda una pequeña curvatura del molde en las partes planas de las áreas grandes.
- f) No se pueden obtener piezas con paredes a 90°. Se recomienda que el molde tenga un ángulo de salida de por lo menos 3°.
- g) Se recomienda también redondear las aristas, para evitar la acumulación de esfuerzos internos ocasionados por el formado en vértices. La resistencia de la pieza obtenida mejorará si se diseñan orillas y esquinas redondeadas.
- h) Se pueden emplear costillas de refuerzo en partes delgadas o débiles. También se las puede usar para reforzar áreas planas de gran tamaño.
- i) Si en el moldeado es necesario utilizar un inserto permanente, se debe tomar en cuenta la diferencia entre los coeficientes de expansión de los materiales.
- j) La superficie de los moldes puede estar forrada con algún material para disminuir las marcas del molde. Lo más común es utilizar franela de algodón.

1.2.4.3.2 Materiales empleados

En el proceso de termoformado se tiene la ventaja de que las magnitudes de las variables que se manejan (presión y temperatura) son relativamente bajas. Debido a esto, los moldes o matrices a partir de donde se obtendrá la hoja termoformada se pueden fabricar de una gran variedad de materiales. Los moldes de madera son perfectos para una baja producción y ayudan a que la hoja termoformada no se enfríe al primer contacto, pero cuando se tiene una mediana o alta producción, este material es inadecuado.

Para mediana producción, se fabrican moldes con cargas minerales o metálicas y resina poliéster o epóxica o de poliuretano rígido, gracias a sus propiedades térmicas. Para altas producciones, los mejores son los moldes de aluminio, aunque es necesario precalentar el molde debido a su conductividad térmica.

En síntesis, existen cuatro clases de materiales para la elaboración de moldes de termoformado:

- Madera
- Minerales
- Resinas plásticas
- Metales

En el Anexo 1 se muestra una tabla con el empleo de materiales en moldes o matrices de termoformado.

1.2.5 Variables del termoformado

Además de las que se han mencionado, existen otras variables en el proceso de termoformado que influyen en el aspecto, calidad, dimensiones y distribución del material

en el resultado final de la pieza formada (Plastiglas de México, 2002). Es importante tomarlas en cuenta, ya que su conocimiento es de mucha ayuda en diversos problemas que se pueden presentar. Ahora se detallan algunas de las variables que se presentan con frecuencia en el proceso de termoformado.

a) Espesor de la hoja

Si se emplea un calentamiento a base de radiación infrarroja o resistencias eléctricas, una variación en el espesor del material puede originar un calentamiento disparejo y, como resultado, variaciones indeseadas en la pieza formada. Si la temperatura de la lámina es uniforme, aún con zonas delgadas es muy probable obtener una pieza satisfactoria.

b) Tamaño de la hoja

Con el objeto de distribuir el material de mejor manera en una pieza muy profunda, es más barato aumentar el tamaño de la lámina en vez de su espesor.

c) Temperatura de la hoja

Al calentar el material la fuerza de tensión disminuye y, por tanto, la lámina se torna más maleable. Para obtener buenos resultados, es importante que la lámina se caliente de manera homogénea a lo largo y ancho. Si la hoja no tiene un calentamiento uniforme, el formado será deficiente. Los mejores resultados se obtienen con temperaturas en un rango inferior de la temperatura de revenido.

d) Orificios de succión

La velocidad de succión está relacionada íntimamente con la calidad del producto final. Una succión lenta provoca que ciertas partes de la lámina se enfríen más rápido que el resto, ya que entran en contacto más temprano con el molde; por tanto, se obtendrán secciones muy delgadas en las paredes, o piezas incompletas.

e) Superficie del molde

La apariencia de la hoja dependerá mucho del aspecto del molde. Si el molde tiene un acabado mate, el material tendrá un aspecto opaco; un acabado muy pulido dará por resultado una pieza brillante.

1.2.6 Aplicaciones del termoformado

Solo los termoplásticos pueden termoformarse, ya que las hojas obtenidas por extrusión de los polímeros termofijos o elastoméricos ya tienen entrecruzamientos y no se pueden suavizar calentándolas otra vez. Los plásticos usados para el termoformado son el poliestireno, acetato de celulosa y butirato acetato de celulosa, ABS, PVC, acrílico (polimetilacrilato), polietileno y polipropileno. Las industrias que más utilizan las partes termoformadas se enumeran a continuación.

- Industria del empaque
- Industria de la comida para llevar
- Industria del empaque para alimentos
- Transporte
- Señalización y anuncios
- Artículos para el hogar
- Industria alimenticia
- Industria médica
- Agricultura y horticultura
- Construcción y vivienda
- Equipaje

- Equipo fotográfico

El presente proyecto tiene su aplicación en la industria alimenticia, que es la relacionada con la elaboración de moldes para figuras de chocolate.

CAPÍTULO II. PREDISEÑO DE LA MÁQUINA

TERMOFORMADORA

2.1 Definición del problema

En la actualidad, el proceso de elaboración de moldes para chocolate en la empresa “Golosinas y Algo Más” se viene desarrollando en un horno de cocina, donde se calienta al material de donde se obtendrá el molde. Cuando este alcanza la temperatura adecuada se saca del horno y se hace presión, usando moldes de madera macho y hembra, para lograr la deformación deseada.

Para comprar estos moldes en otras ciudades existen algunos inconvenientes como gastos en transporte, dificultades para encontrar proveedores, entre otros que ocasionan pérdidas en tiempo y producción.

En vista de la dificultad para su elaboración mediante el proceso manual y por los problemas que existen para adquirir los moldes fuera de la ciudad, se requiere de un proceso sencillo que permita abastecer de moldes en cantidades suficientes y con figuras variadas. Además, la empresa está en crecimiento ya que el mercado es muy amplio. Si el proceso de obtención de moldes fuese más eficaz, se mejorarían las ventas y se ampliaría el mercado, ya que el producto sería variado y con formas creativas.

La automatización del proceso se da por la necesidad de ampliar la variedad que existe actualmente en el mercado y facilitar la elaboración de los moldes para chocolate.

Con esta necesidad en mente se diseñará una máquina capaz de solucionar el problema existente, automatizando el proceso de elaboración de moldes para figuras de chocolate, mejorando el tiempo de producción, facilitando el trabajo y disminuyendo costos. Es

necesario identificar los factores y elementos que influirán en el proceso para desarrollar un diseño apropiado que cumpla cabalmente el objetivo planteado.

Para realizar una correcta selección de los elementos para el diseño de la máquina se realiza un análisis llamado “Método ordinal corregido de criterios ponderados”.

2.1.1 Método ordinal corregido de criterios ponderados

(Riba, 2002), afirma que:

La mayor parte de las veces, para decidir entre diversas soluciones (especialmente en la etapa de diseño conceptual) basta conocer el orden de preferencia de su evaluación global. Es por ello que se recomienda el *método ordinal corregido de criterios ponderados* que, sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados globales suficientemente significativos.

Se basa en unas tablas donde cada criterio (o solución, para un determinado criterio) se confronta con los restantes criterios (o soluciones) y se asignan los valores siguientes:

- 1 Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; $>$) que el de las columnas.
- 0,5 Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente ($=$) al de las columnas
- 0 Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; $<$) que el de las columnas.

Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución).

Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio. (pp. 59-60)

2.1.2 Factores considerados para el diseño de la máquina de termoformado

Para conseguir un diseño adecuado se necesita establecer distintos factores que intervienen en el proceso, junto con una selección correcta de los elementos que formarán parte de la máquina.

2.1.2.1 Capacidad de la máquina

La máquina tendrá la capacidad de elaborar moldes de chocolate de 25 x 30 cm. Se han seleccionado estas dimensiones ya que el tamaño de las figuras de chocolate que se pretende elaborar no sobrepasa esta área. Éstas medidas podrían ser aumentadas hasta un máximo de 34 x 50 cm, dependiendo de los requerimientos del usuario.

Se aspira elaborar 15 moldes semanales aproximadamente para el negocio de elaboración de figuras. Este número no es muy elevado, ya que la empresa “Golosinas y Algo Más” está en crecimiento, y actualmente el volumen de ventas no es muy elevado. Con la elaboración de estos moldes se pretende dar a conocer el producto, para atraer más clientes, aumentando así la producción y venta de figuras de chocolate con modelos variados y atractivos.

Asimismo se proyecta entrar en el mercado de la venta de moldes para figuras de chocolate, que en la provincia no está muy difundido. Gracias a esto, el número de moldes a elaborar semanalmente ascenderá de acuerdo a la demanda.

Por estos motivos, el número de moldes a producir dependerá de la capacidad y disponibilidad del operario. La máquina estará diseñada para un trabajo continuo.

2.1.2.2 Materia prima para moldes

Existe una variedad de polímeros aptos para el termoformado. Como ya se explicó anteriormente (Véase la Sección 1.1.3.1.3), los polímeros termoplásticos son idóneos para este procedimiento. En la Tabla 1 se muestran los polímeros que se emplean comúnmente en el mercado. De todos estos, es frecuente el uso del policloruro de vinilo (PVC) para la aplicación de moldes de figuras de chocolate. Se ha obtenido esta información de diferentes fabricantes.

El Vacoplast (película rígida de PVC) es el material ideal para termoformado, con aplicaciones que precisan el contacto directo con alimentos (Filmtex, 2013).

Existen directivas relativas al uso de materiales y objetos de plástico en contacto con los productos alimenticios. Así, la directiva 90/128/CEE relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros de la Unión Europea (Comisión de las Comunidades Europeas, 1990) nos proporciona una lista autorizada de monómeros u otras sustancias de partida, donde encontramos al cloruro de vinilo. El PVC es el producto de la polimerización del monómero cloruro de vinilo, por lo cual tenemos la seguridad de que es apropiado para su uso en la aplicación planteada.

Con esta información, se buscó proveedores de este material en la zona norte del país, obteniendo varios contactos que ofrecen este producto.

Por estos motivos, el material seleccionado es el PVC en láminas rígidas. Está disponible en calibres de 80, 110, 160, 210, 260, 310, 390, 460 micras. Se ha seleccionado el de 460 micras, por ser más robusto con respecto a otras opciones.

2.1.2.3 Calentamiento

La etapa de calentamiento es indispensable en el proceso de termoformado. Después de seleccionar al polivinilo de cloruro como material a termoformar, analizamos sus temperaturas críticas. En la Tabla 1 podemos ver que su temperatura de deflexión al calor es de 110 °C (sin carga) y que su temperatura de termoformado es de 135 a 175 °C. Se han considerado algunas opciones para ésta fase del proceso. A continuación se enumera y selecciona la alternativa de calentamiento idónea para el proyecto utilizando el análisis llamado método ordinal corregido de criterios ponderados (Véase la Sección 2.1.1)

- Solución A: Alambre de níquel-cromo. Es un fino alambre sin recubrimiento, empleado frecuentemente en secadoras de cabello o tostadoras de pan. Véase la Figura 10.



Figura 10. Alambre de níquel-cromo en espiral. Adaptado de Resista (2012). Resistencias en espiral de alambre. Recuperado de: <http://www.resistaltda.com/images/galeria/10003.jpg>

- Solución B: Resistencias tubulares. El alambre de níquel-cromo está recubierto con cerámica y enchaquetado con cobre cromado. Se utiliza en cocinas eléctricas, hornos eléctricos, cafeteras, entre otros. Véase la Figura 11



Figura 11. Resistencias tubulares. Adaptado de Presis (2012). Resistencias eléctricas tubulares para inmersión. Recuperado de: http://www.resistenciaselectricaspresis.com/portafolio/visor_prod.php?id=3083

- Solución C: Resistencias cerámicas. Están hechas de titanato de bario o titanato de plomo. Son resistencias y termostatos a la vez, puesto que permiten el paso de corriente cuándo están fríos pero dejan de conducir al calentarse. Véase la Figura 12.



Figura 12. Resistencia cerámica. Adaptado de Direct Industry (2012). Placa calentadora de cerámica. Recuperado de: http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/placas-calefactoras-ceramica-63815-2345759.jpg

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes, fueron:

- a) Robustez: El sistema de calefacción debe ser firme, de materiales que soporten las temperaturas y que sean durables.

- b) Estabilidad: La resistencia seleccionada debe tener una curva de calentamiento que facilite su control adecuado. No debe tardar demasiado en calentarse, ni tener sobrepicos que pueden alterar la calidad del producto final.
- c) Rango de temperatura: La temperatura que alcanza la resistencia debe ser lo más apegada posible al rango de valores aptos para termoformar el PVC. No debe ser ni muy superior, ni inferior.
- d) Costo: El valor total de la máquina debe ser asequible, por lo que sus componentes no deben tener valores demasiado elevados.

Una vez que se han analizado y seleccionado los criterios de valoración, se procede a realizar las siguientes evaluaciones:

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

Tabla 2

Evaluación del peso específico de cada criterio para etapa de calentamiento.

Criterio	Robustez	Estabilidad	Rango	Costo	$\Sigma + 1$	Ponderación
Robustez		0,5	0	0,5	2	0,2
Estabilidad	0,5		0,5	1	3	0,3
Rango	1	0,5		1	3,5	0,35
Costo	0,5	0	0		1,5	0,15
Suma					10	1

Nota: Se confrontan los criterios entre sí para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:

2. Evaluación del peso específico del criterio robustez.

Tabla 3

Evaluación del peso específico del criterio robustez para etapa de calentamiento.

Robustez	Níquel-Cromo	Tubulares	Cerámicas	$\Sigma + 1$	Ponderación
Níquel-Cromo		0	0	1	0,25
Tubulares	1		0,5	1,5	0,375
Cerámicas	1	0,5		1,5	0,375
Suma				4	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para la etapa de calentamiento bajo el criterio de robustez para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

3. Evaluación del peso específico del criterio estabilidad.

Tabla 4

Evaluación del peso específico del criterio estabilidad para etapa de calentamiento.

Estabilidad	Níquel-Cromo	Tubulares	Cerámicas	$\Sigma + 1$	Ponderación
Níquel-Cromo		0	0	1	0,166
Tubulares	1		0,5	2,5	0,417
Cerámicas	1	0,5		2,5	0,417
Suma				6	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para la etapa de calentamiento bajo el criterio de estabilidad para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

Evaluación del peso específico del criterio rango de temperatura.

Tabla 5

Evaluación del peso específico del criterio rango de temperatura para etapa de calentamiento.

Rango	Níquel-Cromo	Tubulares	Cerámicas	$\Sigma + 1$	Ponderación
Níquel-Cromo		1	0,5	2,5	0,357
Tubulares	1		0,5	2,5	0,357
Cerámicas	0,5	0,5		2	0,286
Suma				7	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para la etapa de calentamiento bajo el criterio de rango de temperatura para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

4. Evaluación del peso específico del criterio costo.

Tabla 6

Evaluación del peso específico del criterio costo para etapa de calentamiento.

Costo	Níquel-Cromo	Tubulares	Cerámicas	$\Sigma + 1$	Ponderación
Níquel-Cromo		1	1	3	0,5
Tubulares	0		1	2	0,333
Cerámicas	0	0		1	0,167
Suma				6	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para la etapa de calentamiento bajo el criterio de costo para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

A continuación se procede a realizar la tabla de conclusiones:

5. Tabla de conclusiones

Tabla 7

Conclusiones de selección de alternativa para etapa de calentamiento.

Conclusión	Robustez	Estabilidad	Rango	Costo	Suma	Prioridad
Solución A	0,05	0,05	0,125	0,075	0,3	3
Solución B	0,075	0,125	0,125	0,05	0,375	1
Solución C	0,075	0,125	0,1	0,025	0,325	2

Nota: Se reúnen los análisis de los criterios para establecer las prioridades. Solución A = alambre de níquel-cromo; Solución B = resistencia tubular; Solución C = resistencia cerámica. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

De acuerdo a los datos obtenidos, la solución B es la que mejor se adapta a los parámetros establecidos. Por lo tanto, la alternativa de diseño 2 (resistencias tubulares) es la seleccionada.

2.1.2.4 Método de formado

Como se analizó en el capítulo anterior (Véase la Sección 1.1.4.2.1), existen 3 métodos principales para termoformar el material seleccionado. A continuación se enumera y selecciona el método de termoformado idóneo para el proyecto utilizando el análisis llamado método ordinal corregido de criterios ponderados (Véase la Sección 2.1.1)

- Solución A: Termoformado al vacío (Véase la Figura 7)
- Solución B: Termoformado de presión (Véase la Figura 8)
- Solución C: Termoformado mecánico (Véase la Figura 9)

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes, fueron:

- a) Relieve: Los moldes obtenidos deben tener formas en tres dimensiones, con diferentes entrantes y salientes en su composición.

- b) Seguridad: Al usar distintos medios para dar forma a la lámina, se debe tener diferentes precauciones para no sufrir daños.
- c) Equipos necesarios: Cada método de formado requiere de varios equipos para su funcionamiento. El proyecto pretende que el proceso sea sencillo, por lo que no sería oportuno seleccionar equipos demasiado complejos.

Una vez que se han analizado y seleccionado los criterios de valoración, se procede a realizar las siguientes evaluaciones:

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

Tabla 8

Evaluación del peso específico de cada criterio para método de formado.

Criterio	Relieve	Seguridad	Equipos	$\Sigma + 1$	Ponderación
Relieve		1	1	3	0,5
Seguridad	0		1	2	0,333
Equipos	0	0		1	0,167
			Suma	6	1

Nota: Se confrontan los criterios entre sí para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

2. Evaluación del peso específico del criterio relieve.

Tabla 9

Evaluación del peso específico del criterio relieve para método de formado

Relieve	Vacío	Presión	Mecánico	$\Sigma + 1$	Ponderación
Vacío		0,5	1	2,5	0,417
Presión	0,5		1	2,5	0,417
Mecánico	0	0		1	0,166
Suma				6	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para el método de formado bajo el criterio de relieve para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

3. Evaluación del peso específico del criterio seguridad.

Tabla 10

Evaluación del peso específico del criterio seguridad para método de formado

Seguridad	Vacío	Presión	Mecánico	$\Sigma + 1$	Ponderación
Vacío		1	0	2	0,333
Presión	0		0	1	0,167
Mecánico	1	1		3	0,5
Suma				6	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para el método de formado bajo el criterio de seguridad para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

4. Evaluación del peso específico del criterio equipos necesarios.

Tabla 11

Evaluación del peso específico del criterio equipos necesarios para método de formado

Equipos	Vacío	Presión	Mecánico	$\Sigma + 1$	Ponderación
Vacío		1	0	2	0,333
Presión	0		0	1	0,167
Mecánico	1	1		3	0,5
Suma				6	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para el método de formado bajo el criterio de equipos necesarios para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

A continuación se procede a realizar la tabla de conclusiones:

5. Tabla de conclusiones

Tabla 12

Conclusiones de selección de alternativa para método de formado

Conclusión	Relieve	Seguridad	Equipos	Suma	Prioridad
Solución A	0,208	0,111	0,056	0,375	1
Solución B	0,208	0,056	0,028	0,291	3
Solución C	0,083	0,167	0,083	0,333	2

Nota: Se reúnen los análisis de los criterios para establecer las prioridades. Solución A = termoformado al vacío; Solución B = termoformado de presión; Solución C = termoformado mecánico. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

De acuerdo a los datos obtenidos, la solución A es la que mejor se adapta a los parámetros establecidos. Por lo tanto, la alternativa de diseño 1 (termoformado al vacío) es la seleccionada.

2.1.2.4.1 Elementos del formado al vacío

Se llama vacío a las presiones que están por debajo de la atmosférica. Para esta etapa del proceso, se requiere principalmente de dos elementos que se complementan entre sí: la caja de vacío y el componente de succión. La caja de vacío cumple la función de distribuir la absorción del aire ocasionada por el vacío, para que la hoja de plástico tome la forma deseada en toda su extensión. El elemento de succión se conecta a la caja de vacío, para realizar el vacío y obligar a la lámina caliente a conformarse para que reproduzca las formas deseadas.

2.1.2.4.1.1 Elemento de succión

A continuación se enumera y selecciona el elemento de succión idóneo para el proyecto utilizando el análisis llamado método ordinal corregido de criterios ponderados (Véase la Sección 2.1.1)

- Solución A: Bomba de vacío. Es un dispositivo eléctrico que extrae moléculas de gas de un volumen sellado. Su aplicación es generalmente industrial. Para su funcionamiento, requiere también de un tanque de vacío, que funciona como un acumulador. Véase la Figura 13.



Figura 13. Bomba de vacío. Adaptado de Telstar Group (2008). Bombas de vacío. Recuperado de:

http://www.telstar.com/files/BombaRD_4.jpg

- Solución B: Generador de vacío. Son componentes en los que el vacío puede lograrse utilizando aire comprimido como fluido motor. Operan basados en el principio Venturi. Para su funcionamiento, requiere de un compresor que provea del aire comprimido. Véase la Figura 14.



Figura 14. Generador de vacío. Adaptado de Direct Industry (2014). Generador de vacío eyector. Recuperado de: http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/generadores-vacio-eyectores-multietapa-15143-4814961.jpg

- Solución C: Motor de aspiradora. La aspiradora basa su funcionamiento en uno o varios ventiladores o turbinas que producen el vacío, gracias al diferencial de presión. Requiere de corriente eléctrica para su funcionamiento. Véase la Figura 15.



Figura 15. Motor de aspiradora. Adaptado de Motores Aspiradora (2011). Motor Directo. Recuperado de: http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/generadores-vacio-eyectores-multietapa-15143-4814961.jpg

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes, fueron:

- a) Disponibilidad: Los equipos a adquirir deben estar disponibles en el mercado nacional, para evitar al máximo dificultades por importaciones.
- b) Succión: La succión que origine el elemento a escoger debe estar cercana a los rangos de vacío idóneos para el termoformado.
- c) Costo: El valor total de la máquina debe ser asequible, por lo que sus componentes no deben tener valores demasiado elevados.

Una vez que se han analizado y seleccionado los criterios de valoración, se procede a realizar las siguientes evaluaciones:

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

Tabla 13

Evaluación del peso específico de cada criterio para elemento de succión.

Criterio	Disponibilidad	Succión	Costo	$\Sigma + 1$	Ponderación
Disponibilidad		0	0	1	0,166
Succión	1		0,5	2,5	0,417
Costo	1	0,5		2,5	0,417
Suma				6	1

Nota: Se confrontan los criterios entre sí para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

2. Evaluación del peso específico del criterio disponibilidad

Tabla 14

Evaluación del peso específico del criterio disponibilidad para elemento de succión

Disponibilidad	Bomba	Generador	Aspiradora	$\Sigma + 1$	Ponderación
Bomba		1	0	2	0,333
Generador	0		0	1	0,167
Aspiradora	1	1		3	0,5
Suma				6	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para el elemento de succión bajo el criterio de disponibilidad para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

3. Evaluación del peso específico del criterio succión

Tabla 15

Evaluación del peso específico del criterio succión para elemento de succión

Succión	Bomba	Generador	Aspiradora	$\Sigma + 1$	Ponderación
Bomba		0	0,5	1,5	0,25
Generador	1		1	3	0,5
Aspiradora	0,5	0		1,5	0,25
Suma				6	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para el elemento de succión bajo el criterio de succión para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

4. Evaluación del peso específico del criterio costo

Tabla 16

Evaluación del peso específico del criterio costo para elemento de succión

Costo	Bomba	Generador	Aspiradora	$\Sigma + 1$	Ponderación
Bomba		1	0	2	0,333
Generador	0		0	1	0,167
Aspiradora	1	1		3	0,5
Suma				6	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para el elemento de succión bajo el criterio de costo para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

A continuación se procede a realizar la tabla de conclusiones:

5. Tabla de conclusiones

Tabla 17

Conclusiones de selección de alternativa para elemento de succión

Conclusión	Disponibilidad	Succión	Costo	Suma	Prioridad
Solución A	0,056	0,104	0,139	0,298	3
Solución B	0,028	0,208	0,069	0,306	2
Solución C	0,083	0,104	0,208	0,396	1

Nota: Se reúnen los análisis de los criterios para establecer las prioridades. Solución A = bomba de vacío; Solución B = generador de vacío; Solución C = motor de aspiradora. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

De acuerdo a los datos obtenidos, la solución C es la que mejor se adapta a los parámetros establecidos. Por lo tanto, la alternativa de diseño 3 (motor de aspiradora) es la seleccionada.

2.1.2.5 Automatismos

Como se ha planteado en el tema principal, la máquina será automática. Para esto, es necesario dotar a la máquina de movimiento mecánico. La opción idónea es implementar un

circuito neumático compuesto principalmente de un generador de aire comprimido (compresor), válvulas, cilindros neumáticos y tuberías. En la Figura 16 se pueden observar los elementos del circuito neumático.

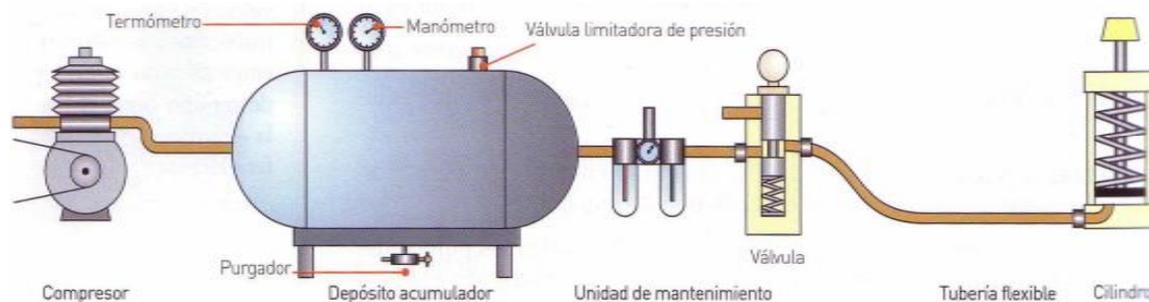


Figura 16. Elementos de un circuito neumático. Adaptado de Xunta de Galicia. (2010). Teoría neumática.

(p.6). Recuperado de:

<http://www.edu.xunta.es/centros/cpiantonioorzacouto/system/files/TEORIANEUMATICA.pdf>

2.1.2.5.1 Compresor

El compresor es el elemento del circuito que suministra el aire a presión. Absorbe el aire de la atmósfera y lo comprime en un depósito, para aumentar su presión. Las partes móviles de un compresor funcionan gracias a un motor eléctrico.

2.1.2.5.2 Válvulas

En el circuito neumático, se necesita controlar el movimiento y la presión del aire. Esto se consigue con la ayuda de válvulas.

Las válvulas están compuestas por un cuerpo fijo donde se ubica la toma de aire del exterior y los orificios de purga o salida del aire a la atmósfera. En su interior se hallan los elementos móviles que abren o cierran los conductos que bloquean o permiten el paso de aire.

Existen varios tipos de válvulas. Así, existen válvulas de distribución, de regulación, de bloqueo, selectoras, entre otros. Para cambiar la posición de las válvulas se emplean dispositivos de accionamiento de diferente tipo. Se pueden gobernar mediante medios neumáticos, mecánicos, eléctricos y neumáticos. En el presente proyecto, es preciso usar válvulas gobernadas por medios eléctricos o electroválvulas, puesto que el proceso es automático y será controlado mediante un sistema electrónico. En la Figura 17 se ilustra una válvula.

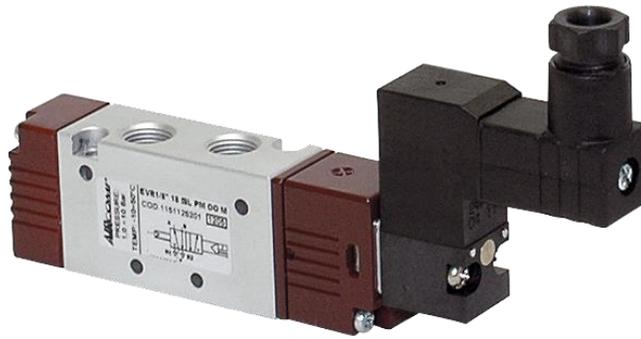


Figura 17. Electroválvula 5/2 monoestable. Adaptado de Wikifab (2013). Ciclo secuencial de tres cilindros.

Recuperado de: <http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/images/c/cc/2valvula8475.png>

2.1.2.5.3 Dispositivos ejecutores o actuadores

Los ejecutores o actuadores son la parte final del circuito neumático. Son los elementos que cumplen la función motriz en el sistema. Los más conocidos son los cilindros, aunque también existen otras herramientas.

Estos dispositivos aprovechan la energía del aire comprimido a altas presiones y la convierten en energía mecánica que se puede utilizar. El aire a presión entra en el interior del circuito, empujando al émbolo y al vástago, unidos entre sí. El recorrido del extremo del vástago es el que se utiliza para efectuar distintos trabajos. En la Figura 18 se observa un cilindro neumático con sus elementos.

El cilindro tiene una o dos tomas de aire, dependiendo el tipo de trabajo para el cual están diseñados. Para la presente aplicación se emplearán cilindros de doble efecto, ya que el émbolo tiene que realizar también la función en su retorno a la posición inicial.

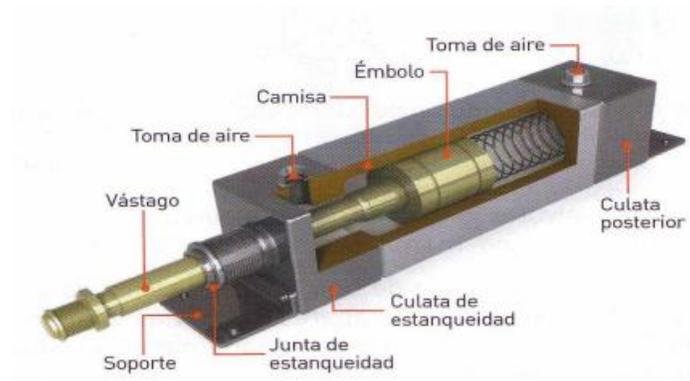


Figura 18. Elementos de un cilindro neumático. Adaptado de Xunta de Galicia. (2010). Teoría neumática. (p.13). Recuperado de:

<http://www.edu.xunta.es/centros/cpiantonioorzacouto/system/files/TEORIANEUMATICA.pdf>

2.1.2.6 Funcionamiento

El proceso de elaboración de moldes para figuras de chocolate será continuo. Constará de varias etapas en su desarrollo, que ya se han analizado previamente.

El proceso comienza por sujetar la hoja de plástico, para luego proceder a calentarla. Cuando alcanza la temperatura adecuada, la lámina tiende a pandearse. Éste es un indicador que advierte que la hoja está lista. Posteriormente se realiza el formado, por medio de vacío. Finalmente, se corta los excesos de plástico. En la Figura 19 se ilustra el proceso a realizar.

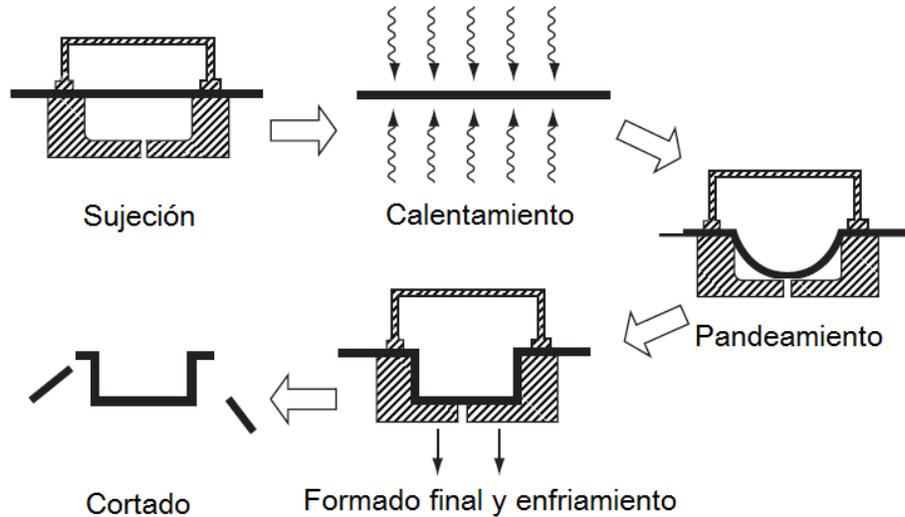


Figura 19. Pasos principales para el proceso de formado al vacío. Adaptado de Muralisrinivasan, N. (2010).
Troubleshooting in thermoforming (1ra ed.). (p.36).

Para su correcto desempeño, es necesario notar ciertas consideraciones importantes.

2.1.2.6.1 Fuente de energía

La tensión estándar a nivel de Latinoamérica y, por tanto, la que llega a los hogares de nuestro país, es de 120 V. La máquina no será usada a nivel industrial, por lo que este nivel de voltaje es el indicado para la aplicación planteada.

2.1.2.6.2 Tiempo del proceso

En el transcurso del proceso es trascendental calentar la hoja de plástico hasta su temperatura ideal, así como también es muy importante realizar el vacío sin que baje del punto de transición vítrea.

La Figura 21 muestra una guía para considerar el tiempo de calentamiento del PVC a una temperatura adecuada para su formado. La guía Formech para vacío (Formech International Ltd, 2010) de donde se ha adaptado la figura, muestra una tabla con los tiempos de

calentamiento para sus equipos. Pueden existir diversos factores que afecten las escalas de tiempo de calentamiento.

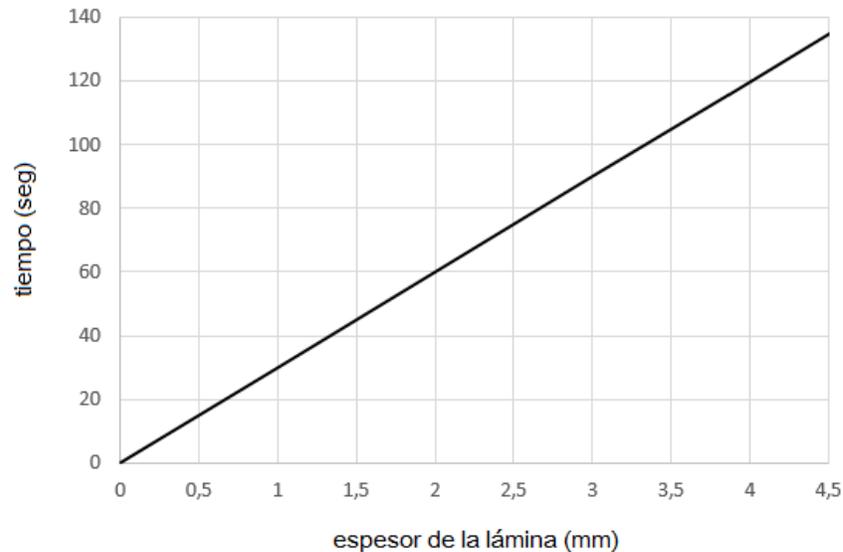


Figura 20. Espesor vs tiempo de calentamiento del PVC. Adaptado de Formech International Ltd (2010). A Vacuum Forming Guide. (p.15).

La gráfica representada en la Figura 20, del tiempo de calentamiento, es lineal.

Entonces, fijándonos en la gráfica, el tiempo esperado de calentamiento de una lámina de PVC de 460 micras es de 15 segundos.

2.1.2.7 Elementos constitutivos

La selección de los materiales con los cuales se va a construir la máquina de termoformado se realiza en base a la experiencia de técnicos asesores, a la revisión de catálogos de empresas locales (DIPAC, 2011) que proporcionan las características mecánicas que posee cada material y su disponibilidad.

2.1.2.7.1 Tubos estructurales Norma ASTM A-500

Para construir la estructura de la máquina termoformadora se usará tubo Norma ASTM A-500. Se selecciona este tipo de acero tomando en cuenta sus usos principales (construcción soldada, atornillada y remachada, fines estructurales en general). Viendo también su disponibilidad en el mercado local, y que la forma que presenta el tubo (tubos formados en frío, sin costura o soldados de sección cuadrada, rectangular o de otras formas) se adapta a los requerimientos (Ahmsa, 2013), se selecciona el tubo estructural cuadrado ASTM A-500 para la construcción de la máquina.

2.1.2.7.2 Plancha de acero Norma ASTM A-588M

En ciertas zonas, la máquina requerirá un recubrimiento robusto. Por este motivo, se empleará una plancha de acero Norma ASTM A-588M. Se la selecciona tomando en cuenta su forma (lámina fabricada en caliente y en frío), su disponibilidad en el mercado local y su aplicación (miembros o componentes de estructuras de acero, soldadas y atornilladas) (Ahmsa, 2013), se escoge la plancha de acero laminada al caliente Norma ASTM A-588M.

2.1.2.7.3 Plancha de acero Norma AISI 304

Se utilizará la plancha de acero inoxidable AISI 304, debido a sus usos generales, entre los que se destacan los equipos para procesamiento de alimentos, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, partes para extintores de fuego, entre otros (Sumitec, 2008). Gracias a esto, y después de comprobar su disponibilidad en el mercado local, se selecciona plancha de acero inoxidable AISI 304.

2.1.2.7.4 Otros elementos

Existen otros componentes que cumplen funciones específicas dentro del sistema. Estos elementos pueden ser adquiridos comercialmente.

2.1.2.7.4.1 Rodamientos

El módulo de calentamiento requiere de un soporte que permita movilidad horizontal. Para esto, la solución idónea se la obtiene mediante rodamientos, que adaptados al módulo posibilitarán que las resistencias tubulares montadas en este se coloquen en su posición y se retiren de esta, de acuerdo a la necesidad dentro del proceso.

2.1.2.7.4.2 Bastidor y seguros

Se necesita también que la lámina de plástico se sujete correctamente a un bastidor. Para esto, es indispensable el uso de seguros, que ejerzan una presión suficiente sobre el bastidor para que la hoja a termoformar no sufra movimientos que pueden comprometer al proceso y afectar la calidad del producto final.

2.2 Características generales

La estructura de la máquina estará construida en su totalidad con tubo estructural cuadrado Norma ASTM A-500, aprovechando sus características mecánicas.

La cubierta de la máquina en zonas críticas se realizará mediante planchas de acero laminadas al caliente NORMA ASTM A-588M de diferentes espesores, dependiendo de su aplicación.

En las áreas donde no existen esfuerzos ni riesgos la cubierta se hará con tool.

En el área donde haya contacto directo con el molde, por normas de salubridad, se usarán planchas de acero inoxidable NORMA AISI 304, que posee características como resistencia a la corrosión y a los ataques químicos del medio ambiente y es utilizado en las industrias alimenticias. Se selecciona este material principalmente para evitar deformaciones y por el acabado que brindará a las láminas, además de las propiedades mencionadas.

El circuito de control constará de componentes eléctricos y electrónicos que controlarán el correcto funcionamiento del proceso; esto es las electroválvulas, las resistencias de calentamiento y el panel de control.

En el tablero de control se ingresarán los parámetros para el termoformado, el encendido y apagado y la parada de emergencia, estará cerca de la zona del bastidor donde se encuentra la lámina debido a que está cerca del lugar en donde el operario va a estar la mayor parte del tiempo por si existe alguna emergencia y sea necesario apagar la máquina. Además en esta área no habrá riesgos de golpes o quemaduras.

Las dimensiones de la máquina estarán diseñadas de manera que no ocupe demasiado espacio físico y usarla sea cómodo ya que el operario, por la altura de la máquina, debe trabajar de manera fácil y ergonómica.

2.2.1 Estructuración de la máquina

Se propone el diseño ilustrado en la Figura 21 para la máquina de termoformado, tomando en cuenta las necesidades y aspectos ya planteados.

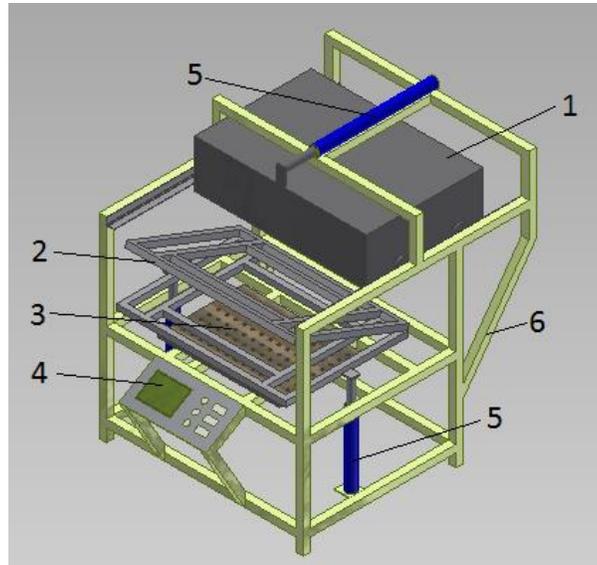


Figura 21. Estructuración de la máquina de termoformado. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

1. Módulo de calentamiento
2. Bastidor de sujeción de lámina
3. Área de vacío
4. Panel de control
5. Cilindros neumáticos
6. Estructura

2.2.1.1 Ventajas

- Mínimas pérdidas de calor en la lámina durante el traslado de lámina.
- Permite que el proceso sea ágil y eficiente.
- Optimización de espacio.
- Diseño ergonómico para el operario.

2.2.1.2 Desventajas

- Mangueras y cables móviles.
- El operario debe colocar y retirar la hoja de plástico.

CAPÍTULO III. DISEÑO DE LA MÁQUINA TERMOFORMADORA

3.1 Datos técnicos del policloruro de vinilo (PVC)

Al iniciar el diseño de la máquina de termoformado, es necesario considerar de las propiedades específicas del material a termoformar, junto con las características que adoptará durante el desarrollo.

El policloruro de vinilo o PVC es una combinación química entre carbono, hidrógeno y cloro. Como ya se ha dicho, es un material termoplástico por lo que puede moldearse fácilmente y, al enfriarse, recupera la consistencia inicial y conserva la nueva forma.

Es un material económico en cuanto a su relación calidad-precio, fácil de transformar y es reciclable.

En el Anexo 2 se muestran las propiedades técnicas de este material.

3.2 Proceso de diseño

Para el diseño de la máquina de termoformado se ha separado el sistema en elementos, facilitando así su análisis. Se consideraron 5 etapas:

- Etapa de sujeción (bastidor)
- Etapa de calentamiento (módulo de calentamiento)
- Etapa de vacío (área de vacío)
- Estructura y automatismos (estructura y cilindros neumáticos)
- Sistema de control (panel de control)

Cada etapa está relacionada con un elemento de la Figura 21. A continuación se desarrolla el diseño de los elementos que conforman el sistema completo de la presente aplicación.

3.2.1 Etapa de sujeción

El primer elemento en ser considerado para el diseño es el bastidor que sujetará la lámina; es muy importante que la hoja esté tensa en el momento de su sujeción, caso contrario afectará la calidad del producto final. Por esto, se realizarán dos marcos: uno inferior que sostendrá la lámina, y otro superior que ejercerá presión y asegurará la hoja evitando deformaciones. Se ilustra el bastidor en la Figura 22.



Figura 22. Bastidor para láminas. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

El tamaño de la lámina será de 25 x 30 cm, y se podrá extender hasta un máximo de 34 x 50 cm, como se ha explicado en el capítulo anterior (Véase la Sección 2.1.2.1). En vista de esto, se procede a diseñar un marco que cumpla correctamente con el proceso de sujeción de la lámina de área inferior, considerando el sobredimensionamiento mencionado.

Para esto, se escoge un tubo cuadrado Norma ASTM A-500 (Véase la Sección 2.1.2.7.1) de 1 pulgada de ancho y de 1.2 mm de espesor. Las dimensiones fueron seleccionadas para que no pesen demasiado ni entorpezcan al proceso con longitudes demasiado grandes, además de que se necesita que ofrezcan facilidad para su manufactura. Estas medidas no son

críticas, ya que esta estructura servirá únicamente para sostener y tensar la hoja de PVC. En el cuadro pequeño se sujetarán las láminas de 25 x 30 cm, montándose aproximadamente 1.54 cm en éste y dejando 1 cm hasta el extremo. Esta última distancia permitirá que la hoja se sujete correctamente al bastidor. Igualmente se lo hará con una eventual lámina de dimensiones superiores, aunque para esto será necesario construir otro bastidor apropiado a la necesidad. Estas medidas se muestran en la Figura 23.

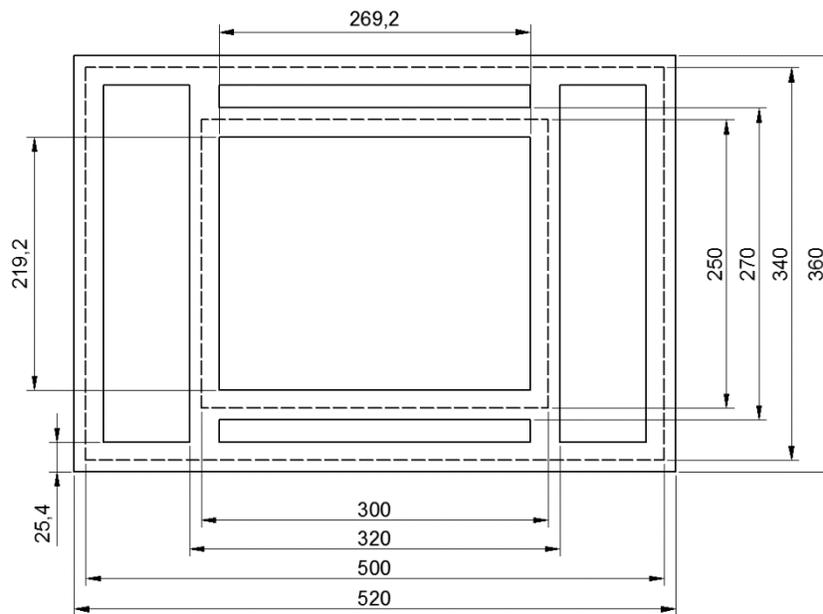


Figura 23. Dimensiones del bastidor para láminas de PVC (en milímetros). Nota: Con línea entrecortada se indica la ubicación de las hojas de plástico. Adaptado de AutoCAD. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

3.2.1.1 Seguros de sujeción

Para sujetar los bastidores, se emplearán seguros “Sash Lock”, fáciles de instalar e impiden vibraciones que pueden existir y que afectarían la calidad del producto. Estos seguros se usan generalmente en ventanas, pero su utilización es idónea en la presente aplicación. Véase la Figura 24.



Figura 24. Seguros tipo “Sash Lock”. Adaptado de Historic House Parts (2010). Sash Lock. Recuperado de <http://www.historichouseparts.com/pdshop/shop/item.aspx?itemid=10581>

3.2.2 Etapa de calentamiento

Como se vio en el capítulo anterior (Véase la Sección 2.1.2.3), se seleccionó a la resistencia tubular como la opción más viable para esta aplicación. Esta resistencia estará contenida en un módulo o caja, con un volumen de 52 x 36 x 4 cm basado en las medidas de la resistencia y sobredimensionado para una lámina de longitudes superiores, como ya se ha indicado. Para esto se utilizará una plancha de acero Norma ASTM A-588M (Véase la Sección 2.1.2.7.2) de un grosor de 1 mm, ya que al no existir fuerzas que intervengan en esta etapa, esta medida no es crítica para su funcionamiento. Se ilustra la posición de los elementos de esta etapa en la Figura 25.

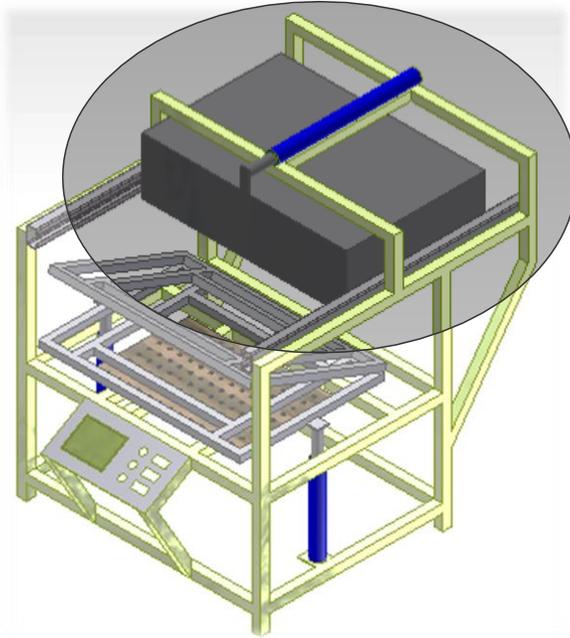


Figura 25. Panel de calor posicionado en la máquina. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

3.2.2.1 Calor transferido

Con el fin de determinar las magnitudes óptimas para el calentamiento de la hoja de PVC gracias a la resistencia tubular, se analizará el proceso mediante el concepto de transferencia de calor.

Como primer paso, se determinará el calor necesario para calentar a la lámina de PVC, posteriormente se revisará el calor que trasmite el calefactor, para finalmente establecer una relación entre estos dos y determinar la relación óptima entre ellos.

Se considera, basándose en los datos de la Tabla 1, que la temperatura adecuada para termoformar a este material es de 150°C . La temperatura promedio de la ciudad de Ibarra, que es donde la máquina va a funcionar es de 18°C (Asociación de Municipalidades Ecuatorianas, 2012), por lo que la lámina se calentará desde ésta temperatura (18°C) hasta 150°C .

La densidad y el calor específico promedio del PVC se obtienen del Anexo 2:

$$\rho = 0.014 \left[\frac{Kg}{cm^3} \right] = 1400 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$c_p = 0.28 \left[\frac{Kcal}{Kg \cdot ^\circ C} \right] = 1.172 \left[\frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} \right]$$

La cantidad de calor transferida a la lámina de PVC es sencillamente el cambio en su energía interna y se determina a partir de:

Transferencia de energía al sistema = Aumento de energía del sistema

Ecuación 1. Cambios finitos en la energía interna

$$Q = \Delta U = mc_{prom}(T_2 - T_1)$$

Fuente: Cengel, Y. (2007). Transferencia de calor y masa (3ra ed.).(p.8).

Donde:

$m = masa$

$c_{prom} = calor\ específico\ promedio$

$T_1, T_2 = temperatura\ inicial, temperatura\ final$

Posteriormente se recurre a la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Densidad en función de masa y volumen

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Fuente: Burns, R. (2011). Fundamentos de química (5ta ed.).(p.60).

de la cual se despeja la masa:

$$m = \rho V$$

Y se reemplaza:

$$m = (1400 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]) (0.2692 \times 0.2192 \times 0.00051 [m^3])$$

$$m = 0.0421 [Kg]$$

Se sustituye estos datos en la Ecuación 1 y se obtiene:

$$Q_{PVC} = (0.0421 \text{ [Kg]})(1.172 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right])(150 - 18)[^\circ\text{C}] = 6.51\text{KJ}$$

Por lo tanto, es necesario transferir 6.51KJ de calor a la lámina de PVC para llegar a la temperatura deseada. Como se sabe, la potencia es una magnitud física que relaciona la energía con el tiempo. En la Sección 2.1.2.6.2 se vio que el tiempo que requiere el PVC para alcanzar esta temperatura es de aproximadamente 15 segundos. Entonces, se puede calcular el calor que necesita el material de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_{PVC} = \frac{6510\text{J}}{15\text{s}} = 434\text{W}$$

Se concluye, por tanto, que la hoja de PVC requiere de 434W para calentarla de 18°C hasta 150°C.

Una vez determinado el calor que requiere la lámina, se analizará el calor emitido. Las medidas de la resistencia que realizará la función calefactora se muestran en la Figura 26.

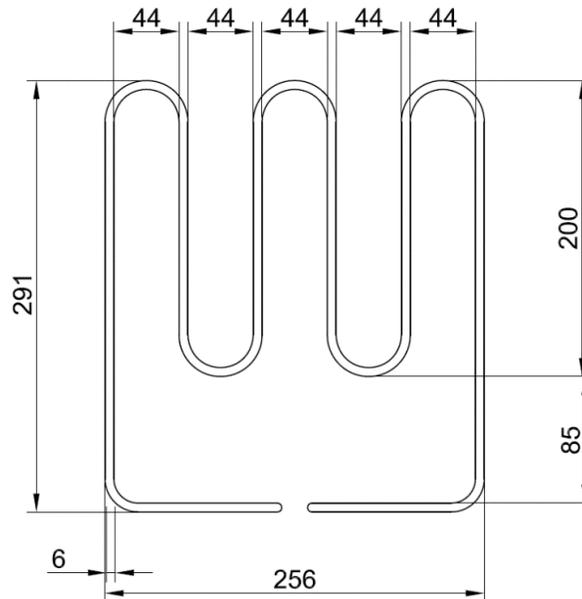


Figura 26. Dimensiones de la resistencia tubular (en milímetros). Adaptado de AutoCAD. Fuente: Autor

(Esteban Brusil A.).

Esta resistencia era parte de un horno eléctrico y es ideal para la presente aplicación. Su cubierta metálica está elaborada de Incoloy, que es una aleación hecha a base de níquel, y tiene características que incluyen gran resistencia a la corrosión en ambientes acuosos, excelente fuerza y resistencia a la oxidación en altas temperaturas, y facilidad para hacer fabricaciones (Megamex, 2009). Consume una potencia eléctrica de 900W y su temperatura superficial promedio es de 510°C.

Ahora, se requiere determinar el calor que transfiere la resistencia, y con esto, verificar si genera la energía suficiente para esta aplicación. Se supone que existen condiciones estacionarias de operación. La transferencia de calor entre el calefactor y el aire se da por convección, ya que se entiende que el aire que está próximo a la resistencia se calienta y sube por convección natural para calentar la lámina de PVC. También se transmite calor directamente por radiación hacia la superficie de esta hoja de PVC.

Para calcular el calor transmitido por radiación, se emplea la siguiente fórmula:

Ecuación 3. Razón neta de transferencia de calor por radiación entre dos superficies

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4)$$

Fuente: Cengel, Y. (2007). Transferencia de calor y masa (3ra ed.).(p.29).

donde:

$\varepsilon =$ emisividad de la superficie

$\sigma =$ constante de Stefan – Boltzmann.

$T_s =$ temperatura superficie

$T_{alred} =$ temperatura alrededor

La emisividad para la resistencia tubular con cubierta metálica de Incoloy (Watlow, 2003) es de $\varepsilon = 0.6$.

El área de la superficie se la ha obtenido con la ayuda del software Solidworks. La respuesta obtenida es de $A = 30139.7mm^2$. A esta área se la divide para 2, puesto que se entiende que solo la mitad inferior de la resistencia emitirá radiación hacia la lámina de PVC. Entonces, se tiene que $A_s = 15069.85mm^2$.

Por lo tanto, la razón de transferencia de calor por radiación hacia la superficie de PVC es

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{rad} &= (0.6) \left(5.67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right] \right) (0.0150698[m^2]) \\ &\quad \times ((510 + 273)^4 - (150 + 273)^4)[K^4] \\ \dot{Q}_{rad} &= 176.29 [W]\end{aligned}$$

Se concluye que la razón promedio de transferencia de calor por radiación de la resistencia tubular es de 176.29W (\dot{Q}_{rad}).

Como se analizó, la hoja de PVC requiere de 434W (\dot{Q}_{PVC}) para llegar a la temperatura de termoformado. Si gracias a la radiación se transfieren 176.29W (\dot{Q}_{rad}), entonces la lámina todavía necesita 257.71W.

La potencia total que suministra el calefactor es de 900W; este elemento no transmitirá todo este calor al plástico ya que, al ser tubular, emite energía en todos los sentidos. Se considera que la mitad de esta potencia llegará al PVC, debido a que el 50% de la superficie del calefactor (aproximadamente) está cara a cara con la hoja de plástico. Entonces, se supone que la razón de transferencia de calor total que proporciona la resistencia tubular es de 450W (\dot{Q}_{total}). La ley de la conservación de energía nos permite afirmar que:

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{conv}$$

Despejando la razón de transferencia por convección, se tiene que:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{conv} &= \dot{Q}_{total} - \dot{Q}_{rad} \\ \dot{Q}_{conv} &= 450 - 176.29 = 273.71W\end{aligned}$$

Como la hoja solo requiere de 257.71W y la resistencia está transmitiendo por el aire 273.71W (\dot{Q}_{conv}), se tiene un sobrante de 16W. Esto permite asegurar que la resistencia calefactora suministrara la energía suficiente para calentar la lámina. Se entiende que también se está transmitiendo calor al aire que existe entre la resistencia y la hoja de PVC, por lo que esta diferencia se está invirtiendo en calentar este volumen de aire. Ahora se procede a calcular la distancia entre el calefactor y la lámina para la cual el volumen requerirá 16W para ser calentado.

Se tiene que la caja que sostendrá a la resistencia será de 52 x 36 cm. El volumen, por tanto, se obtendrá del producto de esta área y de la distancia entre los componentes. Así, tenemos que:

$$V = (0.52 \times 0.36 \times h)[m^3] = 0.1872h[m^3]$$

Para calcular la masa de este volumen de aire, acudimos a la ley del gas ideal:

Ecuación 4. Ley del gas ideal

$$PV = nRT$$

Fuente: Burns, R. (2011). Fundamentos de química (5ta ed.).(p.360).

Donde:

$n = \text{numero de moles}$

$P = \text{presión}$

$V = \text{volumen}$

$R = \text{constante universal de los gases}$

$T = \text{temperatura}$

Despejando, se tiene:

$$n = \frac{PV}{RT}$$

Se tiene que la altura de la ciudad de Ibarra es de 2225 msnm (Asociación de Municipalidades Ecuatorianas, 2012). Para esta altura, la presión que ejerce la atmósfera es de 77.31 KPa (Véase Anexo 3). Entonces, se reemplazan valores en la Ecuación 4:

$$n = \frac{(77310[Pa])(0.1872h[m^3])}{\left(8.314472 \left[\frac{m^3 \cdot Pa}{mol \cdot K}\right]\right)(18 + 273)[K]} = 5.982h [mol]$$

La masa molar promedio del aire seco es de 28.97 g/mol, entonces por simple regla de tres, se tiene:

$$m = \left(28.97 \left[\frac{g}{mol}\right]\right)(5.982 [mol]) = 173.3h[g] = 0.1733h[Kg]$$

En este caso, la presión es la que permanece constante y es el volumen el que varía. Se emplea entonces el calor específico a presión constante.

El calor específico a presión constante del aire es $C_p = 1007 \left[\frac{J}{Kg \cdot K}\right]$ (Anexo 4)

Ahora, la cantidad de calor que se debe transferir al volumen de aire es de 16W, como ya se analizó. Este calor está expresado por unidad de tiempo. Por tanto, para expresarlo en términos de energía, lo expresamos en función del tiempo, así:

$$Q = 16 \cdot t[J]$$

Se emplea ahora la Ecuación 1 para encontrar ahora la distancia que permitirá la transmisión de calor deseada:

$$Q = mc_v(\Delta T)$$

$$16t[J] = (0.1733h[Kg]) \left(1007 \left[\frac{J}{Kg \cdot K}\right]\right)(150 - 18)[K]$$

Finalmente, obtenemos la ecuación del tiempo en función de la distancia. Conforme exista una mayor distancia entre la resistencia tubular y la lámina de PVC, se tardará más en lograr que la hoja de plástico llegue a la temperatura adecuada, conforme a la siguiente relación:

$$h(mm) = 0.7(seg)$$

En base a esto, se elaboró una tabla, para seleccionar la distancia y el tiempo más apropiados para la aplicación planteada

Tabla 18

Datos del tiempo de calentamiento en función de la distancia

Distancia (mm)	Tiempo de calentamiento (seg)
10	0.7
15	10.5
20	14
25	17.5
30	21
35	24.5
40	28

Nota: La distancia se toma en cuenta desde la fuente de calor hasta la lámina. El tiempo de calentamiento corresponde al periodo que tarda la hoja en llegar a la temperatura especificada. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

Esta tabla nos permite establecer una relación entre el tiempo de calentamiento y la distancia que deberá existir entre la hoja de PVC y el calefactor. Se concluye que la relación distancia-tiempo idónea para el proceso de termoformado es la de 30 milímetros y 21 segundos aproximadamente. En el sistema real es posible que existan variaciones de energía por imprevistos, por lo que en el proceso de implementación se verificarán estos datos y se calibrarán para que su funcionamiento sea el correcto.

3.2.2.2 Armazón del módulo de calor

Para la adecuada protección, sujeción y aislamiento del elemento calefactor, se elaborará una pequeña caja (Véase Figura 26), de 52 x 36 x 4 cm. Se prevé que será necesario aislar térmicamente a la resistencia tubular, por lo que se situará entre el calefactor y el armazón un material aislante que evite al máximo fugas de calor. Este material será lana de vidrio, que es una fibra mineral elaborada con millones de filamentos de vidrio pegados con un aglutinante. El espacio libre, con aire atrapado entre las fibras, incrementa la resistencia a la transmisión de calor.

3.2.3 Etapa de vacío

Como se analizó con anterioridad (Véase la Sección 2.1.2.4) el formado se realizará mediante succión o vacío por medio de un motor de aspiradora. A continuación se detalla el análisis para la selección de dimensiones y magnitudes de los elementos.

3.2.3.1 Cámara de vacío

La cámara de vacío es un recipiente con paredes rígidas, de donde se extrae el aire que se encuentra en su interior junto con el de la burbuja existente entre la hoja de PVC precalentada y la matriz a termoformar. El aire se vaciará de la burbuja a través de una serie de orificios dispuestos sobre la cara superior de la cámara. Se extraerá el aire mediante una aspiradora, como ya se ha descrito.

La cámara deberá contar con suficientes orificios de vacío para que la hoja revenida tome la forma de la matriz o molde adecuadamente. Los orificios deben ser lo suficientemente

pequeños, para que no dejen marcas significativas (de 1/32" a 1/8" de diámetro) (Plastiglas de México, 2002).

Tomando en cuenta las dimensiones del bastidor (Figura 24) y considerando que el tubo es de una pulgada (25.4 mm) se tiene que el claro interior es de 26.92 x 21.92 cm y deberá encajar con la cámara, provocando así que la lámina revenida entre en contacto con la superficie horadada y se ejerza el formado.

3.2.3.2 Aspiradora

Como ya se explicó, se empleará una aspiradora como medio para generar el vacío necesario. La potencia de una aspiradora, generalmente viene expresada en vatios (W) y no indica específicamente la potencia de absorción, sino la potencia del motor. La potencia de absorción varía no solo en función de la potencia del motor sino también del diseño de cada modelo, pero se puede tomar este dato (potencia del motor) como indicador de la presión de vacío estimada que ejerce el aspirador.

Se realizaron pruebas con motores de distintas potencias y se elaboró una tabla con los resultados obtenidos, expresados en porcentaje de muestras satisfactorias. Según un modelo diseñado de una máquina manual de termoformado (Seafax, 2014) se realizaron las pruebas con un diámetro de orificios de 2.5 milímetros y a una distancia de 12 milímetros, con una altura de la caja de 6 centímetros como se muestra en la Figura 27. Se muestran ahora en la Tabla 19 los valores obtenidos experimentalmente.

Tabla 19

Muestras satisfactorias en función de la potencia de aspiradoras

Potencia HP (W)	Muestras satisfactorias (%)
1,88 (1400)	80
2 (1491)	80
2,5 (1864)	90
3 (2237)	100

Nota: El porcentaje está expresado en base a 10 muestras realizadas. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

Estos datos obtenidos experimentalmente comparados con la información compartida por personas con experiencia del tema (TK560, 2009) (Benheck, 2007) (The Replica Prop Forum, 2010) que recomiendan aspiradoras con un valor aproximado de 3HP, se selecciona esta potencia. El tiempo de absorción recomendado por estos ensayistas es de 10 a 15 segundos, consejo que se tomó en cuenta para las pruebas. Cabe aclarar que el rango de succión que origina el motor de una aspiradora no es muy alto, pero es apropiado para la aplicación planteada.



Figura 27. Aspiradora y cámara de vacío para pruebas. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

Por tanto, se empleará un motor de aspiradora de 3 HP, la cámara de vacío tendrá 26.5 x 21.5 x 6 cm y los orificios tendrán un diámetro de 2.5 mm y estarán a una distancia de 12 mm entre sí. Esta cámara se podrá cambiar por una de dimensiones 46.5 x 30.5 x 6 cm como máximo, de acuerdo a la necesidad. La tapa superior de la cámara donde se realizarán los orificios estará elaborado de acero inoxidable, puesto que estará sometido a temperaturas relativamente altas que deformarían la madera a largo plazo.

3.2.4 Estructura y automatismos

Para el análisis y el cálculo de los componentes de la estructura es necesario primero dimensionar y normalizar los elementos neumáticos que intervendrán en el proceso automático.

3.2.4.1 Sistema neumático

Se necesitarán tres cilindros neumáticos: uno que empujará al módulo de calentamiento y otros dos que permitirán al bastidor con la hoja de plástico subir y bajar de la etapa de calentamiento a la etapa de formado, como se muestra en las Figuras 28 y 29.

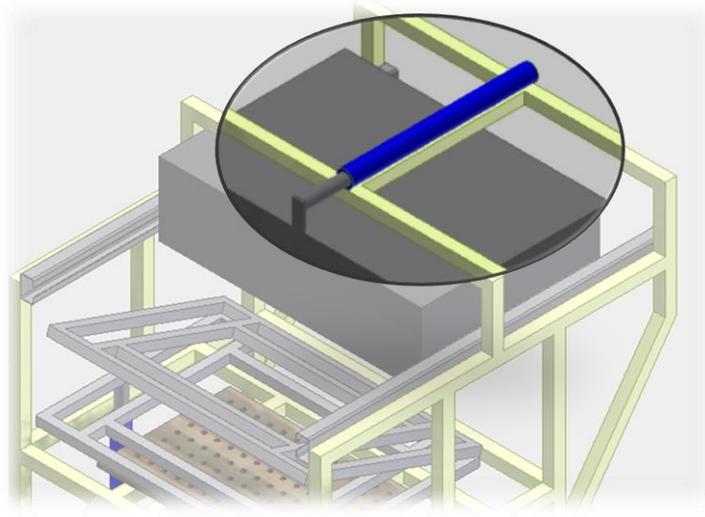


Figura 28. Cilindro 1 para desplazamiento de módulo de calentamiento. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

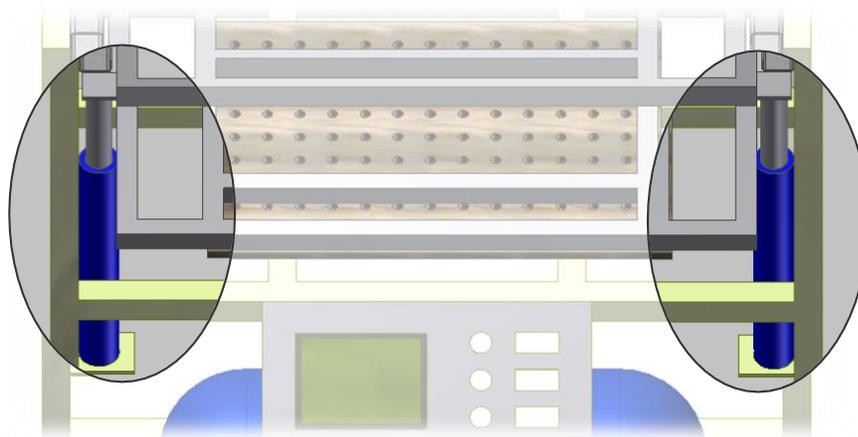


Figura 29. Cilindros 2 y 3 para desplazamiento de bastidor de sujeción. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

Como punto de partida se toma las características de un compresor promedio existente en el mercado, para que funcione como fuente de aire comprimido con las siguientes características

Velocidad: 3400 *RPM*

Desplazamiento: 110 *L/min* (3.9 *CFM*)

Presión: 115 *PSI* (8 *bar*)

Existe un procedimiento para seleccionar el diámetro apropiado (SMC, 2012). El primer paso es determinar el peso de la carga que deberá ser movido. El módulo de calor que tendrá que desplazar el cilindro 1 estará hecho de láminas de acero de 1 mm de espesor. El peso teórico de esta plancha es de 8 kg/m² (CINTAC, 2012), por lo que se procede a calcular el área que posee la caja:

$$\text{Área} = L \cdot A + 2(L \cdot H) + 2(A \cdot H)$$

Donde:

$$L = \text{largo}$$

$$A = \text{ancho}$$

$$H = \text{altura}$$

Las medidas de la caja son de 52 x 36 x 4 cm, por lo que el área será de

$$\text{Área} = 52 \cdot 36 + 2(52 \cdot 4) + 2(36 \cdot 4) = 2576 \text{cm}^2 = 0.2576 \text{m}^2$$

Por tanto, se concluye que el peso de la caja de acero es de

$$P_{\text{caja}} = 8 \text{Kg/m}^2 (0.2576 \text{m}^2) = 2.06 \text{Kg}$$

Esto, sumado al peso de la resistencia tubular (0.3 Kg) da un peso total de

$$P_T = 2.06 + 0.3 = 2.36 \text{Kg}$$

Se sobredimensiona este peso a 5 Kg, por si existen pesos imprevistos. Por tanto, se concluye que el peso que el cilindro 1 desplazará una carga de 5 Kg.

El bastidor que tendrán que levantar los cilindros 2 y 3 tiene un peso de 0.9 kg/m (DIPAC, 2011). Un bastidor, para su construcción, requiere aproximadamente de 2815.2 mm. Esto, multiplicado por los dos bastidores resulta en una extensión de 5630.4 mm.

$$P_{\text{bastidor}} = 0.9 \text{Kg/m} (5.6304 \text{m}) = 5.06 \text{Kg}$$

Esto, sumado al peso de las bisagras y de las pinzas de sujeción da un peso total de 5.5 Kg. Se sobredimensiona este peso a 12 Kg, por si existen pesos imprevistos. Por tanto, se concluye que el peso que los cilindros 2 y 3 levantarán juntos una carga de 12 Kg, o sea, 6 Kg cada uno.

Ahora, se determina el factor de carga en función de la aplicación requerida. En la Tabla 20 se puede ver el funcionamiento requerido y su factor de carga correspondiente:

Tabla 20

Factor de carga en función de la aplicación requerida

	Funcionamiento requerido	Factor de carga η
	Funcionamiento estático (amarre, engarce de tornillo a baja velocidad, etc.)	0.7 o menos (70% o menos)
Funcionamiento dinámico	Movimiento horizontal de la carga en la guía	1 o menos (100% o menos)
	Movimiento vertical y horizontal de la carga	0.5 o menos (50% o menos)

Nota: Adaptado de SMC. (2012). Procedimientos de selección del modelo de cilindro neumático. (p.1).

Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/117194102/Seleccion-de-cilindros-neumaticos-SMC>.

Además, en la Figura 30 se ilustra la ubicación de la carga para facilitar la selección del factor de carga:

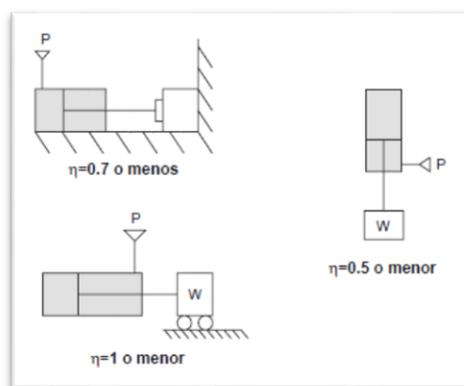


Figura 30. Ilustración del factor de carga en función de la aplicación requerida. Adaptado de SMC. (2012).

Procedimientos de selección del modelo de cilindro neumático. (p.2). Recuperado de:

<https://es.scribd.com/doc/117194102/Seleccion-de-cilindros-neumaticos-SMC>.

Para el cilindro 1 se selecciona un factor de carga $\eta = 1$, ya que tiene un movimiento horizontal de la carga (módulo de calor) sobre una guía (rodamiento). Para los cilindros 2 y 3 se escoge un factor $\eta = 0.5$, puesto que tiene un movimiento vertical de la carga (bastidor).

Se recomienda que la presión de funcionamiento del sistema sea del 85% de la presión del aire de alimentación. El compresor provee de una presión de 8 *bar* (0.8 *MPa*), por lo que la presión de funcionamiento será:

$$\text{Presión} = 0.8 \text{ MPa} (0.85) = 0.68 \text{ MPa}$$

El paso final para la definir del diámetro del cilindro es determinar la dirección en la que se aplicará la fuerza del cilindro. En ambos casos, la fuerza se la realizará en el lado de extensión, por lo que se procede a ver los datos en el gráfico que ilustra el Anexo 5.

Con los datos obtenidos para el cilindro 1 ($\eta = 1$, $m = 5\text{kg}$, $P = 0.68\text{MPa}$) se tiene que el diámetro es de 10*mm*. Para el cilindro 2 y 3 ($\eta = 0.5$, $m = 6\text{kg}$, $P = 0.68\text{MPa}$) el diámetro adecuado es de 16*mm*.

Ahora, la carrera del cilindro 1 será de 320*mm*, longitud del largo del módulo de calor. Para hallar la carrera de los cilindros 2 y 3 se suman el pandeo existente de la lámina de plástico (Véase Sección 1.2.4.1.4) y la altura máxima de los moldes a elaborar. Se realizaron pruebas para determinar el pandeo máximo de la hoja de PVC, y se obtuvo la información que se muestra en la Figura 31.

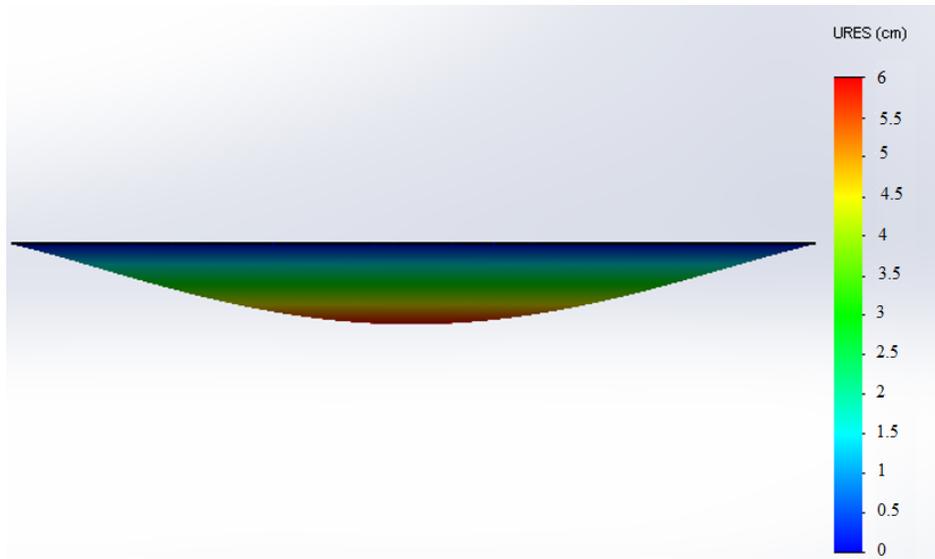


Figura 31. Pandemiento de lámina de PVC. Datos obtenidos experimentalmente. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

La altura máxima que se considera que podrían tener los moldes es de 7 cm . Sumando esto al pandeo máximo de 6 cm , se tiene que la carrera de los cilindros 2 y 3 debe ser de 13 cm .

Considerando estos datos se buscó en el mercado local cilindros neumáticos con estos requerimientos. Al no existir los elementos con las medidas precisas, se encontraron cilindros estandarizados con dimensiones superiores, asegurando así que cumplan con las funciones requeridas. A continuación se nombran los elementos normalizados:

1 cilindro de doble efecto, de 32 mm de diámetro y de 400 mm de carrera.

2 cilindros de doble efecto, de 20 mm de diámetro y de 150 mm de carrera.

Junto con estos, se requieren válvulas $5/2$ solenoide-resorte para efectuar el control.

Recapitulando, se tiene que la presión de trabajo será de 0.68 MPa . Para cada cilindro se procede a calcular el consumo de aire, a partir del Anexo 6.

Para el cilindro 1, que tendrá 32 mm de diámetro y de 400 mm de carrera, se tiene un consumo de 4 l/min . Para los cilindros 2 y 3, de 20 mm de diámetro y de 150 mm de carrera

cada uno, se tiene un consumo total de $2 \ell/min$. El compresor abastece ampliamente este consumo.

Se emplearán cilindros de doble efecto, como se explicó en la Sección 2.1.2.5.3. Para estos actuadores, la válvula correspondiente es una 5/2. Para esta aplicación se usaran válvulas con solenoide-resorte para su control. Se realizó una simulación en el software FluidSIM® 3.6 de Festo con los diferentes estados del proceso, en relación a los cilindros, enviando la señal desde el microcontrolador y, posterior al sistema de acondicionamiento, energizando los solenoides para hacer trabajar los actuadores. Las condiciones iniciales se muestran en la Figura 32, a continuación:

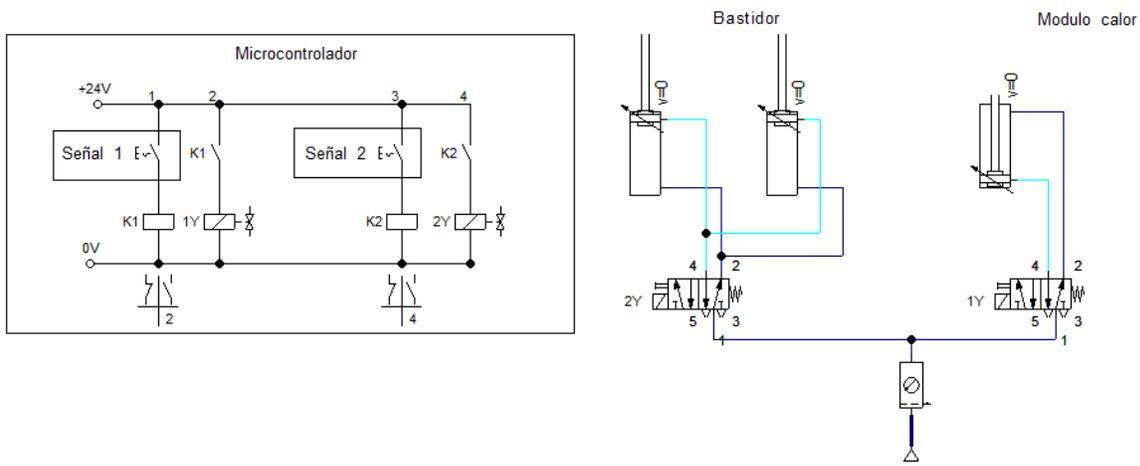


Figura 32. Condiciones iniciales del sistema neumático. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

Como se puede observar, el cilindro que desplazará al módulo de calor empieza retraído. Los actuadores correspondientes al bastidor, en cambio, inician extendidos. Al comenzar el proceso, el módulo de calor se debe desplazar hasta una posición por encima de la hoja del bastidor, trabajo realizado por el cilindro 1 al recibir la señal respectiva. En la Figura 33 se muestra la simulación de éste intervalo (Fase 1).

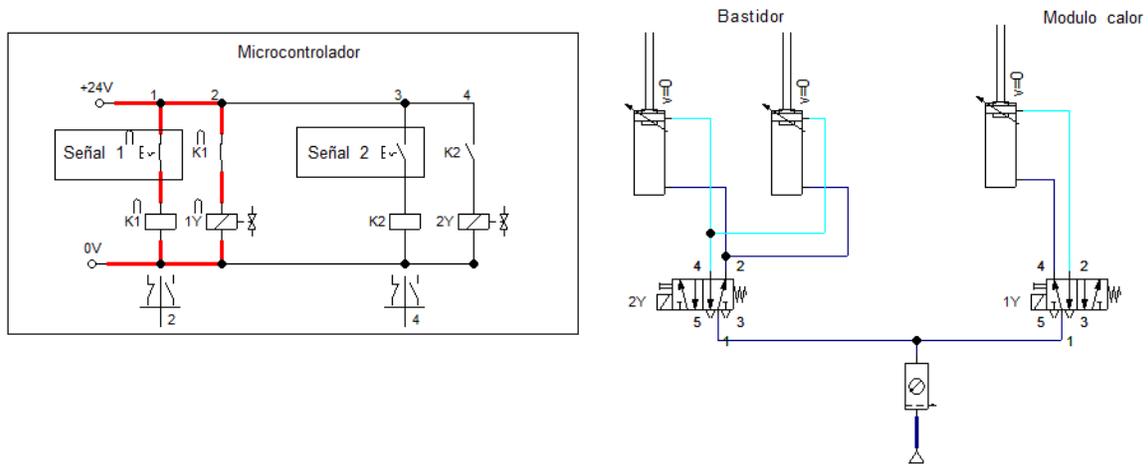


Figura 33. Simulación (Fase 1) del proceso del sistema neumático. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

Posteriormente, cuando la lámina alcanza la temperatura deseada, el cilindro 1 se retrae llevándose consigo al módulo de calor y enseguida la señal es enviada hacia la válvula conectada a los cilindros 2 y 3, los cuales se contraen y llevan al bastidor con la lámina revenida hacia la matriz ubicada en la cámara de vacío, como se ilustra en la Figura 34 (Fase 2).

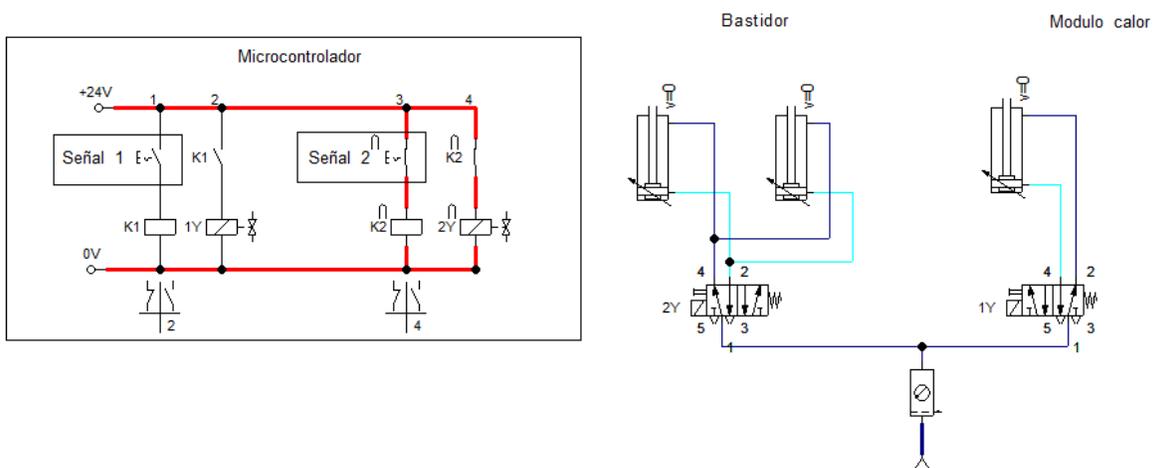


Figura 34. Simulación (Fase 2) del proceso del sistema neumático. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

Los respectivos diagramas de estado y de mando de las dos fases se enseñan en las Figuras 35 y 36. Estos gráficos fueron redibujados, debido a que el software FluidSIM® no los mostraba con una buena resolución.

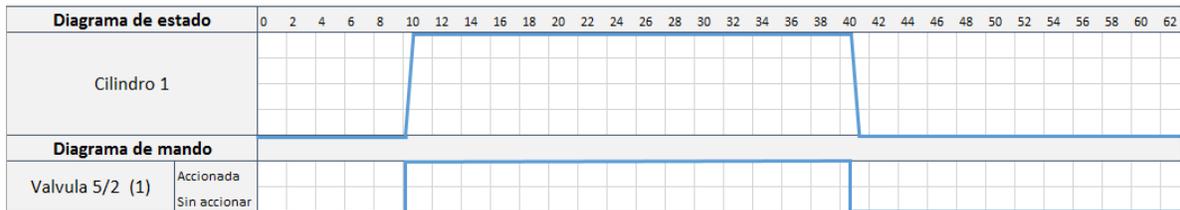


Figura 35. Diagrama de estado y diagrama de mando (Fase 1) del proceso del sistema neumático. Fuente:

Autor (Esteban Brusil A.).

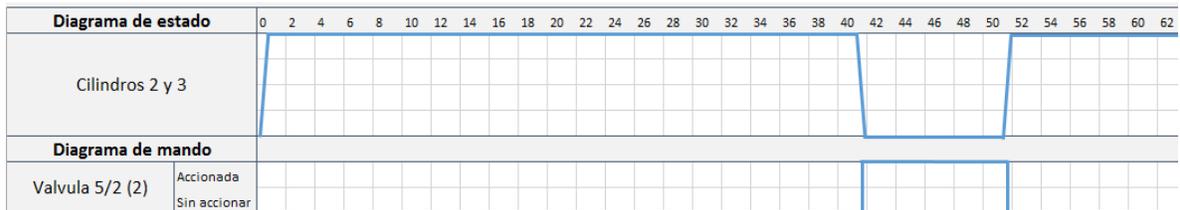


Figura 36. Diagrama de estado y diagrama de mando (Fase 2) del proceso del sistema neumático. Fuente:

Autor (Esteban Brusil A.).

Con esto, se tiene que el sistema neumático está listo para su aplicación y se procede a diseñar la estructura de la máquina.

3.2.4.2 Estructura de la máquina

Una vez seleccionados los cilindros neumáticos que se van a emplear, se procede a diseñar la estructura de la máquina con las dimensiones finales. Este proceso se realizó en base a la Figura 21. Véase la ilustración en la Figura 37.



Figura 37. Estructura de la máquina. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

3.2.4.2.1 Cálculo de vigas

Al iniciar con el análisis se analiza que el peso que la estructura tendrá que soportar, en general, será despreciable. Ahora, se supondrá un peso de 100 Kg por cargas imprevistas. Se considera que la viga crítica será la más larga, debido a que sufrirá mayor deformación. Se selecciona, por tanto, la viga más larga (BC), y de aquí se derivará la medida del resto de elementos, como se muestra en la vista lateral de la estructura (Figura 38):

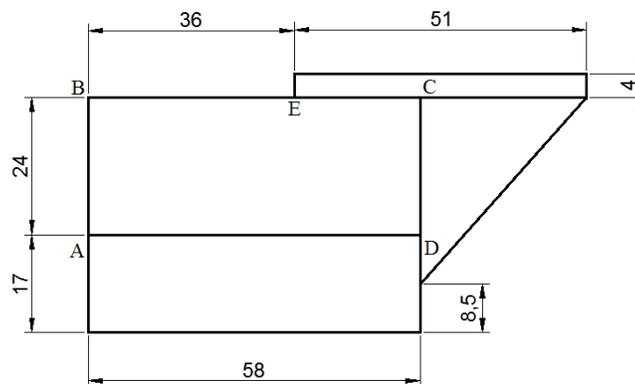


Figura 38. Vista lateral alámbrica para el cálculo de vigas. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

Ahora se procede a realizar los cálculos que indicarán el ancho H y el espesor e del tubo que requerirá un solo claro AB BC CD (Figura 39) que soportará el peso total de 100 Kg :

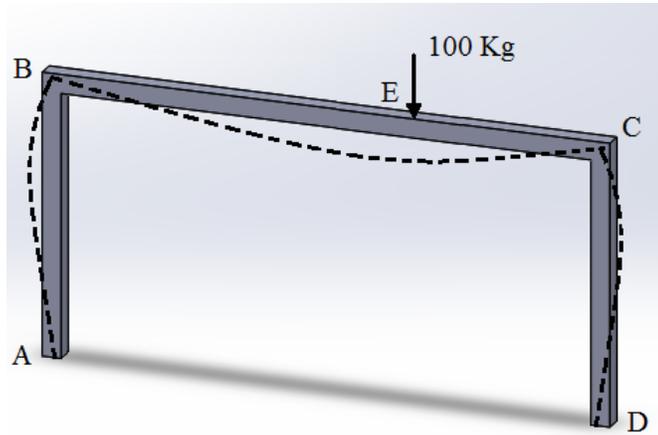


Figura 39. Marco ABECD. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

Se empleará el método de pendiente-deflexión, llamado así debido a que relaciona las pendientes y las deflexiones desconocidas con la carga aplicada sobre la estructura (Hibbeler, 2012). Los claros están apoyados fijamente en A y D, por lo que se emplea la siguiente ecuación:

Ecuación 5. Ecuación general de pendiente-deflexión

$$M_N = 2Ek(2\theta_N + \theta_F - 3\Psi) + (FEM)_N$$

Fuente: Hibbeler, R. (2012). Análisis estructural (8va ed.).(p.457).

donde:

M_N = momento interno en el extremo cercano del claro; este momento es *positivo en sentido horario* cuando actúa sobre el claro.

E, k = módulo de elasticidad del material y rigidez del claro. $k = 1/L$

θ_N, θ_F = pendientes de los extremos cercano y lejano o desplazamientos angulares del claro en los soportes.

Ψ = rotación de la cuerda del claro debida a un desplazamiento lineal.

$(FEM)_N$ = momento del extremo fijo en el soporte del extremo cercano.

Ahora se necesita encontrar los momentos de extremo fijo. La Figura 40 ilustra la relación de las medidas entre la fuerza y los soportes:

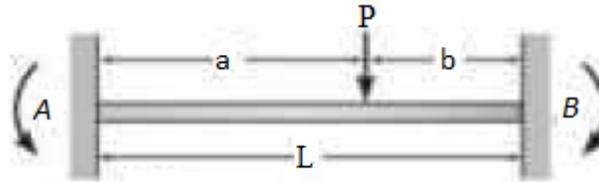


Figura 40. Momento de extremo fijo. Adaptado de Hibbeler, R. (2012). Análisis estructural (8va ed.).(Contraportada).

Y la ecuación para encontrar los momentos de extremo fijo, basada en la Figura 41, es la siguiente:

Ecuación 6. Momentos de extremo fijo

$$(FEM)_{AB} = \frac{Pb^2a}{L^2}$$

Fuente: Hibbeler, R. (2012). Análisis estructural (8va ed.).(Contraportada).

Considerando los tres claros AB, BC y CD, fijamente apoyados en A y D, se aplica la ecuación del momento del extremo fijo para FB:

$$(FEM)_{BC} = -\frac{100Kg(22cm)^2(36cm)}{(58cm)^2} = -517.995 Kg.cm$$

$$(FEM)_{CB} = -\frac{100Kg(36cm)^2(22cm)}{(58cm)^2} = 847.562 Kg.cm$$

Cabe notar que $\theta_A = \theta_D = 0$ y que $\Psi_{AB} = \Psi_{BC} = \Psi_{CD} = 0$, debido a que no se producirá un desplazamiento lateral.

Al aplicar la Ecuación 5 (pendiente-deflexión), se tiene:

$$M_{AB} = 2E \left(\frac{I}{24} \right) [(2(0) + \theta_B - 3(0))] + 0$$

$$M_{AB} = 0.083EI\theta_B \quad (1)$$

$$M_{BA} = 2E \left(\frac{I}{24} \right) [(2(\theta_B) + 0 - 3(0))] + 0$$

$$M_{BA} = 0.167EI\theta_B \quad (2)$$

$$M_{BC} = 2E \left(\frac{I}{58} \right) [(2(\theta_B) + \theta_C - 3(0))] - 517.995$$

$$M_{BC} = 0.069EI\theta_B + 0.034EI\theta_C - 517.995 \quad (3)$$

$$M_{CB} = 2E \left(\frac{I}{58} \right) [(2(\theta_C) + \theta_B - 3(0))] + 847.562$$

$$M_{CB} = 0.069EI\theta_C + 0.034EI\theta_B + 847.562 \quad (4)$$

$$M_{CD} = 2E \left(\frac{I}{24} \right) [(2(\theta_C) + 0 - 3(0))] + 0$$

$$M_{CD} = 0.167EI\theta_C \quad (5)$$

$$M_{DC} = 2E \left(\frac{I}{24} \right) [(2(0) + \theta_C - 3(0))] + 0$$

$$M_{DC} = 0.083EI\theta_C \quad (6)$$

Las seis ecuaciones anteriores tienen ocho incógnitas. Las dos ecuaciones restantes necesarias para resolver el sistema provienen del equilibrio de momentos en las juntas B y C, como se muestra en la Figura 41:

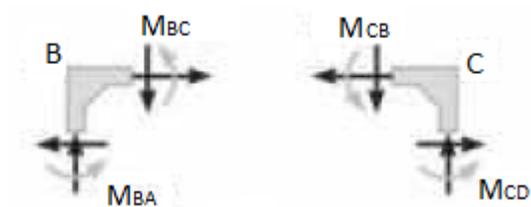


Figura 41. Equilibrio de momentos en juntas. Adaptado de Hibbeler, R. (2012). Análisis estructural (8va ed.).(p.471).

$$M_{BA} + M_{BC} = 0 \quad (7)$$

$$M_{CB} + M_{CD} = 0 \quad (8)$$

Ahora se sustituyen las ecuaciones (2) y (3) en la ecuación (7), y las ecuaciones (4) y (5) en la (8). Resulta:

$$0.236EI\theta_B + 0.034EI\theta_C = 517.995$$

$$0.236EI\theta_C + 0.034EI\theta_B = -847.562$$

De aquí se puede despejar $EI\theta_B = 2784.335$ y $EI\theta_C = -4004.434$. Sustituyendo esto en las ecuaciones (1)-(6) se obtiene:

$$M_{AB} = 232.028 \text{ kg.cm}$$

$$M_{BA} = 464.056 \text{ kg.cm}$$

$$M_{BC} = -464.056 \text{ kg.cm}$$

$$M_{CB} = 667.406 \text{ kg.cm}$$

$$M_{CD} = -667.406 \text{ kg.cm}$$

$$M_{DC} = -333.703 \text{ kg.cm}$$

Con estos resultados es posible dibujar el diagrama de fuerzas en la viga BC, como se muestra en la Figura 42:

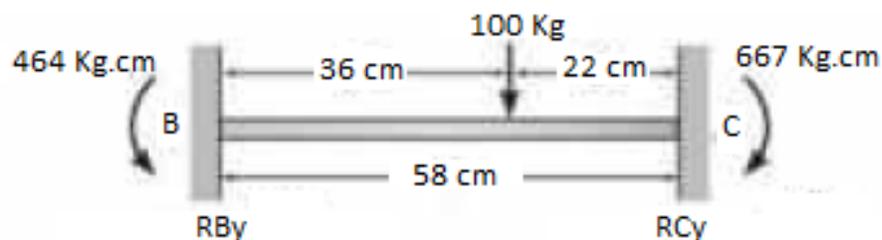


Figura 42. Diagrama de fuerzas en la viga BC. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

En base al diagrama de fuerzas, se va a calcular las reacciones existentes. Para esto, se realiza la sumatoria de momentos respecto a B:

$$\Sigma M_B = 0 \quad \cup$$

$$464.056 - 100(36) - 667.406 + RCy(58) = 0$$

$$RCy = 65.575 \text{ Kg}$$

Después se procede a sumar las fuerzas en el eje Y:

$$\Sigma F_Y = 0$$

$$RBy - 100 + RCy = 0$$

$$RBy = 34.425 \text{ Kg}$$

Con los resultados de ambas reacciones, se realizan los diagramas de cortes (Figura 43) y momentos (Figura 44):

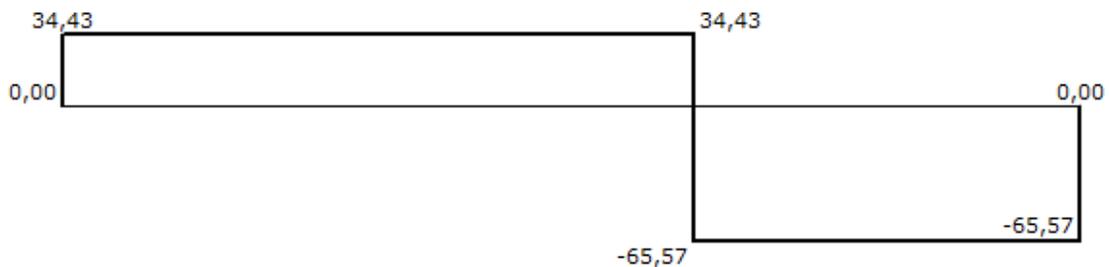


Figura 43. Diagrama de cortes en la viga BC (en kilogramos). Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

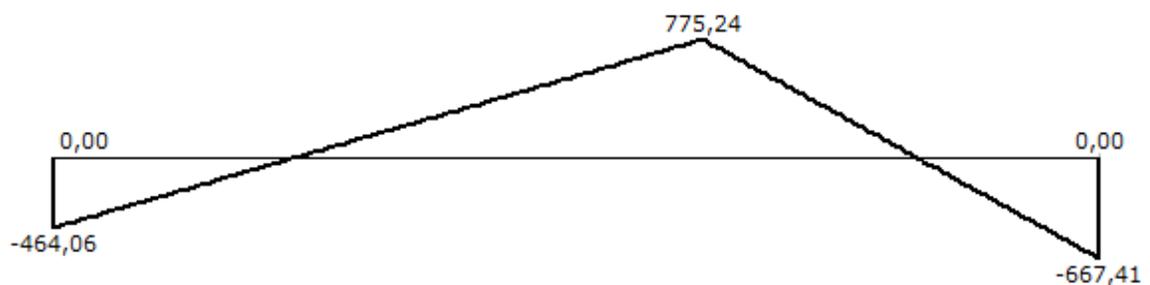


Figura 44. Diagrama de momentos en la viga BC (en kilogramos por centímetro). Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

De estos diagramas se obtiene el máximo momento de flexión que va a soportar la viga

$$M_{max} = 775.24 \text{ Kg.cm}$$

Ahora se procede a calcular el ancho H y el espesor e del tubo estructural cuadrado. Para esto se emplea la Ecuación 8, del módulo de sección requerido.

Ecuación 7. Módulo de sección requerido (1)

$$S = \frac{M}{\sigma_d}$$

Fuente: Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas (4ta ed.).(p.19).

donde:

S = módulo de sección.

M = momento máximo.

σ_d = esfuerzo de diseño.

Según (Mott, 2006), se tiene que el esfuerzo de diseño recomendado para un acero estructural (σ_d) es de 30 000 *psi* (2109.209 *kg/cm²*). Este dato, junto con el momento máximo (775.24 *Kg.cm*), permite encontrar el módulo de sección requerido:

$$S = \frac{775.24 \text{ Kg.cm}}{2109.209 \text{ Kg/cm}^2} = 0.3676 \text{ cm}^3$$

Se dispone de una ecuación del módulo de sección requerido que relaciona otras variables:

Ecuación 8. Módulo de sección requerido (2)

$$S = \frac{I}{c}$$

Fuente: Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas (4ta ed.).(p.106).

Donde:

S = Módulo de sección.

I = Momento de inercia del área transversal con respecto a su eje neutro.

c = Distancia del eje neutro a la fibra más alejada, en la sección transversal.

La ecuación del momento de inercia del área transversal para un tubo cuadrado hueco (I) como el de la Figura 45 se muestra a continuación:

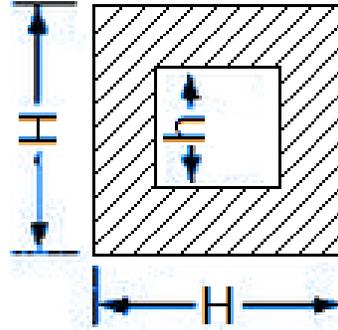


Figura 45. Sección transversal de tubo cuadrado hueco. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

Ecuación 9. Momento de inercia para una sección cuadrada hueca

$$I = \frac{H^4 - h^4}{12}$$

Fuente: Engineers Edge. (2009). Moment of Inertia, Section Modulus, Radii of Gyration Equations. Square and Rectangular Sections. Recuperado de http://www.engineersedge.com/material_science/moment-inertia-gyration.htm

Y la distancia del eje a la fibra extrema (c) se muestra en la siguiente ecuación:

Ecuación 10. Distancia de eje a la fibra extrema

$$c = \frac{H}{2}$$

Fuente: Engineers Edge. (2009). Moment of Inertia, Section Modulus, Radii of Gyration Equations. Square and Rectangular Sections. Recuperado de http://www.engineersedge.com/material_science/moment-inertia-gyration.htm

Reemplazando la Ecuación 10 y Ecuación 11 en la Ecuación 9, resulta:

$$S = \frac{(H^4 - h^4)/12}{H/2} = \frac{H^4 - h^4}{6H}$$

De la Ecuación 8 se obtuvo que $S = 0.3676\text{cm}^3$. Si se sustituye este dato en la última ecuación obtenida, se tiene que:

$$h^4 = H^4 - 2.2H$$

Es necesario suponer un valor para posteriormente encontrar el espesor del perfil. Se escoge un tubo de 1¼ pulgada (3.175 cm), medida estándar existente en el mercado (Véase Anexo 7). Entonces, el cálculo para su espesor es el siguiente:

$$h = \sqrt[4]{3.175^4 - 2.2(3.175)}$$

$$h = 3.119 \text{ cm}$$

$$e = H - h = 3.175 - 3.119$$

$$e = 0.5 \text{ mm}$$

El espesor mínimo necesario es de ½ milímetro para un tubo de 1¼ pulgadas. Se empleará por tanto un tubo de 1.2 milímetros de espesor para las vigas de la máquina (basado en el Anexo 7) asegurando así la estabilidad, firmeza, durabilidad y seguridad de la estructura.

3.2.4.2.2 Cálculo de columnas

A continuación se realizarán los cálculos que permitirán hallar el ancho y el espesor de las columnas de la máquina. Para este análisis se ha seleccionado la columna CD (Véase Figura 39), ya que se considera que es la que está sometida a mayor carga en la máquina. Se realizará en diseño por inestabilidad elástica, pandeo y flexión, con carga central en las columnas. Según (Mott, 2006), el objetivo del análisis y diseño de las columnas es garantizar que la carga aplicada a una columna sea segura, que sea bastante menor que la carga crítica de pandeo. Véase la Figura 46.

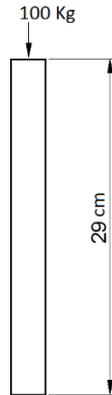


Figura 46. Columna CD de la estructura. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

Para comenzar con el diseño se supone que la columna es larga, por lo que se utiliza la fórmula de Euler alternativa:

Ecuación 11. Fórmula de Euler alternativa

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

Fuente: Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas (4ta ed.).(p.235).

Donde:

P_{cr} = Carga crítica de pandeo.

E = Módulo de elasticidad.

I = Momento de inercia de la sección transversal.

K = Constante que depende del extremo fijo

L = Longitud real de la columna entre los soportes

El módulo de elasticidad para todos los aceros al carbón y aleados es de 207 GPa (Véase Anexo 8), que equivale a $2110812.560 \text{ kg/cm}^2$. El valor de K es de 0.65, según la Figura 47 (empotrada-empotrada).

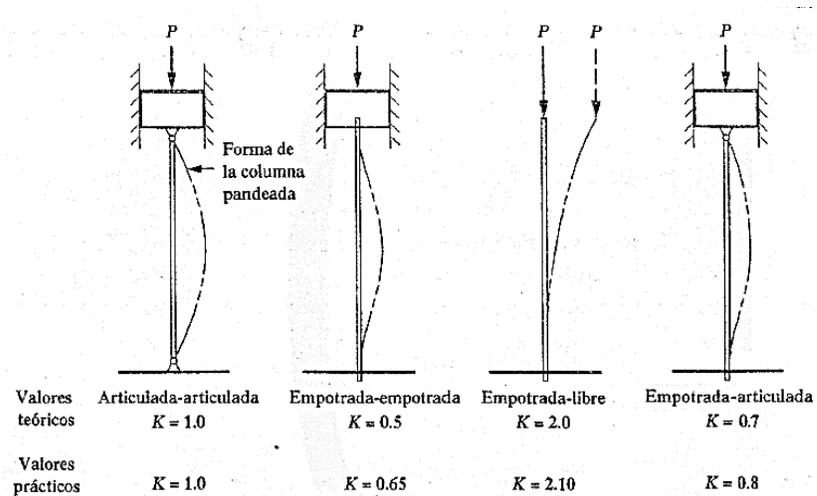


Figura 47. Valores de K para obtener la longitud efectiva. Adaptado de Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas (4ta ed.).(p.234).

Se empleará también la carga admisible, por lo que se requiere de la Ecuación 12:

Ecuación 12. Carga admisible

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N}$$

Fuente: Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas (4ta ed.).(p.238).

Donde:

P_a = Carga admisible.

N = Factor de diseño.

La carga admisible, en general se iguala a la carga máxima esperada, en este caso sería de 100 Kg. El factor de diseño, según (Mott, 2006), para columnas estacionarias y extremos empotrados bien conocidos es de 2.

Se reemplaza la Ecuación 12 en la Ecuación 11 y se despeja el momento de inercia, para obtener:

$$I = \frac{NP_a(KL)^2}{\pi^2 E}$$

Al tratarse de una sección cuadrada hueca, se puede emplear la Ecuación 9. Se tiene entonces:

$$\frac{H^4 - h^4}{12} = \frac{NP_a(KL)^2}{\pi^2 E}$$

Se sustituye los datos conocidos en esta ecuación y se tiene:

$$H^4 - h^4 = \frac{12 \cdot 2 \cdot 100 \text{ Kg} (0.65 \cdot 24 \text{ cm})^2}{\pi^2 \cdot 2110812.560 \text{ kg/cm}^2}$$

$$H^4 - h^4 = 0.028 \text{ cm}^4$$

Para comprobar si se ha seleccionado correctamente el método de diseño, se calcula la relación de esbeltez real KL/r , junto con el valor de la constante de columna C_C y se compara sus resultados:

- Si KL/r es mayor que C_C , la columna es larga y se emplea la ecuación de Euler.
- Si KL/r real es menor que C_C , la columna es corta y se emplea la ecuación de J. B.

Johnson (Mott, 2006).

Ahora es necesario calcular el área de la sección transversal, para usarla después en el cálculo del radio de giro:

$$A = H^2 - h^2$$

Donde:

A = Área de la sección transversal.

H = Ancho exterior de la columna

h = Ancho interior de la columna

Se escoge el valor deseado de $H = 1\frac{1}{4}$ pulgada (3.175 cm) de los catálogos y se calcula h a partir de la ecuación obtenida

$$H^4 - h^4 = 0.028 \text{ cm}^4$$

Y se tiene que $h = 3.174$ cm.

Ahora se procede a calcular el radio de giro de la sección transversal, para posteriormente hallar la relación de esbeltez.

Ecuación 13. Radio de giro de la sección transversal

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Fuente: Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas (4ta ed.).(p.244).

Donde:

r = Radio de giro de la sección transversal.

I = Momento de inercia de la sección transversal.

A = Área de la sección transversal.

Se reemplazan los valores correspondientes en la Ecuación 13:

$$r = \sqrt{\frac{\frac{H^4 - h^4}{12}}{H^2 - h^2}} = \sqrt{\frac{H^2 + h^2}{12}}$$

$$r = \sqrt{\frac{3.175^2 + 3.174^2}{12}}$$

$$r = 1.296 \text{ cm}$$

Una vez que se ha obtenido el radio de giro, se calcula la relación de esbeltez:

Ecuación 14. Relación de esbeltez.

$$\text{Relación de esbeltez} = \frac{KL}{r}$$

Fuente: Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas (4ta ed.).(p.234).

$$\frac{KL}{r} = \frac{0.65 \cdot 24 \text{ cm}^2}{1.296 \text{ cm}}$$

$$\frac{KL}{r} = 12.037$$

Ahora se calcula la constante de la columna, para compararla con la relación de esbeltez:

Ecuación 15. Constante de la columna.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{s_y}}$$

Fuente: Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas (4ta ed.).(p.234).

Donde:

C_c = Constante de la columna.

E = Módulo de elasticidad.

s_y = Resistencia a la fluencia.

La resistencia a la fluencia para un tubo estructural según (Mott, 2006) es de 269 MPa (2743.037 Kg/cm²). Con este dato se tiene suficiente información para determinar la constante de la columna:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2(2110812.56 \text{ Kg/cm}^2)}{2743.037 \text{ Kg/cm}^2}}$$

$$C_c = 123.246$$

Al realizar la comparación se nota que $KL/r < C_c$. Entonces la columna es corta, y se debe usar la fórmula de J. B. Johnson:

Ecuación 16. Fórmula de J. B. Johnson para columnas cortas.

$$P_{cr} = A s_y \left[1 - \frac{s_y \left(\frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

Fuente: Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas (4ta ed.).(p.241).

Se reemplaza la Ecuación 12 en la Ecuación 16, y se obtiene:

$$P_a N = (H^2 - h^2) s_y \left[1 - \frac{s_y \left(\frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

Se reemplazan ahora los datos en la fórmula para obtener las dimensiones de la sección del tubo. Es necesario suponer un valor para posteriormente encontrar el espesor del perfil. Se escoge un tubo de 1¼ pulgada (3.175 cm), medida estándar existente en el mercado (Véase Anexo 7). Entonces, el cálculo para su espesor es el siguiente

$$100 \text{ Kg} \cdot 2 = 2743.037 \text{ Kg/cm}^2 (3.175^2 - h^2) \left[1 - \frac{2743.037 \text{ Kg/cm}^2 \cdot \frac{(0.65 \cdot 24 \text{ cm}^2)^2}{3.175^2 + h^2}}{4\pi^2 \cdot 2110812.56} \right]$$

$$200 = 2743.037 \text{ Kg/cm}^2 (10.08 - h^2) \left[1 - \frac{8010545.81}{83331539.73(10.08 + h^2)} \right]$$

$$200 = (27649.813 - 2743.037h^2) \left[1 - \frac{1}{10.403(10.08 + h^2)} \right]$$

$$200 = (27649.813 - 2743.037h^2) \left(1 - \frac{1}{104.859 + 10.403h^2} \right)$$

$$200 = (27649.813 - 2743.037h^2) \left(\frac{104.859 + 10.403h^2 - 1}{104.859 + 10.403h^2} \right)$$

$$200(104.859 + 10.403h^2) = (27649.813 - 2743.037h^2)(103.859 + 10.403h^2)$$

$$20971.8 + 2080.6h^2 = 2871681.928 + 2751.926h^2 - 28535.814h^4$$

$$28535.814h^4 - 671.326h^2 - 2850710.128 = 0$$

$$h^2 = 10$$

$$h = 3.162 \text{ cm}$$

Por tanto, el espesor mínimo e ($H - h$) es de 0.1 milímetros. Entonces, se utilizará tubos cuadrados de 1¼ pulgadas de ancho por 1.2 milímetros de espesor, basados en el Anexo 7, asegurando de sobra la estabilidad, firmeza, durabilidad y seguridad de la estructura.

3.2.4.2.3 Análisis estático estructural

Mediante el software Solidworks Professional se realizó un análisis estático de la estructura de la máquina, con el objetivo de identificar el comportamiento de las vigas al soportar las cargas a las que van a estar sometidas en la vida real.

Se aplicó una carga de 100 Kg sobre la superficie superior, conforme al análisis realizado previamente, para evaluar así la resistencia de toda la estructura. En las siguientes figuras se muestran los análisis efectuados sobre la estructura:

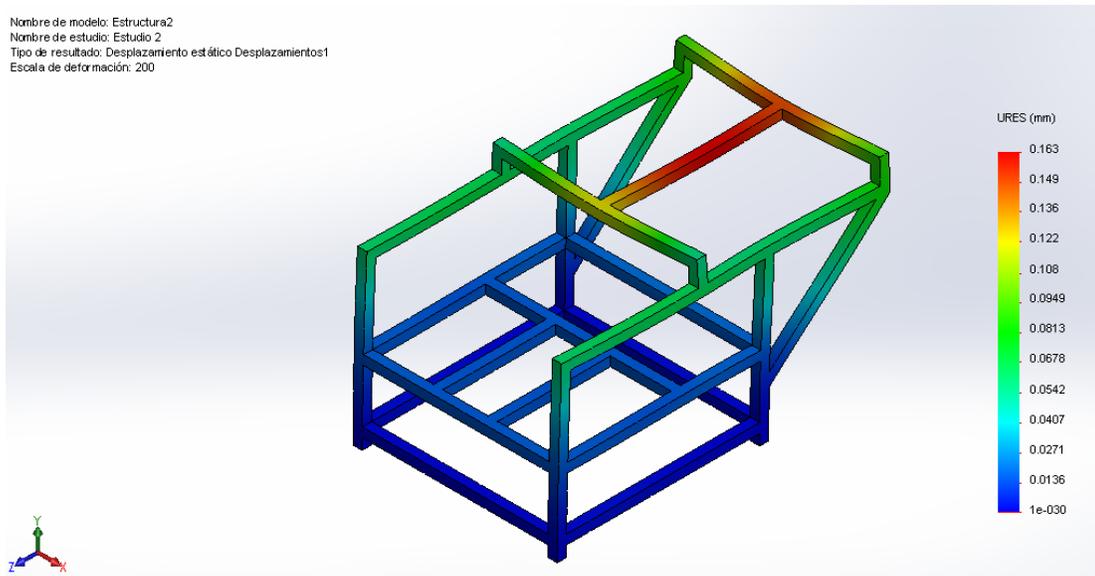


Figura 48. Desplazamiento resultante estático de la estructura. Adaptado de SolidWorks Professional. Fuente:

Autor (Esteban Brusil A.).

En la Figura 48 se observa que el desplazamiento máximo que podría ocurrir en la estructura de la máquina es de 0.16 mm. Este valor es casi nulo, por lo que se concluye que el diseño ha sido desarrollado correctamente, de manera segura y soporta las cargas sin presentar problemas.

A continuación se muestra el análisis del factor de seguridad:

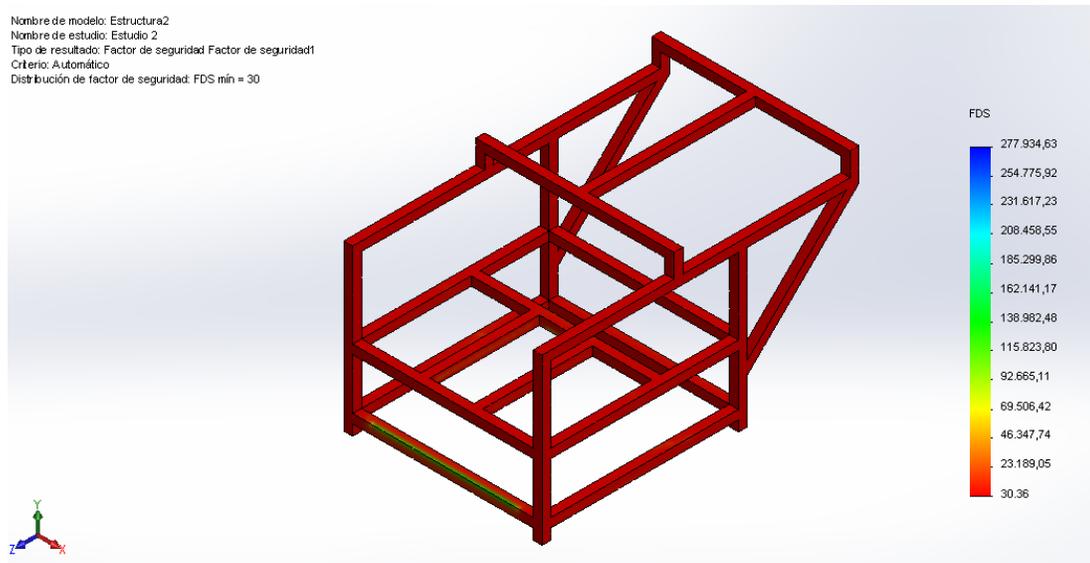


Figura 49. Distribución del factor de seguridad. Adaptado de SolidWorks Professional. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

En la Figura 49 se puede ver que el factor de seguridad del diseño de la estructura es de 30 lo que indica que las cargas serán resistidas y la máquina tendrá estabilidad.

3.2.4.2.4 Desplazamiento de módulo calefactor

Es necesario analizar además el desplazamiento del módulo de calentamiento, indispensable para el proceso. Como se ilustra en la Figura 50, se plantea emplear cuatro ejes adaptados a la estructura, con rodamientos en sus extremos para posibilitar su deslizamiento con la menor fricción posible.

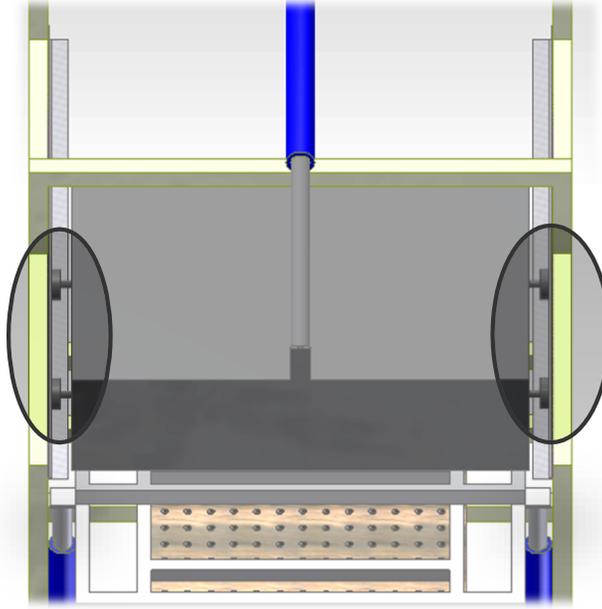


Figura 50. Ejes y rodamientos del panel de calor desde vista superior. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

3.2.4.2.4.1 Cálculo de ejes

La fuerza ejercida por el cilindro neumático genera un par torsional en cada uno de los ejes, como se muestra en la Figura 51. Con esta información se determinará el diámetro necesario D para el cual el eje resiste el esfuerzo cortante máximo, de acuerdo al material. El diámetro del eje será constante.

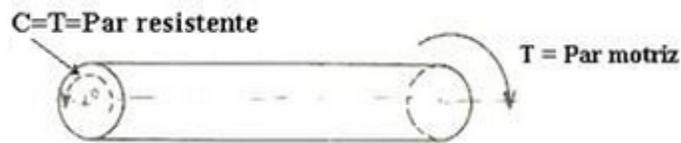


Figura 51. Eje del panel de calor. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

Se emplea la Ecuación 17 como punto de partida.

Ecuación 17. Ecuación para el esfuerzo cortante

$$\tau_{max} = \frac{T \cdot c}{J}$$

Fuente: Hibbeler, R. (2011). Mecánica de materiales (8va ed.).(p.526).

Donde:

τ_{max} = Esfuerzo cortante máximo

T = Par torsional aplicado

c = Radio total del eje

J = Momento polar de inercia de la sección transversal

El esfuerzo máximo o crítico se da en los puntos situados sobre la superficie del eje, por lo que se deduce:

$$c = \frac{D}{2}$$

Y el momento polar de inercia para una sección circular, según (Mott, 2006) es

$$J = \frac{\pi \cdot D^4}{32}$$

Reemplazando estas ecuaciones en la Ecuación 18, se tiene que:

$$\tau_{max} = \frac{T \cdot \frac{D}{2}}{\frac{\pi \cdot D^4}{32}}$$

Simplificando y despejando:

$$D = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi \cdot \tau_{max}}}$$

El cilindro que impulsará este módulo de calor ($\eta = 1$, $d = 32mm$, $P = 0.68MPa$) produce $500N$ de fuerza (véase el Anexo 5). Ahora, para obtener el par torsional que genera

en el eje, se multiplica esta fuerza por la distancia hasta el eje. Esta distancia es de 11cm , lo que produce un par torsional de $5500\text{N} \cdot \text{cm}$, que equivale a $486.79\text{ lb} \cdot \text{pulg}$.

El esfuerzo de ruptura para el acero de bajo carbono o acero al carbono, que se emplea frecuentemente en pernos, es de 74000 psi (La Casa del Perno, 2011); este dato se empleará como esfuerzo máximo. Se reemplaza ahora esta información para obtener el diámetro del eje:

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 486.79\text{ lb} \cdot \text{pulg}}{\pi \cdot 74000\text{ lb/pulg}^2}}$$

$$D = 0.32\text{ pulg}$$

Este es el diámetro mínimo que requiere el eje sometido al par torsional indicado. Se seleccionará una medida estándar de acuerdo al rodamiento, que se analiza a continuación.

3.2.4.2.4.2 Selección de rodamientos

Los rodamientos que ayudarán al módulo de calor a desplazarse, cumplen la función de evitar la fricción del módulo de calor en la estructura. La velocidad a la que se desplazarán será mínima y las cargas a las que estarán sometidos serán muy bajas, por lo que la selección del rodamiento no es algo trascendental.

Se ha escogido del Anexo 9, con esta premisa, un rodamiento rígido a bolas 6201, común en el mercado y que se adapta a las medidas de la máquina.

El rodamiento tendrá una carga radial igual al peso del módulo de calor. Igualmente, se calcula que el panel de calor se desplazará a 400cm por segundo aproximadamente, según el Anexo 11. Para obtener las rpm a las que funcionará el rodamiento, se calcula la longitud de la circunferencia:

$$C = 2\pi r = 2 \cdot \pi \cdot 16\text{mm} = 100.53\text{mm}$$

Entonces, como tardará 4 circunferencias en recorrer los 400mm, se tiene que girará a 4 revoluciones por segundo, lo que es igual a 240 rpm. Como se vio en la sección 3.2.4.1, el peso del módulo de calor es de 5kg. Para encontrar la duración nominal expresada en millones de revoluciones, se usa la fórmula:

Ecuación 18. Duración nominal de rodamientos

$$L = \left(\frac{C}{F}\right)^P$$

Fuente: UCLM (2005). Rodamientos (p.120). Recuperado de <https://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema10.pdf>

Donde:

L = Duración nominal expresada en millones de revoluciones

C = Capacidad de carga base del rodamiento

F = Carga equivalente sobre el rodamiento

C/F = Seguridad de la carga

$P = 3$ en rodamientos de bolas, $1/3$ en rodamiento de rodillos

Debido a que no se está ejerciendo cargas axiales sobre el rodamiento, la carga equivalente será:

$$F = F_R = 5kgf$$

Según el Anexo 9, la capacidad básica de carga dinámica C es de 1180 lb, lo que es igual a 535 kg, aproximadamente. La seguridad de la carga será de

$$\frac{C}{F} = \frac{535}{5} = 107$$

Utilizando la Ecuación 18, se obtiene:

$$L = \left(\frac{535}{5}\right)^3 = 1225043 \text{ millones de revoluciones}$$

Por simple regla de 3, se tiene:

$$\begin{array}{ll} 240 \text{ revoluciones} & 1 \text{ minuto} \\ 1225043 \text{ mill. de rev} & x \end{array}$$

El resultado da 3.5×10^6 horas de trabajo continuo. Esto garantiza que la vida útil del rodamiento está garantizada.

Una vez seleccionado este rodamiento, se evalúa sus dimensiones. Como el claro interior es de 12mm, el eje seleccionado tendrá este diámetro.

3.2.5 Sistema de control

El control automático de la máquina es la parte de más interés, puesto que ésta es la etapa que se está innovando principalmente en el proceso de elaboración de moldes. Se recibirá señales de entrada provenientes de distintos elementos, se las interpretará y se enviará señales de control hacia los componentes que permitirán cumplir con el objetivo planteado. Esto se muestra en la Figura 52, mediante un diagrama de entradas y salidas del sistema de control.

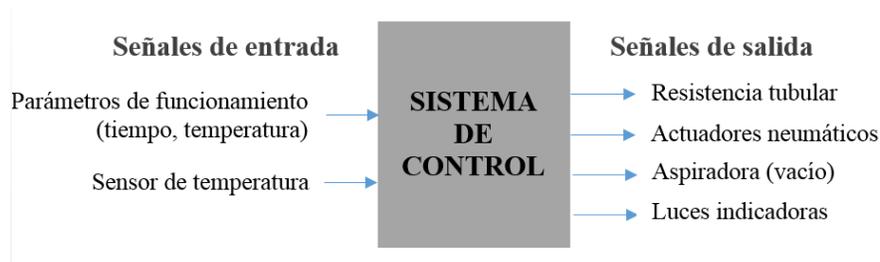


Figura 52. Diagrama de entradas y salidas del sistema de control. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

Para determinar el componente electrónico de control que gobierne adecuadamente sobre los elementos automáticos, nuevamente se utiliza el análisis llamado método ordinal corregido de criterios ponderados (Véase la Sección 2.1.1).

3.2.5.1 Unidad programable de control

Una unidad programable de control es un dispositivo electrónico que permite controlar un proceso industrial configurando sus entradas y salidas analógicas y digitales mediante la programación. A continuación se selecciona la unidad programable más adecuada para la presente aplicación:

- Solución A: Microcontrolador. Es un dispositivo electrónico que contiene una CPU, Memoria, Reloj, Puertos de Comunicación y Módulos Periféricos de Entrada y Salida, que cumplen una función específica y permiten controlar los procesos del sistema. (Véase Figura 53)

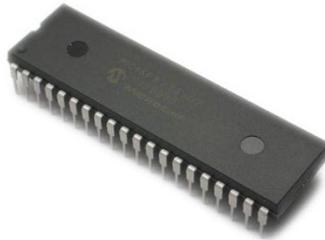


Figura 53. Microcontrolador. Adaptado de El electrón libre (2012). El Microcontrolador. Recuperado de:

<https://elelectronlibre.files.wordpress.com/2011/03/pic16f877a1.png>

- Solución B: PLC (controlador lógico programable). Es un dispositivo electrónico utilizado para automatizar procesos industriales. Está diseñado para controlar varias señales de entrada y de salida, amplios rangos de temperatura y no presenta problemas ante el ruido eléctrico (Véase Figura 54).



Figura 54. PLC. Adaptado de Ahorro de energía (2012). Control de iluminación doméstica con PLC.

Recuperado de: <http://www.ahorroenenergia.com/wp-content/uploads/Control-de-la-iluminaci%C3%B3n-dom%C3%A9stica-con-PLC.jpg>

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes, fueron:

- a) Eficiencia: Se debe aprovechar al máximo la capacidad de funcionamiento de la unidad programable en su aplicación.
- b) Dimensiones: El espacio físico que ocupa la unidad electrónica.
- c) Consumo: La cantidad de energía eléctrica que necesita la unidad electrónica para su funcionamiento.
- d) Costo: El valor total de la máquina debe ser asequible, por lo que sus componentes no deben tener valores demasiado elevados.

Una vez que se han analizado y seleccionado los criterios de valoración, se procede a realizar las siguientes evaluaciones:

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

Tabla 21

Evaluación del peso específico de cada criterio para unidad programable de control.

Criterio	Eficiencia	Dimensiones	Consumo	Costo	$\Sigma + 1$	Ponderación
Eficiencia		1	1	1	4	0,4
Dimensiones	0		0,5	0,5	2	0,2
Consumo	0	0,5		0	1,5	0,15
Costo	0	0,5	1		2,5	0,25
Suma					10	1

Nota: Se confrontan los criterios entre sí para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:

2. Evaluación del peso específico del criterio eficiencia

Tabla 22

Evaluación del peso específico del criterio eficiencia para unidad programable de control.

Eficiencia	Microcontrolador	PLC	$\Sigma + 1$	Ponderación
Microcontrolador		1	2	0,667
PLC	0		1	0,333
Suma			3	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para la unidad programable de control bajo el criterio de eficiencia para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

3. Evaluación del peso específico del criterio dimensiones

Tabla 23

Evaluación del peso específico del criterio dimensiones para unidad programable de control.

Dimensiones	Microcontrolador	PLC	$\sum + 1$	Ponderación
Microcontrolador		1	2	0,667
PLC	0		1	0,333
Suma			3	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para la unidad programable de control bajo el criterio de dimensiones para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

4. Evaluación del peso específico del criterio consumo

Tabla 24

Evaluación del peso específico del criterio consumo para unidad programable de control.

Consumo	Microcontrolador	PLC	$\sum + 1$	Ponderación
Microcontrolador		1	2	0,667
PLC	0		1	0,333
Suma			3	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para la unidad programable de control bajo el criterio de consumo para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

5. Evaluación del peso específico del criterio costo.

Tabla 25

Evaluación del peso específico del criterio costo para unidad programable de control.

Costo	Microcontrolador	PLC	$\sum + 1$	Ponderación
Microcontrolador		1	2	0,667
PLC	0		1	0,333
Suma			3	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para la unidad programable de control bajo el criterio de costo para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

A continuación se procede a realizar la tabla de conclusiones:

6. Tabla de conclusiones

Tabla 26

Conclusiones de selección de alternativa para etapa de calentamiento.

Conclusión	Eficiencia	Dimensiones	Consumo	Costo	Suma	Prioridad
Solución A	0,268	0,134	0,100	0,167	0,669	1
Solución B	0,132	0,066	0,049	0,083	0,33	2

Nota: Se reúnen los análisis de los criterios para establecer las prioridades. Solución A = microcontrolador;

Solución B = PLC. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

De acuerdo a los datos obtenidos, la solución A es la que mejor se adapta a los parámetros establecidos. Por lo tanto, la alternativa de diseño 1 (microcontrolador) es la seleccionada.

3.2.5.1.1 Microcontrolador

Para la selección del microcontrolador idóneo que satisfaga las necesidades que requiere la máquina, se analizará dos de los microcontroladores más comercializados en el mercado por sus buenas prestaciones:

- Solución A: Microcontrolador AVR. Pertenece a la familia de microcontroladores de 8 bits fabricados por la compañía ATMEL, cuentan con una CPU RISC y su memoria de programa viene implementada en Flash.
- Solución B: Microcontrolador PIC. Pertenece a la familia de microcontroladores de 8 bits fabricados por la empresa MICROCHIP, cuentan con un CPU RISC y memoria Flash para el almacenamiento del programa a ejecutar.

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes, fueron:

- a) Programación: Consiste en las instrucciones que el microcontrolador debe cumplir de acuerdo a la aplicación. Este criterio incluye el software y los dispositivos para programar.
- b) Voltaje: Es la cantidad de energía que requiere el microcontrolador para su correcto funcionamiento
- c) Estabilidad: El microcontrolador no debe colgarse, para garantizar la estabilidad del proceso.
- d) Costo: El valor total de la máquina debe ser asequible, por lo que sus componentes no deben tener valores demasiado elevados.

Una vez que se han analizado y seleccionado los criterios de valoración, se procede a realizar las siguientes evaluaciones:

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

Tabla 27

Evaluación del peso específico de cada criterio para microcontrolador.

Criterio	Program.	Voltaje	Estabilidad	Costo	$\Sigma + 1$	Ponderación
Programación		0,5	0	0,5	2	0,2
Voltaje	0,5		0	0	1,5	0,15
Estabilidad	1	1		1	4	0,4
Costo	0,5	1	0		2,5	0,25
Suma					10	1

Nota: Se confrontan los criterios entre sí para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:

2. Evaluación del peso específico del criterio programación

Tabla 28

Evaluación del peso específico del criterio programación para microcontrolador.

Programación	AVR	PIC	$\Sigma + 1$	Ponderación
AVR		1	2	0,667
PIC	0		1	0,333
Suma			3	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para microprocesador bajo el criterio de programación para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

3. Evaluación del peso específico del criterio voltaje

Tabla 29

Evaluación del peso específico del criterio voltaje para microcontrolador

Voltaje	AVR	PIC	$\Sigma + 1$	Ponderación
AVR		0,5	1,5	0,5
PIC	0,5		1,5	0,5
Suma			3	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para microcontrolador bajo el criterio de voltaje para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

4. Evaluación del peso específico del criterio estabilidad

Tabla 30

Evaluación del peso específico del criterio estabilidad para microcontrolador

Estabilidad	AVR	PIC	$\Sigma + 1$	Ponderación
AVR		1	2	0,667
PIC	0		1	0,333
Suma			3	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para microcontrolador bajo el criterio de estabilidad para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

5. Evaluación del peso específico del criterio costo.

Tabla 31

Evaluación del peso específico del criterio costo para microcontrolador

Costo	AVR	PIC	$\Sigma + 1$	Ponderación
AVR		0,5	1,5	0,5
PIC	0,5		1,5	0,5
		Suma	3	1

Nota: Se confrontan entre sí las opciones para microcontrolador bajo el criterio de costo para establecer la ponderación de cada uno. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

A continuación se procede a realizar la tabla de conclusiones:

6. Tabla de conclusiones

Tabla 32

Conclusiones de selección de alternativa para etapa de calentamiento.

Conclusión	Eficiencia	Dimensiones	Consumo	Costo	Suma	Prioridad
Solución A	0,133	0,075	0,267	0,125	0,6	1
Solución B	0,067	0,075	0,133	0,125	0,4	2

Nota: Se reúnen los análisis de los criterios para establecer las prioridades. Solución A = microcontrolador AVR; Solución B = microcontrolador PIC. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

De acuerdo a los datos obtenidos, la solución A es la que mejor se adapta a los parámetros establecidos. Por lo tanto, la alternativa de diseño 1 (microcontrolador AVR) es la seleccionada. Dentro de la familia de microcontroladores Atmel, son comercializados en nuestro mercado electrónico local los ATmega. De éstos se selecciona el ATmega 324, por su número de pines para cumplir con nuestro control.

3.2.5.2 Sensor de temperatura

Según (Arian S.A, 2001), las termocuplas tipo J y K junto con los RTD Pt100 son los sensores de temperatura de uso industrial más comunes, baratos y fáciles de reemplazar existentes. Una termocupla consiste en dos alambres de distinto material unidos en un extremo. Al aplicar cierta temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, el cual aumenta proporcionalmente con la temperatura.

Es frecuente el uso de termocuplas tipo J en:

- Mediciones de 0 a 700 °C
- Industria del plástico y goma (extrusión e inyección)
- Medición en tambores rotatorios con termocupla de contacto.
- Temperatura de motores con termocupla autoadhesiva.
- Procesos en general donde el sensor está sometido a vibración.

Por tanto, se selecciona a la termocupla tipo J para sensar la temperatura del presente proceso (Figura 55).



Figura 55. Termocupla tipo J. Adaptado de Promelsa (2006). Termocuplas. Recuperado de:

http://www.promelsa.com.pe/fotos/Fotos_Catalogo/14110004.jpg

Para acondicionar la señal de la termocupla y para controlar al calefactor se optó por un controlador de temperatura inteligente (Figura 56), que permite ingresar los parámetros de temperatura y, mediante salidas por relés, controla a la resistencia tubular (calefactor).

El sistema de control de temperatura que se efectuará será mediante un lazo ON/OFF. Cuando la temperatura del calefactor está por encima del setpoint, se suspende la energía al calefactor. Cuando está por debajo de este parámetro se enciende el calefactor, todo esto para lograr una estabilidad en el sistema y evitar un consumo excesivo de la energía eléctrica.

La hoja de datos del controlador se adjunta en el Anexo 12.



Figura 56. Controlador de temperatura. Adaptado de Mercado Libre (2015). Control Industrial De Temperatura. Recuperado de: http://mco-s2-p.mlstatic.com/control-industrial-pid-de-temperatura-con-termocupla-k-943501-MCO20330001734_062015-O.jpg

3.2.5.3 Programación del microcontrolador

Antes de comenzar con la programación del microcontrolador ATmega 324, se realiza un análisis de las funciones paso a paso que la máquina debe cumplir. Se realizará un flujograma (Figura 57) y un diagrama de bloques (Figura 60) como guía para realizar el programa de control.

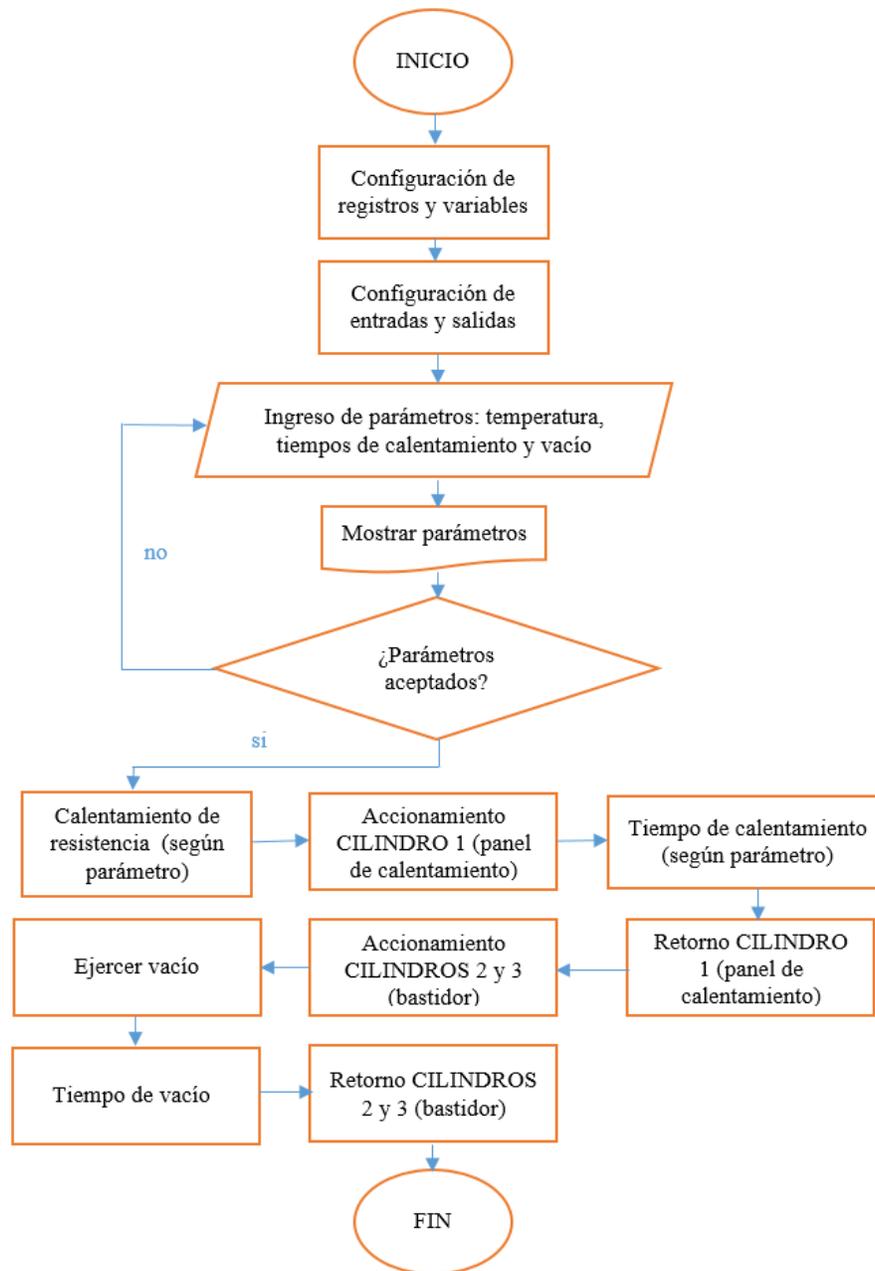


Figura 57. Flujograma del proceso de programación. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

El flujograma de la Figura 57 ilustra el proceso a llevar a cabo en la programación del microcontrolador. El proceso comienza con la configuración de las variables y de los registros, y seguidamente de las entradas y salidas. Efectuar correctamente este paso es indispensable para el correcto funcionamiento del programa. Después de esto, se necesita de

dos parámetros para las etapas posteriores: la temperatura a la que se calentará el plástico, y el tiempo que estará calentándose. Cuando se confirmen estos valores, empezará el proceso: se accionará el cilindro superior que desplazará al calefactor sobre la hoja de plástico y se mantendrá ahí de acuerdo al tiempo y temperatura ingresados anteriormente. Luego de transcurrido el tiempo, el cilindro superior regresará e inmediatamente se accionarán los cilindros laterales, que desplazarán a la hoja de plástico caliente hacia la etapa de succión. Se activará el vacío para que la lámina tome la forma deseada, y finalmente los cilindros laterales regresaran a su posición inicial.

En la Figura 58 se muestra un diagrama de bloques con todos los elementos que el proceso necesita.



Figura 58. Diagrama de bloques. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

3.2.5.3.1 Desarrollo de la programación

Se utilizó el software CodeVisionAVR para desarrollar la programación. En el Anexo 14 se puede observar el código fuente.

3.2.5.3.2 Simulación y diagrama esquemático electrónico

Para esto se empleó el software Proteus Professional. En la Figura 59 se puede observar el diagrama esquemático. Cabe notar que se acondicionará las señales para adaptarlas a los

rangos de entrada de los dispositivos (12V y 110V). El botón que está conectado al pin PD0 representa al botón de *enter* del sistema. El botón PD5 representa a la alarma del controlador de temperatura. El botón PA0 representa al paro de emergencia del sistema. El botón PA2 representa al final de carrera del sistema de protección. El potenciómetro PA1 es el que permite ingresar el tiempo de calentamiento, el switch SW2 selecciona el modo de funcionamiento: automático o manual. El indicador D1 simula a la salida que activa la generación de vacío. El indicador D2, en cambio, simula la salida que activa a la resistencia tubular calefactora. D3 y D4 representan a las válvulas que permiten el movimiento de los cilindros superior (calor) e inferiores (bastidor), respectivamente. D5 y D6 representan a las luces piloto que muestran el modo de funcionamiento: automático y manual. Finalmente, D7 es la luz de emergencia. Para ver el funcionamiento del sistema paso a paso revisar el manual de funcionamiento (Anexo 15).

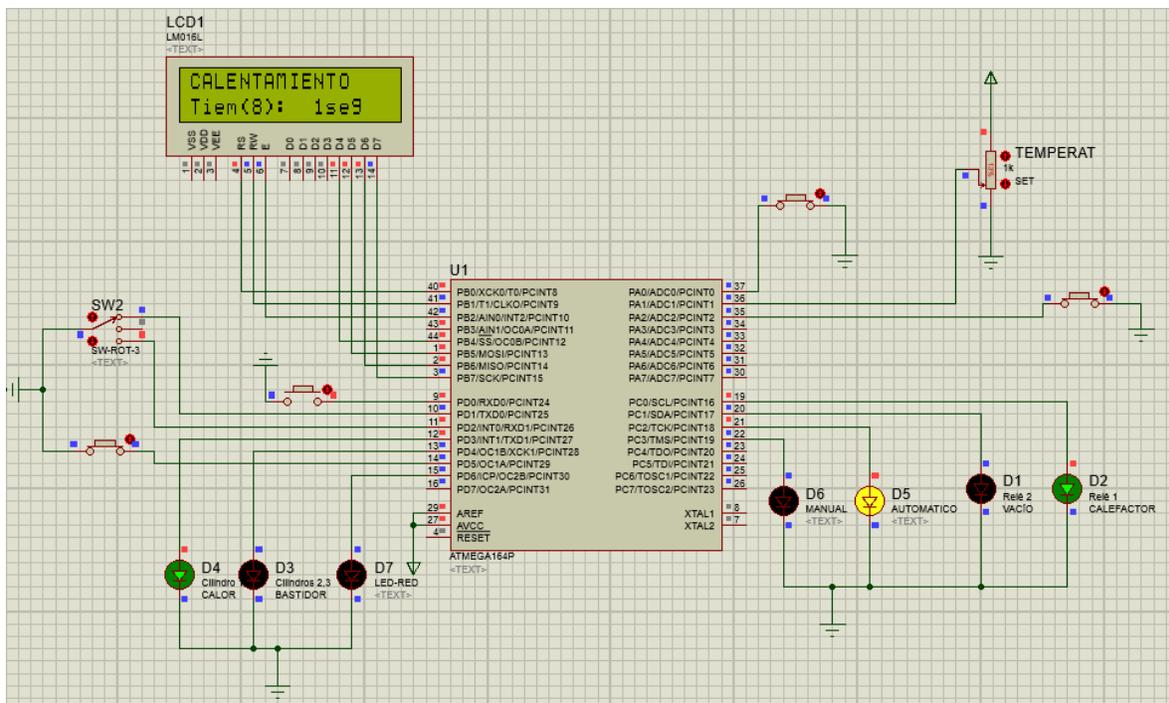


Figura 59. Diagrama esquemático electrónico. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

3.2.5.4 Sistema eléctrico

Los siguientes elementos formarán parte del sistema eléctrico:

- Luces piloto
- Pulsadores
- Cables AWG 12, AWG 14 y AWG 16
- Protector magnetotérmico y protector diferencial
- Relés a 110V (10A)
- Contactores a 110V (18A)
- Gabinete metálico

Estos elementos estarán en interacción con el microcontrolador, logrando así cumplir con la función de cada uno.

La selección de los cables se realizó en función de la corriente que manejarán, de acuerdo al requerimiento de los elementos de la máquina. Se procedió a medir la corriente que consumen las principales etapas, obteniendo la siguiente información:

- Resistencia tubular: 13 A
- Aspiradora: 6 A

Por lo tanto, de acuerdo a la Figura 60, se seleccionan los calibres de los cables. Para la resistencia, se selecciona cable AWG calibre #12, para la aspiradora cable AWG calibre #14 y para el resto de conexiones con un tránsito de corriente inferior, cable AWG #16.

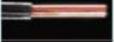
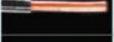
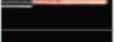
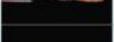
Tabla de tamaño de cables ▶	
Calibre del cable	Capacidad y uso
	#6 60 amps, 240 voltios; aire acondicionado, horno eléctrico.
	#8 40 amps, 240 voltios; estufa eléctrica, aire acondicionado.
	#10 30 amps, 240 voltios; secadora, aire acondicionado de ventana.
	#12 20 amps, 120 voltios; tomas de luz, tomacorrientes, microondas.
	#14 15 amps, 120 voltios; tomas de luz, tomacorrientes.
	#16 Cables de extensión de alta y baja capacidad.
	#18 Termostatos, timbres de puerta, o 22 sistemas de seguridad.

Figura 60. Calibres AWG. Adaptado de Black & Decker. (2011). La guía completa sobre instalaciones eléctricas (1ra ed.). (p.26).

La selección de los protectores magnetotérmicos también se realizó en base a la corriente que consume cada etapa. Para la aspiradora, se ubicó una protección a 10 A, mientras que para el calefactor, una protección a 16 A.

Para el control de la resistencia tubular se ocuparon dos contactores conectados en serie. El primero está gobernado por el controlador de temperatura, mientras que el segundo está controlado por el microcontrolador, mediante la placa de acondicionamiento. Solamente cuando ambos estén energizados, funcionará la resistencia tubular. La aspiradora es controlada por el relé de 10A, controlado únicamente por el microcontrolador.

CAPÍTULO IV. CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

4.1 Elementos de la máquina

La construcción de la máquina de termoformado se realizó en un taller de estructuras metálicas tomando en cuenta los servicios que ofrece, su maquinaria y herramientas, permitiendo así que la construcción se realice de forma correcta y confiable.

Los elementos normalizados que se emplearon en el presente proyecto fueron adquiridos en el mercado local, tratando siempre de abaratar costos.

A continuación se enumeran los equipos y las herramientas utilizadas en la construcción de la máquina.

4.1.1 Maquinaria y herramientas

Seguidamente se enumera la maquinaria empleada en la realización del proyecto junto con las herramientas utilizadas.

4.1.1.1 Maquinaria

- Soldadora eléctrica
- Dobladora
- Cizalla
- Amoladora
- Taladro

4.1.1.2 Herramientas

- Pinzas de presión
- Juego de llaves de apriete
- Juego de brocas
- Discos de corte
- Discos de desbaste
- Discos de pulido
- Martillo
- Escuadra
- Sierra
- Nivel
- Punto fijo
- Fluxómetro
- Rayador
- Serrucho
- Regla
- Silicona aislante

4.1.2 Equipo de seguridad

Se utilizó equipo de seguridad como protección en las diferentes actividades para prevenir cualquier tipo de accidente. Se enlista a continuación los implementos usados.

- Guantes de cuero
- Guantes aislantes

- Gafas protectoras
- Máscara para soldar
- Mandil de trabajo

4.1.3 Proceso de elaboración de los elementos de la máquina

Ahora se indica el proceso seguido para construir cada elemento de la máquina.

4.1.3.1 Estructura de la máquina

- a) Se realizan los cortes en el tubo estructural cuadrado en base a las dimensiones de los planos.
- b) Se juntan las partes del tubo cortadas a la medida y se ensambla la estructura utilizando la soldadora eléctrica.
- c) Se realiza el pulido y pintado de la estructura para dejarla terminada.

Se puede ver la estructura terminada en la Figura 61.



Figura 61. Estructura terminada. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

4.1.3.2 Cámara de vacío

- a) Se realizan los cortes en tabla triplex de 15 mm de espesor, de acuerdo a las medidas especificadas.
- b) Se realizan los cortes en lámina de acero inoxidable de 1 mm de espesor, de acuerdo a las medidas especificadas.
- c) Se realizan los orificios en la plancha de acero inoxidable, de acuerdo a las medidas especificadas.
- d) Se adhiere y asegura la toma por donde se succionará el aire en la base de la cámara, con silicona aislante.
- e) Se juntan todas las partes con tornillo y clavos, sellando las uniones con silicona aislante para evitar fugas de aire.
- f) Se comprueba que este sellado herméticamente ingresando aire en la cámara y asegurándose que no salga por donde no debe.

Se puede ver la estructura terminada en la Figura 62.

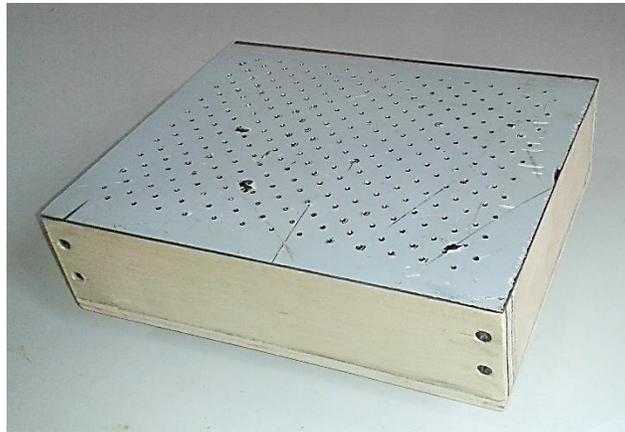


Figura 62. Cámara de vacío terminada. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

4.1.3.3 Bastidor

Se siguió el mismo proceso desarrollado para la estructura. Posteriormente, se colocaron los seguros “Sash Lock” y se pegaron alzas para apretar de manera correcta la lámina de PVC. Puede verse el bastidor terminado en la Figura 63.

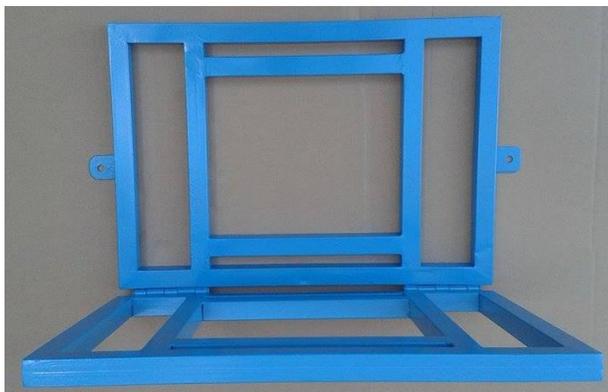


Figura 63. Bastidor terminado. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

4.1.3.4 Módulo de calor

Se siguió el mismo proceso desarrollado para la estructura. Luego, se elaboró una tapa, con la finalidad de sujetar aislante térmico (lana de vidrio) al módulo. Puede verse el módulo de calor terminado en la Figura 64.



Figura 64. Módulo de calor terminado. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

4.1.4 Elementos adquiridos

Los elementos que se adquirieron después del análisis realizado en los capítulos posteriores se enumeran seguidamente.

4.1.4.1 Sistema neumático

Tras realizar el respectivo estudio (Véase Sección 3.2.4.1), se procedió a adquirir un compresor marca Porten (Figura 65), con las siguientes características.

Potencia: 1.492 KW (2 HP)

Velocidad: 3400 RPM

Desplazamiento: 110 L/ min (3.9 CFM)

Tanque: 24 litros (63 gal)

Presión: 115 PSI (8 bar)

Voltaje/Frec: 110V/60Hz



Figura 65. Compresor Porten. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

Igualmente, se obtuvieron los cilindros neumáticos enlistados a continuación.

2 cilindros de doble efecto RAL 20x150-S EMC, de 20mm de diámetro y de 150mm de carrera (Figura 66). Puede verse más información en el Anexo 10.



Figura 66. Cilindros RAL 20x150-S EMC. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

1 cilindro de doble efecto FVBC 32x400-S EMC, de 32mm de diámetro y de 400mm de carrera (Figura 67). Puede verse más información en el Anexo 11.



Figura 67. Cilindro FVBC 32x400-S EMC. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

Juntamente con estos elementos, se compró dos válvulas 5/2 con solenoide a 12V y retorno por muelle EMC para el control de movimiento de los cilindros (Figura 68).



Figura 68. Válvulas 5/2 EMC. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

4.1.4.2 Calefactor

Para la etapa de calefacción se adquirió una resistencia tubular (Figura 69), como se analizó en los capítulos anteriores (Sección 3.2.2.1), que irá acoplada en el módulo de calefacción.



Figura 69. Resistencia tubular. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

4.1.4.3 Succión.

Para la etapa de succión (Véase Sección 3.2.3.2) se adquirió una aspiradora marca Shop-Vac (Véase Figura 70) de 22.7 litros y 3 HP.



Figura 70. Aspiradora Shop-Vac. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

4.1.5 Sistema electrónico

Tras realizar la selección, programación y simulación del microcontrolador (Véase Sección 3.2.5), se procedió a realizar el montaje físico del sistema electrónico. El diseño final se desarrolló en el software Eagle 5.11.0 y se muestra a continuación en la Figura 71.

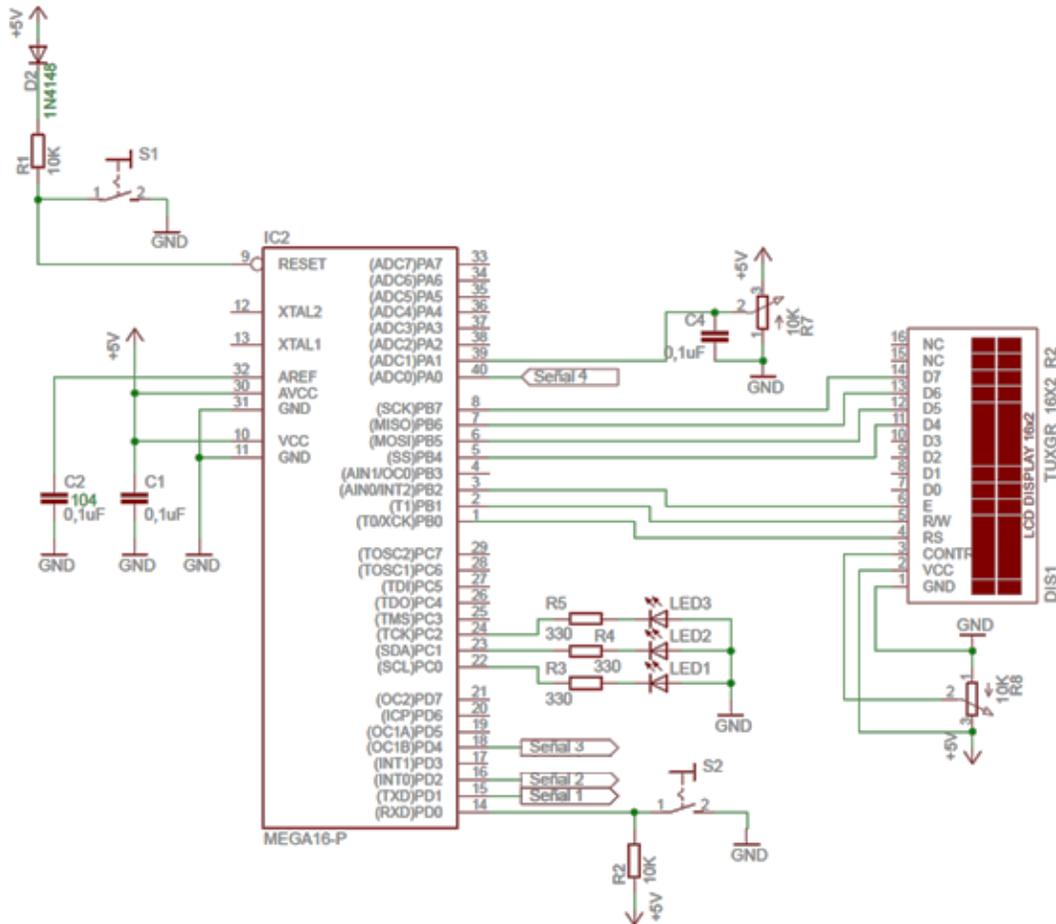


Figura 72. Diagrama de conexiones del sistema electrónico. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

En esta última figura los potenciómetros permitirán indicar el tiempo de calentamiento. En la LCD se indicarán estos parámetros y la información actual sobre el funcionamiento. Los LED permitirán visualizar la etapa en la que se encuentra el proceso. La función de las señales de salida, de la 1 a la 4, se explica a continuación.

La Señal 1 irá hacia la válvula que controla al cilindro 1 (Módulo de calor), después de ser acondicionada al voltaje de operación del solenoide que gobierna a la válvula, como se puede ver en la Figura 72.

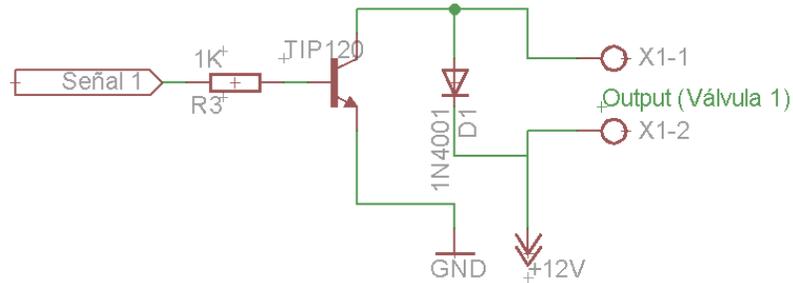


Figura 72. Acondicionamiento de la Señal 1 (Válvula 1). Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

De igual manera la Señal 2, después de su acondicionamiento, irá hacia la válvula que controla los cilindros 2 y 3 del bastidor, como se muestra en la Figura 73.

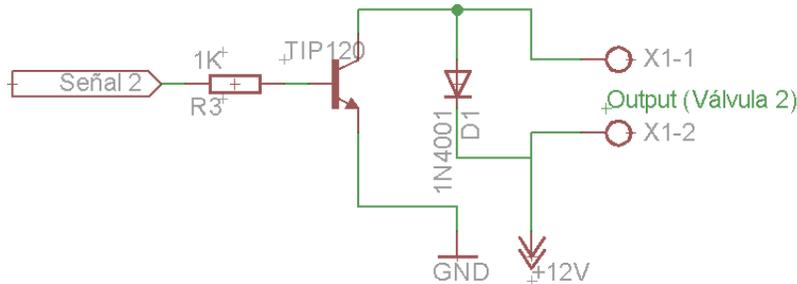


Figura 73. Acondicionamiento de la Señal 2 (Válvula 2). Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

De igual manera la Señal 3 será acondicionada para el funcionamiento de la aspiradora (110V), como se muestra en la Figura 74. La aspiradora, como se indicó anteriormente, será controlada por un relé. La salida, por tanto, no va conectada directamente a la aspiradora, sino que activará la bobina del relé, que permitirá el paso de corriente hacia la aspiradora.

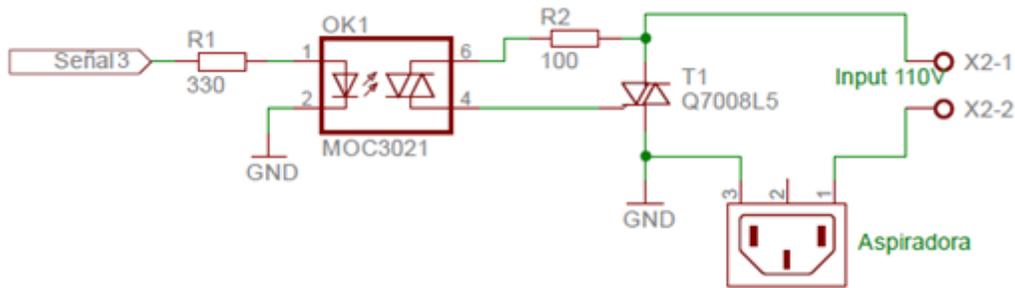


Figura 74. Acondicionamiento de la Señal 4 (Salida a 110V). Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

Un circuito idéntico a este controlará a la resistencia tubular, por intermedio de un contactor en vez del relé, por ser más robusto. Los indicadores (luces piloto) que funcionan a 110V en cambio se conectan directamente a la salida, sin intermedio de ninguna bobina.

Asimismo es necesario que el voltaje de entrada sea estable. Por esto se implementó una fuente de voltaje, esquematizada en la Figura 75. Cabe aclarar que se emplearon disipadores de calor en los reguladores de voltaje.

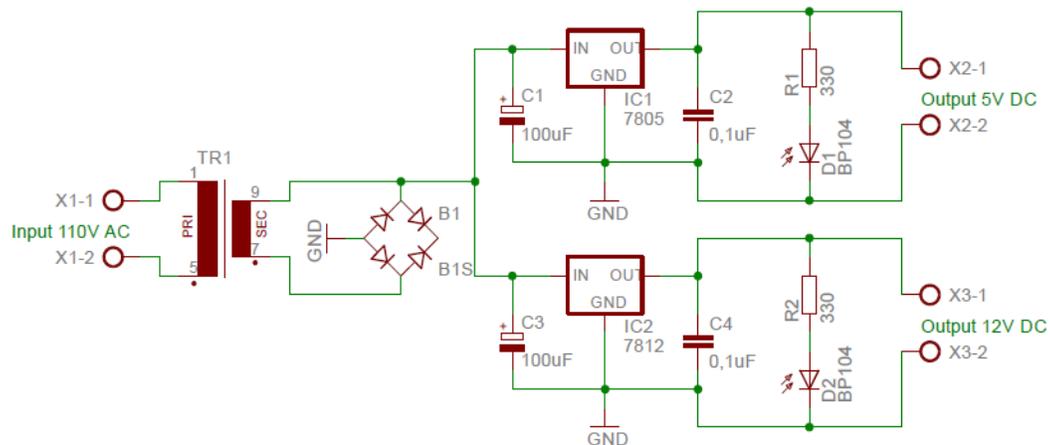


Figura 75. Fuente de voltaje para el sistema electrónico. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

Al sistema de control se lo dividió en dos etapas: de control y de acondicionamiento. La parte de control se centrará en las entradas y salidas del microcontrolador, mientras que la de acondicionamiento tendrá como objetivo adaptar las salidas del microcontrolador (5V) a los requerimientos de los elementos (12V, 110V). El diagrama de bloques de la Figura 76 muestra los elementos del sistema electrónico y las relaciones existentes entre ellos, como se ha explicado en esta sección. El diseño de las baquelitas se muestra en el Anexo 16.

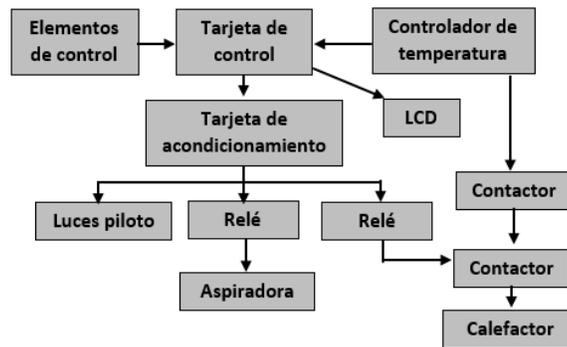


Figura 76. Diagrama de bloques con las etapas del sistema electrónico. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

4.2 Montaje físico de los elementos de la máquina

El montaje y ensamblaje de los diferentes sistemas y elementos de la máquina se efectuaron de la siguiente manera.

4.2.1 Estructura de la máquina

- a) Se montan y aseguran los cilindros neumáticos en la estructura
- b) Se monta y asegura la cámara de vacío en la estructura.
- c) Se sujetan los pernos junto con los rodamientos al módulo de calor.
- d) Se monta y asegura la resistencia tubular al módulo de calor.

- e) Se sujeta el bastidor a los cilindros neumáticos verticales.
- f) Se monta el módulo de calor en la estructura y se sujeta al cilindro neumático horizontal.

4.2.2 Sistema neumático

- a) Se montan las válvulas a la estructura.
- b) Se acoplan las mangueras y tuberías del compresor a las válvulas y de las válvulas a los cilindros.
- c) Se calibra el compresor a 0.68 Mpa.

4.2.3 Sistema electrónico

- a) Se monta la fuente de voltaje.
- b) Se monta el circuito de control.
- c) Se monta el sensor de temperatura.
- d) Se montan los pulsadores a la caja de control.
- e) Se monta la LCD a la caja de control.
- f) Se realizan las conexiones Fuente – Sistema de control, Sistema de control – Válvulas, Sistema de control – Relé – Aspiradora, Sistema de control – Contactor – Resistencia tubular, Controlador de temperatura – Contactor – Resistencia tubular.

4.3 Pruebas y ajustes

Una vez montados todos los sistemas en la estructura y realizado el cableado y todas las conexiones pertinentes, se procede a realizar las pruebas de funcionamiento.

Se recomienda que la máquina debe funcionar en un espacio donde no existan corrientes de aire, ya que estas no permiten que la transferencia de calor sea óptima.

El tiempo de calentamiento, como se pudo ver en la Sección 3.2.2, puede variar por diversos factores. Se precisó que el tiempo de calentamiento debe aumentarse en 10 segundos para que los resultados sean óptimos, así se llegará a la temperatura óptima sin riesgo de sobrepasarla.

El medidor de temperatura debe mostrar la medición de la temperatura durante el proceso, por lo cual se lo colocó en el módulo de calor.

4.4 Análisis de resultados

Después de implementar la máquina y hacerla funcionar se obtuvieron datos que, comparándolos con el proceso anterior de termoformado, muestran los beneficios que brinda a la empresa “Golosinas y Algo Más”.

4.4.1 Tiempo del proceso

Tomando en cuenta que para la elaboración de un molde nuevo se debe elaborar nuevas matrices con la forma requerida –aspecto que por sí solo toma más de la mitad del tiempo–, el tiempo del proceso de termoformado se ha reducido ampliamente.

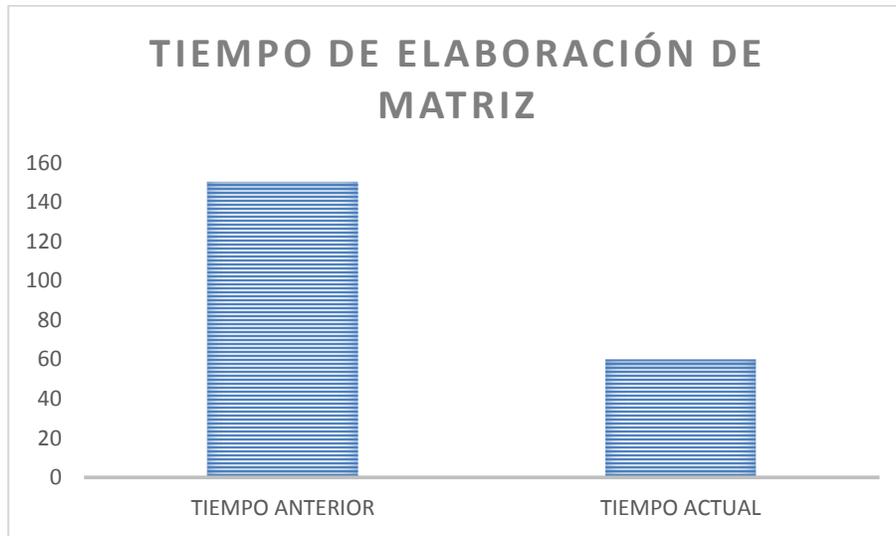


Figura 77. Tiempo de elaboración de matriz para moldes (en minutos). Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

Como se muestra en la Figura 77, el tiempo que conllevaba elaborar una matriz macho y hembra, que encajen perfectamente para hacer un molde a presión, es más del doble del que se tarda en elaborar ahora una sola matriz que permita hacer un molde de iguales características al anterior. Las figuras de chocolate ahora son más elaboradas, ya que el formado por vacío ofrece una complejidad superior.

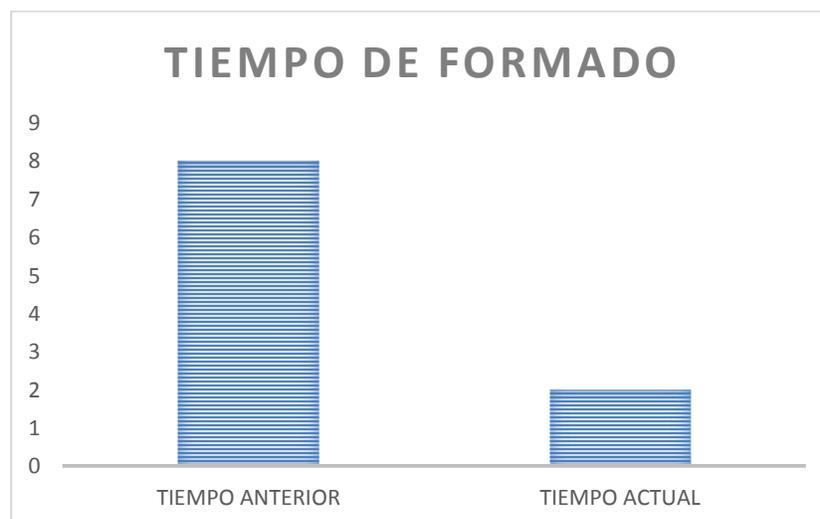


Figura 78. Tiempo de formado para elaboración de moldes (en minutos). Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

La Figura 78 muestra que el tiempo del proceso de formado en sí también ha rebajado. El proceso es mucho más sencillo, lo que permite que la eficiencia respecto al tiempo sea sustancial.

4.4.2 Calidad del producto final

El proceso anterior, al ser completamente manual, acarrea un alto riesgo de daño. Se estima que 1 de cada 5 moldes salían defectuosos. Con la automatización de este proceso, se puede asegurar que 98 de cada 100 moldes estarán en condiciones adecuadas para su uso en la elaboración de figuras de chocolate. Estos datos se ilustran en la Figura 79.

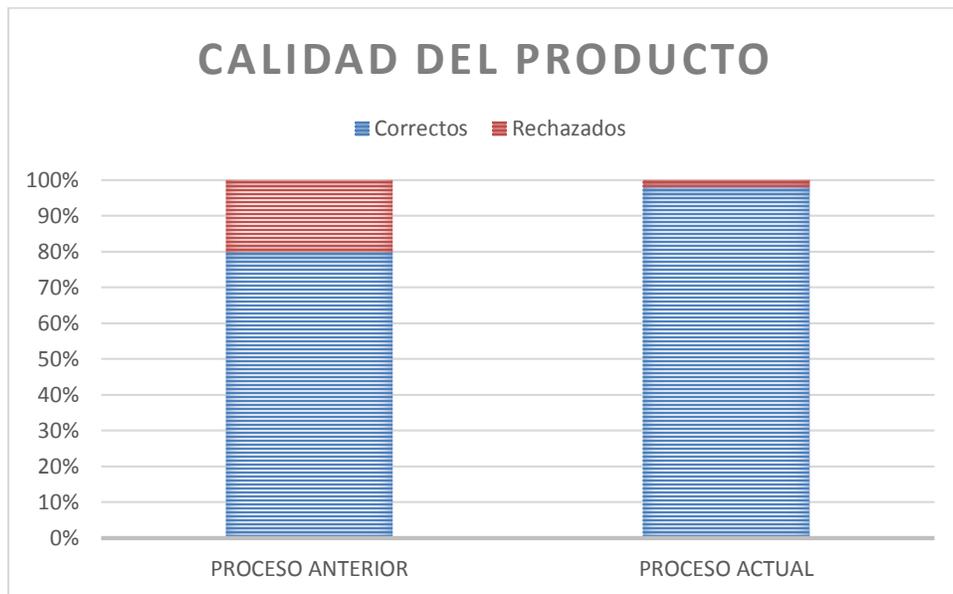


Figura 79. Calidad del producto final. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.).

4.4.3 Resultados varios

Se hicieron pruebas con algunos materiales además del polímero principal (PVC), motivo de este trabajo de grado. Se encontró, mediante la experimentación, la relación óptima para su adecuado termoformado. Los resultados se muestran en el Anexo 13.

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE COSTOS

A continuación se realizará un análisis de la inversión realizada durante la elaboración del presente trabajo de grado, clasificándolos como costos directos y costos indirectos.

5.1 Costos directos

Los costos directos de fabricación son aquellos que están directamente relacionados con la elaboración de la máquina, entre los que están:

Materias primas directas: son los recursos materiales que se transforman en un elemento o en la totalidad del producto terminado.

Materiales directos: son todos los artículos que acompañan al producto final pero no forman parte de él, aunque son comercializados de conjuntamente.

Mano de obra directa: es el esfuerzo de trabajo que se invierte para elaborar o construir el producto final.

5.1.1 Estructura de la máquina

Tabla 33

Costo de la estructura de la máquina

Cantidad	Materiales	Precio Unitario	Precio Total
4	Tubo estructural cuadrado negro 1 ¼" x 1.2mm	7.63	30.55
1	Tubo estructural cuadrado negro 1" x 1mm	5.24	5.24
2	Seguros "Sash Lock"	3.22	6.44
1	Tool negro 52x36cm x1mm	6.55	6.55
2	Bisagras	0.60	1.20

4	Rodamientos 6202	2.50	10.00
4	Pernos y tuercas	1.10	4.40
TOTAL			64.38

Nota: Se incluyen los costos del panel que sostiene al calefactor. Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

5.1.2 Sistema de vacío

Tabla 34

Costo de etapa de vacío.

Cantidad	Materiales	Precio Unitario	Precio Total
2	Plancha acero inoxidable 26.5x6cm x 1mm	0.90	1.80
2	Plancha acero inoxidable 18.5x6cm x 1mm	0.62	1.24
1	Plancha acero inoxidable 26.5x21.5cm x 1mm	1.94	1.94
1	Plancha acero inoxidable 26.5x21.5cm x 1mm	3.55	3.55
1	Manguera para aspiradora 1¾ pulg.	8.36	8.36
1	Aspiradora Shop-Vac	85.80	85.80
TOTAL			102.69

Nota: Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

5.1.3 Sistema neumático

Tabla 35

Costo del sistema neumático.

Cantidad	Materiales	Precio Unitario	Precio Total
2	Microcilindro doble efecto 20x150mm	29.76	59.52
1	Cilindro perfilado doble efecto 32x400mm	85.82	85.82
2	Electroválvula 5/2 1/4" 12VDC	40.44	80.88

12	Conectores rectos	1.14	13.68
4	Silenciador bronce	0.80	3.20
4	Manguera poliuretano	0.75	3.00
1	Compresor Porten	110.00	110.00
TOTAL			356.10

Nota: Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

5.1.4 Sistema de calentamiento

Tabla 36

Costo del sistema de calentamiento

Cantidad	Materiales	Precio Unitario	Precio Total
1	Resistencia tubular	14.00	14.00
1	Sensor de temperatura	13.50	13.50
TOTAL			27.50

Nota: Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

5.1.5 Sistema eléctrico

Tabla 37

Costo del sistema eléctrico.

Cantidad	Materiales	Precio Unitario	Precio Total
1	Microcontrolador ATmega 164p	10.00	10.00
1	Circuito electrónico	10.00	10.00
1	Termocupla J	13.50	13.50
1	LCD	10.00	10.00
2	Pulsador	5.00	10.00

3	Luces indicadoras	5.00	15.00
2	Contactores	15.00	30.00
2	Relés	8.00	16.00
	Componentes varios	30.00	30.00
		TOTAL	144.50

Nota: Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

5.1.6 Costos de fabricación

Tabla 38

Costos de mano de obra.

Operación	Precio Unitario	Precio Total
Mano de obra	100.00	100.00
		TOTAL
		100.00

Nota: Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

5.2 Costos indirectos

Los costos indirectos son aquellos que no están directamente relacionados con la construcción de la máquina. A continuación se enumeran:

Materiales indirectos: son materiales que no se incluyen en la elaboración del producto, pero sin su participación no sería posible su finalización.

Mano de obra indirecta: es aquella mano de obra que actúa indirectamente en la elaboración del producto final.

Gastos indirectos: son todos aquellos consumos que se dan durante la producción por causa de actividades ligadas al proceso de fabricación.

Tabla 39

Costos indirectos.

Cantidad	Materiales	Precio Unitario	Precio Total
1	Brocha atlas de 2 pulgadas	2.00	2.00
1	Litro antioxidante gris	5.00	5.00
2	Mascarillas	0.80	1.60
1	Litro de pintura	10.00	10.00
5	Kilos PVC 510 micras	6.20	31.00
3	Lijas N°80	0.5	1.50
TOTAL			51.10

Nota: Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

5.3 Costo total

Para obtener el costo total de la máquina de termoformado se procede a sumar los costos directos y los costos indirectos que se calculó en este capítulo, de la siguiente manera:

Tabla 40

Costos de mano de obra.

Operación	Precio Unitario
Estructura de la máquina	64.38
Sistema de vacío	102.69
Sistema neumático	356.10
Sistema de calentamiento	27.50
Sistema eléctrico	98.50
Costos de fabricación	100.00
Costos indirectos	51.10

TOTAL 800.27

Nota: Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

El costo total no excede los 1000 dólares. Se puede decir que es un precio accesible, tomando en cuenta los beneficios que brindará a corto y largo plazo como ya se ha analizado.

5.4 Valor actual neto (VAN) y Tasa interna de retorno (TIR)

Para analizar la rentabilidad del proyecto y su viabilidad se emplearán dos indicadores financieros: el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). El VAN mide los flujos de los ingresos y egresos que tendrá el proyecto a futuro para evaluar si existirán ganancias. La tasa interna de retorno (TIR) es el interés para el cual el VAN se hace cero; es la tasa de descuento que permite que el beneficio neto sea igual a la inversión. Mientras más alto sea el VAN y el TIR, el proyecto será más rentable.

En las Tablas 42 y 43 se evalúan los ingresos y egresos anuales existentes antes de la implementación y los que se esperan después de esta.

Tabla 41

Ingresos y egresos antes de la implementación.

INGRESOS SIN IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA			
			Valor total
Cantidad de ventas			\$1500
	TOTAL		\$1500
EGRESOS SIN IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA			
	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Costo materia prima	12	\$50	\$600
Gas	6	\$2,60	\$15,60
Moldes	12	\$4,16	\$50
		TOTAL	\$665,60
Ingresos – Egresos = \$1500 - \$665,60 = \$834,40			

Nota: Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

Tabla 42

Ingresos y egresos después de la implementación.

INGRESOS CON IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA			
	Chocolates	Moldes	Valor total
Cantidad de ventas	\$2200	\$300	\$2500
TOTAL			\$2500
EGRESOS CON IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA			
	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Costo materia prima (chocolate)	18	\$50	\$900
Costo materia prima (PVC)	50 kg	\$6,20	\$310
Gas	9	\$2,60	\$23,4
Energía Eléctrica	500 Kwh	\$0,11	\$55
TOTAL			\$1288,40
Ingresos – Egresos = \$2500 - \$1288,40 = \$1211,60			

Nota: Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

Con estos datos se puede deducir que se tiene un flujo de efectivo neto anual de \$377.20 (\$1211.60 – \$834.40). Este valor podrá ir aumentando conforme pasan los periodos, pero para el presente análisis se tomará como fijo. Se considera que la vida útil de este proyecto es de 5 años, con una tasa de descuento del 12%.

Tabla 43

Ingresos y egresos después de la implementación.

Periodo	Flujo de efectivo neto
0	-800,27
1	377.20
2	377.20
3	377.20
4	377.20
5	377.20

Nota: Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

Con estos datos, la herramienta Microsoft Excel brinda las fórmulas VNA y TIR necesarias para el cálculo de estos indicadores. Se obtiene la siguiente información:

Tabla 44

Indicadores VAN y TIR.

Indicador	Valor
Valor Actual Neto (VAN)	\$559,45
Tasa Interna de Retorno (TIR)	37,56%

Nota: Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

Con los indicadores financieros de la Tabla 44 se concluye que el proyecto es rentable. El VAN es mayor que cero, lo que asegura que la inversión producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida; igualmente el TIR es de un valor elevado, asegurando un retorno de la inversión con altos intereses.

CONCLUSIONES

- Con la implementación de la máquina automática en el proceso de termoformado se ha conseguido aumentar la variedad de figuras de chocolate manteniendo la calidad del producto.
- El desarrollo analítico del diseño permitió tener una visión clara de las funciones y necesidades de cada etapa por separado, para finalmente sintetizar en un todo sincronizando y acoplando los sistemas entre sí y verificando que se cumpla con la necesidad establecida.
- El proceso automatizado y optimizado permite realizar moldes para figuras de chocolate de manera sencilla y segura para el operario, disminuyendo los tiempos y el esfuerzo que requiere su elaboración.
- El diseño de la máquina se realizó buscando que su operación sea sencilla, para que cualquier persona pueda manejarla, con las respectivas medidas de seguridad.
- El diseño y construcción de la máquina de termoformado se desarrolló sin inconvenientes ni dificultades debido a que se contó con los recursos materiales y humanos que facilitaron a la realización correcta del presente trabajo de grado.
- Existe una gran diversidad de materiales que se pueden formar, además del PVC. Su aplicación es variada, y abarca más allá de los moldes de chocolate. La máquina permite formar cualquiera de estos materiales, siempre y cuando sean adecuados.

RECOMENDACIONES

Se recomienda leer el manual de uso antes de operar la máquina, para así tener una idea clara de su funcionamiento y los pasos a seguir

Se recomienda realizar un mantenimiento frecuente a los equipos así como revisiones de funcionamiento, para extender así su tiempo de vida y mantener un buen desempeño.

En un futuro se sugiere implementar un sistema de vacío incorporado a la máquina que sustituya a la aspiradora, para efectuar el formado de la lámina de plástico.

Además se recomienda construir una base o mesa a la medida de la máquina para aumentar su altura, facilitar su manejo, su visualización y para comodidad del operario.

La aplicación del termoformado es muy amplia. Si se desea elaborar un molde o formar un nuevo material, se recomienda documentar las pruebas y establecer una relación adecuada entre la temperatura y el tiempo de formado.

BIBLIOGRAFÍA

- Askeland, D. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. México: International Thomson Editores.
- Burns, R. (2003). *Fundamentos de Química*. México: Pearson Educación.
- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw Hill.
- DOMCA. (2008). *Curso de elaboración de chocolate artesanal*. Quito.
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. México: McGraw Hill.
- Hibbeler, R. (2012). *Análisis Estructural*. México: Pearson.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. México: Pearson Education.
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson.
- Muralisrinivasan, N. (2010). *Troubleshooting in thermoforming*. Reino Unido: Smithers Rapra.
- Nestlé . (2011). *Recetario Chocolate*. México: Marcas Nestlé.
- Norton, R. (2011). *Diseño de Máquinas*. México: Pearson Educación.
- Riba, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

PUBLICACIONES EN LÍNEA

- Aceros de Arequipa. (18 de Mayo de 2013). *Catálogo de productos*. Obtenido de http://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/AcerosCorporacion/docs/CAT_ALOGO%20DE%20PRODUCTOS%20-%20SET10.pdf
- Ahmsa. (1 de Enero de 2013). *Manual de Diseño para la Construcción con Acero*. Obtenido de http://www.ahmsa.com/Acero/Complem/Manual_Construccion_2013/Capitulo_1.pdf
- Arian S.A. (1 de Febrero de 2001). *Termocuplas*. Obtenido de <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>
- Asociación de Municipalidades Ecuatorianas. (15 de Mayo de 2012). *Cantón Ibarra*. Obtenido de <http://www.ame.gob.ec/ame/index.php/institucion/objetivos-estrategicos/67-mapa-cantones-del-ecuador/mapa-imbabura/284-canton-ibarra>
- Benheck. (26 de Junio de 2007). *Vacuum Strenght*. Obtenido de <http://benheck.com/forums/viewtopic.php?f=13&t=19502>
- CINTAC. (9 de Mayo de 2012). *Rollos y planchas de acero*. Obtenido de http://www.cintac.cl/novedades/wp-content/uploads/2012/05/rollos_y_planchas_de_acero.pdf
- Comisión de las Comunidades Europeas. (23 de Febrero de 1990). *Directiva 90/128/CEE de la Comisión relativa a los materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con productos alimenticios*. Obtenido de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:31990L0128&qid=1414210434400&from=EN>
- DIPAC. (13 de Mayo de 2011). *Catalogo Completo DIPAC*. Obtenido de http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo_completo_dipac.pdf

- E-MC. (25 de Diciembre de 2013). *Cilindros Neumáticos*. Obtenido de http://www.emc-machinery.com/FVBC_FXBC_series_ISO15552_pneumatic_cylinder.htm
- Engineers Edge. (10 de Agosto de 2009). *Moment of Inertia, Section Modulus, Radii of Gyration Equations*. Obtenido de Square and Rectangular Sections: http://www.engineersedge.com/material_science/moment-inertia-gyration.htm
- Filmtex. (29 de Junio de 2013). *Vacoplast*. Obtenido de <http://www.filmtex.com/index.php/es/peliculas/peliculas-rigidas/vacoplast>
- Formech International Ltd. (1 de Diciembre de 2010). *A Vacuum Forming Guide*. Obtenido de <http://inventionstudio.gatech.edu/wp/wp-content/uploads/2010/11/FormechVacuumGuide.pdf>
- Industrias JQ. (1 de Agosto de 2006). *Plásticos de Ingeniería*. Obtenido de <http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/PVC/PVCprop/dtecnicos.htm>
- La Casa del Perno. (8 de Octubre de 2011). *Resistencia de Pernos y Tuercas*. Obtenido de http://www.casadelperno.com/AyudaTecnica_Resistencia.html
- Megamex. (3 de Septiembre de 2009). *Incoloy*. Obtenido de <http://www.megamex.com/span/incoloy.htm>
- Plasticbages Industrial. (24 de Septiembre de 2006). *Características Técnicas del PVC*. Obtenido de <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html>
- Plastiglas de México. (1 de Octubre de 2002). *Manual Técnico de Termoformado*. Obtenido de http://www.plastiglas.com.mx/images/content/PLASTIGLAS_INST/uploads/1167953021504Termoformado.pdf
- Seafax. (8 de Agosto de 2014). *Suitcase Vacuum Former*. Obtenido de <https://3dwarehouse.sketchup.com/model.html?id=ud5b2aceb-7efc-4212-8660-e42542b9b219>
- SMC. (18 de Diciembre de 2012). *Procedimientos de selección del modelo de cilindro neumático*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/117194102/Seleccion-de-cilindros-neumaticos-SMC>
- Sumitec. (17 de Febrero de 2008). *AISI 304*. Obtenido de www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%20304.pdf
- The Replica Prop Forum. (9 de Marzo de 2010). *Machine Vac Options*. Obtenido de <http://www.therpf.com/f9/vac-forming-machine-vac-options-81574/>
- The University of Southern Mississippi. (1 de Febrero de 2001). *La Transición Vítreo*. Obtenido de <http://pslc.ws/spanish/tg.htm>
- TK560. (15 de Octubre de 2009). *Vacuform Table*. Obtenido de <http://www.tk560.com/vactable4.html>
- UCLM. (1 de Febrero de 2001). *Rodamientos*. Obtenido de <https://www.uclm.es/profesorado/porrasyosoriano/elementos/Tema10.pdf>
- Universidad de Alicante. (6 de Julio de 2009). *Estructura y propiedades de los polímeros*. Obtenido de iq.ua.es/TPO/Tema1.pdf
- Watlow. (3 de Noviembre de 2003). *Electric Heaters, Application Guide*. Obtenido de https://www.instrumart.com/assets/heater_application_guide.pdf

REFERENCIAS

Álvarez, L. (2014). *Diseño y construcción de una máquina desvainadora de fréjol seco*. Ibarra.

ANEXOS

ANEXO 1. Empleo de materiales en moldes de termoformado.

Grupo	Materiales empleados	Volumen de producción	Ventajas y desventajas
Maderas	Pino, Caoba, Cedro, Maple, Triplay, Aglomerado.	Baja	Estos moldes se caracterizan por ser de bajo costo, tiempo de construcción corto y buen acabado superficial, aunque en algunos casos la veta de la madera deje marcas de moldeo. La madera deberá ser estufada y si se desea un mejor acabado y evitar cambios dimensionales debido a la humedad, los moldes deberán sellarse con caseína, barniz fenólico o resina epóxica diluida en metil etil cetona. Para lograr un mejor acabado la veta de la madera debe estar paralela a la longitud del molde. Los moldes hechos con triplay o aglomerado tienen más duración. La duración del molde puede prolongarse considerablemente reforzando las aristas con metal.
Minerales	Yeso (carbonato de calcio), Fluosilicato de sodio.	Baja Mediana	Los moldes de yeso tienen mayor duración que los de madera y pueden vaciarse de un compuesto de yeso de bajo encogimiento, alta resistencia y reforzados en su interior con malla de metal, fibra de vidrio u otros materiales que no absorban humedad. El yeso se vacía sobre el modelo y debe dejarse curar por espacio de 5 a 7 días a temperatura ambiente. Si la superficie del modelo es buena, no se requerirá un acabado posterior. Los recubrimientos de resina poliéster, epóxica o fenólica proporcionan una superficie más resistente. Deben tenerse extremas precauciones para no astillar el yeso al hacer las perforaciones de vacío. En ocasiones puede eliminarse las perforaciones, si se dejan previamente insertados trozos de alambre, que sean removidos de su sitio después del fraguado.
Resinas plásticas	Resina poliéster, Resina epóxica, Resina fenólica, Laminados plásticos, Nylon.	Mediana	Los moldes de resinas plásticas son más costosos y elaborados que los de yeso o madera, pero ofrecen una mayor duración, superficies más tersas y mejor estabilidad dimensional. A las resinas poliéster, epóxicas o fenólicas se pueden cagar con polvo de aluminio que proporciona una temperatura más homogénea del molde o, con caolín, fibra de vidrio y otras cargas. A estos moldes se puede incorporar el sistema de vacío,

Metálicos	Aluminio, Cobre-berilio, Fierro.	Alta	embebiendo media caña de cartón en la parte posterior del molde. Son ideales para grandes corridas de producción, altas presiones o formado mecánico. Pueden usarse moldes de fundición en aluminio, bronce o cualquier otra aleación de bajo punto de fusión, y maquinados en acero, latón o bronce. Son los más costosos, el tiempo de construcción es largo, tienen mejor acabado superficial, bajo costo de mantenimiento y mejor estabilidad dimensional. Es forzoso utilizar sistema de enfriamiento, así como evitar enfriamientos rápidos en la pieza.
-----------	-------------------------------------	------	---

Nota: Adaptado de Plastiglas de México. (2002). Manual Técnico de Termoformado. (p.). Recuperado de:

[http://www.plastiglas.com.mx/images/content/PLASTIGLAS_INST/uploads/1167953021504Termoformado.](http://www.plastiglas.com.mx/images/content/PLASTIGLAS_INST/uploads/1167953021504Termoformado.pdf)

pdf

ANEXO 2. Datos técnicos del PVC.

Propiedades mecánicas a 23°C		
Propiedades	Unidad	Valores
Peso específico	gr/cm ³	1.45
Resistencia a la tracción	kg/cm ²	550
Resistencia a la compresión	kg/cm ²	610
Resistencia a la flexión	kg/cm ²	700
Resistencia al choque sin entalla	kg.cm/cm ²	No rompe
Alargamiento a la rotura	%	> 20
Densidad de masa	kg/cm ³	0.0014
Módulo de elasticidad longitudinal o de Young	kg/cm ²	30000
Coefficiente de Poisson		0.4
Módulo de elasticidad transversal o cortante	kg/cm ²	10714.29
Límite elástico	kg/cm ²	0.4589
Dureza	Shore D	80 - 83
Resistencia al desgaste por roce		Mala
Propiedades térmicas		
Propiedades	Unidad	Valores
Calor específico	Kcal/kg.°C	0.28
Temperatura de flexión b/carga (18.5kg/cm²)	°C	55
Temperatura de uso continuo en aire	°C	-15 a 60
Temperatura de fusión	°C	150
Temperatura de deflexión al calor	°C	110
Temperatura de termoformado	°C	135 a 175
Coefficiente de dilatación lineal de 23 a 100°C	por °C	0.00011
Coefficiente de dilatación térmica	/°C	0.0000092
Coefficiente de conducción térmica	cal/(cm.s.°C)	35×10 ⁻⁵
Propiedades químicas		
Propiedades	Observaciones	
Resistencia a Hidrocarburos	Deficiente	
Resistencia a ácidos débiles a temperatura ambiente	Muy buena	
Resistencia a alcalinos débiles a temperatura ambiente	Muy buena	
Resistencia a productos químicos definidos	Consultar	
Efecto de los rayos solares	Buena	
Aprobado para contacto con alimentos	Si	
Comportamiento a la combustión	Arde con dificultad	
Propagación de llama	Auto extingible	
Comportamiento al quemarlo	Se ablanda y descompone	
Color de la llama	Ámbar con borde verde	
Olor al quemarlo	Cloro	

Nota: Adaptado de Industrias JQ (2006). Plásticos de Ingeniería. Recuperado de:
<http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/PVC/PVCprop/dtecnicos.htm>; Plastibages Industrial (2006).
Características Técnicas del PVC. Recuperado de: <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html>;
Plastiglas de México. (2002). Manual Técnico de Termoformado. (p.8). Recuperado de:
http://www.plastiglas.com.mx/images/content/PLASTIGLAS_INST/uploads/1167953021504Termoformado.pdf;
Autodesk Inventor 2014. Propiedades del PVC.

ANEXO 3. Propiedades de la atmósfera a gran altitud

Altitud, z, m	Temperatura, T, °C	Presión, P, kPa	Gravedad, g, m/s ²	Velocidad del sonido, c, m/s	Densidad, ρ , kg/m ³	Viscosidad, μ kg/m · s	Conductividad térmica, k, W/m · K
0	15.00	101.33	9.807	340.3	1.225	1.789×10^{-5}	0.0253
200	13.70	98.95	9.806	339.5	1.202	1.783×10^{-5}	0.0252
400	12.40	96.61	9.805	338.8	1.179	1.777×10^{-5}	0.0252
600	11.10	94.32	9.805	338.0	1.156	1.771×10^{-5}	0.0251
800	9.80	92.08	9.804	337.2	1.134	1.764×10^{-5}	0.0250
1 000	8.50	89.88	9.804	336.4	1.112	1.758×10^{-5}	0.0249
1 200	7.20	87.72	9.803	335.7	1.090	1.752×10^{-5}	0.0248
1 400	5.90	85.60	9.802	334.9	1.069	1.745×10^{-5}	0.0247
1 600	4.60	83.53	9.802	334.1	1.048	1.739×10^{-5}	0.0245
1 800	3.30	81.49	9.801	333.3	1.027	1.732×10^{-5}	0.0244
2 000	2.00	79.50	9.800	332.5	1.007	1.726×10^{-5}	0.0243
2 200	0.70	77.55	9.800	331.7	0.987	1.720×10^{-5}	0.0242
2 400	-0.59	75.63	9.799	331.0	0.967	1.713×10^{-5}	0.0241
2 600	-1.89	73.76	9.799	330.2	0.947	1.707×10^{-5}	0.0240
2 800	-3.19	71.92	9.798	329.4	0.928	1.700×10^{-5}	0.0239
3 000	-4.49	70.12	9.797	328.6	0.909	1.694×10^{-5}	0.0238
3 200	-5.79	68.36	9.797	327.8	0.891	1.687×10^{-5}	0.0237
3 400	-7.09	66.63	9.796	327.0	0.872	1.681×10^{-5}	0.0236
3 600	-8.39	64.94	9.796	326.2	0.854	1.674×10^{-5}	0.0235
3 800	-9.69	63.28	9.795	325.4	0.837	1.668×10^{-5}	0.0234
4 000	-10.98	61.66	9.794	324.6	0.819	1.661×10^{-5}	0.0233
4 200	-12.3	60.07	9.794	323.8	0.802	1.655×10^{-5}	0.0232
4 400	-13.6	58.52	9.793	323.0	0.785	1.648×10^{-5}	0.0231
4 600	-14.9	57.00	9.793	322.2	0.769	1.642×10^{-5}	0.0230
4 800	-16.2	55.51	9.792	321.4	0.752	1.635×10^{-5}	0.0229
5 000	-17.5	54.05	9.791	320.5	0.736	1.628×10^{-5}	0.0228
5 200	-18.8	52.62	9.791	319.7	0.721	1.622×10^{-5}	0.0227
5 400	-20.1	51.23	9.790	318.9	0.705	1.615×10^{-5}	0.0226
5 600	-21.4	49.86	9.789	318.1	0.690	1.608×10^{-5}	0.0224
5 800	-22.7	48.52	9.785	317.3	0.675	1.602×10^{-5}	0.0223
6 000	-24.0	47.22	9.788	316.5	0.660	1.595×10^{-5}	0.0222
6 200	-25.3	45.94	9.788	315.6	0.646	1.588×10^{-5}	0.0221
6 400	-26.6	44.69	9.787	314.8	0.631	1.582×10^{-5}	0.0220
6 600	-27.9	43.47	9.786	314.0	0.617	1.575×10^{-5}	0.0219
6 800	-29.2	42.27	9.785	313.1	0.604	1.568×10^{-5}	0.0218
7 000	-30.5	41.11	9.785	312.3	0.590	1.561×10^{-5}	0.0217
8 000	-36.9	35.65	9.782	308.1	0.526	1.527×10^{-5}	0.0212
9 000	-43.4	30.80	9.779	303.8	0.467	1.493×10^{-5}	0.0206
10 000	-49.9	26.50	9.776	299.5	0.414	1.458×10^{-5}	0.0201
12 000	-56.5	19.40	9.770	295.1	0.312	1.422×10^{-5}	0.0195
14 000	-56.5	14.17	9.764	295.1	0.228	1.422×10^{-5}	0.0195
16 000	-56.5	10.53	9.758	295.1	0.166	1.422×10^{-5}	0.0195
18 000	-56.5	7.57	9.751	295.1	0.122	1.422×10^{-5}	0.0195

Fuente: U. S. Standard Atmosphere Supplements, U. S. Government Printing Office, 1966. Basadas en las condiciones medias redondeadas al año a 45° de latitud y varían con el momento del año y los patrones meteorológicos. Las condiciones al nivel del mar ($z = 0$) se toman como $P = 101.325$ kPa, $T = 15^\circ\text{C}$, $\rho = 1.2250$ kg/m³, $g = 9.80665$ m/s².

Nota: Adaptado de Cengel, Y. (2007). Transferencia de calor y masa (3ra ed.).(p.863).

ANEXO 4. Propiedades del aire a presión constante

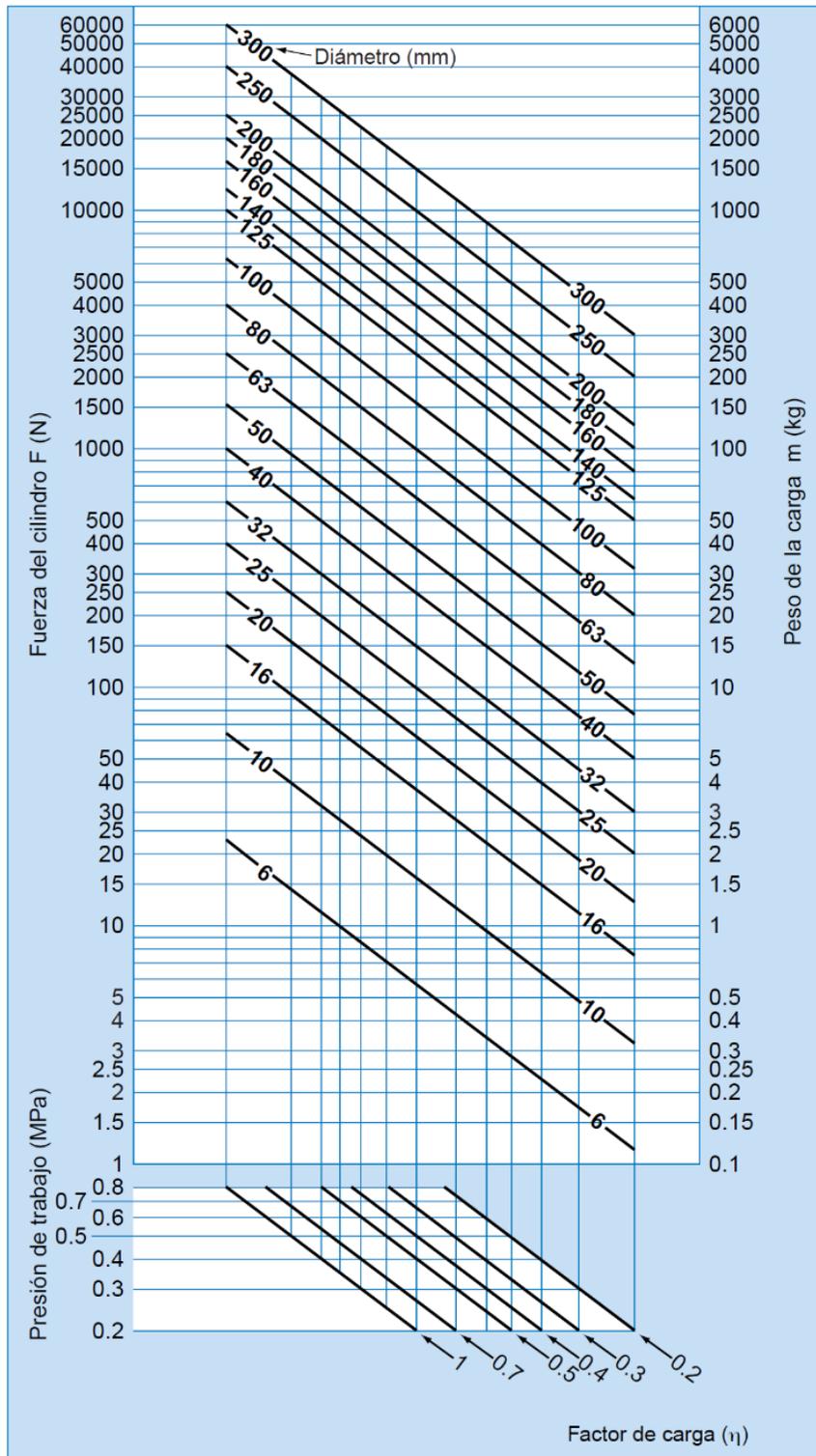
Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, ISBN 0-306067020-8.

Nota: Adaptado de Cengel, Y. (2007). Transferencia de calor y masa (3ra ed.).(p.860).

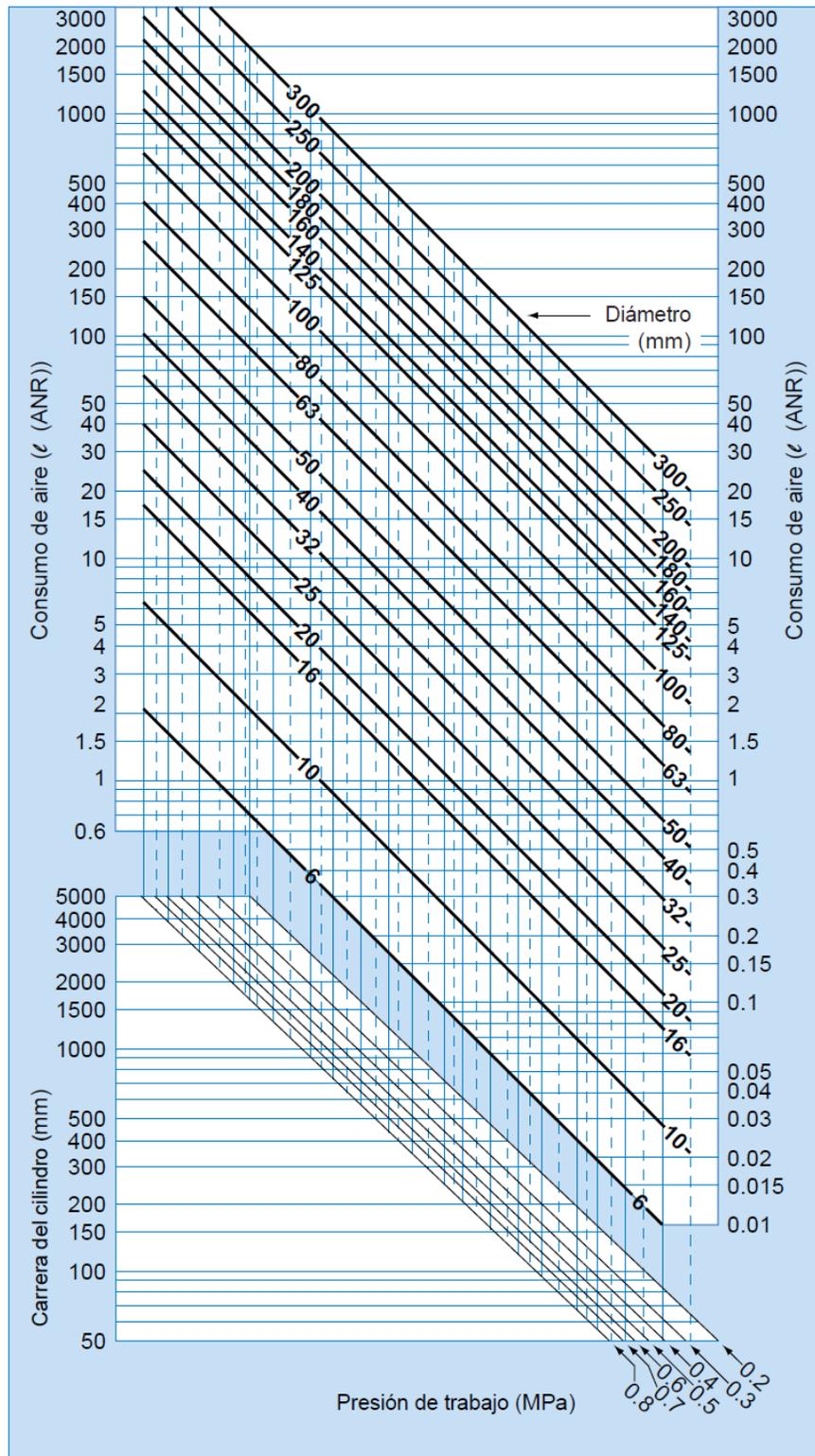
ANEXO 5. Fuerza del cilindro en el lado de extensión



Nota: Adaptado de SMC. (2012). Procedimientos de selección del modelo de cilindro neumático. (p.2).

Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/117194102/Seleccion-de-cilindros-neumaticos-SMC>

ANEXO 6. Consumo de aire del cilindro



Nota: Adaptado de SMC. (2012). Procedimientos de selección del modelo de cilindro neumático. (p.7).

Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/117194102/Seleccion-de-cilindros-neumaticos-SMC>

ANEXO 7. Dimensiones estándar de tuberías (en pulgadas)

DESIGNACIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m

Dimensión		Espesores (mm)							
		0.6	0.7	0.75	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5
REDONDO	1/2"	0.179	0.207	0.221	0.235	0.262	0.289		
	5/8"	0.226	0.262	0.280	0.298	0.332	0.367	0.434	
	3/4"	0.273	0.317	0.338	0.360	0.403	0.445	0.528	0.649
	7/8"		0.372	0.397	0.423	0.473	0.523	0.622	0.766
	1"			0.456	0.485	0.544	0.602	0.716	0.884
	1 1/4"			0.573	0.611	0.685	0.758	0.904	1.119
	1 1/2"			0.691	0.736	0.826	0.915	1.092	1.354
	1 3/4"			0.808	0.861	0.967	1.072	1.280	1.589
	2"			0.926	0.986	1.108	1.228	1.468	1.824
3"							2.220		
CUAD.	5/8"		0.319	0.341	0.363	0.406	0.449	0.533	
	3/4"	0.342		0.425	0.452	0.507	0.560	0.666	0.822
	7/8"	0.429		0.515	0.548	0.614	0.680	0.810	1.001
	1"	0.459		0.572	0.609	0.683	0.756	0.901	1.115
	1 1/4"			0.718	0.765	0.858	0.951	1.136	1.408
	1 1/2"				0.920	1.035	1.148	1.371	1.703
RECT.	1/2" x 1 1/2"			0.573	0.615	0.689	0.763	0.910	1.126
	1" x 2"			0.865	0.928	1.042	1.155	1.381	1.715

Nota: Adaptado de Aceros Arequipa. (2013). Catálogo de productos. (p.12). Recuperado de:
[http://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/AcerosCorporacion/docs/CATALOGO%20DE%20PRO
DUCTOS%20-%20SET10.pdf](http://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/AcerosCorporacion/docs/CATALOGO%20DE%20PRO

DUCTOS%20-%20SET10.pdf)

ANEXO 8. Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería

Datos de varias fuentes. * Estas propiedades son básicamente similares para todas las aleaciones del material específico

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Razón de Poisson ν	Densidad de peso γ	Densidad de masa ρ	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/in ³	Mg/m ³	
Aleaciones de aluminio	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Cobre al berilio	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Latón, bronce	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Cobre	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Hierro, fundido, gris	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Hierro, fundido, dúctil	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Hierro, fundido, maleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Aleaciones de magnesio	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Aleaciones de níquel	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
Acero, carbono	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero, aleaciones	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero, inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Aleaciones de zinc	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

* *Propiedades de algunos metales y aleaciones*, International Nickel Co., Inc., N.Y.; *Metals Handbook*, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Nota: Adaptado de Norton, R. (2011). *Diseño de máquinas* (4ta ed.).(p.986).

ANEXO 9. Datos para seleccionar rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda.

TABLA 14-3 Datos para seleccionar rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda, tipo Conrad

A. Series 6200

Número de rodamiento	Dimensiones nominales del rodamiento								Diámetro de escalón preferido		Peso del rodamiento	Capacidad básica de carga estática C_o	Capacidad básica de carga dinámica C
	d		D		B		r^*	Eje	Caja				
	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg							
6200	10	0.3937	30	1.1811	9	0.3543	0.024	0.500	0.984	0.07	520	885	
6201	12	0.4724	32	1.2598	10	0.3937	0.024	0.578	1.063	0.08	675	1180	
6202	15	0.5906	35	1.3780	11	0.4331	0.024	0.703	1.181	0.10	790	1320	
6203	17	0.6693	40	1.5748	12	0.4724	0.024	0.787	1.380	0.14	1010	1660	
6204	20	0.7874	47	1.8504	14	0.5512	0.039	0.969	1.614	0.23	1400	2210	
6205	25	0.9843	52	2.0472	15	0.5906	0.039	1.172	1.811	0.29	1610	2430	
6206	30	1.1811	62	2.4409	16	0.6299	0.039	1.406	2.205	0.44	2320	3350	
6207	35	1.3780	72	2.8346	17	0.6693	0.039	1.614	2.559	0.64	3150	4450	
6208	40	1.5748	80	3.1496	18	0.7087	0.039	1.811	2.874	0.82	3650	5050	
6209	45	1.7717	85	3.3465	19	0.7480	0.039	2.008	3.071	0.89	4150	5650	
6210	50	1.9685	90	3.5433	20	0.7874	0.039	2.205	3.268	1.02	4650	6050	
6211	55	2.1654	100	3.9370	21	0.8268	0.059	2.441	3.602	1.36	5850	7500	
6212	60	2.3622	110	4.3307	22	0.8661	0.059	2.717	3.996	1.73	7250	9050	
6213	65	2.5591	120	4.7244	23	0.9055	0.059	2.913	4.390	2.18	8000	9900	
6214	70	2.7559	125	4.9213	24	0.9449	0.059	3.110	4.587	2.31	8800	10 800	
6215	75	2.9528	130	5.1181	25	0.9843	0.059	3.307	4.783	2.64	9700	11 400	
6216	80	3.1496	140	5.5118	26	1.0236	0.079	3.504	5.118	3.09	10 500	12 600	
6217	85	3.3465	150	5.9055	28	1.1024	0.079	3.740	5.512	3.97	12 300	14 600	
6218	90	3.5433	160	6.2992	30	1.1811	0.079	3.937	5.906	4.74	14 200	16 600	
6219	95	3.7402	170	6.6929	32	1.2598	0.079	4.213	6.220	5.73	16 300	18 800	
6220	100	3.9370	180	7.0866	34	1.3386	0.079	4.409	6.614	6.94	18 600	21 100	
6221	105	4.1339	190	7.4803	36	1.4173	0.079	4.606	7.008	8.15	20 900	23 000	
6222	110	4.3307	200	7.8740	38	1.4961	0.079	4.803	7.402	9.59	23 400	24 900	
6224	120	4.7244	215	8.4646	40	1.5748	0.079	5.197	7.992	11.4	26 200	26 900	

Nota: Adaptado de Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas (4ta ed.).(p.607).

ANEXO 10. Especificaciones Cilindro RAL 20x150-S

Cylinder Diameter(mm)	16	20	25	32	40	50	63
Acting type	Double Acting						
Working medium	Clean Air(40 micron filtration)						
Mounting type	Basic Type RFA RSDB RLB						
Working pressure(MPa)	0.1-0.9						
Max.pressure(MPa)	1.35						
Speed range(mm's)	50~800						
Working temperature (°C)	-5~70						
Buffer stroke(mm's)	Standard Type	Anti-bump cushion					
	Cushion Type	Adjustable buffer(Optional)					
Thread Size(mm)	M5X0.8	G1/8				G1/4	

Nota: Adaptado de E-MC. (2013). Mini Round Cylinder, Pneumatic Cylinder, E.MC Pneumatics. Recuperado de http://www.emc-machinery.com/R_series_AI_and_SS_mini_pneumatic_cylinder.htm

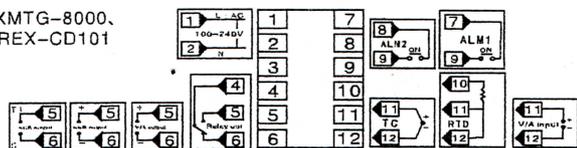
ANEXO 11. Especificaciones Cilindro FVB-32X400-S

Cylinder Diameter(mm)	32	40	50	63	80	100
Acting type	Double Acting					
Working medium	Clean Air (40 micron filtration)					
Mounting type	Basic type FVFA FVFB FVCA FVCBFV LB FVTC FVTC-M					
Rod end fitting type	Basic Type TY TI TF TB					
Working pressure(MPa)	0.1~0.9					
Max. pressure(MPa)	1.35					
Working temperature(°C)	-5~70					
Speed range(mm's)	50~800					
Buffer type	Adjustable Cushion					
Buffer stroke(mm's)	2		32			
Thread Size(mm)	G1/8	G1/4	G3/8		G1/2	

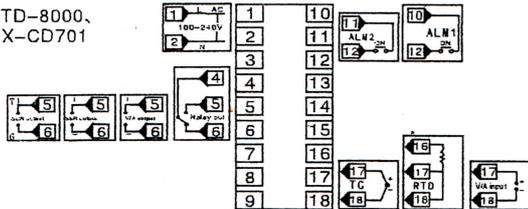
Nota: Adaptado de E-MC. (2013). Square Cylinder, Pneumatic Cylinder, FV/FX Series ISO6431. Recuperado de http://www.emc-machinery.com/FVBC_FXBC_series_ISO15552_pneumatic_cylinder.htm

ANEXO 12. Especificaciones controlador de temperatura inteligente REX-C100

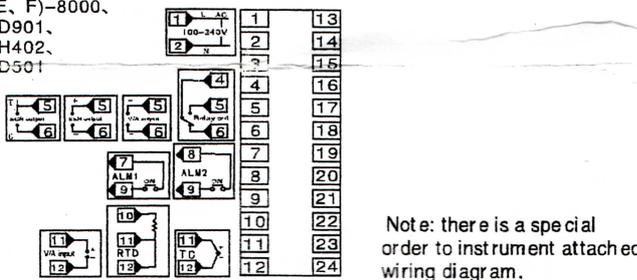
4. XMTG-8000, REX-CD101



5. XMTD-8000, REX-CD701



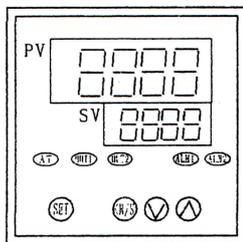
6. XMTA(E, F)-8000, REX-CD901, REX-CH402, REX-CD501



Note: there is a special order to instrument attached wiring diagram.

4. Parameter Setup Guide

Panel name and function of each part



Faceboard description	Content description
PV	Measurement / mode display value
SV	Setting / mode content display value
OUT1	The output of 1 indicator lights
OUT2	The output of 2 indicator lights
AT	PID Automatic routing indicator
ALM1	alarm 1 indicating light
ALM2	alarm 2 indicating light
▲	Addend key
▼	Subtrahend key
<	Phase shift key
SET	Set/mode key

Operating flow

Display	Input type
PV	TC
SV	RTD
OUT1	Voltage/current

Start flow

SV set mode In SV / PV normal display state, click the "SET" button, the SV display in the twinkling state, according to the "<" key, find the required temperature number, then press up or down keys, set to a desired temperature value, the set is completed, once again click the "SET" button, so that the instrument to the SV / PV normal display state.

Parameters setting model

This parameter is used to set the alarm, PID constants. In the normal display state, hold down the "SET" button three seconds later, in the PV display shows the parameter set state, in the SV display show the corresponding numerical, followed by the "SET" button. Show parameter symbol table:

Note: This machine has display automatic recovery function. When the operator parameters modification operations and forget to go back to the main display mode, instrument in the 30S automatically after the return to the main menu. The instrument before use or parameters in detail when reading About content. The following processes each content such as instrument of this function will not display the function.

Signal	Name	Description	Setting range	Value leaving factory
AL1	Alarm 1 setting	Set the value of alarm 1	Whole measured range	50.0 or 50
AL2	Alarm 2 setting	Set the value of alarm 2	Whole measured range	50.0 or 50
ATU	Adjustment automatic	Make sure ATU open/closed	0: closed 1: open	0
P	Proportional (heat)	Set the value of proportion	0: Whole measured range when 0 means on/off control	30 or 3.0 see*1
I	Integral time(sec)	Set integral time to eliminate the error of proportional band	0-3600sec when 0, no integral time effect	240
D	Derivative time(sec)	Set derivative time to avoid the fluctuation of output	0-3600sec when 0, no derivative time effect	60
Ar	Limit the effective range of integral activity	Prevent integral activities exceed the limit or be deficient	Proportional band 1-100% (heating)	100
T	Proportional P term (refrigerating)	Setting refrigerating's Proportional term	1-100sec (can be 0) display when current output	see*3
OH	The main control non operating bandwidth	The difference between the positive and negative action to set back, upper and lower bandwidth	1-100 unit with the same PV	2
SC	The PV value correction	Set the PV correction value	Temperature input: -199.9-+999.9 Current/Voltage: measured range, unit is same as PV	0 or 0.0
LCK	Setting the function of data's lock	Make the change validity or invalidity	see*4	0000

- When P≠0, the instrument is under PID control, this time should set I, D value reasonably. At the first time using, you can open the "At" automatic adjustment function to make the control under the best state; when P=0, it's under ON/OFF control, you should set the value of return difference--OH.
- Relay contact output: 20 seconds, voltage pulse output/flow control pipe drive uses the trigger output/flow control pipe output 2 seconds.
- Options of data lock levels
Setting data lock function is using to prevent the mistaken operations of the not often used parameters. When the parameters are locked, they can't be set or changed but only be monitored.

Setting	Protect range of different lock levels	Signal	Description	Solution methods
0000	SV and the whole parameters can be set	Err	Instrument breakdown	Please send it to check and mend
0001	Just SV, AL1, AL2 can be set	0000	Input fault, positive electrode and negative electrode are connected opposed or the input exceeds the range	Please check the input signal to see whether there are mistakes.
0011	Just SV can be set			
0111	SV and all the parameters can't be set			

Break down signal indication

When the instrument doesn't work normally, it will diagnosis it self and shows the promotion. (See the table above).

The set of instrument engineer's parameter mode

After the instrument be electrified, press parameter mode to enter and find the data lock parameter "LCK", and set it's code to "1000", press "SET" again to make the instrument confirm, press "SET" key and "<" key simultaneously, about 3 seconds later, when the PV screen shows "COD"=1000, press "SET" key can get follow parameters display in order:

Signal	Setting value	Description	Measure range
SL1	0 0 0 0	K	0-1372 °C
	0 0 0 1	J	0-1200 °C
	0 0 1 0	R	0-1769 °C
	0 0 1 1	S	0-1769 °C
	0 1 0 0	B	0-1820 °C
	0 1 0 1	E	0-800 °C
	0 1 1 0	N	0-1300 °C
	0 1 1 1	T	-200-400 °C
	1 0 0 0	Pt100	-200-650 °C
	1 0 0 1	Cu50	-50-150 °C
	1 0 1 0	0-400 Ω	-1999-1999 °C
1 0 1 1	0-50mV	-1999-1999 °C	
1 1 0 0	0-20mA	-1999-1999 °C	
1 1 0 1	0-5V	-1999-1999 °C	
SL2	0 0 0 0	Leave out	
SL3	0 0 0 0	Leave out	
SL4	0 0 0 0	Not set Alarm 1 yet	
	0 0 0 1	Upper limit deviation alarm	Alarm 1 (ALM1) types selection
	0 1 0	Upper/lower limit deviation alarm	
	0 1 1	Procedure value upper limit deviation alarm	
	1 0 1	Lower limit deviation alarm	
	1 1 0	Alarm (Alarm in the range)	
	1 1 1	Procedure value lower limit alarm	
0	No await alarm function	Alarm 1 await functions selection	
1	Await alarm function		
SL5	0 0 0 0	Alarm 2 function setting	As the same alarm 1
SL6	0	Right activity control (refrigerating)	Main control right contrary solenoid selection
	1	Contrary activity control (heating)	
	0	Main controlling time proportional output	Main control output types selection
	1	Main control continuous output I=20mA	
	0	Incentive alarm	Incentive alarm/Non-Incentive alarm
SL7	1	Non-Incentive alarm	Alarm (Alarm 1)
	0	Incentive alarm	Incentive alarm/Non-Incentive alarm
	1	Non-Incentive alarm	Alarm (Alarm 2)
SL8	0 0 0 0	Leave out	
SL9	0 0 0 0	Leave out	
SL10	0 0 0 0	Leave out	
SL11	0 0 0 0	Leave out	

When "CODE"=0001, press "SET" different times can get the follow parameters display in order:

Signal	Value leaving factory	Description	Setting range
SLH	According to the order	Set value measures the upper limit of the range	See above sheet
SLL	According to the order	Set value measures the lower limit of the range	See above sheet
PGdP	0	The number of digits after dot	0-3
OH	2 or 2.0	At automatic adjustment	0-100 or 0.0-100.0
AH1	2 or 2.0	Alarm 1 no activity band width	0-100 or 0.0-100.0
AH2	2 or 2.0	Alarm 2 no activity band width	0-100 or 0.0-100.0
dF	1	Digit filter constant	0-100

- Instrument maintains and keeps
- Since giving in voice for 18 months, our company will mend the instrument if the instrument broke down because of the problem of quality, but if it broke down because of unsuitable using, the company will collect reasonably fee for mending. However, our company's instruments we in charge of their over their lives.
- The instruments should be stocked in the dried, ventilated, and noncorrosive gas environment with complete package.

ANEXO 13. Tiempo y temperatura de formado para distintos materiales

Material	Tiempo	Temperatura
PVC	50 segundos	190°C
Acetato	35 segundos	150°C
Foami	15 segundos	120°C

Nota: Fuente: Autor (Esteban Brusil A.)

ANEXO 14. Desarrollo de la programación

```

#include <mega164.h>
#include <lcd.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <delay.h>
#include <stdlib.h>
#define xtal 8000000
#define ADC_VREF_TYPE 0x00
#asm
.equ __lcd_port=0x05;
#endasm

unsigned int contador_int=0;
int contador=0;
int valor_tc;
int valor_tiempo;
int contador2=0;
int tiempo1;
int stage_cont=0;
int init_cont=0;
int label_cont=0;
int modo;
float termoc;
float tiempo;
unsigned char lcd_buffer[20];

interrupt [TIM0_OVF]
void interrupcion_timer0(void)
{
    TCNT0=0x0b;
    if(contador_int<31)
    {
        if(init_cont==1)
        {
            contador_int++;
        }
    }
    else
    {
        contador++;
        contador_int=0;
    }
}

unsigned int lee_adc(unsigned char entrada_adc)
{
    ADMUX=entrada_adc|(ADC_VREF_TYPE&0xff);
    delay_us(10);
    ADCSRA|=0x40;
    while((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCW;
}

void main(void)
{
    DDRC=0b11111111;
    PORTC=0b00000000;
    DDRD=0b11111000;
    PORTD=0b00000001;
    DDRB.3=1;
}

```

```

PORTB.3=1;
ACSR=0x80;
ADCSRB=0x00;
DIDR0=0b00000001;
ADMUX=ADC_VREF_TYPE&0xff;
ADCSRA=0xA6;
ADCSRB&=0xF8;
TCCR0A=0x00;
TCCR0B=0x05;
TCNT0=0x0b;
OCR0A=0x00;
OCR0B=0x05;
TIMSK0=0x01;
#asm("sei")
lcd_init(16);
lcd_clear();
while(1)
{
    if(stage_cont==0)
    {
        if(label_cont==0)
        {
            lcd_clear();
            lcd_gotoxy(0,0);
            lcd_putsf("TERMOFORMADO UTN");
            lcd_gotoxy(3,1);
            lcd_putsf("Pulse boton");
        }
        label_cont=1;
        valor_tc=lee_adc(0);
        termoc=(float)(valor_tc*200.0);
        termoc/=1023.0;
        if(PIND.2==1 && PIND.1==0)
        {
            modo=0;
            PORTC.3=1;
            PORTC.4=0;
            PORTB.3=1;
        }
        if(PIND.2==0 && PIND.1==1)
        {
            modo=1;
            PORTC.3=0;
            PORTC.4=1;
            PORTB.3=1;
        }
        if(PIND.2==1 && PIND.1==1)
        {
            modo=3;
            PORTC.3=0;
            PORTC.4=0;
            PORTB.3=0;
        }
    }
    if(modo==0)
    {
        if(stage_cont==1)
        {
            PORTC=0b01001;
            if(label_cont==2)
            {
                lcd_clear();
            }
        }
    }
}

```

```

    lcd_gotoxy(0,0);
    lcd_putsf("INGRESE PARAMETR");
    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_putsf("Tiempo:");
}
valor_tiempo=lee_adc(1);
tiempo=(float)(valor_tiempo*160.0);
tiempo/=1023.0;
lcd_gotoxy(10,1);
ftoa(tiempo,0,lcd_buffer);
lcd_puts(lcd_buffer);
if(tiempo>99)
{
    lcd_gotoxy(13,1);
    lcd_putsf("seg ");
}
if(tiempo<99 && tiempo>9)
{
    lcd_gotoxy(12,1);
    lcd_putsf("seg ");
}
if(tiempo<9)
{
    lcd_gotoxy(11,1);
    lcd_putsf("seg ");
}
label_cont=3;
}
if(stage_cont==2)
{
    PORTC=0b01010;
    if(label_cont==4)
    {
        lcd_clear();
        lcd_gotoxy(0,0);
        lcd_putsf("Temp.act:");
        lcd_gotoxy(0,1);
        lcd_putsf("Tiem(");
        lcd_gotoxy(5,1);
        ftoa(tiempo,0,lcd_buffer);
        lcd_puts(lcd_buffer);

        if(tiempo>99)
        {
            lcd_gotoxy(8,1);
            lcd_putsf("):");
        }
        if(tiempo<99 && tiempo>9)
        {
            lcd_gotoxy(7,1);
            lcd_putsf("):");
        }
        if(tiempo<9)
        {
            lcd_gotoxy(6,1);
            lcd_putsf("):");
        }
    }
    valor_tc=lee_adc(0);
    termoc=(float)(valor_tc*200.0);

```

```

termoc/=1023.0;
lcd_gotoxy(10,0);
ftoa(termoc,0,lcd_buffer);
lcd_puts(lcd_buffer);
if(termoc>99)
{
    lcd_gotoxy(13,0);
    lcd_putchar(0b10110010);
    lcd_gotoxy(14,0);
    lcd_putsf("C ");
}
if(termoc<99 && termoc>9)
{
    lcd_gotoxy(12,0);
    lcd_putchar(0b10110010);
    lcd_gotoxy(13,0);
    lcd_putsf("C ");
}
if(termoc<9)
{
    lcd_gotoxy(11,0);
    lcd_putchar(0b10110010);
    lcd_gotoxy(12,0);
    lcd_putsf("C ");
}
contador2=contador;
lcd_gotoxy(10,1);
itoa(contador2,lcd_buffer);
lcd_puts(lcd_buffer);
if(contador2>99)
{
    lcd_gotoxy(13,1);
    lcd_putsf("seg ");
}
if(contador2<99 && contador2>9)
{
    lcd_gotoxy(12,1);
    lcd_putsf("seg ");
}
if(contador2<9)
{
    lcd_gotoxy(11,1);
    lcd_putsf("seg ");
}
tiempo1=(int)(tiempo);
if(contador2<=tiempo1)
{
    PORTD.3=1;
    delay_ms(1000);
    init_cont=1;
}
else if(contador2>=tiempo1)
{
    init_cont=0;
    PORTD.3=0;
    PORTD.4=1;
    PORTD.6=1;
    stage_cont++;
}
label_cont=5;
}

```

```

if(stage_cont==3)
{
  init_cont=0;
  PORTD.3=0;
  PORTD.4=1;
  PORTD.6=1;
  PORTC=0b01100;
  lcd_clear();
  lcd_gotoxy(4,0);
  lcd_putsf("FORMANDO");
  lcd_gotoxy(0,1);
  lcd_putsf("Por favor espere");
  delay_ms(8000);
  stage_cont=4;
  PORTD.4=0;
  PORTD.6=0;
}
if(stage_cont==4)
{
  PORTC=0b01001;
  lcd_clear();
  lcd_gotoxy(5,0);
  lcd_putsf("Proceso");
  lcd_gotoxy(4,1);
  lcd_putsf("Terminado");
  delay_ms(500);
  PORTC=0b01010;
  delay_ms(500);
  PORTC=0b01100;
  delay_ms(500);
  PORTC=0b01000;
  stage_cont=0;
  label_cont=0;
  init_cont=0;
  tiempo1=0;
  contador=0;
  contador2=0;
}
}
if(modos==1)
{
  if(stage_cont==1)
  {
    PORTC=0b10010;
    if(label_cont==2)
    {
      lcd_clear();
      lcd_gotoxy(0,0);
      lcd_putsf("Temp.act:");
      lcd_gotoxy(0,1);
      lcd_putsf("Tiempo:");
    }
    valor_tc=lee_adc(0);
    termoc=(float)(valor_tc*200.0);
    termoc/=1023.0;
    lcd_gotoxy(10,0);
    ftoa(termoc,0,lcd_buffer);
    lcd_puts(lcd_buffer);
    if(termoc>99)
    {
      lcd_gotoxy(13,0);
      lcd_putchar(0b10110010);
    }
  }
}

```

```

    lcd_gotoxy(14,0);
    lcd_putsf("C ");
}
if(termoc<99 && termoc>9)
{
    lcd_gotoxy(12,0);
    lcd_putchar(0b10110010);
    lcd_gotoxy(13,0);
    lcd_putsf("C ");
}
if(termoc<9)
{
    lcd_gotoxy(11,0);
    lcd_putchar(0b10110010);
    lcd_gotoxy(12,0);
    lcd_putsf("C ");
}
contador2=contador;
lcd_gotoxy(10,1);
itoa(contador2,lcd_buffer);
lcd_puts(lcd_buffer);
if(contador2>99)
{
    lcd_gotoxy(13,1);
    lcd_putsf("seg ");
}
if(contador2<99 && contador2>9)
{
    lcd_gotoxy(12,1);
    lcd_putsf("seg ");
}
if(contador2<9)
{
    lcd_gotoxy(11,1);
    lcd_putsf("seg ");
}
PORTD.3=1;
delay_ms(1000);
init_cont=1;
label_cont=5;
}
if(stage_cont==2)
{
    init_cont=0;
    PORTD.3=0;
    PORTD.4=1;
    PORTD.6=1;
    PORTC=0b10100;
    lcd_clear();
    lcd_gotoxy(4,0);
    lcd_putsf("FORMANDO");
    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_putsf("Por favor espere");
    delay_ms(8000);
    stage_cont=3;
    PORTD.4=0;
    PORTD.6=0;
}
if(stage_cont==3)
{
    PORTC=0b10001;

```

```
    lcd_clear();
    lcd_gotoxy(5,0);
    lcd_putsf("Proceso");
    lcd_gotoxy(4,1);
    lcd_putsf("Terminado");
    delay_ms(500);
    PORTC=0b10010;
    delay_ms(500);
    PORTC=0b10100;
    delay_ms(500);
    PORTC=0b10000;
    stage_cont=0;
    label_cont=0;
    init_cont=0;
    tiempo1=0;
    contador=0;
    contador2=0;
  }
}
if(PIND.0==0)
{
  if(modos==0)
  {
    delay_ms(200);
    if(stage_cont<2)
    {
      stage_cont++;
      label_cont++;
    }
    while(PIND.0==0)
    {
    }
  }
  if(modos==1)
  {
    delay_ms(200);
    stage_cont++;
    label_cont++;
    while(PIND.0==0)
    {
    }
  }
}
}
```

ANEXO 15. Manual de operación y mantenimiento

**MANUAL DE OPERACIÓN
Y
MANTENIMIENTO**

MÁQUINA DE TERMOFORMADO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

ESTEBAN BRUSIL

2015

ANEXO 15. Manual de operación y mantenimiento

**MANUAL DE OPERACIÓN
Y
MANTENIMIENTO**

MÁQUINA DE TERMOFORMADO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

ESTEBAN BRUSIL

2015

1. INTRODUCCIÓN.

Este manual contiene información sobre la máquina de termoformado de láminas plásticas y debe guardarse en un lugar cercano donde se opere la misma.

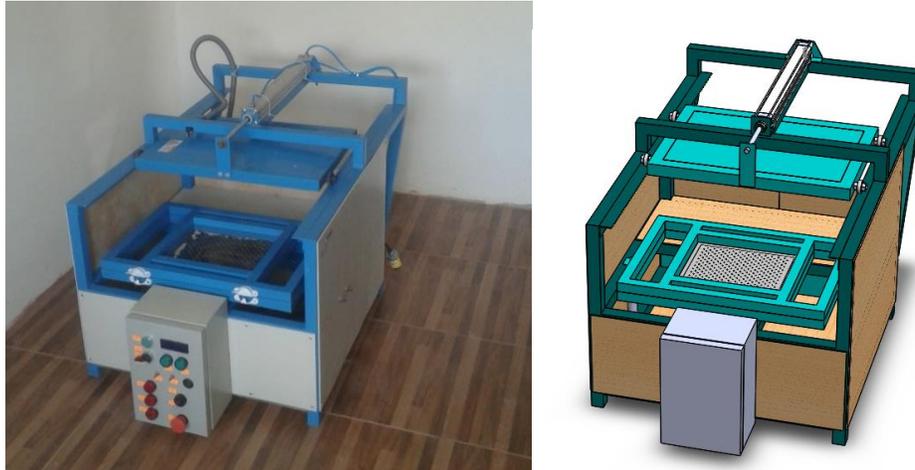


Figura 1. Diseño de la máquina de termoformado

1.1 BREVE DESCRIPCIÓN.

Esta máquina de termoformado tiene un diseño novedoso, construcción compacta, fina apariencia, fácil operación y bajo nivel de ruido. Su principal función es elaborar moldes para figuras de chocolate y artículos similares a partir de láminas plásticas. El proceso de termoformado empieza con el ingreso de los parámetros de funcionamiento (tiempo de calentamiento, temperatura) y con la sujeción de la lámina de PVC. Luego se calienta a la lámina de acuerdo a los valores ingresados previamente por el usuario a través del tablero de control. Cuando la hoja de plástico alcanza la temperatura adecuada, (dependiendo del material a usarse así, para el policloruro de vinilo o PVC es de 180°C aproximadamente), mediante un proceso de vacío o succión se adapta a la forma de una matriz previamente elaborada, y ubicada en la superficie de la cámara de vacío. Este proceso es automático.

El movimiento automático se realiza gracias a 3 cilindros neumáticos, gobernados por electroválvulas; un compresor es necesario para proveer al sistema de aire a presión. El vacío se efectúa gracias a una aspiradora común y el control se realizará mediante un microcontrolador. La máquina posee además un tablero control con visualización del proceso en una LCD; también cuenta con pulsadores, perillas y

luces indicadoras para su adecuado control. Se puede ver los componentes generales de la máquina al final de este manual (Figura 29).

2. ESPECIFICACIONES TECNICAS.

La máquina funciona con corriente alterna, a 110V. Requiere además para su trabajo una fuente de aire comprimido (compresor) con las siguientes características mínimas

Desplazamiento: 5 L/min

Presión: 0,5 MPa

Además se necesita de una aspiradora, de al menos 2 HP, para ejercer el vacío necesario.

Las medidas de la máquina de termoformado son las siguientes:

Largo: 1080 mm

Ancho: 654 mm

Alto: 658 mm

3. INFORMACIÓN IMPORTANTE DE SEGURIDAD.

Antes de la operación, mantenimiento o reparación de la máquina es necesario leer este manual de usuario, su omisión le pueden causar accidentes.

Por lo tanto, no opere este producto ni realice trabajos de mantenimiento o reparación hasta que haya leído y entendido toda la información aquí presente.

3.1 ADVERTENCIAS.

Esta sección contiene información sobre distintas señales de advertencia y su ubicación exacta en el producto. Familiarícese con todas las señales de advertencia. Los peligros se identifican con el siguiente símbolo de advertencia:



Figura 2. Señal de advertencia.

El mensaje que aparece en la parte de abajo del símbolo de advertencia, explica el peligro y está presentado en forma escrita o gráfica.

Si las señales no son visibles por suciedad, limpie el área con un trapo ligeramente húmedo con agua, no utilice excesiva agua ni disolventes ya que puede despegar el adhesivo. Si no se hace caso a las instrucciones y a las señales de advertencia, puede producirse accidentes leves y graves.

a) Aviso de Seguridad 1



Figura 3. Aviso de seguridad 1.

Esta etiqueta está ubicada en los costados de la máquina de termoformado, lugar que es totalmente visible.

b) Aviso de Seguridad 2



Figura 4. Aviso de seguridad 2.

Esta etiqueta está ubicada en la tapa y en los costados del módulo de calor de la máquina de termoformado.

c) Aviso de Seguridad 3



Figura 5. Aviso de seguridad 3.

Esta etiqueta está ubicada en la tapa y en el interior del gabinete metálico, donde se encuentra la parte eléctrica y de control de la máquina de termoformado.

3.2 PREVENCIÓN CONTRA QUEMADURAS

Si en el módulo de calentamiento se produce algún atascamiento o comportamiento fuera del habitual, apague la máquina hasta que se enfríe la superficie antes de realizar cualquier actividad de revisión o corrección.

4. SECCIÓN DE ENSAMBLAJE

La máquina de termoformado se encuentra ensamblada y lista para su funcionamiento. En caso de requerir un desensamblaje por cualquier motivo, se ilustra el proceso a continuación:

Primero necesitará quitar las tapas sujetas en la parte frontal, lateral, trasera, superior e inferior de la estructura. Están sujetas con tornillos con ranuras en forma de estrella, por lo que se los debe extraer antes de retirar las tapas:



Figura 6. Tornillo.

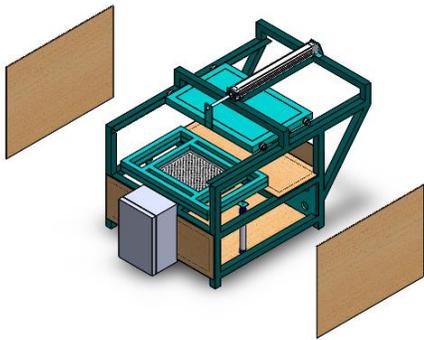


Figura 7. Tapas laterales.

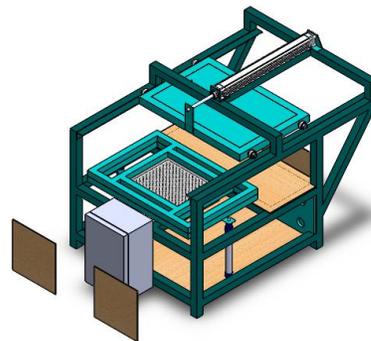


Figura 8. Tapas frontales.

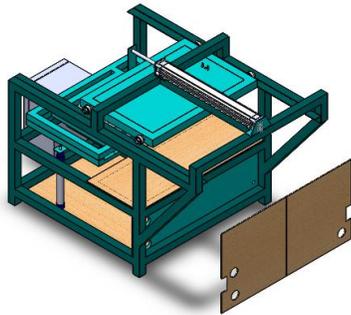


Figura 9. Tapas traseras.

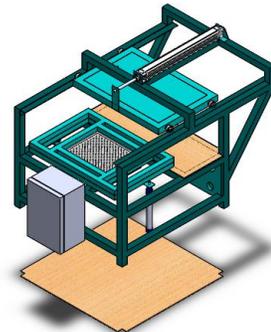


Figura 10. Tapa inferior.

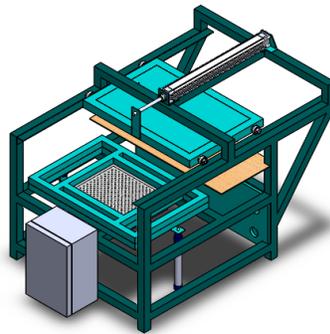


Figura 11. Tapa superior.

Para retirar el módulo de calor, primeramente se la debe desacoplar del cilindro superior. Para esto, se deben retirar los tornillos, tuercas y arandelas que sujetan al bastidor, a la placa de acoplamiento y al cilindro. Posteriormente, ya se podrá separar al módulo de calor de la estructura:



Figura 12. Acoplamiento.

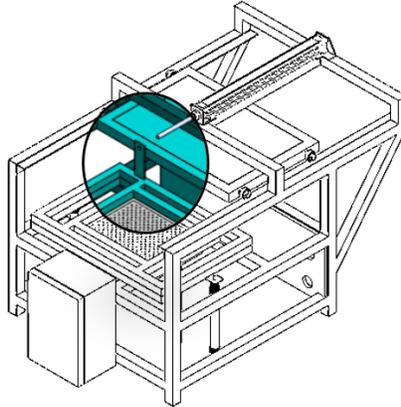


Figura 13. Ubicación de placa de acoplamiento

En caso de ser necesario desarmar el módulo de calor, se debe conocer que consta de cinco partes: la carcasa exterior, el aislante, la carcasa interior, la resistencia calefactora y los rodamientos. El aislante térmico (lana de vidrio) se encuentra situado entre la carcasa interior y exterior.

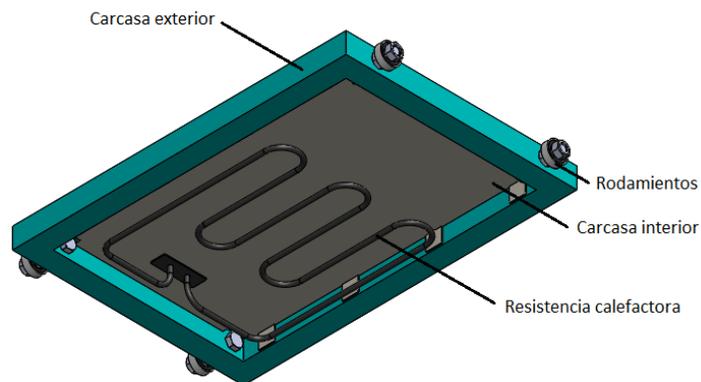


Figura 14. Módulo de calor

1. Retirar tuercas, rodamientos y pernos.

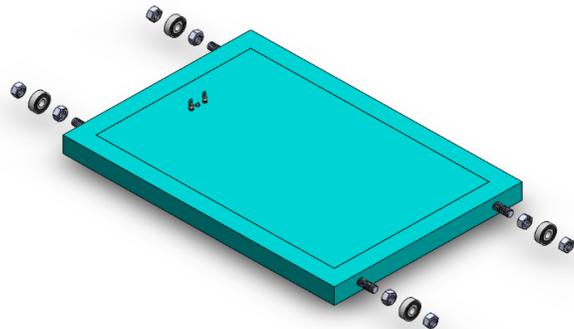


Figura 15. Tuercas, rodamientos y pernos de módulo de calor.

2. Retirar resistencia calefactora, carcasa interior y aislante térmico

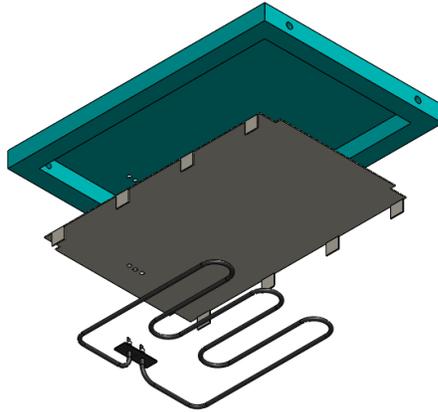


Figura 16. Partes del módulo de calor

Para desmontar el bastidor de sujeción de las láminas de plástico: primero se deberá quitar las tuercas y arandelas que aprisionan el bastidor con los cilindros laterales, para luego retirar el bastidor de la estructura:



Figura 17. Sujeción del bastidor.

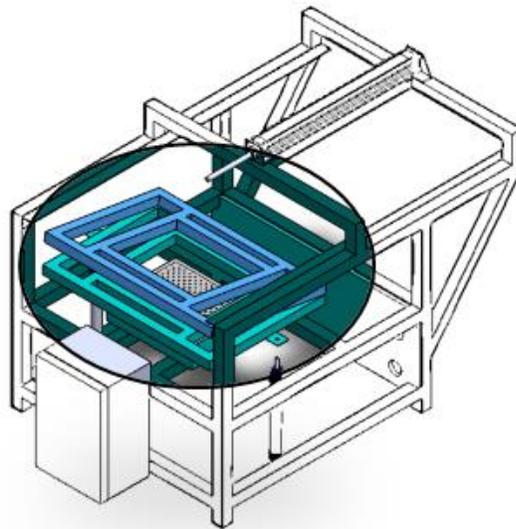


Figura 18. Bastidor

Una vez retirado el bastidor, se puede quitar también la cámara de vacío. Antes de sacarla, se debe desconectar la manguera de vacío ubicada en la parte de debajo de la cámara. Una vez realizado esto, se procede a extraer los tornillos ubicados en la cara inferior, que unen a la cámara de vacío con la estructura.

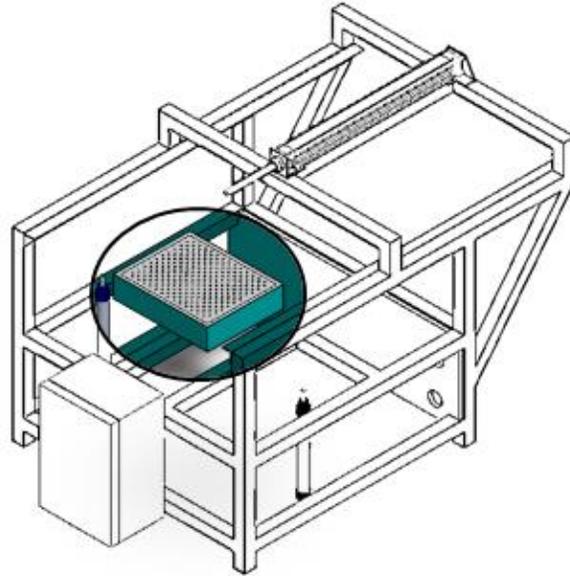


Figura 19. Cámara de vacío.

Para retirar el soporte de las válvulas ubicado en la parte trasera de la máquina, primero se debe desconectar todas las mangueras de las entradas y salidas del circuito neumático (válvulas, cilindros, compresor). Posteriormente se puede extraer ya el soporte junto con las electroválvulas.

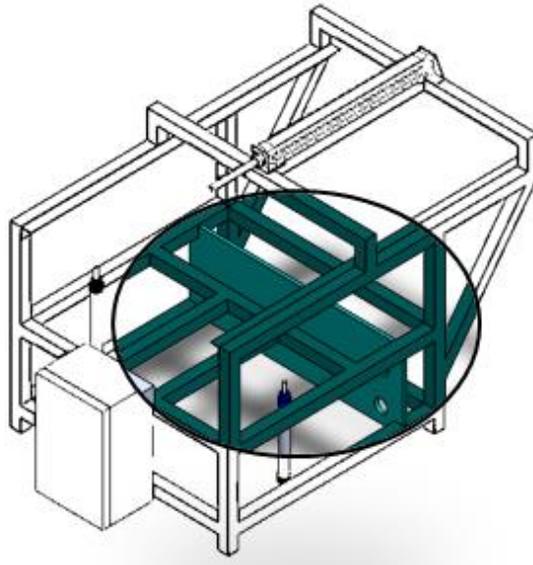


Figura 20. Soporte de válvulas.

Ahora para extraer los cilindros neumáticos las mangueras deben estar ya desconectadas de las entradas y salidas de aire. Cuando ya se haya esto hecho, se pueden retirar los



Figura 22. Cilindro superior 2.

cilindros. El cilindro superior está sujeto con tornillos en su parte superior e inferior.



Figura 21. Cilindro superior 1.

Cuando se haya extraído estos tornillos, se procede a retirar las tuercas y tornillos del soporte inferior del cilindro. Cuando ya se haya hecho esto, el cilindro se

podrá extraer de manera sencilla.

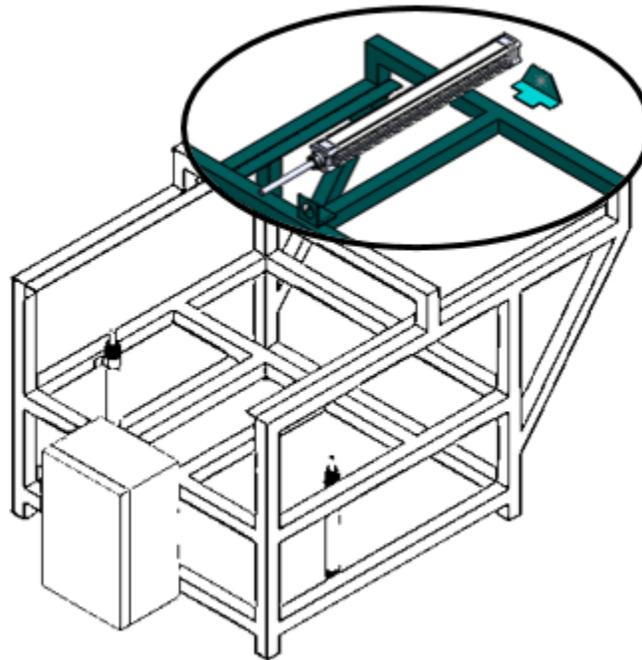


Figura 23. Ubicación del cilindro superior

Los cilindros laterales que mueven al bastidor están sujetos por tres pernos, dos de los cuales están ubicados en las abrazaderas en su parte superior y un tercero en la parte inferior del cilindro.



Figura 24. Abrazaderas.

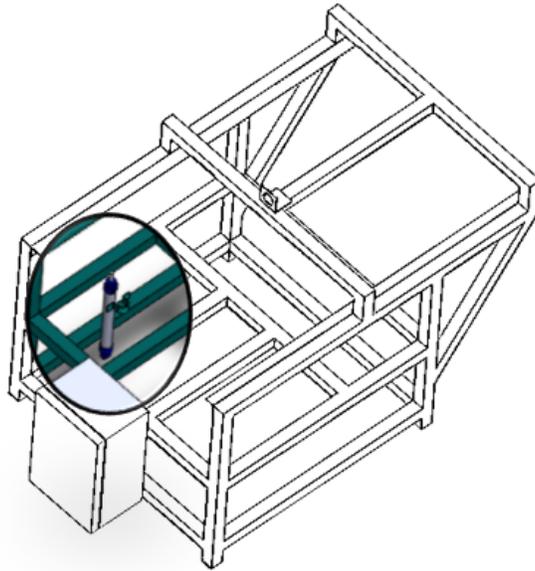


Figura 25. Cilindro lateral

Se debe evitar extraer la caja de control si no se tiene conocimiento de electrónica y electricidad. Si a pesar de eso se desea extraerla, se debe desconectar de la fuente de voltaje y extraer las tarjetas de control ubicadas en el interior de la caja. Detrás de estas tarjetas, existen tres tornillos que unen a la caja con la estructura.

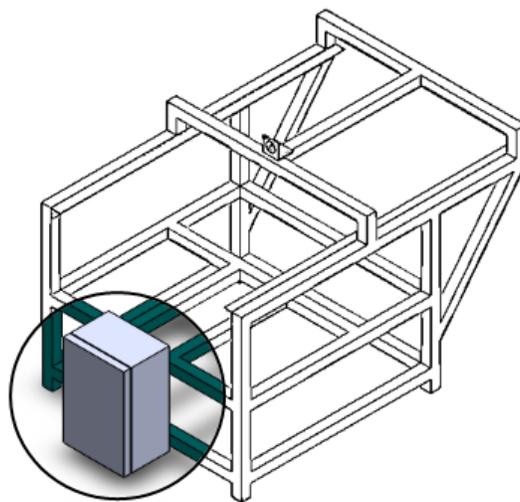


Figura 26. Caja de control

El ensamblaje supone un proceso inverso al explicado.

Se sugiere organizar los tornillos, tuercas y arandelas para evitar confusiones durante el ensamblaje.

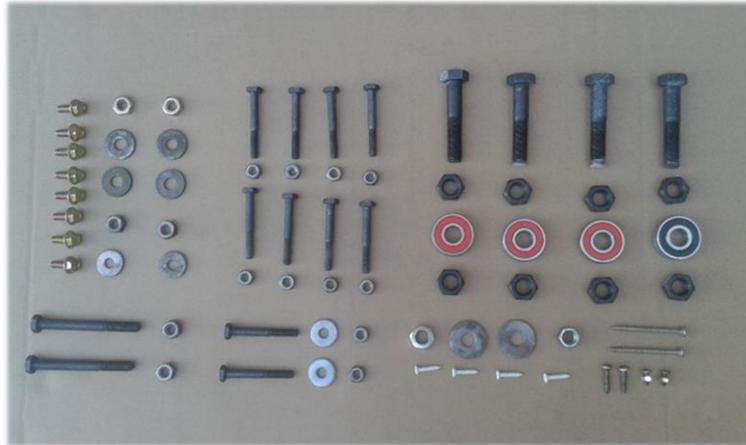


Figura 27. Elementos en general

5. SECCIÓN DE OPERACIÓN

5.1 ENCENDIDO Y APAGADO DEL SISTEMA

Para encender la máquina primero se verifica que esté completamente armada y que no haya ningún objeto sobre el módulo de calor o sobre el bastidor.

Se debe conectar la salida del compresor en la entrada de aire a presión, la manguera de vacío de la aspiradora en la entrada correspondiente y el enchufe de la aspiradora en la toma de corriente indicada, todo esto en la parte trasera de la máquina.

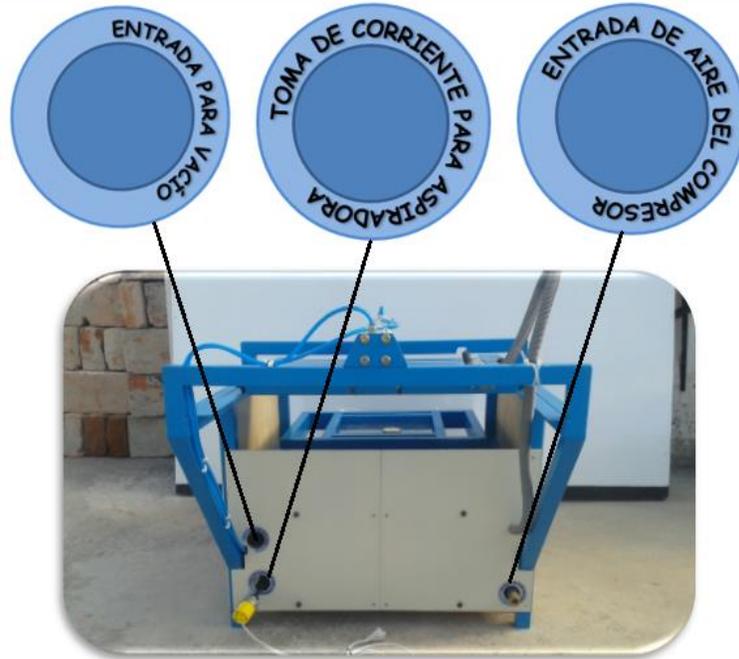


Figura 28. Entradas y salidas de la máquina

Se debe colocar en el bastidor la lámina de plástico que se va a termoformar, de 25 x 30 cm, junto con la matriz con la forma deseada sobre la superficie de la caja de vacío.

En el panel de control si se acciona el *switch de encendido/apagado* en la posición de encendido, el módulo de calor empieza a calentar y se muestra la siguiente pantalla:

```

TERMOFORMADO UTN
Pulse boton
  
```

Para continuar el proceso, se debe oprimir firmemente el botón de *enter*.

5.2 MODO AUTOMÁTICO, MANUAL Y STAND-BY.

La máquina tiene dos modos de funcionamiento: *automático* y *manual*, seleccionados al inicio del proceso mediante el switch correspondiente.

En el **modo automático**, al oprimir el botón de *enter*, nos pide que ingresemos el parámetro de tiempo, que es el intervalo durante el cual la lámina de plástico será calentada:

INGRESE PARAMETR
Tiempo: 77se9

Se debe ingresar, mediante la perilla de *ingreso de tiempo*, el lapso que se ha explicado anteriormente. La temperatura a la cual funcionará la máquina esta preajustada a 190°C. Si se desea cambiar este parámetro, es necesario reajustar el controlador de temperatura:



Oprima el botón *set* ubicado en la parte inferior izquierda. Luego seleccione la temperatura deseada mediante las flechas derecha (◀), abajo (▼) y arriba (▲). Oprima otra vez el botón *set* para ingresar el parámetro.

Para permitir el movimiento automático, es necesario también cambiar el valor de la *alarma* en el controlador de temperatura. Esta *alarma* permite que, al alcanzar cierta temperatura, se envíe una señal al microcontrolador. Al recibirse esta señal, se desplazará el módulo de calor y empezará a calentarse el material. Para ingresar el parámetro de dicha *alarma*, se debe oprimir el botón *set* durante un par de segundos. Se mostrará la siguiente pantalla:



Aquí se configura de igual manera el valor de la *alarma* con las flechas. Para confirmar este valor, se presiona el botón *set* durante un par de segundos otra vez. Es importante no cambiar ningún otro parámetro del controlador. En caso de duda, revisar el *datasheet* del controlador de temperatura.

Cuando se haya indicado el tiempo deseado, se oprime otra vez el botón de *enter*, para ver la siguiente pantalla:



```
CALENTAMIENTO
Tiem(8): 4se9
```

Se muestra ahora la el *tiempo transcurrido*. El módulo de calor se desplaza sobre la lámina de plástico para calentarla, cuando haya alcanzado la temperatura configurada anteriormente en *alarma*. Cuando el proceso llega al tiempo especificado, se pasa a la siguiente etapa, donde se empieza a ejercer el vacío durante 15 segundos:



```
FORMANDO
Por favor espere
```

Finalmente, se muestra la pantalla que indica que el proceso ha terminado:



```
Proceso
Terminado
```

En el **modo manual**, después de aplastar el botón de *enter* por primera vez, se esperará a que se alcance la temperatura de la *alarma*, y se desplaza el módulo de calor sobre la hoja plástica. La pantalla nos muestra el *tiempo transcurrido*.



```
CALENTAMIENTO
Tiempo: 4se9
```

En este modo, se debe oprimir *enter* otra vez para pasar a la etapa de vacío. Al hacerlo, se retira el módulo de calor y se absorbe el aire para dar forma a la lámina de plástico, durante 15 segundos:



```
FORMANDO
Por favor espere
```

Finalmente, se muestra la pantalla que indica que el proceso ha terminado:



La máquina también tiene un modo de **stand by**, el cual apaga la pantalla y suspende el calentamiento, a la espera a que se elija cualquiera de los otros dos modos: *automático o manual*.

En cualquier momento se puede verificar la temperatura actual del proceso en el controlador de temperatura.

5.3 LUCES INDICADORAS

La máquina cuenta con 2 grupos de indicadores: el primero (verde) muestra el modo del proceso que se está llevando a cabo: *automático o manual*. El segundo grupo (rojo) indica la etapa en la que se halla el proceso: *Etapa 1* (ingreso de parámetros), *Etapa 2* (calentamiento) o *Etapa 3* (vacío).

5.4 PARADA DE EMERGENCIA DEL SISTEMA

Si se suscita una emergencia por un posible accidente de quemadura, falla mecánica o cualquier anomalía en el funcionamiento de la máquina, se debe presionar el botón de parada de emergencia que detendrá inmediatamente el proceso.

6. MANTENIMIENTO.

La limpieza de la máquina consiste en eliminar polvo o suciedad acumulada.

Apague la máquina y verifique que el calefactor se encuentre frío. Posteriormente, y mediante una franela seca o húmeda limpie todo el sistema.

No utilice aceite, desinfectante, ni gasolina en el proceso.

La máquina de termoformado no requiere de un mantenimiento complejo. Sin embargo, es necesario seguir las recomendaciones del fabricante del compresor y realizar una limpieza frecuente de la aspiradora. Los periodos de realización de cada actividad se detallan en la siguiente tabla.

	Antes de cada uso	Cada 20h	Cada 40h	Cada 60h
Máquina de termoformado				
Limpiar polvo o suciedad acumulada	•			
Revisar estado general de la máquina	•	•		
Compresor				
Revisar el nivel de aceite. Cambiar si es necesario	•	•		
Limpiar la caja del cigüeñal, revisar el filtro depurador, comprobar la válvula de seguridad y el manómetro.			•	
Abrir la llave de drenaje debajo del depósito para eliminar la condensación				•
Aspiradora				
Limpiar polvo o suciedad acumulada	•	•		
Limpiar filtro de aire			•	

Tabla 1. Mantenimiento de la máquina de termoformado

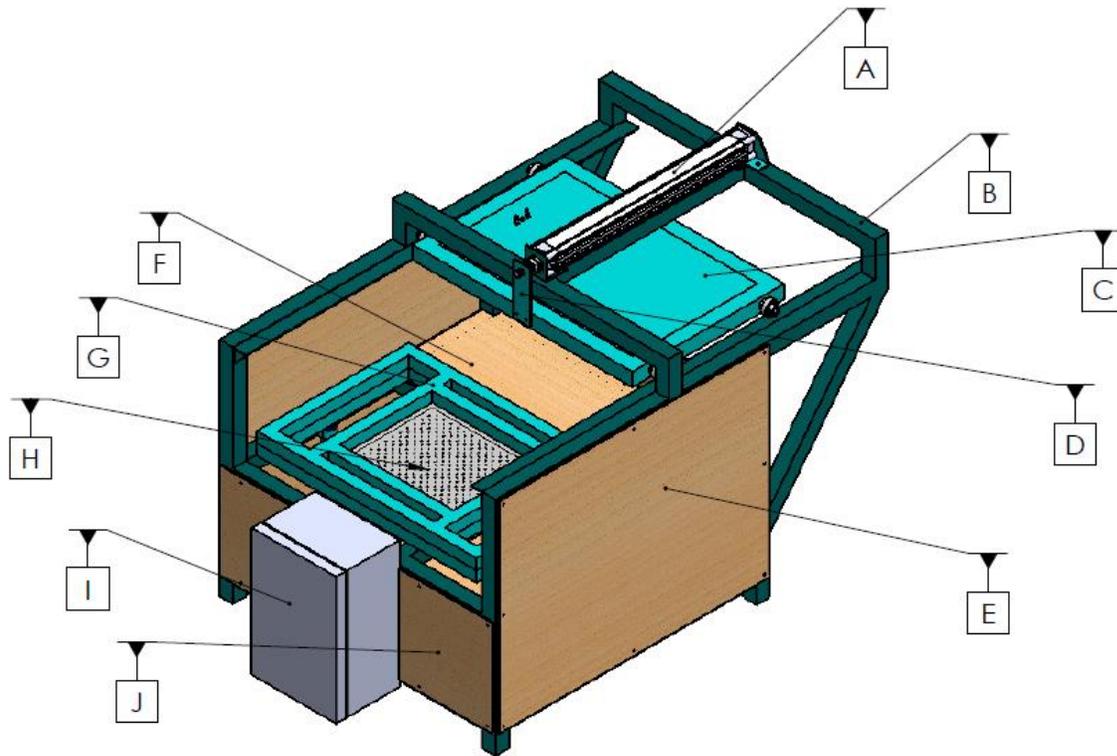
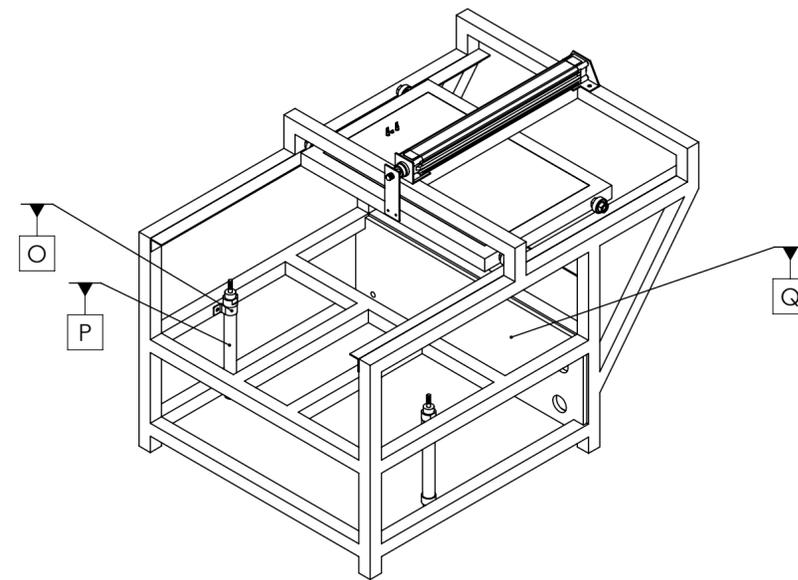
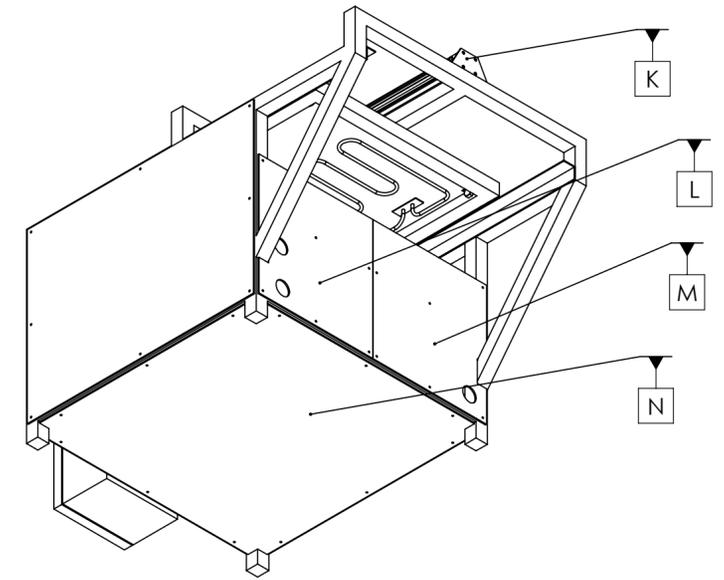
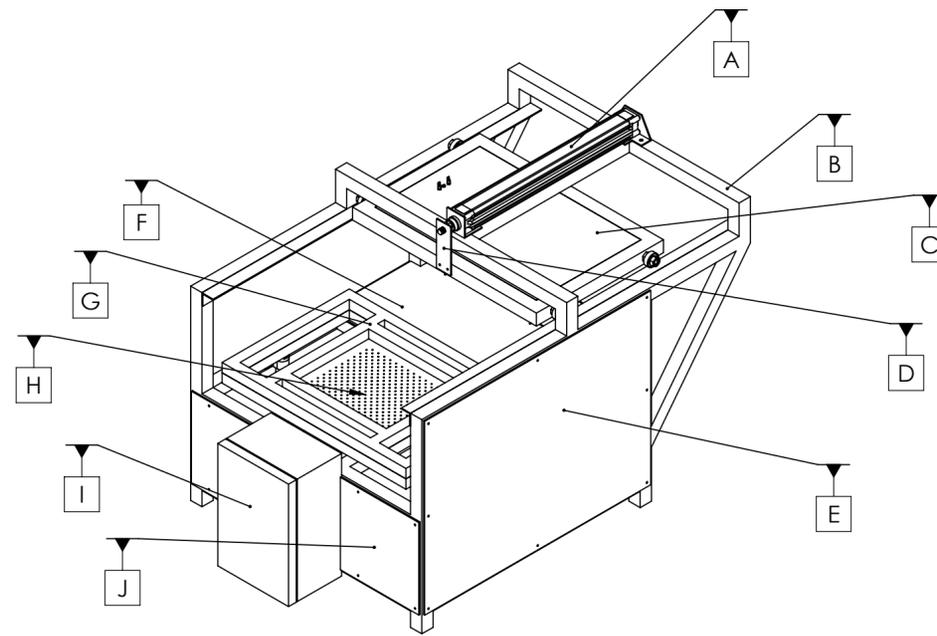
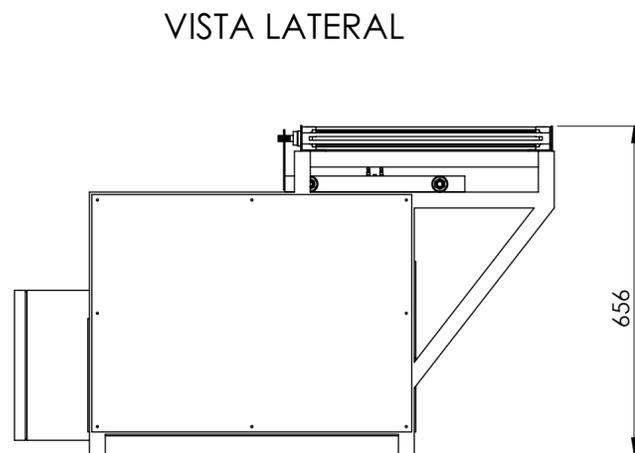
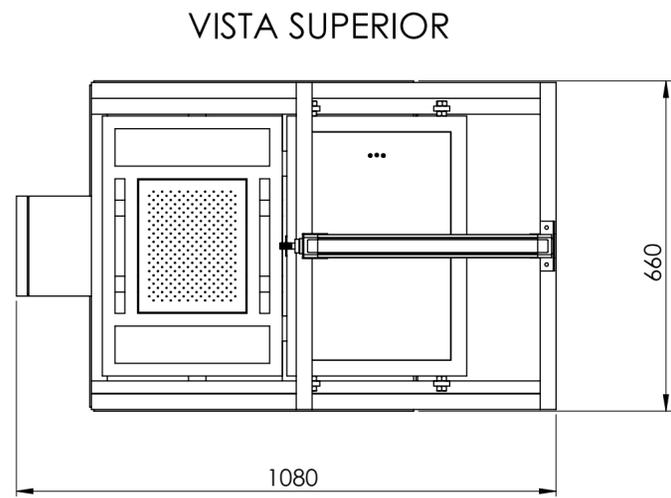


Figura 29. Elementos de la máquina

N. de Pieza	Nombre del elemento
A	Cilindro Superior
B	Estructura
C	Módulo de calor
D	Placa de acoplamiento
E	Tapa lateral
F	Tapa Superior
G	Bastidor para láminas
H	Cámara de vacío
I	Gabinete de control
J	Tapa Frontal

Tabla 2. Elementos de la máquina

ANEXO 17. Planos mecánicos y eléctricos



N. de Pieza	Nombre del elemento	Descripción	Cant.
A	Cilindro Superior	Cilindro perfilado doble efecto 32X400mm EMC (FVB-32X400-S)	1
B	Estructura	Tubo estructural ASTM A-500 1.25 in	1
C	Módulo de calor	Acero ASTM A-588M 1mm	1
D	Placa de acoplamiento	Acero ASTM A-588M 3.5mm	1
E	Tapa lateral	Tablero contrachapado triplex 3mm	2
F	Tapa Superior	Tablero contrachapado triplex 3mm	1
G	Bastidor para láminas	Tubo estructural ASTM A-500 1in	2
H	Cámara de vacío	Acero inox. AISI 304 1mm, Tablero contrachapado triplex 12mm	1
I	Gabinete de control	NEMA Tipo 5	1
J	Tapa Frontal	Tablero contrachapado triplex 3mm	2
K	Soporte Cilindro Superior	Tubo estructural ASTM A-500 1.75 in	1
L	Tapa Trasera 1	Tablero contrachapado triplex 3mm	1
M	Tapa Trasera 2	Tablero contrachapado triplex 3mm	1
N	Tapa Inferior	Tablero contrachapado triplex 3mm	1
O	Abrazadera Cilindros laterales	Acero ASTM A-588M	2
P	Cilindros Laterales	Microcilindro doble efecto 20X150mm EMC (RAL-20X150-S)	2
Q	Tablero Soporte Válvulas	Tablero contrachapado triplex 12mm	1

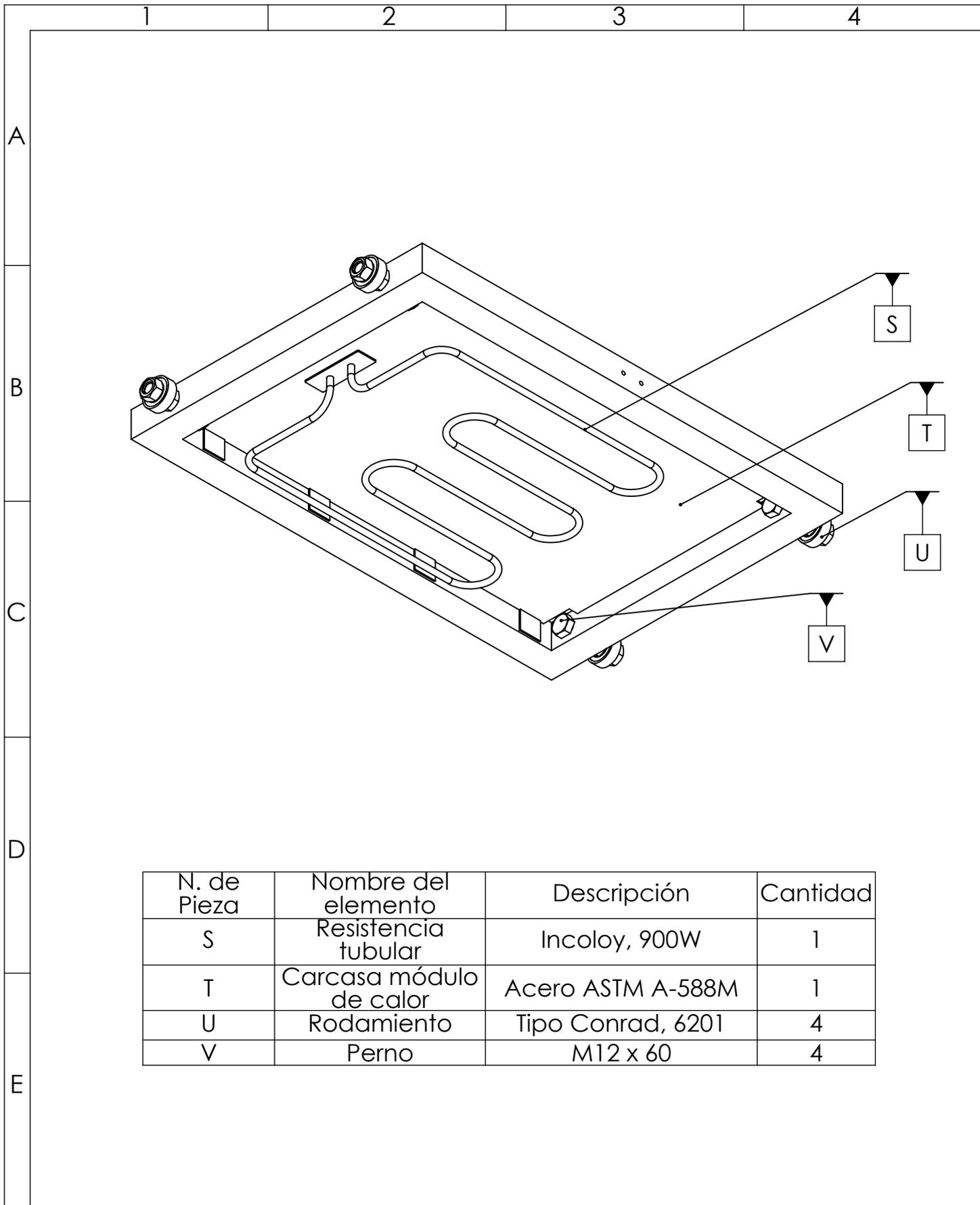
DIMENSIONES:

Altura total: 656 mm
 Largo total: 660 mm
 Ancho total: 1080 mm

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

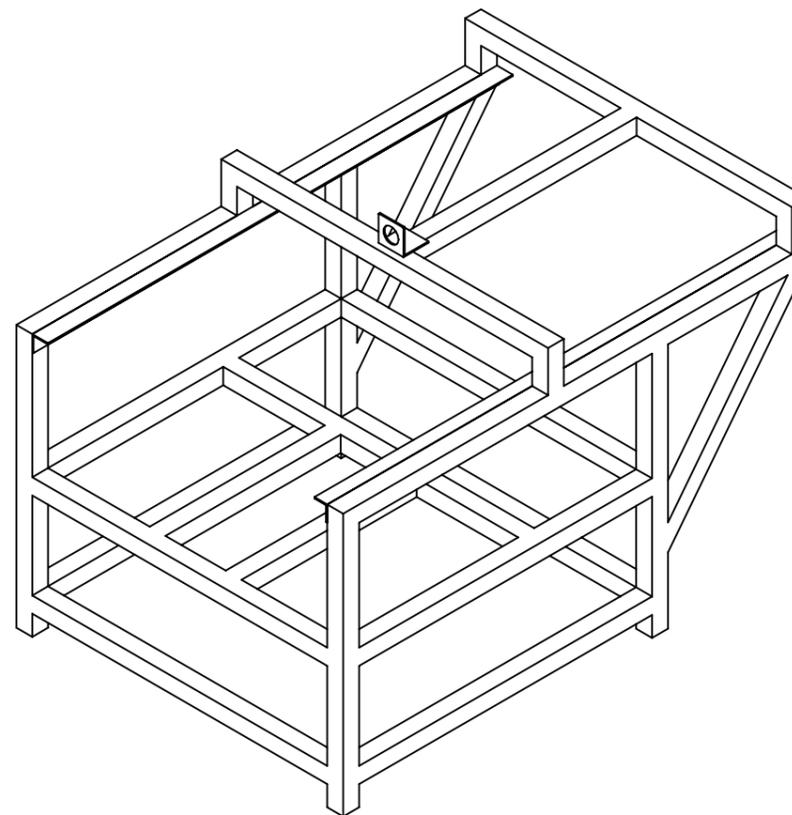
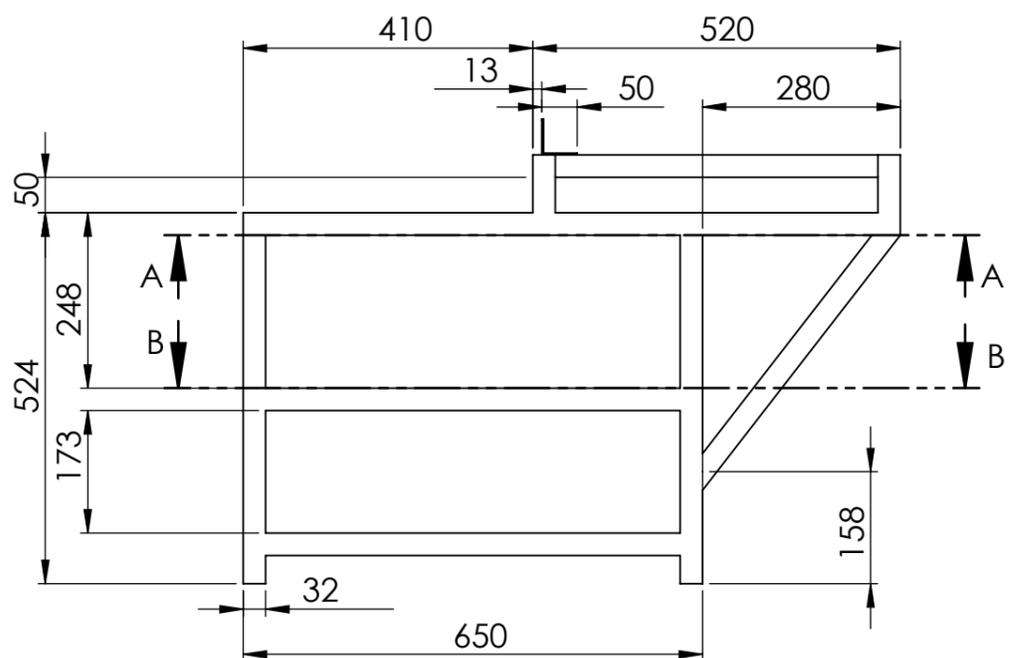
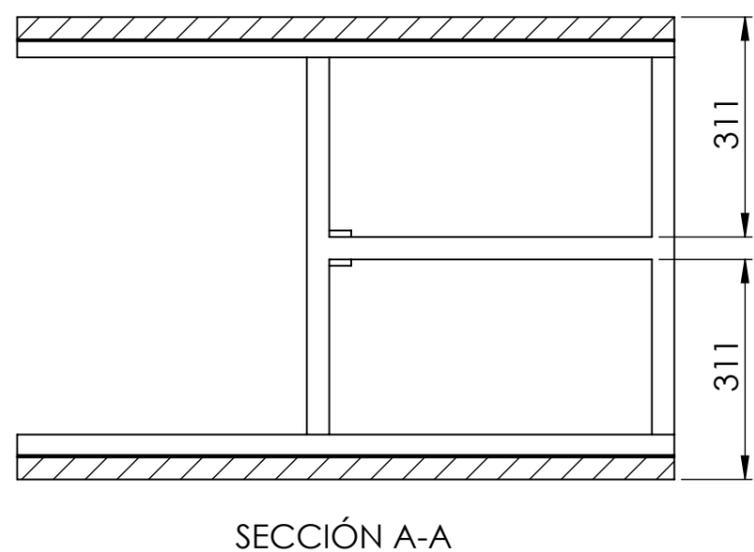
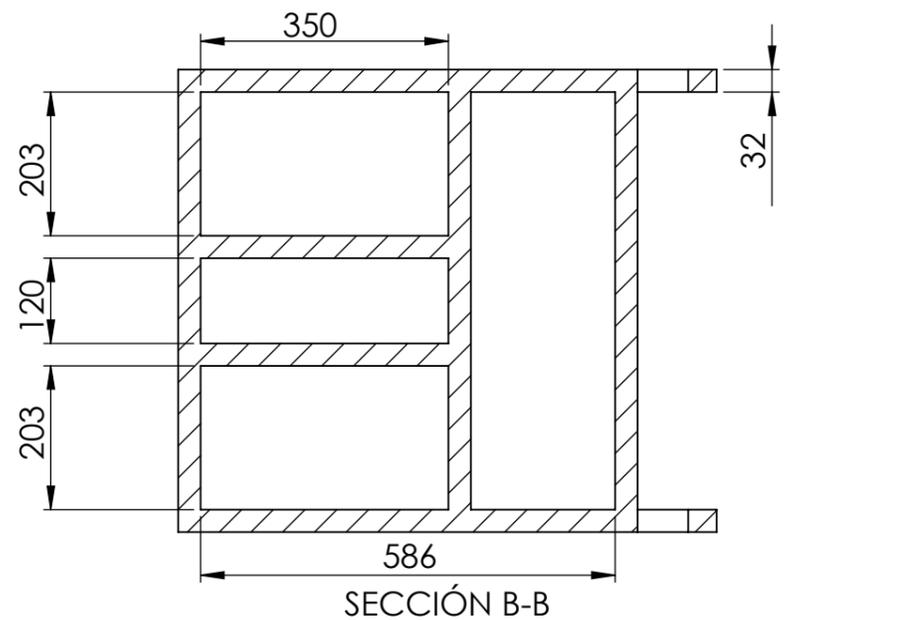
Voltaje: 110V
 Corriente (max): 10 A

Tolerancias		Peso		Materiales	
± 0.5				Acero, madera	
Fecha		Nombre		Denominación	
07-10-15		BRUSIL E.		Plano de conjunto máquina de termoformado	
Rev.		VILLARREAL C.		Escala	
07-10-15		VILLARREAL C.		1 : 10	
Apro.		VILLARREAL C.		Número del dibujo	
07-10-15		VILLARREAL C.		CIME-DIB-001	
Firma/Empresa		Esteban Brusil		Marca de Registro	
Edición		Modificación		Sustitución	
Fecha		Nombre		1 DE 1	

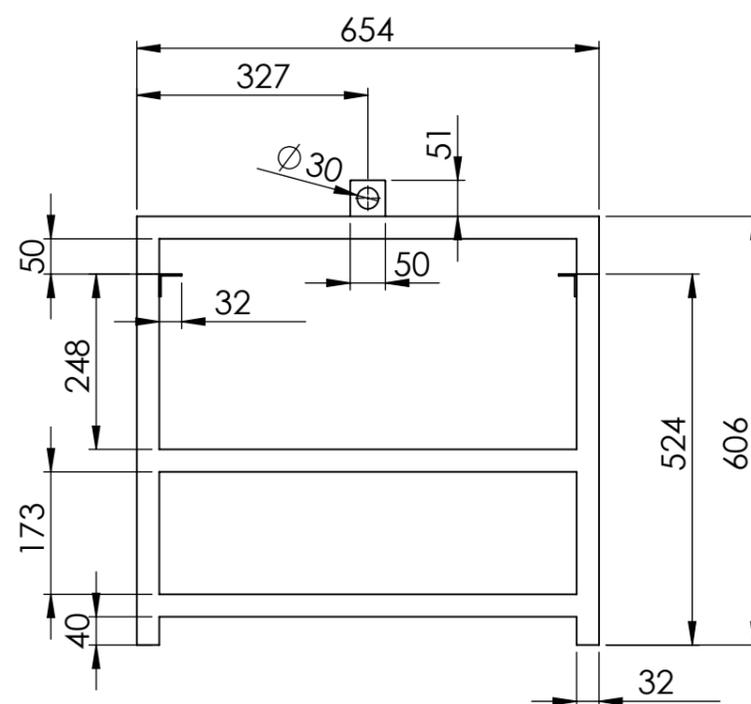


N. de Pieza	Nombre del elemento	Descripción	Cantidad
S	Resistencia tubular	Incoloy, 900W	1
T	Carcasa módulo de calor	Acero ASTM A-588M	1
U	Rodamiento	Tipo Conrad, 6201	4
V	Perno	M12 x 60	4

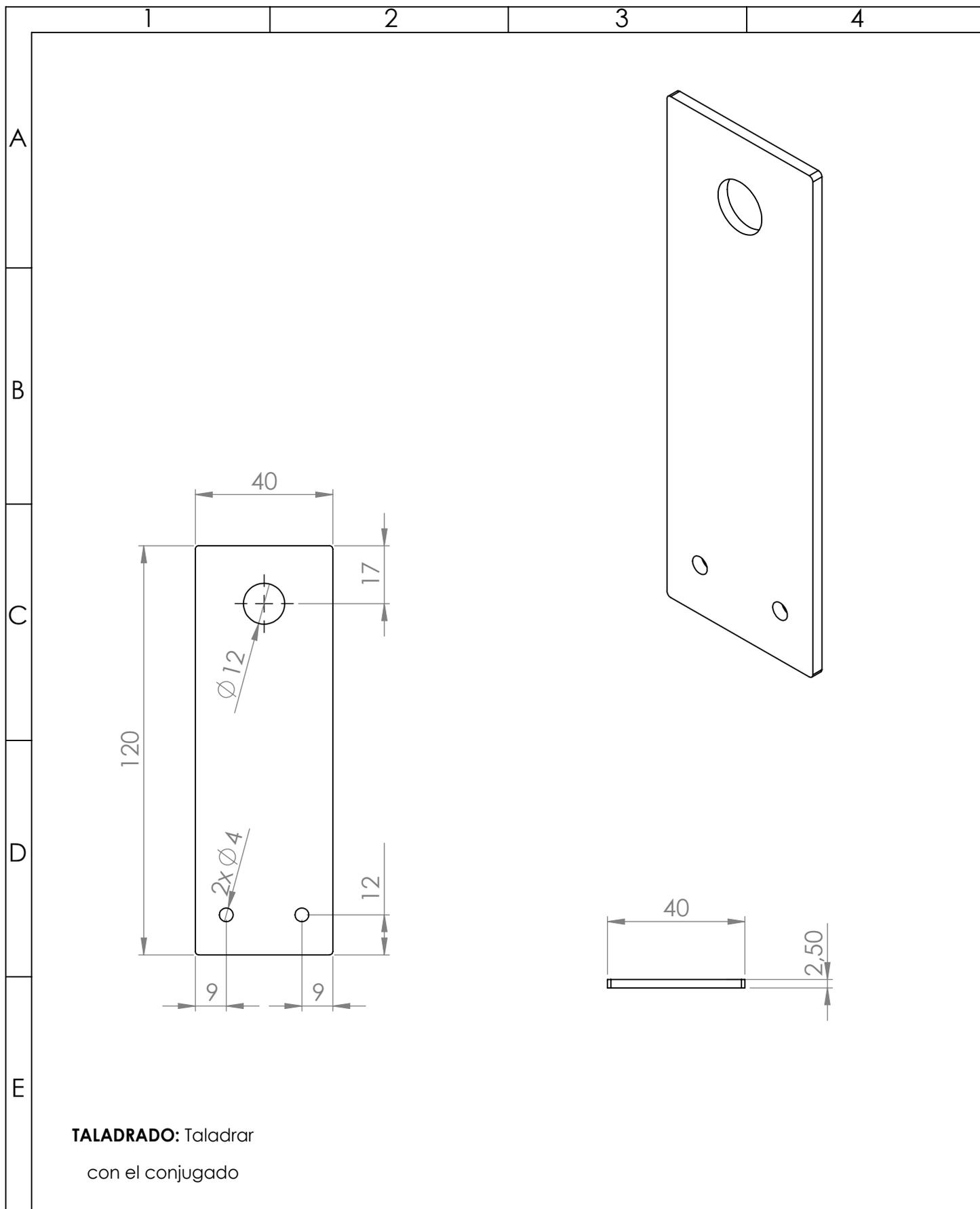
				Tolerancias	Peso	Materiales		
				± 0.5	1 kg			
					Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib.	07-10-15	BRUSIL E.		
				Rev.	07-10-15	VILLARREAL C.		
					Apro.	07-10-15	VILLARREAL C.	1 : 5
				Firma/Empresa			Número del dibujo	
				<i>Esteban Brusil</i>			CIME-DIB-002	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución	1 DE 1



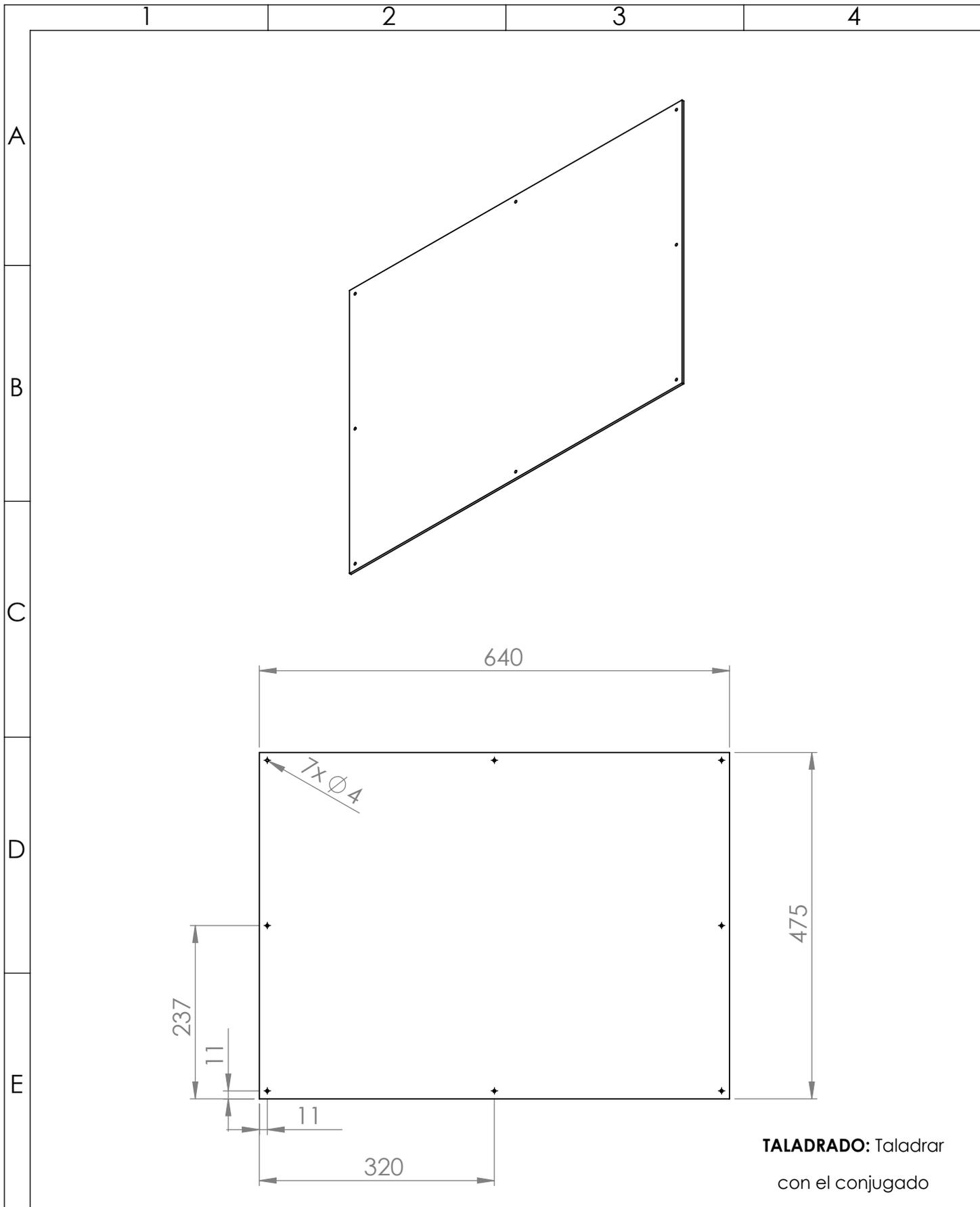
SOLDADURA: Soldadura eléctrica con electrodo 6011 y cordón fino (5mm aprox.)



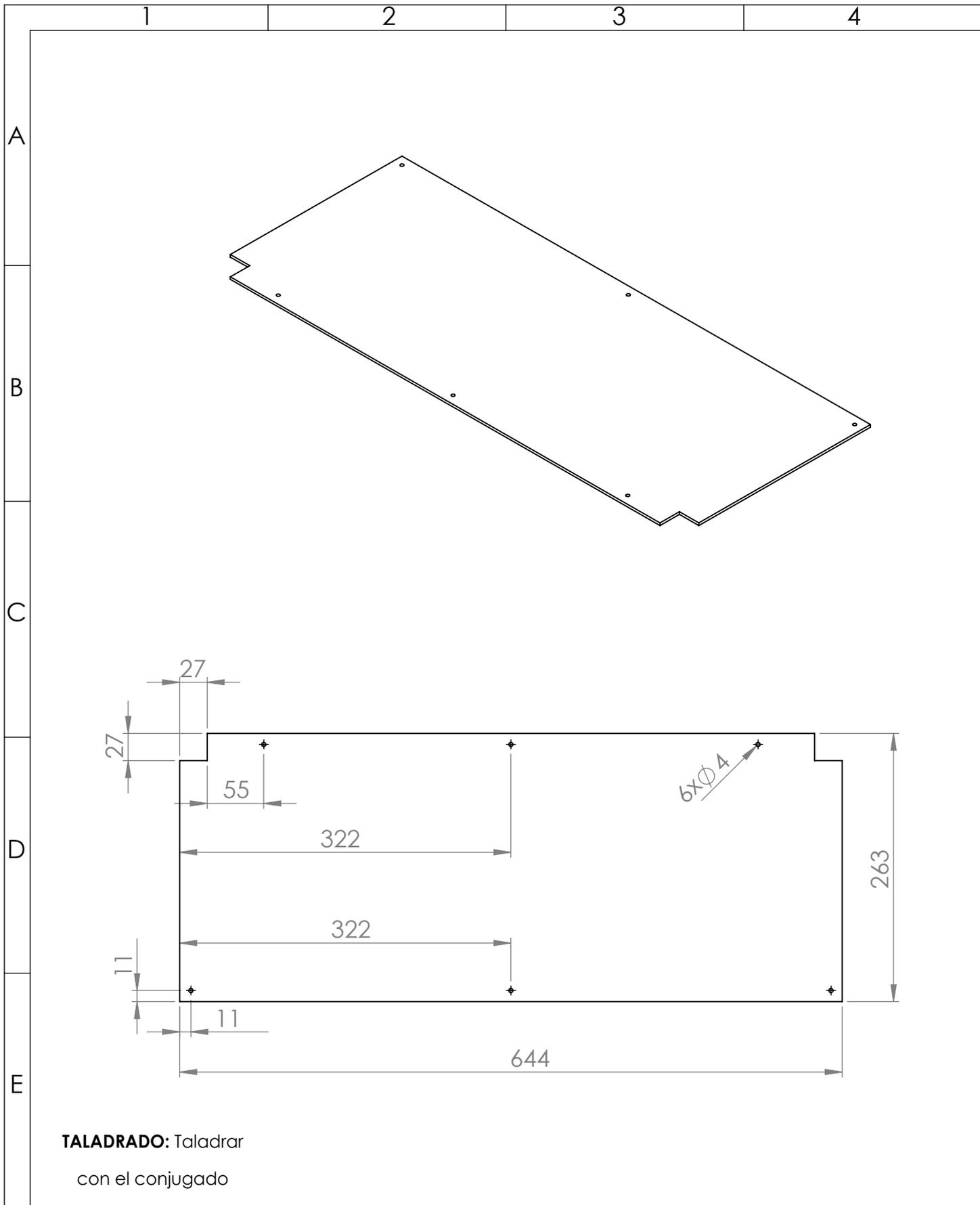
				Tolerancias	Peso	Materiales	
				± 0.5	45 kg	Tubo estructural ASTM A-500 1.25 in x 1.2 mm	
						Denominación	Escala
				Dib.	Fecha	Nombre	Estructura
				07-10-15	BRUSIL E.		
				07-10-15	VILLARREAL C.		
				Apro.	07-10-15	VILLARREAL C.	
				Firma/Empresa	Número del dibujo		Marca de Registro
				<i>Esteban Brusil</i>	CIME-DIB-101		
					Sustitución		
					1 DE 1		



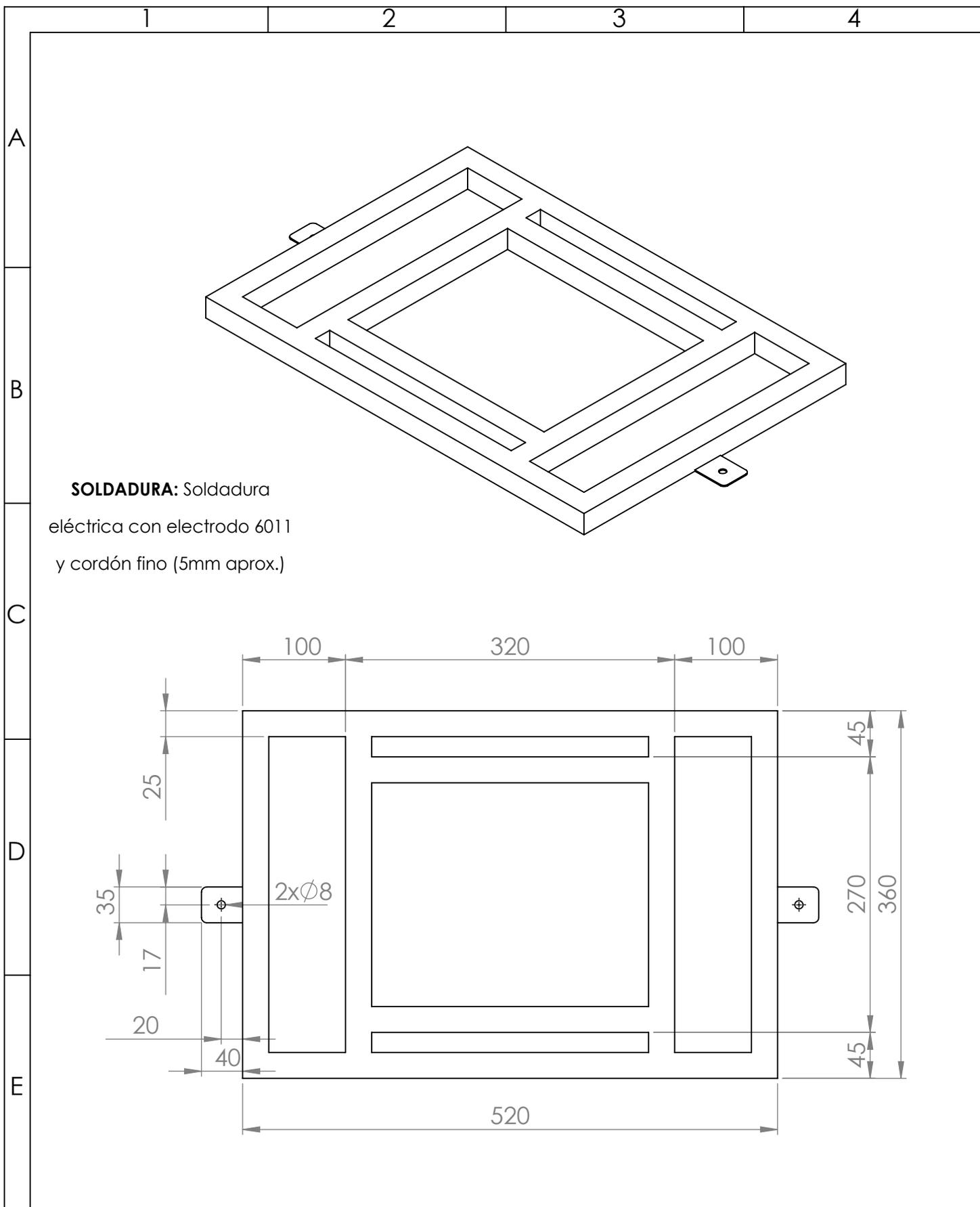
				Tolerancias	Peso	Materiales	
				± 0.5		Acero ASTM A-588 2.5 mm	
					Fecha	Nombre	Denominación
				Dib.	07-10-15	BRUSIL E.	Placa de acoplamiento
				Rev.	07-10-15	VILLARREAL C.	
				Apro.	07-10-15	VILLARREAL C.	
				Firma/Empresa		Número del dibujo	Marco de Registro
				<i>Esteban Brusil</i>		CIME-DIB-201	1 : 1.5
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	



				Tolerancias	Peso	Materiales		
				± 0.5		Acero ASTM A-588 1mm		
					Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib.	07-10-15	BRUSIL E.	Tapas laterales	1 : 7
				Rev.	07-10-15	VILLARREAL C.		
				Apro.	07-10-15	VILLARREAL C.		
				Firma/Empresa		Número del dibujo	Marco de Registro	
				<i>Esteban Brusil</i>		CIME-DIB-301		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución		1 DE 1

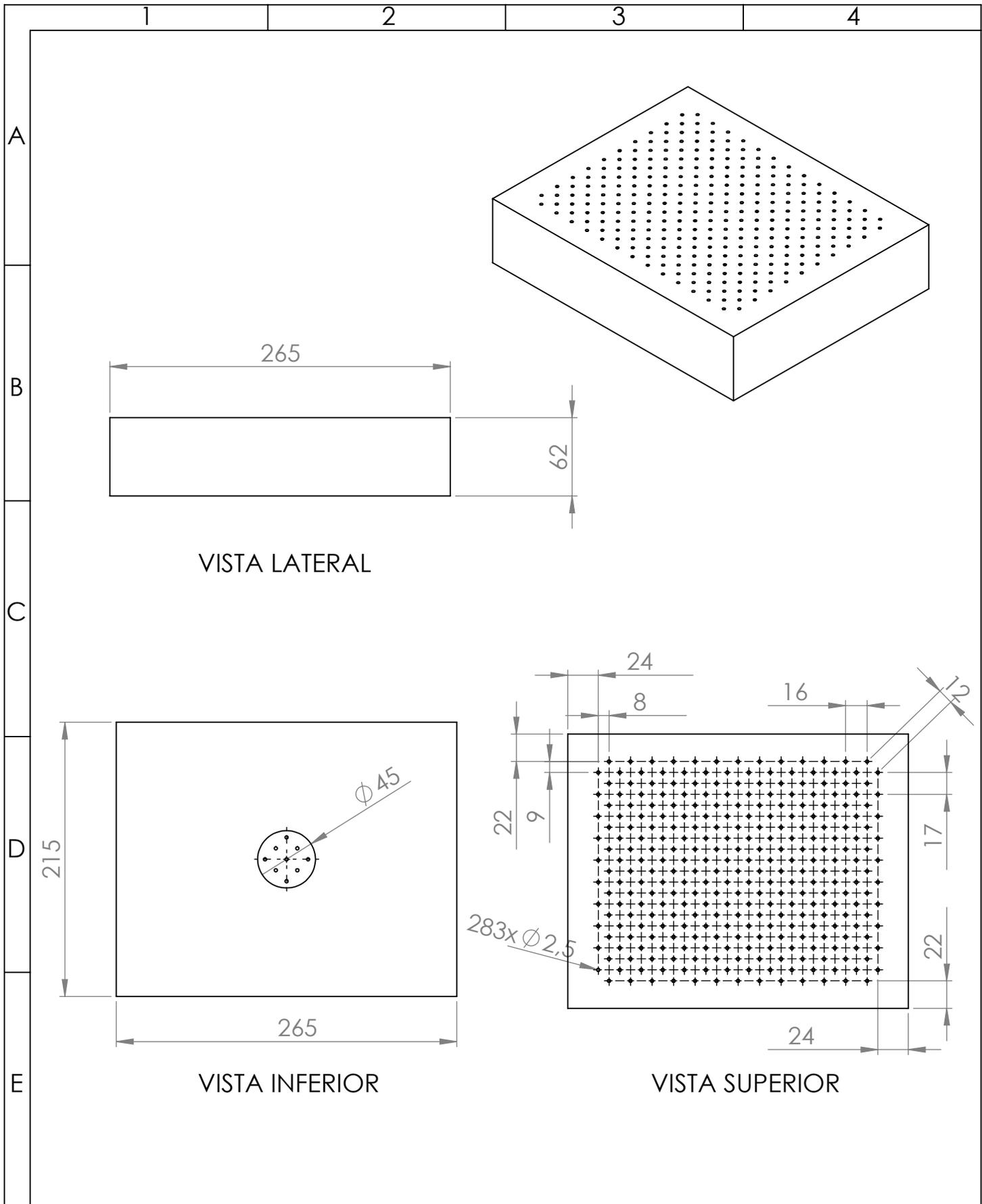


				Tolerancias	Peso	Materiales	
				± 0.5		Acero ASTM A-588 1mm	
					Fecha	Nombre	Denominación
				Dib.	07-10-15	BRUSIL E.	Tapa Superior
				Rev.	07-10-15	VILLARREAL C.	
				Apro.	07-10-15	VILLARREAL C.	
				Firma/Empresa		Número del dibujo	Marco de Registro
				<i>Esteban Brusil</i>		CIME-DIB-401	1 : 5
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	

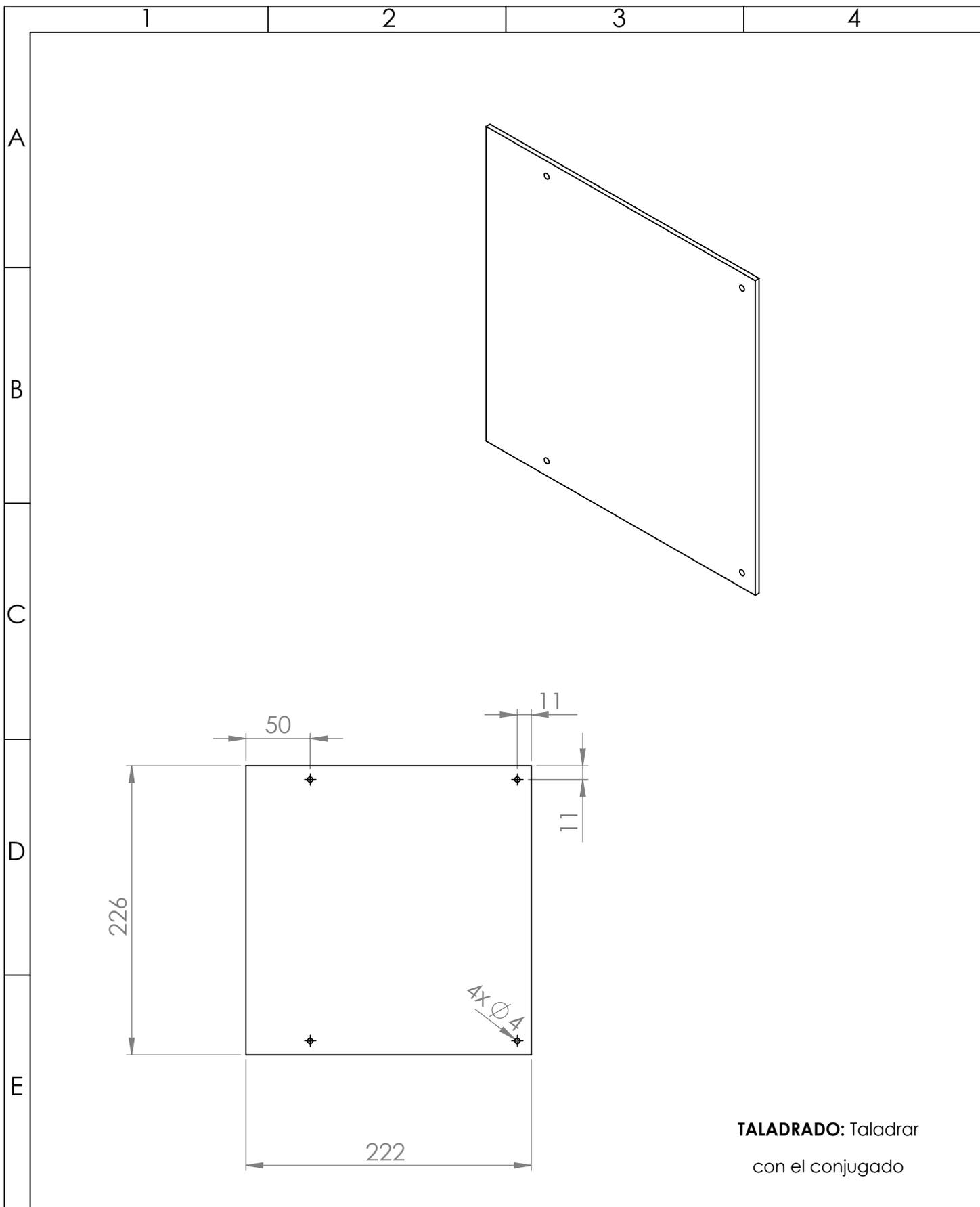


SOLDADURA: Soldadura eléctrica con electrodo 6011 y cordón fino (5mm aprox.)

				Tolerancias ± 0.5	Peso	Materiales Tubo estructural ASTM A-500 1 in x 1.2 mm	
						Denominación Bastidor	Escala 1 : 5
				Fecha	Nombre		
				Dib. 07-10-15	BRUSIL E.		
				Rev. 07-10-15	VILLARREAL C.		
				Apro. 07-10-15	VILLARREAL C.		
				Firma/Empresa <i>Esteban Brusil</i>		Número del dibujo CIME-DIB-501	Marco de Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución 1 DE 1	

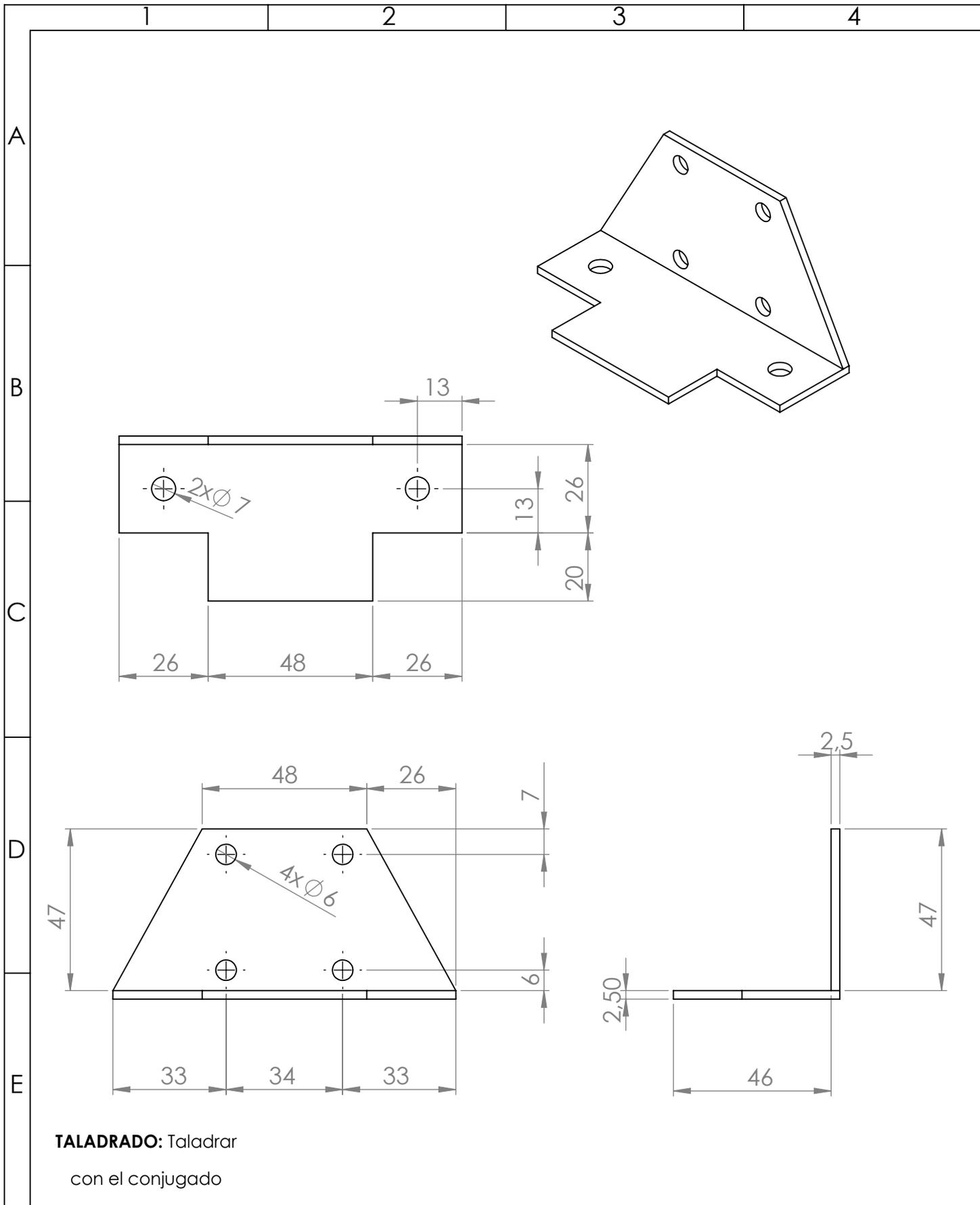


				Tolerancias	Peso	Materiales	
				± 0.5		Tablero contrachapado Triplex 12mm Acero inox. AISI 304 1mm	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib. 07-10-15	BRUSIL E.	Cámara de vacío	1 : 4
				Rev. 07-10-15	VILLARREAL C.		
				Apro. 07-10-15	VILLARREAL C.		
				Firma/Empresa		Número del dibujo	Marco de Registro
				<i>Esteban Brusil</i>		CIME-DIB-601	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	
						1 DE 1	



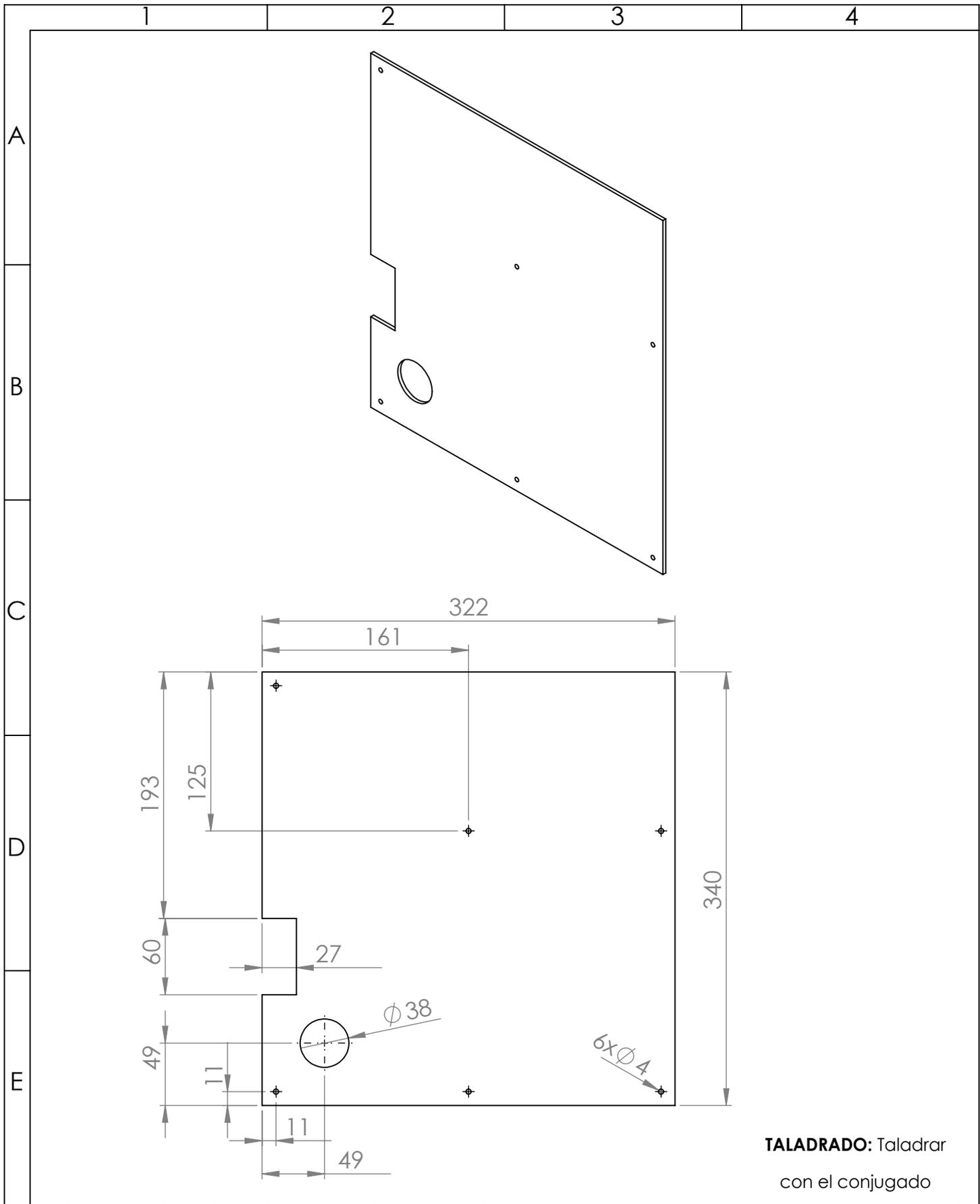
TALADRADO: Taladrar con el conjugado

				Tolerancias	Peso	Materiales		
				± 0.5		Acero ASTM A-588 1mm		
					Fecha	Nombre	Denominación	
				Dib.	07-10-15	BRUSIL E.		
				Rev.	07-10-15	VILLARREAL C.		
				Apro.	07-10-15	VILLARREAL C.	Escala	
				Firma/Empresa				Número del dibujo
				<i>Esteban Brusil</i>			CIME-DIB-701	Marco de Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución	
							1 DE 1	

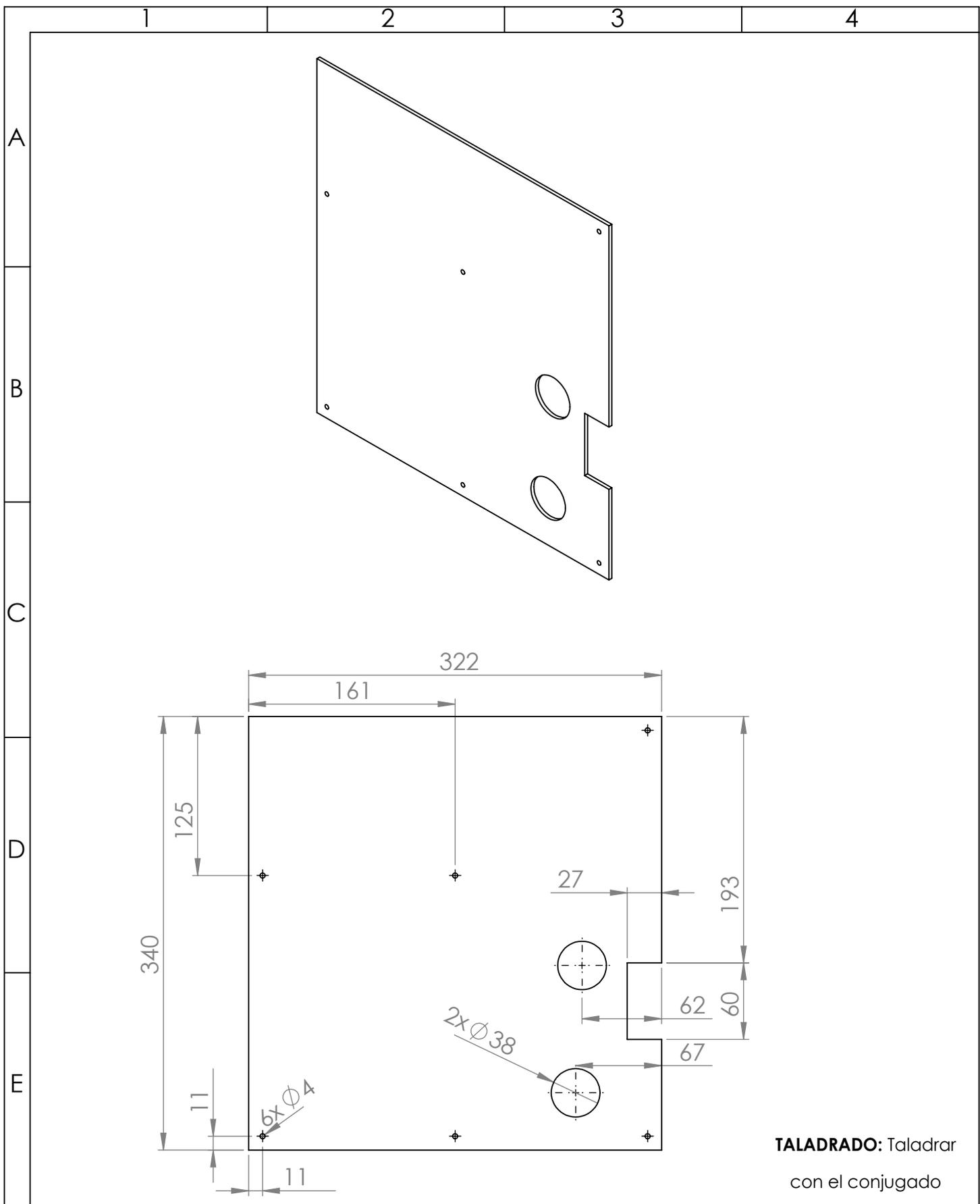


TALADRADO: Taladrar
con el conjugado

				Tolerancias ± 0.5	Peso	Materiales Tubo estructural ASTM A-500 1.75 in x 2.5 mm	
						Denominación Soporte cilindro superior	Escala 1 : 1.5
				Fecha	Nombre		
				Dib. 07-10-15	BRUSIL E.		
				Rev. 07-10-15	VILLARREAL C.		
				Apro. 07-10-15	VILLARREAL C.		
				Firma/Empresa <i>Esteban Brusil</i>		Número del dibujo CIME-DIB-801	Marco de Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución 1 DE 1	

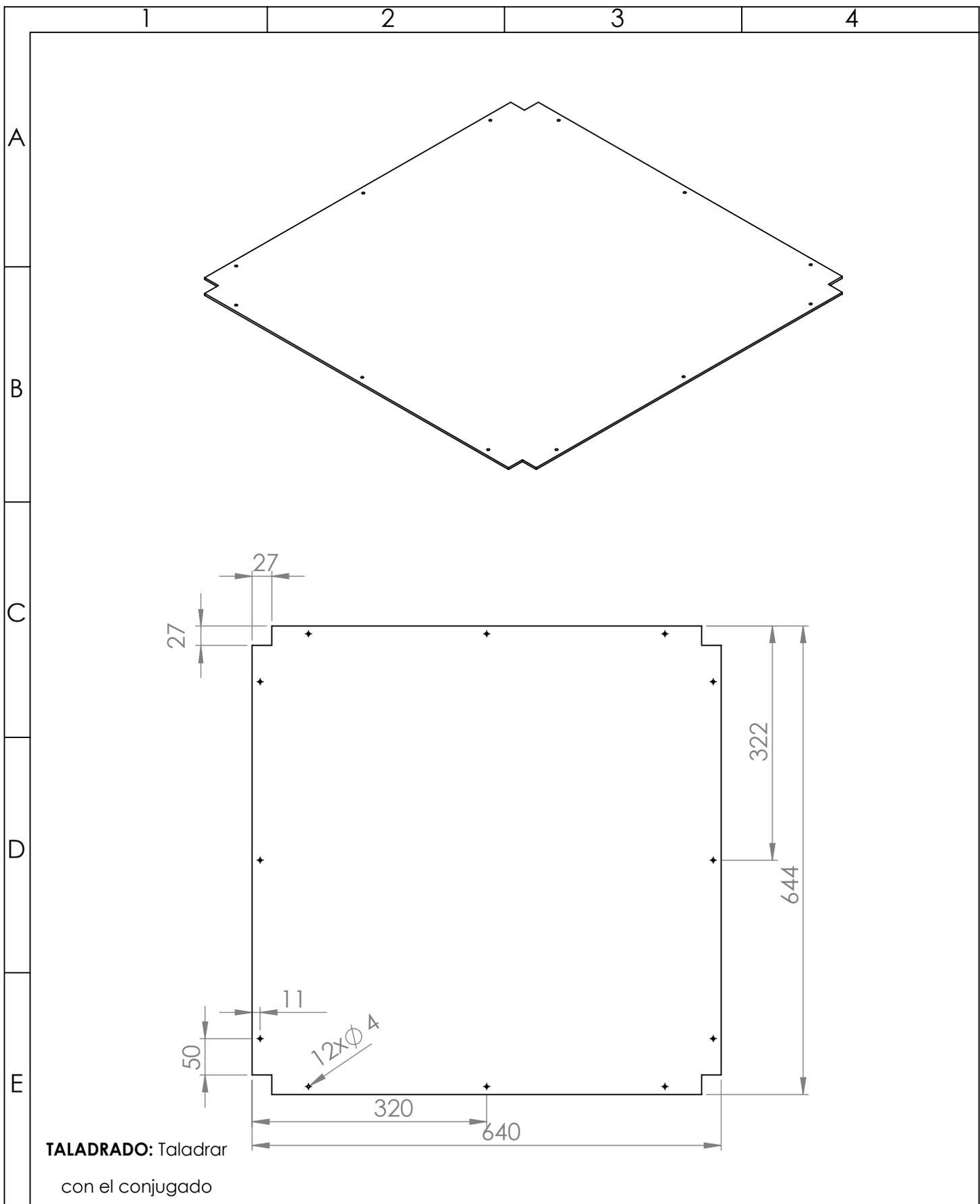


				Tolerancias	Peso	Materiales	
				± 0.5		Acero ASTM A-588 1mm	
					Fecha	Nombre	Denominación
				Dib.	07-10-15	BRUSIL E.	
				Rev.	07-10-15	VILLARREAL C.	
					Apro.	07-10-15	VILLARREAL C.
				Firma/Empresa		Número del dibujo	Escala
				<i>Esteban Brusil</i>		CIME-DIB-901	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	1 : 4
						1 DE 1	Marco de Registro

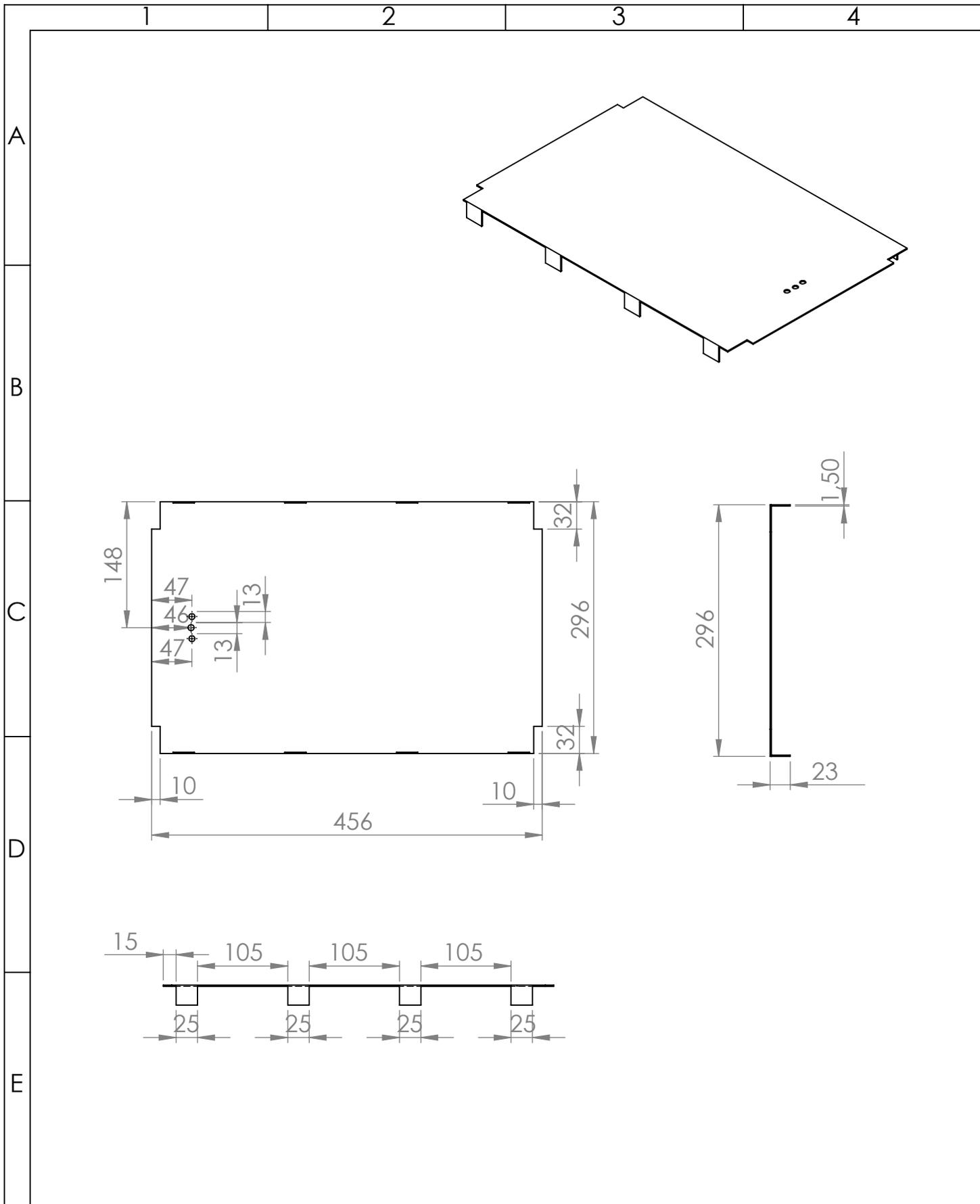


TALADRADO: Taladrar con el conjugado

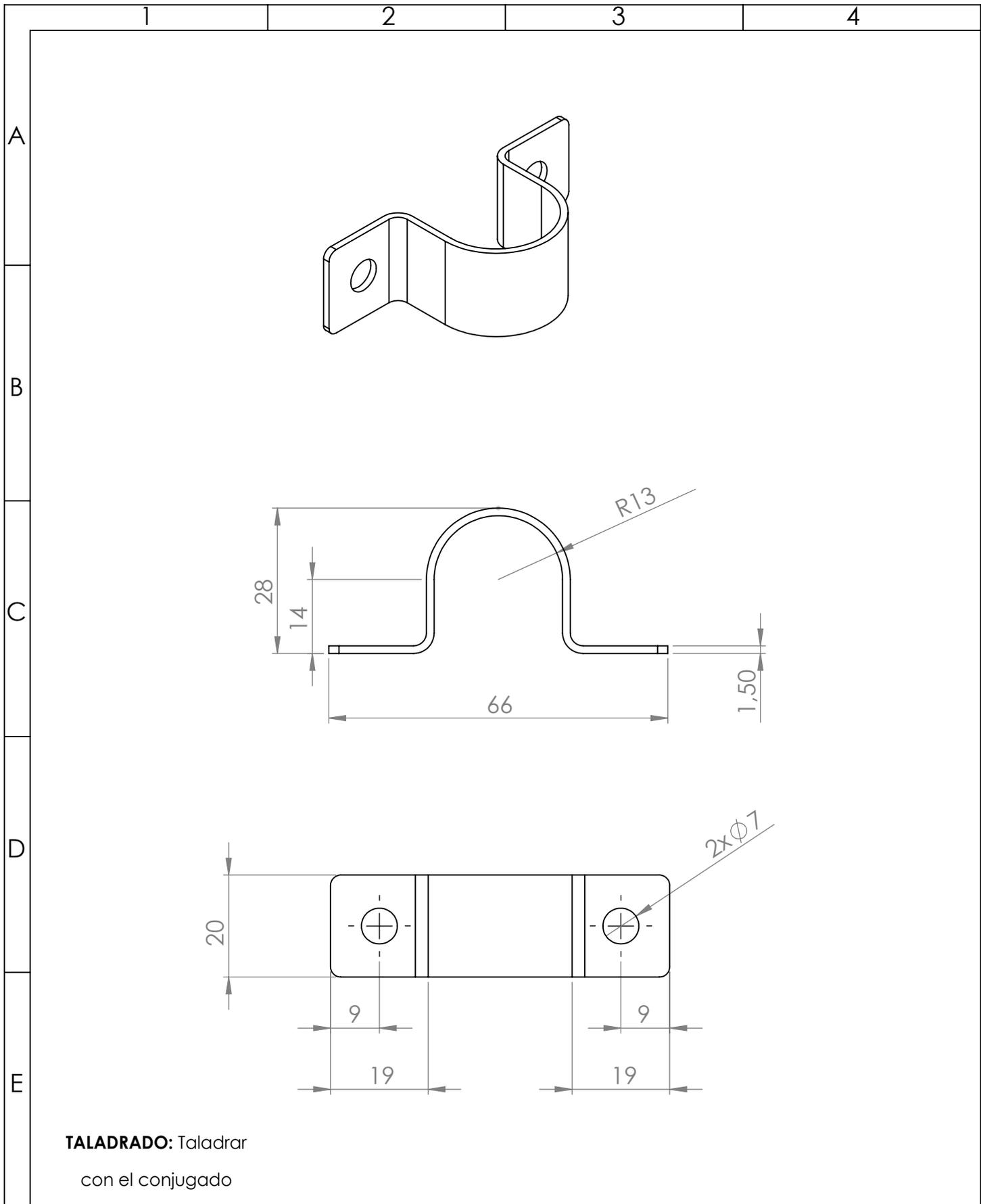
				Tolerancias	Peso	Materiales	
				± 0.5		Acero ASTM A-588 1mm	
					Fecha	Nombre	Denominación
				Dib.	07-10-15	BRUSIL E.	Tapa posterior 2
				Rev.	07-10-15	VILLARREAL C.	
				Apro.	07-10-15	VILLARREAL C.	
				Firma/Empresa		Número del dibujo	Marco de Registro
				<i>Esteban Brusil</i>		CIME-DIB-1001	1 : 4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	



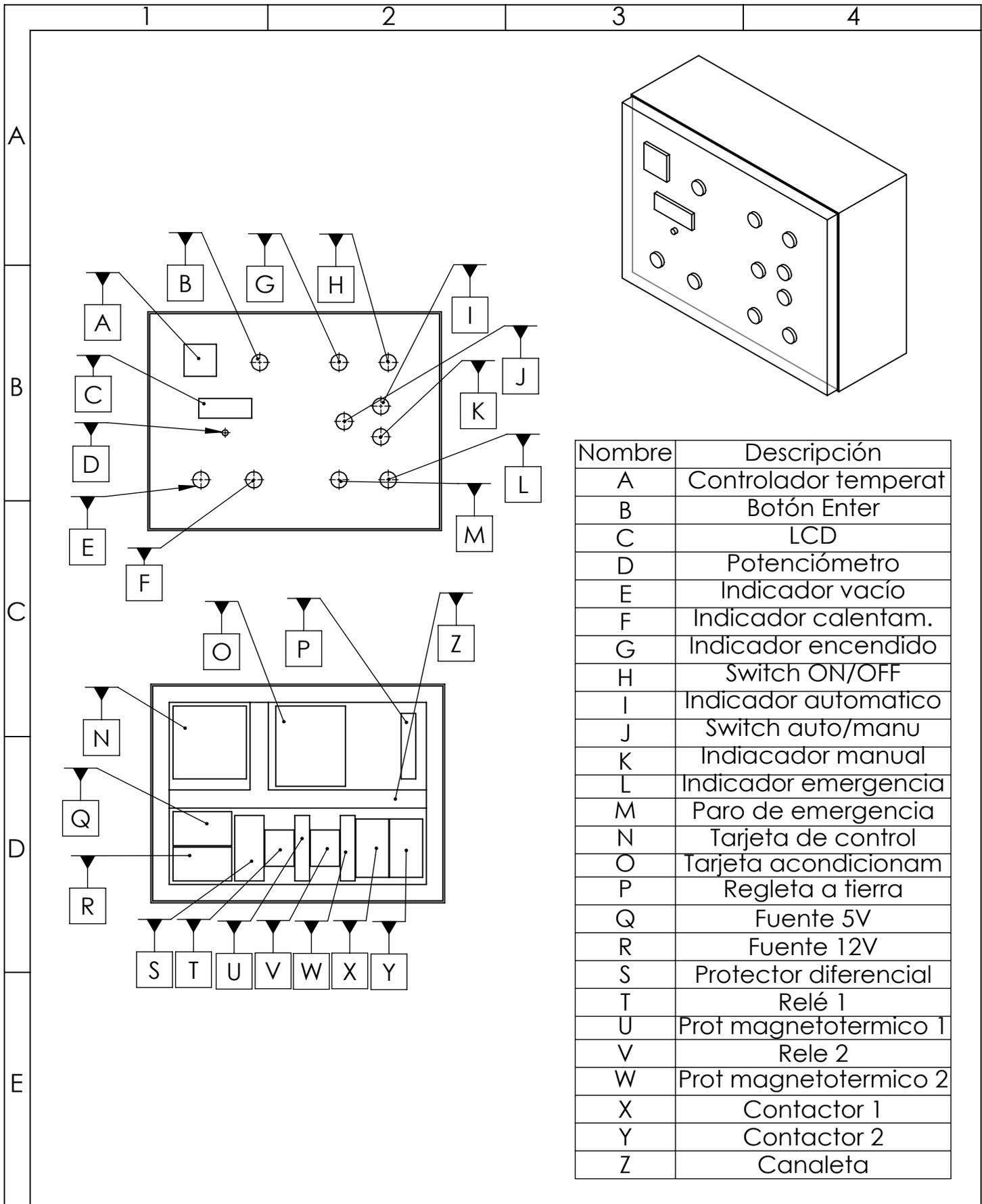
				Tolerancias	Peso	Materiales	
				± 0.5		Acero ASTM A-588 1mm	
					Fecha	Nombre	Denominación
				Dib.	07-10-15	BRUSIL E.	Tapa inferior
				Rev.	07-10-15	VILLARREAL C.	
				Apro.	07-10-15	VILLARREAL C.	
				Firma/Empresa		Número del dibujo	Marco de Registro
				<i>Esteban Brusil</i>		CIME-DIB-1101	1 : 7
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	



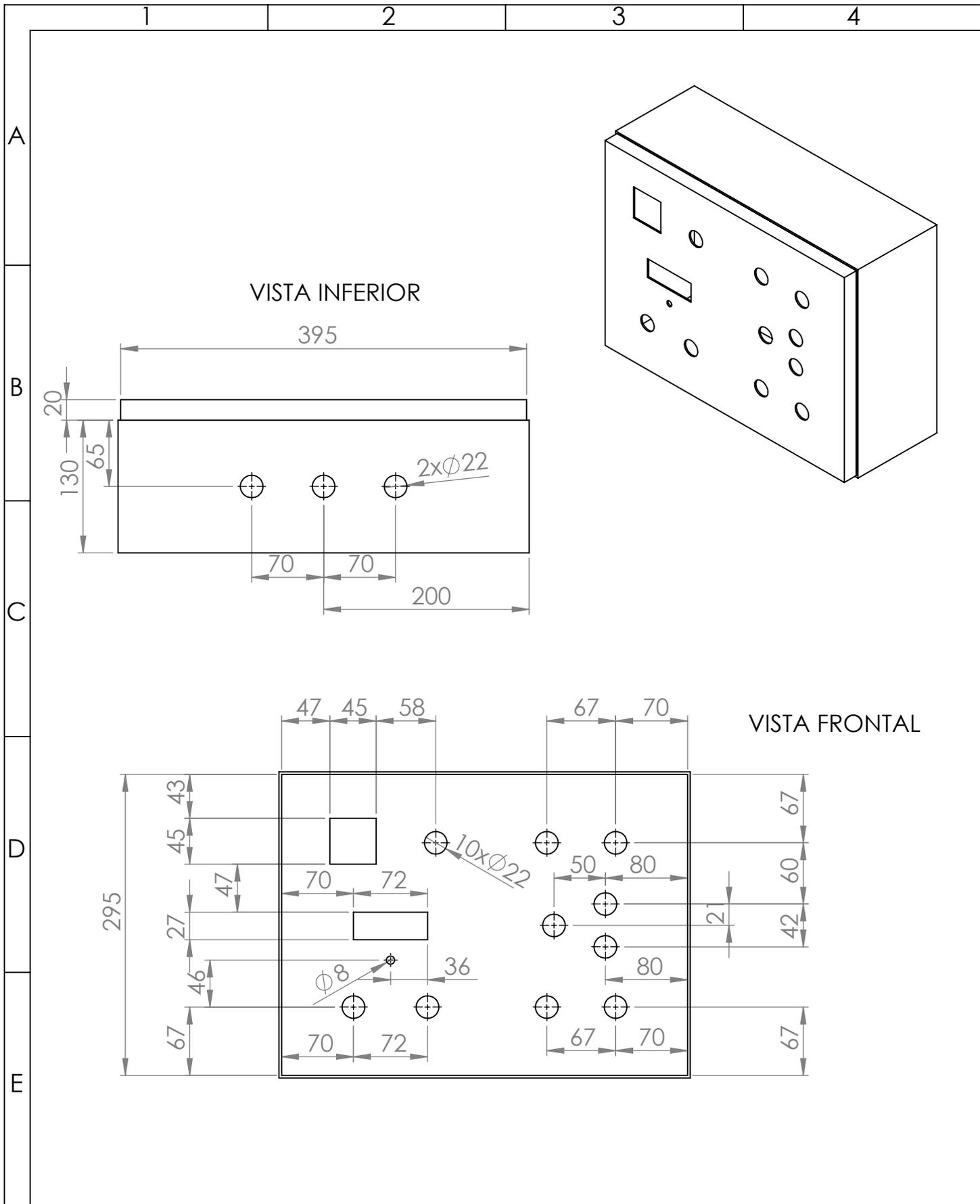
				Tolerancias	Peso	Materiales	
				± 0.5		Acero ASTM A-588M 1.5 mm	
					Fecha	Nombre	Denominación
				Dib.	07-10-15	BRUSIL E.	Carcasa módulo de calor
				Rev.	07-10-15	VILLARREAL C.	
				Apro.	07-10-15	VILLARREAL C.	
				Firma/Empresa		Número del dibujo	Marco de Registro
				<i>Esteban Brusil</i>		CIME-DIB-202	1 : 4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	



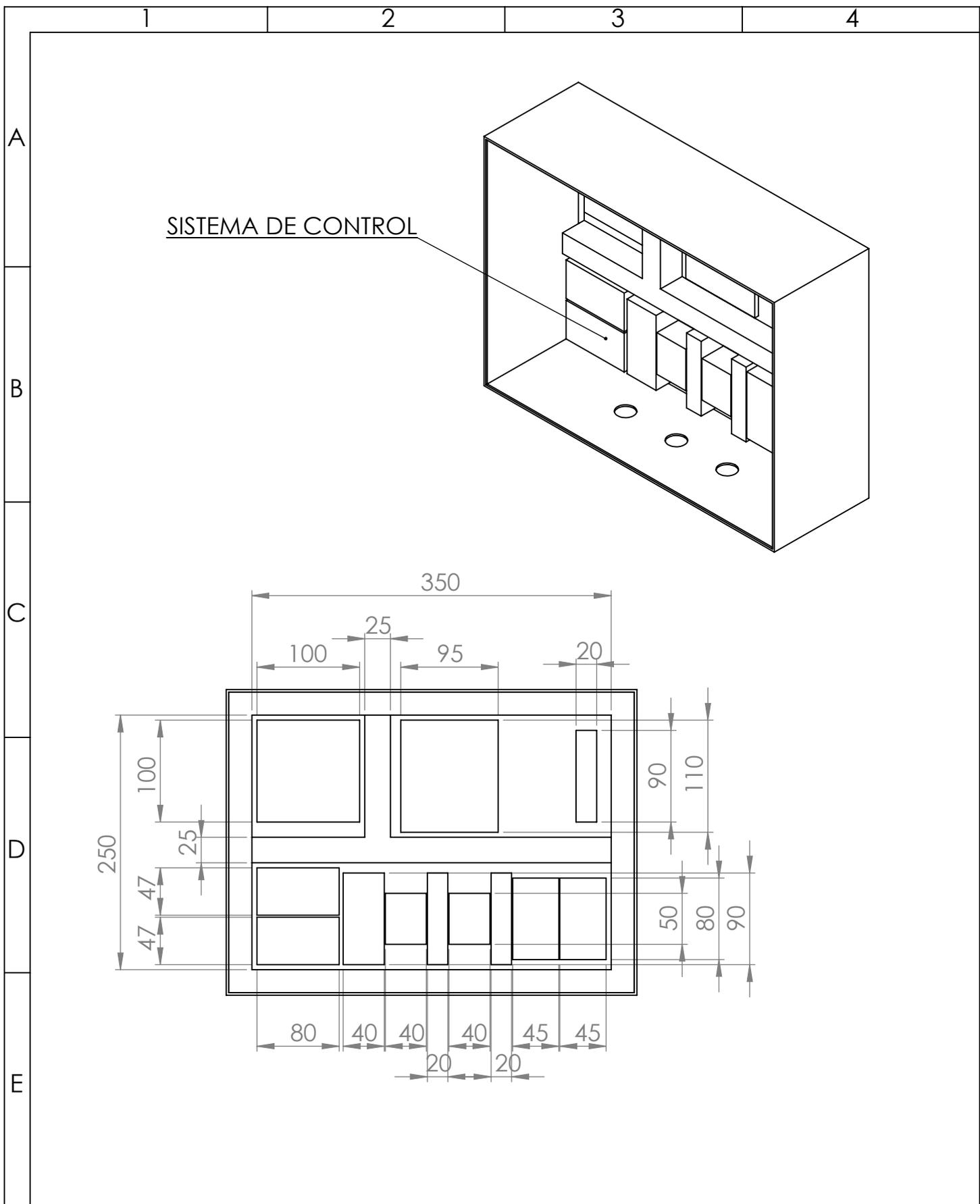
				Tolerancias	Peso	Materiales	
				± 0.5		Acero AISI A-588M 1.5 mm	
					Fecha	Nombre	Denominación
				Dib.	07-10-15	BRUSIL E.	Abrazadera cilindros laterales
				Rev.	07-10-15	VILLARREAL C.	
				Apro.	07-10-15	VILLARREAL C.	
				Firma/Empresa		Número del dibujo	Marco de Registro
				<i>Esteban Brusil</i>		CIME-DIB-1201	1 : 1
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	



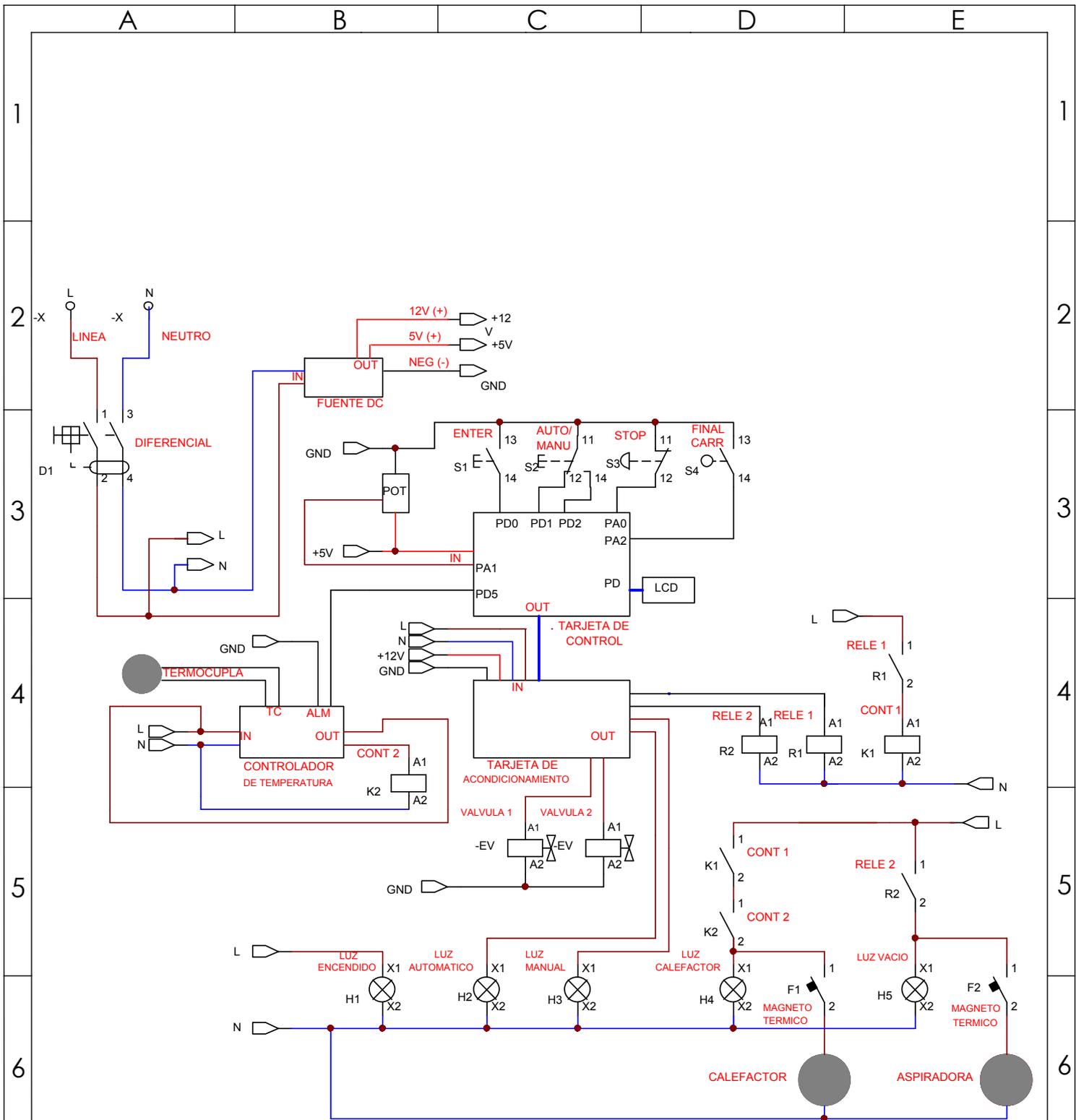
				Tolerancias	Peso	Materiales		
				± 0.5		NEMA tipo 5		
					Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib.	07-10-15	BRUSIL E.	Plano de subconjunto Gabinete de control	1 : 7
				Rev.	07-10-15	VILLARREAL C.		
				Apro.	07-10-15	VILLARREAL C.		
				Firma/Empresa		Número del dibujo	Marco de Registro	
				<i>Esteban Brusil</i>		CIME-DIB-003		
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	1 DE 1	



				Tolerancias	Peso	Materiales	
				± 0.5		NEMA tipo 5	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib. 07-10-15	BRUSIL E.	Gabinete de control (exterior)	1 : 6
				Rev. 07-10-15	VILLARREAL C.		
				Apro. 07-10-15	VILLARREAL C.		
				Firma/Empresa	Número del dibujo	Marco de Registro	
				<i>Esteban Brusil</i>	CIME-DIB-301		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre		Sustitución		
					1 DE 1		



				Tolerancias ± 0.5	Peso	Materiales NEMA tipo 5	
						Denominación	Escala
				Dib.	Fecha	Nombre	Gabinete de control (interior) 1 : 5
				Rev.	07-10-15	VILLARREAL C.	
				Apro.	07-10-15	VILLARREAL C.	
				Firma/Empresa Esteban Brusil		Número del dibujo CIME-DIB-302	Marco de Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución 1 DE 1	



	Fecha	Nombre/Firmas	Entidad
Dibujado	06-Nov-2015	BRUSIL E.	
Comprobado	06-Nov-2015	VILLARREAL C.	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Fecha: 06-Nov-2015	Título DIAGRAMA ELÉCTRICO - MÁQUINA DE TERMOFORMADO.		Núm: 1 de 1
			Archivo: CAD_S1