



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y
Tecnologías Avanzadas

Trabajo Terminal II

“Prototipo de inyectora de materiales termoplásticos
flexibles para prótesis dentales”

Que para obtener el título de
“Ingeniero en Mecatrónica”

Presenta:

Alan Rafael Espinosa Garcia

Asesores:

D. en C. Juan Manuel Peza Tapia

M. en C. Víctor Darío Cuervo Pinto

D. en C. Helvio Ricardo Mollinedo Ponce de León



México, D. F., a 27 de mayo de 2022



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y
Tecnologías Avanzadas

Trabajo Terminal II

“Prototipo de inyectora de materiales termoplásticos
flexibles para prótesis dentales”

Que para obtener el título de

“Ingeniero en Mecatrónica”

Presenta:

Alan Rafael Espinosa Garcia

Asesor

D. en C. Juan Manuel Peza Tapia

Asesor

M. en C. Víctor Darío Cuervo Pinto

Asesor

D. en C. Helvio Ricardo Mollinedo Ponce de León

Presidente del jurado

Ing. Erick López Alarcón

Profesor titular

D. en C. Rafael Trocunala Landa





Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional

P r e s e n t e

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe Alan Rafael Espinosa Garcia, manifiesto ser autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada Prototipo de inyectora de materiales termoplásticos flexibles para prótesis dentales, en adelante “La Tesis” y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante El IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales, Plataforma de la Dirección de Bibliotecas del IPN y/o consulta directa en la Coordinación de Biblioteca de la UPIITA “La Tesis” por un periodo de 5 años contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a “El IPN” de su terminación.

En virtud de lo anterior, “El IPN” deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de “La Tesis”.

Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de “La Tesis”, manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de “La Tesis”, por lo que deslindo de toda responsabilidad a El IPN en caso de que el contenido de “La Tesis” o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México., 27 de mayo de 2022.

Atentamente

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Rafael y Leticia, por todo su apoyo, tanto material como emocional, a lo largo de mi desarrollo personal y profesional. Por su incansable lucha, entrega, paciencia y amor incondicional, para conmigo y mis hermanos, que sentó las bases de lo que soy y que hoy hace posible este logro que comparto con ellos.

A mis abuelos, Rubén y Sara, por creer en mí y alentarme a alcanzar siempre mi máximo potencial, buscando llegar más lejos en todos mis propósitos. Por siempre estar ahí en las buenas y en las malas y ser un faro de luz y esperanza en medio de la oscuridad de la incertidumbre, haciendo ver siempre lo mejor de mí mismo y de los demás.

A mi tía, Lorena, y mi familia, por sus palabras de ánimo y aliento a lo largo de este camino. Por estar siempre a mi lado en todo momento, compartir mis alegrías y sueños, y ser mi sostén y apoyo en los momentos difíciles.

A mi amigo, Hugo, por sus años de amistad; por todo su soporte y guía brindado a lo largo de esta etapa de mi vida; y cuyo aporte a mi crecimiento profesional hizo posible este logro.

A mis profesores de la carrera y mis asesores, por su guía a lo largo de mi proceso de formación profesional y en este arduo proceso de enseñanza y descubrimiento. Por cuya perseverancia y vocación fue posible alcanzar este logro.

TABLA DE CONTENIDO

Glosario de términos	1
Resumen	3
Palabras clave	3
Abstract	5
Keywords	5
Capítulo I. Panorama general	7
1.1 Introducción	7
1.2 Objetivos	8
1.2.1 Objetivo general	8
1.2.2 Objetivos particulares	8
1.3 Justificación	8
1.4 Estado del arte	9
1.5 Estado de la técnica	12
1.6 Planteamiento del problema	17
1.7 Antecedentes	17
1.7.1 Histórico	17
1.7.2 Teórico	18
Capítulo II. Análisis y Diseño conceptual	29
2.1 PDS	29
2.2 División por áreas funcionales	31
2.3 Análisis morfológico	32
2.4 Propuesta de solución	34
2.5 Selección del diseño conceptual	36
2.5.1 Sistema de inyección	38
2.5.2 Dispositivo de calentado para termoplastificación del material	41
2.5.3 Sistema de precalentado para la mufla	44
2.5.4 Interfaz usuario-máquina y sistema de alerta	47
Capítulo III. Diseño de detalle	53
3.1 Sistema de inyección	53
3.2 Dispositivo de calentado para la termoplastificación del material	76
3.3 Sistema de precalentado para la mufla	95
3.4 Interfaz usuario-máquina y sistema de alerta	101
Capítulo IV. Integración y validación del sistema	113

4. 1 Sistema de inyección.....	113
4.2 Dispositivo de calentado para la termplastificación del material.....	120
4.3 Sistema de precalentado para la mufla.....	124
4.4 Interfaz usuario–máquina y sistema de alerta.....	125
Resultados	127
Conclusiones	129
Bibliografía	131
Análisis de rentabilidad	135
Apéndice A.....	139
Apéndice B.....	159

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MUFLA	FIGURA 2. VISTA INTERIOR DE MUFLA CON MOLDE.....	1
FIGURA 3. CILINDRO PORTACARTUCHOS.....		2
FIGURA 4. TOPE DE INYECCIÓN.....		2
FIGURA 5. CARTUCHO DE MATERIAL TERMOPLÁSTICO.....		2
FIGURA 6. SISTEMA DE INYECCIÓN IVOCAP POR IVOCLEAR VIVADENT		10
FIGURA 7. LA UNIDAD DE INYECCIÓN DEL SISTEMA IMPROVISADO		10
FIGURA 8. UNA TAPA SELLADA - VISTA LATERAL.....		11
FIGURA 9. UNIDAD DE POLIMERIZACIÓN		11
FIGURA 10. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LAS PRÓTESIS PARCIALES DE ACRÍLICO CON GANCHOS DE ALAMBRE FORJADO		12
FIGURA 11. VISTA INTERNA DEL DISPOSITIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE PIEZAS DENTALES MOLDEADAS.....		13
FIGURA 12. DISPOSITIVO DE CALENTAMIENTO EN FORMA DE U		13
FIGURA 13. MICROINYECTORA SABLEX 2AD PLUS.....		14
FIGURA 14. MICROINYECTORA SABLEX 2AD AUTOMÁTICA Y SEMIAUTOMÁTICA		15
FIGURA 15. MICROINYECTORA SABLEX BIOSTRONG 400 PLUS.....		16
FIGURA 16. SISTEMA MANUAL PARTIAL FLEX®		16
FIGURA 17. MODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR: CONDUCCIÓN, CONVECCIÓN Y RADIACIÓN.....		20
FIGURA 18. CARTUCHO DE MATERIAL PARTIAL FLEX.....		22
FIGURA 19. GAMA DE COLORES DE MATERIAL PARTIAL FLEX		22
FIGURA 20. ASPECTO FÍSICO DE MATERIAL TERMOPLÁSTICO		22
FIGURA 21. DIÁMETRO DE CARTUCHO DE MATERIAL TERMOPLÁSTICO.....		24
FIGURA 22. LONGITUDES DE CARTUCHO DE MATERIAL TERMOPLÁSTICO.....		25
FIGURA 23. GRÁFICA DE TASA DE FLUJO DE FUSIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS DEL COPOLIMERO RANDOM DE POLIPROPILENO.....		26
FIGURA 24. RANGO DE PRESIÓN SOBRE CARTUCHO DE COPOLIMERO RANDOM DE POLIPROPILENO		26
FIGURA 25. VISTA LATERAL DE RANGO DE PRESIÓN SOBRE CARTUCHO DE COPOLIMERO RANDOM DE POLIPROPILENO.....		27
FIGURA 26. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN		35
FIGURA 27. ROSCA ACME.....		57
FIGURA 28. DIAGRAMA DE FUERZA AL SUBIR LA CARGA		57
FIGURA 29. FUERZA NORMAL EN LA ROSCA ACME		58
FIGURA 30. GEOMETRÍA DE ROSCA CUADRADA ÚTIL PARA CALCULAR LOS ESFUERZOS FLEXIONANTE Y CORTANTE TRANSVERSAL EN LA RAÍZ DE LA ROSCA		60
FIGURA 31. VALORES DE K PARA OBTENER LA LONGITUD EFECTIVA		64
FIGURA 32. PERFIL DE TORNILLO DE POTENCIA.....		68
FIGURA 33. HUSILLO DE INYECCIÓN		68
FIGURA 34. TUERCA PARA TORNILLO DE POTENCIA.....		68
FIGURA 35. VISTA SUPERIOR DE PLACA GUÍA PARA EL SISTEMA DE INYECCIÓN.....		69
FIGURA 36. ANÁLISIS ESTÁTICO DE TORNILLO DE POTENCIA.....		69
FIGURA 37. ANÁLISIS ESTÁTICO DE TENSIÓN NODAL DEL TORNILLO DE POTENCIA.....		70
FIGURA 38. RESULTADOS DE LA DEFORMACIÓN UNITARIA ESTÁTICA DEL TORNILLO DE POTENCIA.....		70
FIGURA 39. CONTROL DE ÁNGULO DE FASE.....		74
FIGURA 40. CONTROL DE FASE DE FORMA DE ONDA CA		75
FIGURA 41. ACOPLAMIENTO MOTORREDUCTOR-SISTEMA DE INYECCIÓN		75
FIGURA 42. VISTA FRONTAL DE BASE DE SUJECCIÓN DE MOTOR.....		75
FIGURA 43. VISTA INFERIOR DEL DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL, SE MUESTRAN LAS SECCIONES DE MONTAJE PARA LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS Y EL TERMOPAR TIPO K		86

FIGURA 44. VISTA SUPERIOR DEL DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL, SE MUESTRAN LAS SECCIONES DE SUJECCIÓN PARA LOS TORNILLOS	86
FIGURA 45. ELEMENTO DE SUJECIÓN DEL SOPORTE CILINDRICO.....	87
FIGURA 46. ANÁLISIS TÉRMICO DEL DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL.....	87
FIGURA 47. VISTA SECCIONADA DEL ANÁLISIS TÉRMICO DEL DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL.....	88
FIGURA 48. ESTUDIO ESTÁTICO CORRESPONDIENTE A LA DEFORMACIÓN UNITARIA EQUIVALENTE DEL DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL.....	88
FIGURA 49. VISTA SECCIONADA DEL ESTUDIO ESTÁTICO CORRESPONDIENTE A LA DEFORMACIÓN UNITARIA EQUIVALENTE DEL DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL.....	89
FIGURA 50. VISTA LATERAL DE LA CARCASA DEL SISTEMA DE PRECALENTADO PARA LA MUFLA.....	101
FIGURA 51. VISTA LATERAL DEL GABINETE DE LA INTERFAZ USUARIO-MÁQUINA	103
FIGURA 52. VISTA LATERAL DEL GABINETE FINAL INTEGRADO POR LA INTERFAZ USUARIO-MÁQUINA Y LOS DISPOSITIVOS DE CALENTADO.....	104
FIGURA 53. SOPORTE ESTRUCTURAL.....	105
FIGURA 54. VISTA SUPERIOR PLACA BASE SUPERIOR	105
FIGURA 55. VISTA SUPERIOR PLACA BASE INFERIOR	105
FIGURA 56. MONTAJE ESTRUCTURA, SISTEMA DE INYECCIÓN	106
FIGURA 57. ANÁLISIS ESTÁTICO -TENSIONES. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	107
FIGURA 58. ANÁLISIS ESTÁTICO - DESPLAZAMIENTOS. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE INYECCIÓN.....	107
FIGURA 59. VISTA LATERAL DE PROTOTIPO DE INYECTORA DE MATERIALES TERMOPLÁSTICOS FLEXIBLES PARA PRÓTESIS DENTALES.....	108
FIGURA 60. VISTA FRONTAL DE PROTOTIPO DE INYECTORA DE MATERIALES TERMOPLÁSTICOS FLEXIBLES PARA PRÓTESIS DENTALES.....	109
FIGURA 61. ACOPLAMIENTO MOTOR-SISTEMA DE INYECCIÓN Y RODAMIENTO	113
FIGURA 62. MOTORREDUCTOR	114
FIGURA 63. DIAGRAMA ELECTRÓNICO DEL CONTROL DE ÁNGULO DE FASE	115
FIGURA 64. PCB CONTROL DE ÁNGULO DE FASE.....	115
FIGURA 65. PLACA FINAL CONTROL DE ÁNGULO DE FASE.....	116
FIGURA 66. MONTAJE MOTORREDUCTOR	116
FIGURA 67. SUJECIÓN FRONTAL DE MUFLA FIGURA 68. SUJECIÓN LATERAL DE MUFLA.....	117
FIGURA 69. MONTAJE SUJECIONES PARA LA MUFLA	117
FIGURA 70. VISTA SUPERIOR DE ELEMENTO DE SUJECIÓN PARA RODAMIENTO.....	118
FIGURA 71. MONTAJE DE ELEMENTO DE SUJECIÓN PARA RODAMIENTO.....	118
FIGURA 72. VISTA SUPERIOR PLACA BASE SUPERIOR.....	119
FIGURA 73. VISTA SUPERIOR PLACA BASE INFERIOR	119
FIGURA 74. MONTAJE FINAL DE SISTEMA DE INYECCIÓN	120
FIGURA 75. INTERIOR DEL DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL	121
FIGURA 76. CONTROLADOR DE TEMPERATURA XMTG818	121
FIGURA 77. SSRNC-425A.....	122
FIGURA 78. DIAGRAMA ELECTRÓNICO MICROCONTROLADOR.....	123
FIGURA 79. PCB MICROCONTROLADOR.....	123
FIGURA 80. VISTA SUPERIOR DEL SISTEMA DE PRECALENTADO PARA LA MUFLA	124
FIGURA 81. MONTAJE DE RESISTENCIA ELÉCTRICA EN SISTEMA DE PRECALENTADO PARA LA MUFLA	125
FIGURA 82. BLOCK DE TERMINALES DE 30A A 600V SERIE	125
FIGURA 83. MONTAJE DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS INTERIOR DE GABINETE DE INTERFAZ USUARIO-MÁQUINA	126
FIGURA 84. MONTAJE INTERIOR FINAL - INTERFAZ USUARIO-MÁQUINA.....	127
FIGURA 85. PROTESIS TRAS LA INYECCIÓN DEL TERMOPLÁSTICO	128
FIGURA 86. PROTESIS EXTRAIDA DE LA MUFLA.....	128

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CONDICIONES TÍPICAS PARA LA INYECCIÓN POR MOLDEO DE TERMOPLÁSTICOS DONDE T_{POLY} °C ES EL RANGO DE TEMPERATURA DEL POLIMERO FUNDIDO Y T_{MOULD} °C EL RANGO DE TEMPERATURA DEL MOLDE.	18
TABLA 2. INFORMACIÓN DEL PROCESAMIENTO PARTIAL FLEX®	21
TABLA 3. PDS	29
TABLA 4. DIAGRAMA MORFOLÓGICO DE CROSS PARA LAS FUNCIONES DEL PROTOTIPO	33
TABLA 5. ESCALA DE CALIFICACIONES	38
TABLA 6. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA DISEÑO CONCEPTUAL. SISTEMA DE INYECCIÓN	39
TABLA 7. CARACTERÍSTICAS DE ALTERNATIVAS DE SISTEMA DE INYECCIÓN	40
TABLA 8. PONDERACIÓN. SISTEMA DE INYECCIÓN	41
TABLA 9. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA DISEÑO CONCEPTUAL. DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL	43
TABLA 10. CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL	43
TABLA 11. PONDERACIÓN. DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL	44
TABLA 12. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE PRECALENTADO DE MUFLA	46
TABLA 13. CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL SISTEMA DE PRECALENTADO PARA LA MUFLA	46
TABLA 14. PONDERACIÓN. SISTEMA DE PRECALENTADO PARA LA MUFLA	47
TABLA 15. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA DISEÑO CONCEPTUAL. INTERFAZ USUARIO-MÁQUINA Y SISTEMA DE ALERTA	48
TABLA 16. CARACTERÍSTICAS DE INTERFAZ USUARIO-MÁQUINA Y SISTEMA DE ALERTA	49
TABLA 17. PONDERACIÓN. INTERFAZ USUARIO-MÁQUINA Y SISTEMA DE ALERTA	50
TABLA 18. CARACTERÍSTICAS DE ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO DE DETALLE DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	54
TABLA 19. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA DISEÑO DE DETALLE. SISTEMA DE INYECCIÓN	55
TABLA 20. PONDERACIÓN- DISEÑO DE DETALLE. SISTEMA DE INYECCIÓN	55
TABLA 21. PRINCIPALES DIMENSIONES DE LAS ROSCAS ACME AMERICANA ESTÁNDAR [25]	57
TABLA 22. COEFICIENTES DE FRICCIÓN F DE PARES ROSCADOS [24]	58
TABLA 23. CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES. TORNILLO DE POTENCIA	62
TABLA 24. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA LA SELECCIÓN DE MATERIAL DE TORNILLO DE POTENCIA	63
TABLA 25. PONDERACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE MATERIAL DE TORNILLO DE POTENCIA	63
TABLA 26. CARACTERÍSTICAS DE MOTORES. TORNILLO DE POTENCIA	72
TABLA 27. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA SELECCIÓN DE MOTOR. TORNILLO DE POTENCIA	73
TABLA 28. PONDERACIÓN DE SELECCIÓN DE MOTOR	73
TABLA 29. CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	78
TABLA 30. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA SELECCIÓN DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	78
TABLA 31. PONDERACIÓN DE SELECCIÓN DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	79
TABLA 32. CARACTERÍSTICAS DE SENSORES DE TEMPERATURA	84
TABLA 33. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA SELECCIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA	84
TABLA 34. PONDERACIÓN PARA SELECCIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA	85
TABLA 35. CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES AISLANTES	90
TABLA 36. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA SELECCIÓN DE MATERIAL AISLANTE	91
TABLA 37. PONDERACIÓN PARA SELECCIÓN DE MATERIAL AISLANTE	91
TABLA 38. CARACTERÍSTICAS DE DISPOSITIVO DE CONTROL DE TEMPERATURA	93
TABLA 39. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA SELECCIÓN DE DISPOSITIVO DE CONTROL DE TEMPERATURA	94
TABLA 40. PONDERACIÓN PARA SELECCIÓN DE DISPOSITIVO DE CONTROL DE TEMPERATURA	94
TABLA 41. CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	96

TABLA 42. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA SELECCIÓN DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.....	97
TABLA 43. PONDERACIÓN DE SELECCIÓN DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.....	97
TABLA 44. COSTOS DE COMPONENTES	135

GLOSARIO DE TÉRMINOS

TERMOPLÁSTICOS

Un termoplástico es un plástico que se transforma a un líquido cuando es calentado y cuando enfría lo suficiente, pasa a un estado vítreo endurecido. Las propiedades físicas cambian gradualmente a través del reciclado continuo del material (historial térmico), reduciendo generalmente estas propiedades.

Los termoplásticos más usados son: el polietileno, el polipropileno, el poliestireno, el metacrilato, el policloruro de vinilo, el politereftalato de etileno, el teflón y el nylon. [1]

MÉCANICO DENTAL

El mecánico dental es el profesional de la salud bucal facultado para el diseño, fabricación y reparación de prótesis dentales, aparatos de ortodoncia, entre otros, acorde a las necesidades de cada paciente haciéndolos funcionales y estéticos. Recibe además formación en conocimientos de salud bucal y sanitarias tales como: “propiedades químicas y físicas de los materiales que utiliza, técnicas de trabajo, uso de instrumentos, lenguaje odontológico, nociones de anatomía oral” [2].

MUFLA

Se dice de un recipiente, usualmente seccionado, que se emplea como contenedor del molde en el cual se procesará una prótesis dental a base de polímero [3] (ver Figura 1 y Figura 2). El material es inyectado a través de una abertura o canal en la parte superior del elemento. La forma del molde se elabora empleando yeso Tipo II (β hemidrato “Blanca Nieves” o Yeso de Paris) o yeso Tipo III (α hemidrato o Yeso piedra dental) [4]; el mecánico dental moldea este material dentro de cada una de las secciones de la mufla acorde a los parámetros de diseño de la prótesis. En el interior de este elemento se colocan, previo a la inyección, las piezas dentales en el orden requerido.



FIGURA 1. MUFLA



FIGURA 2. VISTA INTERIOR DE MUFLA CON MOLDE

CILINDRO PORTACARTUCHOS

Elemento cilíndrico con mango de agarre (ver Figura 3), comúnmente empleado en máquinas inyectoras de tipo manual para el transporte y disposición del cartucho de material termoplástico durante los procesos de calentado e inyección. Su característica más notable es

la de tolerar de altas temperaturas sin presentar deformación. Está diseñado para su uso con “Tope de inyección”.



FIGURA 3. CILINDRO PORTACARTUCHOS

TOPE DE INYECCIÓN

Herramienta colocada en el cilindro portacartuchos como apoyo para alcanzar la presión deseada en la inyección del cartucho de material termoplástico (ver Figura 4). Está fabricado con una aleación especial de bronce [5].



FIGURA 4. TOPE DE INYECCIÓN

COPOLÍMERO RANDOM

Es un polipropileno cuya estructura molecular está compuesta por un Etileno y un Propileno. Las propiedades del etileno le confieren una alta transparencia, resistencia al impacto, baja cristalinidad, baja temperatura de fusión de entre 145°C a 155°C y alta flexibilidad. Se recomienda su uso en procesos como la extrusión soplada, inyección, inyección soplada, entre otros [6].

CARTUCHO DE MATERIAL TERMOPLÁSTICO

Tubo metálico que contiene en su interior el material termoplástico a emplear [5] (ver Figura 5). La inyección del material que contiene este elemento una vez fundido se hace a través de una ranura circular sellada localizada en la parte inferior del tubo, la cual se rompe a causa de la presión suministrada liberando el material.



FIGURA 5. CARTUCHO DE MATERIAL TERMOPLÁSTICO

RESUMEN

El moldeo por inyección es una de las técnicas más usadas para la elaboración de productos plásticos mediante el uso de resinas, teniendo una amplia gama de implementaciones en la industria. Entre dichas implementaciones se encuentra la fabricación de prótesis dentales mediante el empleo de termoplásticos y a cuyo proceso de creación hace alusión el presente trabajo. El argumento para la elaboración del proyecto a continuación presentado está encaminado al diseño y construcción de un prototipo de inyectora de materiales termoplásticos flexibles que resuelva las deficiencias y fallas encontradas en las máquinas inyectoras existentes, basándose en las necesidades y requerimientos tanto del usuario como del proceso de inyección implementado. A lo largo del capítulo I se hace una introducción a los sistemas de inyección por moldeo para la fabricación de prótesis dentales, los tipos de máquinas inyectoras existentes y sus deficiencias dando paso al planteamiento de los objetivos a alcanzar tanto en lo particular como en lo general. Sucesivamente en los capítulos II y III se hace el planteamiento, selección, y desarrollo (teórico y conceptual respectivamente), de las diferentes alternativas planteadas y sus implicaciones en la operatividad y funcionalidad del prototipo en general. Para finalizar, en el capítulo IV se hace una recopilación de las observaciones que se presentaron a lo largo del proyecto y las sus correspondientes conclusiones y resultados en la implementación del prototipo.

PALABRAS CLAVE

Inyectora, termoplastificación, temperatura, fuerza de inyección, transferencia de calor.

ABSTRACT

The molding by injection is one of the most used techniques for the production of plastic products through the use of resins, having a wide range of implementations in the industry. Among these implementations is the manufacture of dental prostheses through the use of thermoplastics and whose creation process alludes to the present work. The argument for the elaboration of the project presented below is aimed at the design and construction of a prototype of flexible thermoplastic materials injector to solve the deficiencies and faults found in existing injector machines, based on the needs and requirements of both the user and the process of injection implemented. Throughout chapter I an introduction is made to injection molding systems for the manufacture of dental prostheses, the types of existing injection machines and their deficiencies giving way to the approach of the objectives to be achieved both in particular and in general. Successively in chapters II and III the approach, selection, and development (theoretical and conceptual respectively) of the different alternatives and their implications in the operation and functionality of the prototype in general. Finally, chapter IV contains a compilation of the observations that were presented throughout the project and the corresponding conclusions and results in the implementation of the prototype.

KEYWORDS

Injection molding machine, thermoplasticization, temperature, injection force, heat transfer.

CAPÍTULO I. PANORAMA GENERAL

El panorama general comprende la introducción y desarrollo inicial del trabajo seleccionado haciendo énfasis en los objetivos a alcanzar, problemáticas presentadas, antecedentes históricos / teóricos, y cálculos correspondientes.

1.1 INTRODUCCIÓN

El moldeo por inyección consiste básicamente en la fundición de un material plástico en las condiciones de temperatura requeridas y su introducción a presión dentro de un molde, donde el material se enfría hasta que las piezas están lo suficientemente endurecidas para su sustracción sin deformarse. El desarrollo presentado por las máquinas de inyección en los últimos años responde principalmente a la creciente demanda de productos plásticos y la gran variedad de materiales plásticos disponibles.

En el moldeo por inyección, los polímeros no newtonianos utilizados fluyen, una vez en estado líquido; a través de los conductos o canales de geometría compleja que componen el molde y cuyas paredes se encuentran más frías que el propio polímero.

En general el proceso de inyección se puede dividir en dos fases: la fase de plastificado o fusión del material y la fase inyección. La manera en que se llevan a cabo las dos fases mencionadas es lo que distingue unas máquinas de inyección de otras [7].

En el campo de la mecánica dental, el moldeo por inyección es empleado en la fabricación de prótesis dentales haciendo uso de máquinas de inyección (inyectoras) de tipo manual, de tipo neumático o de tipo hidráulico. Dichas máquinas presentan ciertas deficiencias en lo referente a su operatividad y desempeño, afectando significativamente el proceso de fabricación. Entre dichas deficiencias se encuentran principalmente la sobreinyección de material, la falta de homogeneidad en el calentado durante el proceso de termoplastificación, la solidificación del material termoplástico dentro de la entrada de la mufla al momento de la inyección, y la dificultad en la ejecución de las operaciones de inyección por parte del usuario.

Para el caso puntual del prototipo expuesto en este trabajo, se planteó la implementación de diversos sistemas y dispositivos a fin de efectuar las funciones de inyección para la fabricación de prótesis dentales de forma efectiva y buscando reducir las deficiencias expuestas anteriormente.

A lo largo del capítulo 1 se recabó información concerniente a las máquinas inyectoras existentes y las diferentes variables que intervienen en el proceso de inyección.

En el desarrollo del capítulo 2, se realizó el planteamiento de la propuesta de solución con base en la información previamente recabada. Así mismo, se procedió al análisis y selección de las alternativas de diseño conceptual para cada una de las áreas funcionales definidas para el prototipo.

Posteriormente, en el capítulo 3, se llevó a cabo la selección y diseño específico de cada una de las alternativas seleccionadas a lo largo del capítulo 2, haciendo hincapié en las cuestiones técnicas de los elementos y su impacto en el comportamiento general del prototipo.

Finalmente, en el último capítulo, se abordaron los resultados esperados en relación a la funcionalidad y operatividad del prototipo, así como las conclusiones alcanzadas a lo largo del trabajo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una inyectora de materiales termoplásticos flexibles para la elaboración de moldes de prótesis dentales con base en un sistema de inyección por moldeo para su uso en un laboratorio.

1.2.2 OBJETIVOS PARTICULARES

1. Analizar y seleccionar materiales para la configuración estructural de la inyectora con base en parámetros teóricos de temperatura y presión.
2. Analizar y establecer la configuración de los módulos que conformarán la inyectora para mejorar el manejo por parte del usuario y facilitar el mantenimiento.
3. Diseñar y construir un sistema de inyección para materiales termoplásticos.
4. Desarrollar e implementar etapa de control para el sistema de inyección seleccionado.
5. Diseñar y construir un dispositivo de calentado para la termoplastificación del material.
6. Diseñar y construir una interfaz usuario – máquina para la selección de las opciones de tiempos y temperaturas acorde al tipo de material termoplástico a utilizar.
7. Diseñar y construir un sistema de alerta que indique al usuario que se ha alcanzado la temperatura adecuada para la termoplastificación del material.
8. Diseñar y construir un sistema de precalentado para la mufla.
9. Integrar y conectar los distintos dispositivos construidos acorde al diseño final establecido para la estructura del prototipo.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Las máquinas inyectoras de materiales termoplásticos son herramientas útiles en el campo de la mecánica dental para la fabricación de prótesis dentales, sin embargo, dichas máquinas llegan a presentar deficiencias y fallos relacionados a su operatividad y desempeño en el desarrollo de los procesos de inyección. Entre dichas deficiencias y fallas se encuentran la sobreinyección de material, la falta de homogeneidad en el calentado durante el proceso de termoplastificación, la solidificación del material termoplástico dentro de la entrada de la mufla al momento de la inyección y la dificultad en la ejecución de las operaciones de inyección por parte del usuario.

Basado en lo expuesto anteriormente, con la puesta en marcha de un proyecto de prototipo de inyectora de materiales termoplásticos se busca establecer una propuesta de solución con la que solventar las deficiencias presentadas en las máquinas inyectoras existentes, relacionadas principalmente al control del proceso de inyección y calentado del material; haciendo uso de las habilidades y conocimientos adquiridos durante la formación académica.

Los beneficios esperados de la implementación de dicho proyecto están encaminados a generar un impacto positivo en las condiciones de funcionalidad del proceso de inyección en conjunto, abriendo una ventana de oportunidades para el desarrollo y optimización de tecnologías que permitan atacar y dar solución a los problemas presentes en la fabricación de prótesis dentales de materiales termoplásticos flexibles, no siendo encontrado dentro del marco mecatrónico de la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA) precedente alguno de prototipos de esta clase.

1.4 ESTADO DEL ARTE

El estado del arte se puede definir como el proceso de investigación y recolección de información de diferentes fuentes bibliográficas o informativas con respecto a un tema tratado con el fin de expandir el panorama sobre lo que existe o falta por desarrollar en torno a una problemática específica; todo ello con el propósito de evitar realizarse dobles esfuerzos en repetir en errores ya superados o líneas de investigación ya realizadas. Esto conlleva a considerarle no como un producto terminado sino como una contribución que genera nuevos problemas o hipótesis de investigación y representa el más importante insumo para dar comienzo a cualquier investigación [8].

Enfocando dicha descripción al prototipo planteado en el presente trabajo, el estado del arte presentado hace alusión a la innovación de un dispositivo de inyección por moldeo basado en un sistema preexistente de inyección para acrílico y cuya información se desglosa a continuación:

1. Un dispositivo de inyección por moldeo, mejorando el existente sistema de inyección para la fabricación de prótesis de acrílico.

Este dispositivo corresponde a la mejora del sistema de inyección para acrílico IVOCAP por Ivoclar Vivadent de tipo neumático (ver Figura 6), por medio de un sistema de moldeo por inyección cuyas ventajas radican en una adaptación precisa del acrílico al molde maestro (ver Figura 7), compensación continua de la contracción de este material, mejora de las propiedades físicas de las dentaduras y disminución de la porosidad. La inyección de la resina acrílica (metacrilato de metilo) en la mufla se lleva a cabo por el aparato de presión bajo la presión de 6 bares. Esta propuesta está enfocada en:

1. La fabricación en serie de prótesis dentales, debido a que estos sistemas permiten únicamente fabricar una dentadura a la vez.
2. Su empleo en la elaboración de prótesis con broches de alambre a partir de inyección.
3. La reducción de residuos y tiempos.
4. Optimización en la cantidad de material empleado.



FIGURA 6. SISTEMA DE INYECCIÓN IVOCAP POR IVOCLAR VIVADENT



FIGURA 7.LA UNIDAD DE INYECCIÓN DEL SISTEMA IMPROVISADO

De acuerdo a lo estipulado en el artículo, los resultados obtenidos fueron:

El primer punto de enfoque de esta propuesta fue solucionado por medio del empleo de una tapa especialmente diseñada para su adhesión a la mufla una vez terminado el proceso de

inyección como se muestra en la Figura 8, permitiendo mantener una presión constante y evitando así la necesidad de mantener conectado el elemento a través del aparato de presión por la inyección de nuevas cantidades de acrílico hasta el término del proceso de endurecimiento.

En el aspecto de la fabricación en serie, esta mejora permitió tener disponible el dispositivo para una nueva inyección mientras el proceso de curado y enfriado del molde previamente elaborado se lleva a cabo, logrado inyectar hasta al menos 15 muflas en este lapso de tiempo, siendo la división de la sección de inyección y de polimerización (ver Figura 9) esencial para la agilización de las actividades cubriéndose con ello lo estipulado en el punto 3 de la propuesta en lo referente a la reducción de tiempos.

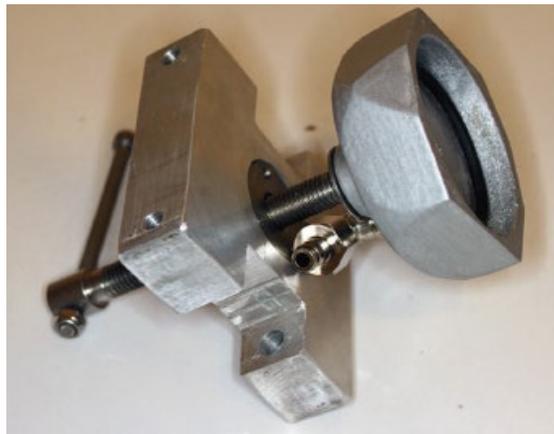


FIGURA 8. UNA TAPA SELLADA - VISTA LATERAL

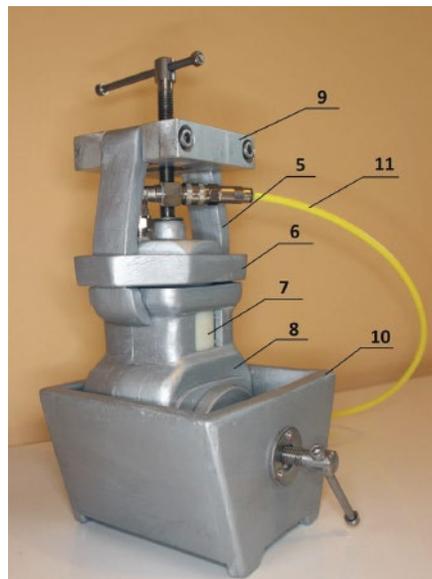


FIGURA 9. UNIDAD DE POLIMERIZACIÓN

Para el punto número 2, la elaboración del modelo con broches de alambre se realizó estableciendo previamente la posición final de los mismos (ver Figura 10), fijándolos con cemento dental y retención mecánica en el modelo maestro, y dejando los espacios correspondientes a la prótesis final, los dientes y sus uniones para el vertido del acrílico. El proceso de inyección se ejecutó de forma habitual.



FIGURA 10. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LAS PRÓTESIS PARCIALES DE ACRÍLICO CON GANCHOS DE ALAMBRE FORJADO

Finalmente, los puntos 3 y 4 de la propuesta con relación a la optimización de material y reducción de residuos encontraron solución por medio del diseño de capsulas de tamaños varios con el material contenido, las cuales son elegidas acorde al tamaño del modelo a elaborar y embonan en el sujetador de capsulas sin importar sus dimensiones [9].

1.5 ESTADO DE LA TÉCNICA

El estado de la técnica se puede definir como toda información o prueba, física o no, puesta a disposición del público a nivel mundial antes de la fecha de presentación de una solicitud de patente o de la reivindicación del derecho de prioridad [10].

Entre las razones para realizar una recopilación de información concerniente al estado de la técnica se encuentran la búsqueda de actualizaciones tecnológicas, nuevas tecnologías y avances recientes relacionados con el prototipo en cuestión.

Con base en la información recabada, las propuestas de dispositivos relacionados a la construcción de inyectoras para la elaboración de partes moldeadas dentales, así como de maquinarias comerciales existentes, se muestran a continuación:

1. Dispositivo y Procedimiento para la Producción de Piezas Dentales Moldeadas.

Esta invención, cuya vista interna se puede apreciar en la Figura 11, se relaciona a un artefacto y un método para la producción de piezas moldeadas dentales a partir de un plástico polimerizable, con una mufla que puede llenarse con el material por medio de un dispositivo de inyección y un dispositivo en forma de U (Figura 12) para el calentado del plástico polimerizable dentro de la mufla. El dispositivo de calentamiento será móvil con relación a la mufla. Esta invención cuenta además con una unidad de control y un arreglo operativo montados en la carcasa.

El objeto de este invento es por consiguiente el hacer asequible un artefacto para la producción de piezas moldeadas dentales, donde el dispositivo y el método permitieran mejorar y facilitar la producción, sin el riesgo de la polimerización incontrolable de los plásticos polimerizables que son introducidos.

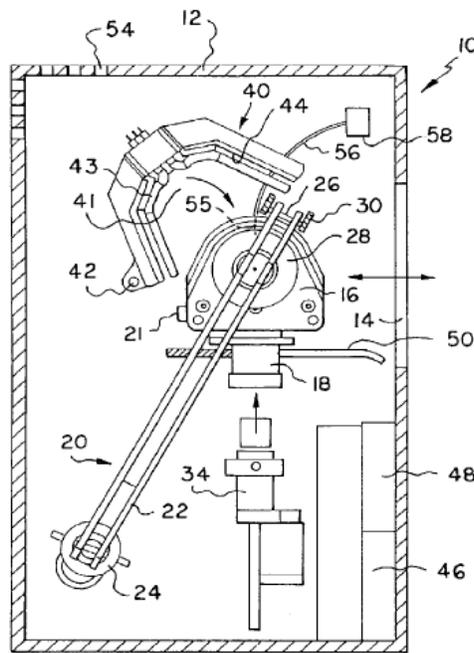


FIGURA 11. VISTA INTERNA DEL DISPOSITIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE PIEZAS DENTALES MOLDEADAS

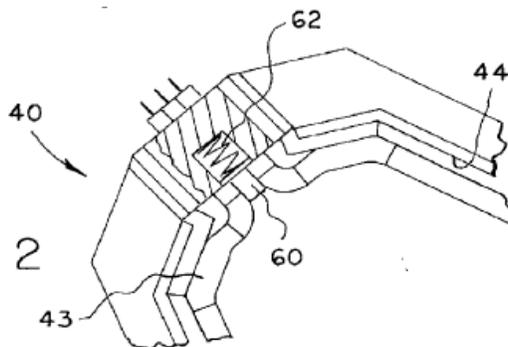


FIGURA 12. DISPOSITIVO DE CALENTAMIENTO EN FORMA DE U

A través de la descripción de funcionalidad hecha por el autor del presente trabajo, así como por las ilustraciones del dispositivo mostradas, se mencionan a continuación las principales características que presenta dicha invención:

- Implementación de una carcasa externa sellada.
- Dispositivo de calentamiento en forma de U, dispositivo de arrastre e implementación de dispositivo de calentamiento (Figura 12).
- Presencia de diversos dispositivos de sujeción para la mufla, así como una cavidad en la carcasa del dispositivo para su inserción y retiro.
- Dispositivo de inyección por presión, cuyos valores pueden oscilar entre 2000N a 25000N, siendo los valores de presión más comunes entre 5000N y 15000N.
- Ranuras de ventilación en la carcasa, necesarias para permitir la salida del calor producido por el proceso.
- Tipo de material inyectado y consistencia, lo que justifica la forma de su diseño y la variación en los requerimientos de calentamiento y operatividad del dispositivo. [11]

2. Microinyectora Sabilex 2AD Plus.

Esta microinyectora posee una pantalla de LCD para una observación clara del proceso automático de inyección y de la programación de tiempo y temperatura (ver Figura 13). Además, permite almacenar la información de 5 tipos de materiales. Posee una fuerza de inyección de 630 kg y un peso aproximado de 11.8 kg. [12]



FIGURA 13. MICROINYECTORA SABILEX 2AD PLUS

3. Microinyectora Sabilex 2AD Automática y Semiautomática

El modelo automático de esta microinyectora permite programar fácilmente la temperatura de inyección, los tiempos de calentamiento y de inyección por medio de su pantalla digital (ver Figura 14).

Por su parte, el modelo semiautomático permite la programación de la temperatura de calentamiento, no obstante, el operador debe controlar con un timer externo el tiempo de calentamiento y de inyección (ver Figura 14).

Ambos dispositivos se emplean para la inyección de un solo material. También poseen una fuerza de inyección de 630 kg y un peso aproximado de 11.8 kg cada uno. [12]



FIGURA 14. MICROINYECTORA SABLEX 2AD AUTOMÁTICA Y SEMIAUTOMÁTICA

4. Microinyectora Sabilex BioStrong 400 Plus.

Esta máquina permite la inyección de materiales termoplásticos que requieren una temperatura de inyección hasta 400°C (ver Figura 15), además de poder inyectar la mayor variedad de materiales de inyección disponibles en el mundo. También funciona de manera automática y posee una pantalla LCD que permite una observación clara del proceso de inyección, así como la programación de tiempo y temperatura. Almacena información de tiempo y temperatura para inyectar 5 materiales distintos. Tiene una fuerza de inyección de 1000 kg y un peso de 20 kg. [12]



FIGURA 15. MICROINYECTORA SABILEX BIOSTRONG 400 PLUS

5. Sistema Manual Partial Flex ®

Máquina de inyección manual con horno con una capacidad de torque de 1,800 Kg (ver Figura 16). El rango de temperatura manejado por el horno es de 0° a 300° C.

El horno se presenta en dos versiones acorde al nivel de voltaje a utilizar: 120V-60Hz o 220V-50Hz; también alcanza su temperatura inicial después de 15 minutos de haberlo encendido con un consumo de energía de 400 watts. [5]



FIGURA 16. SISTEMA MANUAL PARTIAL FLEX ®

1.6 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las máquinas inyectoras de materiales termoplásticos son pieza clave en el proceso de fabricación de prótesis dentales. Dichas máquinas presentan diversas características relacionadas a la complejidad de su funcionalidad y configuración, así como ventajas y desventajas acordes a su operatividad y desempeño; que las hace viables o inviables para su empleo en el proceso de inyección acorde a los parámetros de trabajo buscados.

Entre las desventajas de las máquinas inyectoras existentes se encuentran las deficiencias y fallos relacionados a su operatividad y desempeño en el desarrollo de los procesos de inyección. Entre dichas deficiencias y fallas se presentan principalmente la sobreinyección de material, la falta de homogeneidad en el calentado durante el proceso de termoplastificación, la solidificación del material termoplástico dentro de la entrada de la mufla al momento de la inyección y la dificultad en la ejecución de las operaciones de inyección por parte del usuario.

Con base en lo mencionado, los principales problemas a resolverse dentro del proceso de inyección están relacionados al control de la fuerza de inyección, la agilización en la fluidez del material seleccionado a través del control de las temperaturas en las fases del proceso involucradas tanto durante el periodo de termoplastificación del material como durante la inyección del mismo, y la simplificación de las operaciones realizadas por parte del usuario a través de la coordinación y reducción de la complejidad de los dispositivos que intervienen en la ejecución del proceso.

1.7 ANTECEDENTES

El marco de referencia se define como la compilación breve y concisa de información correspondiente a conceptos, teorías, estudios, regulaciones, etc. relacionados al desarrollo del tema y al problema de investigación [13].

1.7.1 HISTÓRICO

El moldeo por inyección se considera como uno de los procesos más comunes para la obtención de artículos plásticos, requiriendo temperaturas y presiones más elevadas que en cualquier otra técnica de transformación y proporcionando piezas y objetos de bastante precisión y calidad, con un buen aprovechamiento del material utilizado. El principio por el que trabaja el moldeo por inyección parte de inyectar un polímero fundido en un molde cerrado donde posteriormente solidifica dando lugar a un producto terminado; en la Tabla 1 se muestran algunas de las condiciones de trabajo típicas para llevar a cabo el moldeo por inyección de termoplásticos. Una máquina de moldeo por inyección posee dos secciones principales: la unidad de inyección y la unidad donde se aloja molde. El proceso de producción consta de ocho fases: 1) el cierre del molde; 2) el avance de la unidad de inyección; 3) la inyección del material; 4) el mantenimiento de la presión hasta terminar el proceso de solidificación; 5) la apertura del molde; 6) el retroceso de la unidad de inyección; 7) la

plastificación del material para continuar el ciclo posterior; y 8) la expulsión de la pieza haciendo apertura del molde [14].

TABLA 1. CONDICIONES TÍPICAS PARA LA INYECCIÓN POR MOLDEO DE TERMOPLÁSTICOS DONDE $T_{POLY}/^{\circ}C$ ES EL RANGO DE TEMPERATURA DEL POLIMERO FUNDIDO Y $T_{MOULD}/^{\circ}C$ EL RANGO DE TEMPERATURA DEL MOLDE.

Polymer	$T_G/^{\circ}C$	$T_M/^{\circ}C$	$T_{poly}/^{\circ}C$	$T_{mould}/^{\circ}C$
<i>Amorphous polymers</i>				
PC	150	-	280 - 320	85 - 120
SAN	120	-	200 - 260	30 - 85
ABS	100	-	200 - 280	40 - 80
PS	100	-	170 - 280	5 - 70
PMMA	105	-	150 - 200	50 - 90
uPVC	82	-	180 - 210	20 - 60
<i>Semi-crystalline polymers</i>				
PET	70	265	270 - 280	120 - 140
PTFE	40	220	220 - 280	80 - 130
PA 6	50	215	230 - 290	40 - 60
POM	-82	181	180 - 230	60 - 120
PP	-15	176	200 - 300	20 - 60
HDPE	-80	135	240 - 300	20 - 60
LDPE	-80	115	180 - 260	20 - 60

1.7.2 TEÓRICO

1.7.2.1 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO

Diversas fuentes consideran que en el proceso de inyección intervienen al menos 400 variables directas e indirectas, las cuales se pueden simplificar en 4 categorías: temperatura, presión, tiempo y distancia. Sin embargo, estas variables están interrelacionadas y un cambio en alguna de ellas es capaz de afectar a las otras. A continuación, se comentan las más importantes:

1. Temperatura de inyección

Temperatura a la que se calienta el material antes de su inyección en el molde.

Esta temperatura varía acorde del tipo de material, y no debe rebasar el límite en el que empieza su descomposición, pero siendo lo suficientemente elevada para permitir un flujo constante.

2. Presión inicial o de llenado

Hace referencia a la presión inicial que se aplica al material fundido y que desarrolla en consecuencia su movimiento, obligándolo a fluir hacia adelante, produciéndose el llenado inicial del molde. Es idealmente necesaria una presión inicial mucho mayor para producir una inyección más rápida.

3. Presión de mantenimiento o compactación

Es la presión extra aplicada al final del proceso de inyección sobre el molde al encontrarse este casi completamente lleno. Esta presión de compactación obliga al material a fluir hasta llenar finalmente el molde. Esto es requerido debido a que algunas partes del material ya han comenzado a enfriarse y contraerse antes de terminar el proceso, logrando con ello obtener una pieza de densidad uniforme.

4. Tiempo de inyección inicial

El tiempo requerido para realizar la inyección depende de diversos factores, entre ellos la cantidad de material a inyectar, la viscosidad del mismo, la forma y características del molde y el porcentaje de capacidad de inyección a utilizar. En la mayor parte de las máquinas utilizadas el tiempo se divide en dos tipos: el tiempo de inyección y el tiempo de compactación.

5. Tiempo de mantenimiento o compactación

El tiempo de compactación hace referencia al tiempo que el tornillo de inyección permanece en la posición final una vez terminado el proceso, con el fin de mantener la presión del material dentro del molde. Este proceso se prologa hasta obtener la solidificación del material en la cavidad de entrada del molde con lo que la cavidad de molde queda aislada del exterior permitiendo continuar el proceso de refrigerado. Se procede sucesivamente al retiro del pistón. [7].

1.7.2.2 TRANSFERENCIA DE CALOR

Transferencia de calor (o simplemente calor) es la energía transferida entre dos o más cuerpos a diferentes temperaturas.

Según se ejemplifica en la Figura 17, existen diferentes formas en las que se presenta la transferencia de calor entre cuerpos. Se acuña el término conducción cuando se produce una transferencia de calor a través del medio que rodea los cuerpos involucrados sean estos sólidos o líquidos. En cambio, la transferencia de calor ocurrida entre una superficie y un fluido que se encuentra en movimiento a diferentes temperaturas se denomina convección. Finalmente, el último modo de transferencia de calor se denomina radiación térmica, que es la transferencia neta de calor emitido por dos superficies a diferentes temperaturas en forma de ondas electromagnéticas. [15]



FIGURA 17. MODOS DE TRANFERENCIA DE CALOR: CONDUCCIÓN, CONVECCIÓN Y RADIACIÓN.

1.7.2.3 TERMOPLÁSTICOS COMERCIALES

Los termoplásticos comerciales empleados para la fabricación de prótesis dentales varían acorde a las características y las propiedades de cada material. La selección de dichos materiales termoplásticos está ligada a las preferencias de uso por parte del laboratorio dental donde se lleva a cabo el proceso de fabricación. Por medio de una entrevista, realizada al personal encargado del proceso de inyección [4] dentro de una de estas instalaciones, se definieron los dos tipos de materiales termoplásticos más utilizados: la resina de nylon dental y un copolímero al azar del polipropileno, siendo este último empleado con mayor regularidad.

Algunas marcas relacionadas a los materiales termoplásticos mencionados se presentan a continuación:

1. Valplast® (Material Flexible).

El Valplast® es una resina basada en nylon termoplástico [16] cuyas propiedades físicas y estéticas la hacen ideal para la fabricación de prótesis dentales removibles parciales, unilaterales y completas. Dos de las características más importantes que presenta este material son la funcionalidad y la estética. Su punto de fusión se da entre los 565°C y los 580°C, con un precalentado de 11 minutos [17].

2. Lucitone FRS (Material Flexible).

El Lucitone FRS es una resina termoplástica inyectable para la elaboración de prótesis dentales completas y parciales según sea requerido. Entre sus principales características se encuentran: fuerza, mayor flexibilidad, mejor estética debido a las cualidades de transparencia del material, resistencia al impacto, resistencia a la coloración, liviana y exhibe estabilidad en el color [16].

Entre sus propiedades más destacables se encuentran: punto de fusión alcanzado a la temperatura de 240°C, resistencia tensil de 9000 psi, transición a vidrio a 155°C y fuerza flexural de 10000 psi [18].

3. Partial Flex®

Partial Flex® es un copolímero *random* proveniente de un grupo de polímeros conocido como Olefinas y cuyas características se desglosan en la Tabla 2. Este polímero se forma por medio de los enlaces de moléculas más pequeñas llamadas monómeros que al unirse forman largas cadenas con miles de enlaces entre ellas (polímeros).

TABLA 2. INFORMACIÓN DEL PROCESAMIENTO PARTIAL FLEX®

Información del Procesamiento	
Termoplastificación	260°C
Tiempo de termoplastificación	13 minutos
Tiempo de plastificado	60 minutos
Contracción	0.1%
Nombre Genérico	Poliolefina

Partial Flex® es un material que no absorbe agua, eliminando el riesgo de ablandamiento de la prótesis durante su uso y no presenta pérdida de coloración como en otros materiales derivados de las poliamidas como el Nylon [5].

Partial Flex® es un material biocompatible, hipoalergénico y no tóxico para el uso humano [5]. Este material cuenta con certificaciones CE e ISO 1385-2013 (“Sistemas de Gestión de Calidad de Equipos Médicos”) que certifican su calidad en la manufactura del mismo, siendo probado en la prestigiosa Universidad de Cataluña.

Las presentaciones de estos productos varían de acuerdo al fabricante. En el caso particular del polímero a base de Partial Flex®, éste se exhibe en presentaciones de 27g contenidas en tubos de 2.5 cm de diámetro y 9cm de altura como se muestra en la Figura 18. El material termoplástico contenido se encuentra en estado sólido de forma granulada (ver Figura 20) y está disponible en diversas gamas de colores (ver Figura 19) que varían según las preferencias del cliente.



FIGURA 18. CARTUCHO DE MATERIAL PARTIAL FLEX

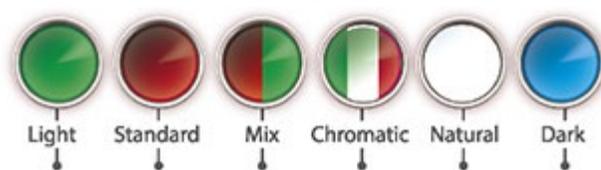


FIGURA 19. GAMA DE COLORES DE MATERIAL PARTIAL FLEX



FIGURA 20. ASPECTO FÍSICO DE MATERIAL TERMOPLÁSTICO

1.7.2.4 CÁLCULO DE FUERZA DE INYECCIÓN

La fuerza es una de las principales variables a considerar durante el proceso de inyección a fin de satisfacer las condiciones de presión que permitan la correcta disposición del material termoplástico utilizado.

Debido a la falta de información técnica relacionada a la magnitud de la fuerza a emplear durante la inyección de los materiales termoplásticos; se llevó a cabo la estimación de dicho parámetro con base en los datos brindados por el laboratorio dental consultado [4] y las diferentes investigaciones realizadas con respecto al tema.

Se planteó inicialmente llevar a cabo un conjunto de pruebas empíricas haciendo uso de una máquina universal de prueba de compresión; idea que fue descartada debido a la inviabilidad del experimento a causa de la alta temperatura de fusión requerida por el material para su estudio, así como el amplio rango de medición de la máquina que imposibilitaba obtener lecturas de resultados inferiores a 3kN.

Acorde a la información recabada por medio de la entrevista realizada al laboratorio dental, la masa de material utilizada en la fabricación de prótesis dentales oscila entre 7g a 20g acorde a la complejidad del modelo a elaborar, así mismo el diámetro promedio del cartucho de material empleado (ver Figura 21 y Figura 22) es igual a 2.5cm con una altura aproximada de 10.8cm desde la base.

El material más utilizado para la fabricación de prótesis dentales es el denominado Partial Flex®, un copolímero *random* de la familia de las Olefinas cuya base de información presenta ventajas con respecto a la de otros polímeros en lo referente a sus características y propiedades de tipo mecánico; razón por la cual fue seleccionada como referencia para su empleo en los cálculos en cuestión.

Para obtener la fuerza estimada requerida en el proceso de inyección, se dio inicio a la búsqueda de la velocidad de entrada dadas las características del cartucho de inyección y el material que contiene.

Para el cálculo de la velocidad, se emplearon las fórmulas que se muestran a continuación:

1. Caudal volumétrico

$$Q = \frac{V}{T}$$

Donde Q es el caudal (m^3/s), V el volumen (m^3) y T el tiempo (s).

2. Velocidad de flujo en tuberías

$$v = \frac{Q}{A}$$

Donde v es la velocidad del flujo y A es el área de sección transversal de la tubería.

Buscando definir el volumen de material a mover, se hizo uso de la fórmula de la densidad:

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

Donde ρ es la densidad del material, m es la masa y V el volumen.

Despejando el volumen de la formula se obtuvo:

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

Tomando como base los datos proporcionados por el laboratorio dental en lo concerniente a la masa de material termoplástico utilizado, su densidad y las dimensiones del cartucho de material; se realizaron los cálculos pertinentes, obteniendo los siguientes resultados:

Considerando una masa de 20g y conocida la densidad del material (0.9 g/cm^3), se calculó el volumen máximo de inyección posible:

$$V_{max} = \frac{m}{\rho} = \frac{20g}{0.9g/cm^3} = 22.222cm^3$$

El resultado conseguido se sustituyó en la fórmula de caudal volumétrico. Proponiéndose un tiempo de inyección de 10 segundos se obtuvo:

$$Q = \frac{V_{max}}{T} = \frac{22.222cm^3}{10s} = 2.222 \frac{cm^3}{s}$$

Obtenido el caudal y teniendo el cartucho de material termoplástico un diámetro promedio de 2.5 cm, se procedió al cálculo de la velocidad de entrada estimada usando la fórmula de velocidad de flujo en tuberías:

$$v_{ent} = \frac{Q}{A} = \frac{2.222 \frac{cm^3}{s}}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{2.222 \frac{cm^3}{s}}{\frac{\pi(2.5cm)^2}{4}} = \frac{2.222 \frac{cm^3}{s}}{4.908 cm^2} = 0.45 \frac{cm}{s} = 0.0045 \frac{m}{s}$$

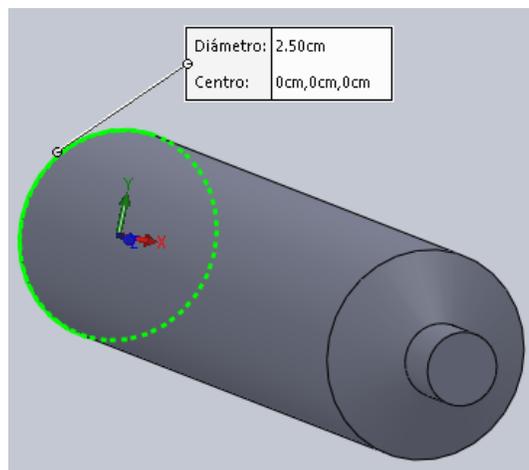


FIGURA 21. DIÁMETRO DE CARTUCHO DE MATERIAL TERMOPLÁSTICO



FIGURA 22. LONGITUDES DE CARTUCHO DE MATERIAL TERMOPLÁSTICO

Conocida la densidad del material termoplástico referido y calculada la velocidad de entrada, se procedió a la obtención de la magnitud de la viscosidad del material en estado líquido. Para obtener este dato en particular se presentaron diversas dificultades entre las que destacan la escasez de información concisa y puntual relacionada al tema en cuestión, así como la dificultad para la medición estimada de dicha magnitud empleando dispositivos de medición convencionales.

A propósito de lo anteriormente mencionado, el material de investigación titulado “*Polypropylene random copolymer in pipe application: Performance improvement with controlled molecular weight distribution*” [19] brindó la información requerida. El trabajo mencionado se basa en pruebas de recocido a diferentes temperaturas de fusión haciendo uso de copolímeros *random* de polipropileno (PP-R) cuya distribución de peso molecular fue modificada a fin de conocer sus efectos en la procesabilidad y propiedades mecánicas del material.

En una de dichas pruebas se hizo obtención de las propiedades reológicas de una muestra de copolímero *random* de polipropileno sin modificar, denominado PP-R1, y cuya gráfica de comportamiento viscosidad aparente – velocidad de corte se visualiza en la Figura 23. Analizando la gráfica mencionada y tomando en consideración la información de procesamiento del material Partial Flex® (Tabla 2) relativa a la temperatura de termoplastificación del copolímero, se seleccionó como valor muestra una viscosidad de 3500 Pa.s a una temperatura de 260°C y una velocidad de corte de 10^1 s^{-1} . Como dato adicional, dada la alta viscosidad del fluido este no se derrama con facilidad.

Obtenidos todos los parámetros requeridos, se procedió a la obtención de la magnitud de la fuerza de inyección a través de la simulación de la presión requerida por el cartucho de material termoplástico para su flujo dadas las condiciones de densidad, viscosidad y velocidad de entrada del material. El programa utilizado para realizar dichas simulaciones fue ANSYS Workbench por medio de un estudio de fluencia y cuyos resultados se pueden apreciar en la Figura 24 y Figura 25.

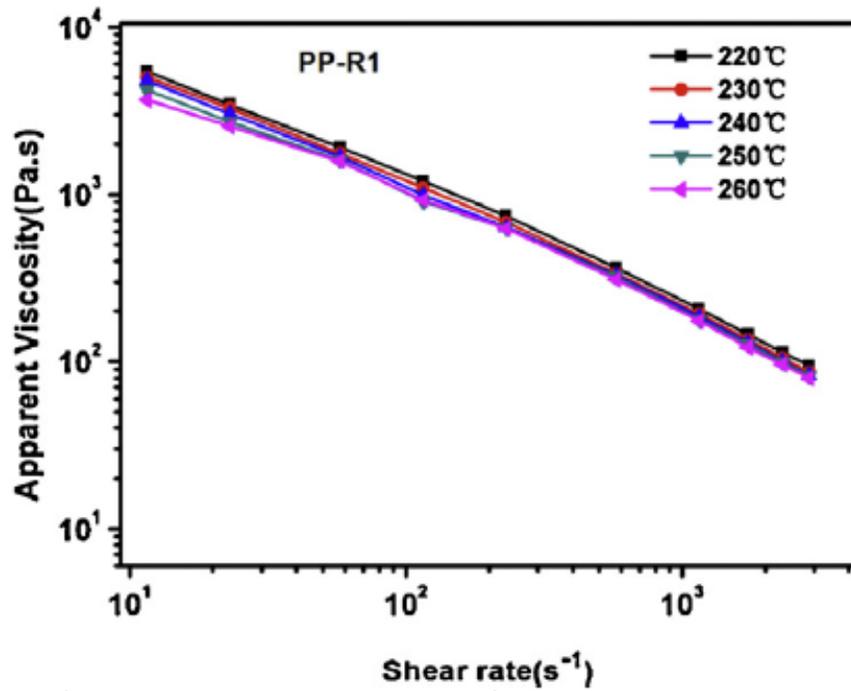


FIGURA 23. GRÁFICA DE TASA DE FLUJO DE FUSIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS DEL COPOLIMERO RANDOM DE POLIPROPILENO

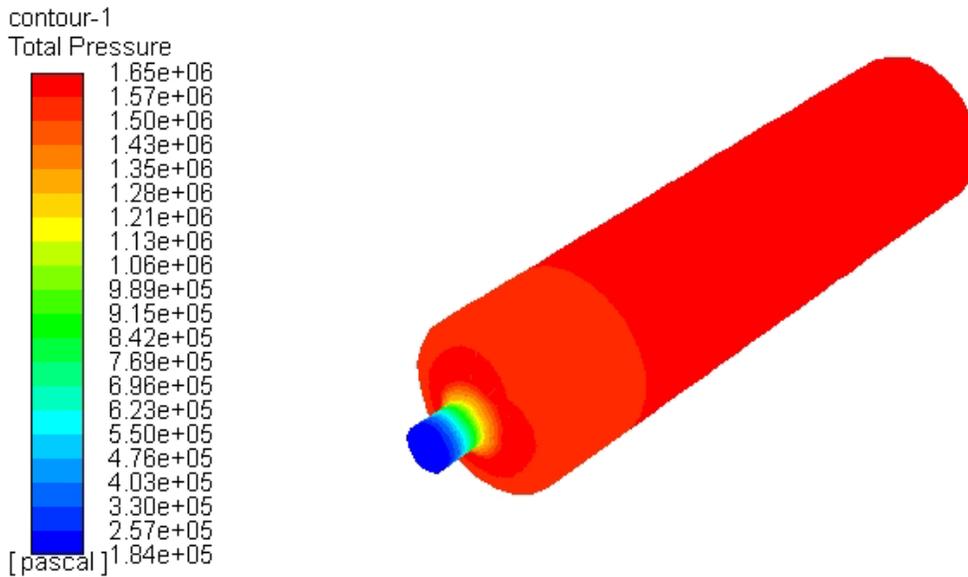


FIGURA 24. RANGO DE PRESIÓN SOBRE CARTUCHO DE COPOLIMERO RANDOM DE POLIPROLINENO



FIGURA 25. VISTA LATERAL DE RANGO DE PRESIÓN SOBRE CARTUCHO DE COPOLIMERO RANDOM DE POLIPROPILENO

Tomando una presión de entrada máxima de 1.65MPa a partir del rango de presión presentado en la Figura 24 y la Figura 25, se procedió al cálculo de la fuerza por medio de la fórmula:

$$F = PA$$

donde P es la presión en Pascales (Pa) y A es el área transversal en m². Conociéndose el diámetro de incidencia de la presión (un círculo con diámetro d igual a 2.5cm = 0.025m), se sustituyeron valores:

$$F = P \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) = (1.65MPa) \left[\frac{\pi(0.025m)^2}{4} \right] = 809N$$

Como margen de seguridad, dada la incertidumbre para conocer la fuerza exacta de inyección, se asumió un factor de sobrecarga aproximado del 10% con respecto al valor original obtenido durante las simulaciones dando como resultado una fuerza aumentada de 900 N.

CAPÍTULO II. ANÁLISIS Y DISEÑO CONCEPTUAL

El diseño conceptual se puede resumir como el conjunto de tareas encaminadas a obtener una solución a un problema planteado a partir de las especificaciones, requisitos y necesidades. El diseño conceptual sintetiza dicha solución en forma de conceptos, expresados en forma de esquemas. [20]

2.1 PDS

A partir de la información recabada del laboratorio dental consultado [4] y de las investigaciones realizadas concernientes a las necesidades del proceso de inyección, se realizó la interpretación y definición de los requerimientos a cubrir en el diseño del prototipo de inyectora para materiales termoplásticos flexibles. En la Tabla 3 se desglosan las necesidades encontradas y sus respectivos requerimientos acorde a su área de influencia e importancia dentro del proceso de fabricación de prótesis dentales.

TABLA 3. PDS

Necesidades (voz del usuario)	Demanda (D) o deseo (d)	Interpretación	Requerimiento
Facilidad en la inyección del material termoplástico en la mufla.	D	El mecanismo de inyección debe proporcionar la fuerza de inyección requerida para la operación.	El mecanismo de inyección debe permitir la aplicación de una fuerza calculada aproximada de 900 Newton (900N).
Alcanzar la temperatura adecuada para la termoplastificación del material.	D	El dispositivo de calentado debe alcanzar y mantener la temperatura de termoplastificación requerida para el material elegido.	El dispositivo de calentado debe alcanzar temperaturas aproximadas entre los 260°C a 305°C, acorde a los parámetros de termoplastificación establecidos por el fabricante del material Partial Flex®.
Calentar la mufla de forma anticipada para facilitar el flujo del material durante el proceso de inyección	d	Implementar sistema de precalentado para la mufla.	Uso de un sistema de precalentado para la mufla que permita el alcance de una temperatura del molde (T_{mould}) entre los 20°C y 60°C, basados en los datos proporcionados por la Tabla 1 para el material polímero polipropileno (PP).

Alerta que indique al usuario que se ha alcanzado la temperatura óptima de termoplastificación del material.	D	Implementación de sistema de alerta.	Sistema de alerta basado en sonido, interpretación visual o mixto, específico para esta función.
Que el prototipo cuente con etiquetas de identificación para cada elemento que integra la interfaz y el sistema de alerta.	d	Implementación de señalizaciones.	Señalizar el significado, de ser requerido, de cada uno de los elementos que integran la interfaz de usuario y el sistema de alerta, de forma clara y precisa.
Facilidad y comodidad de uso para el usuario.	d	Implementación de interfaz de uso sencilla y señalizada.	Control mediante botones/teclado matricial para la selección de material y parámetros de temperatura y tiempo. Visualización en LCD /pantalla/displays.
Fácil inserción/extracción del cilindro porta cartuchos	d	El dispositivo de calentado para la termoplastificación del material debe facilitar la movilidad y disposición del cilindro portacartuchos por parte del usuario	Colocar el dispositivo de calentado para la termoplastificación del material en una posición de fácil acceso por parte del usuario y que no entorpezca u obstruya el desarrollo de las restantes actividades del proceso.
Que el mantenimiento sea simple y pueda ser realizado por el mismo usuario.	d	Fácil obtención y reemplazo de refacciones y componentes.	Utilizar piezas estándar y de fácil adquisición.
Fuente de alimentación	d	Alimentación del prototipo por medio de una conexión eléctrica estable.	Energía eléctrica suministrada por medio de cables de conexión a instalación fija, fuente de alimentación o regulador, según se requiera.

Ensamblaje ajustado, que garantice estabilidad y buen desempeño general.	d	Montaje preciso de los sistemas y dispositivos que integran el prototipo.	Margen de error mínimo (entre ± 0.1 cm de desviación) en el montaje de los sistemas y dispositivos involucrados.
Fácil desarticulación/articulación de elementos.	d	Consideración de partes removibles / móviles de fácil desmontaje.	Diseño e implementación de elementos y mecanismos de tipo modular. Priorizar la sujeción por medio de tornillos.
Que los dispositivos y sistemas que componen el prototipo de inyectora de materiales termoplásticos ocupen poco espacio.	d	Minimizar el espacio ocupado por cada dispositivo / sistema dentro del prototipo final.	El prototipo abarque un área total aproximada de 60cm de alto x 25cm de ancho x 70cm largo.
Que el prototipo de inyectora de materiales termoplásticos soporte las fuerzas de inyección suministradas	D	Uso de materiales resistentes al impacto y a la fatiga.	Diseño de elementos estructurales y mecanismos capaces de soportar fuerzas de inyección aproximadas de 900 Newton (900N) o superiores sin presentar ruptura o deformación. Buena distribución y estabilidad de los elementos estructurales.
Facilidad de fabricación de elementos y componentes estructurales	d	Uso de procesos de manufactura simples y materiales de fácil manejo y maquinado.	Medidas exactas de elementos a manufacturar. Proceso de manufactura empleando maquinaria convencional. Selección de materiales con buena maquinabilidad.

2.2 DIVISIÓN POR ÁREAS FUNCIONALES.

Las áreas funcionales del prototipo de inyectora de termoplásticos flexibles para prótesis dentales se plantearon a través del análisis de cada una de las fases que intervienen en el proceso de fabricación, estableciéndose las siguientes divisiones:

1. Sistema de inyección.

Esta área se relaciona con el funcionamiento y diseño del mecanismo utilizado para llevar a cabo el proceso de inyección de manera satisfactoria en tiempo y forma, tomando en cuenta las necesidades de velocidad y fuerza requeridas. El diseño de este sistema busca practicidad en el manejo y disposición de los elementos que intervienen en el proceso a fin de evitar demoras en su ejecución.

2. Dispositivo de calentado para la termoplastificación del material.

Esta área se relaciona con el proceso de termoplastificación del material para su posterior inyección en el molde final. Con el propósito de garantizar su adecuado funcionamiento, se toman en cuenta los factores térmicos, valores de temperatura y de medición / sensado requeridos. El éxito de este dispositivo depende de alcanzar la temperatura requerida en el tiempo adecuado.

3. Sistema de precalentado para la mufla.

Se encarga del calentado preliminar de la mufla a fin de agilizar el flujo del material termoplástico dentro del molde durante la ejecución del proceso de inyección. Se toman en consideración los factores térmicos involucrados, el rango de temperatura de calentado sugerido para la mufla, el tiempo de calentado y los tiempos de extracción / retiro de la mufla del sistema de precalentado para su posterior montaje en el sistema de inyección.

4. Interfaz usuario-máquina

Sirve como enlace entre los diferentes sistemas y dispositivos que intervienen en el proceso de fabricación de prótesis dentales y el usuario. Agiliza la manipulación del prototipo, la fluidez en su operatividad y la ejecución de las fases del proceso de inyección.

A través de esta interfaz usuario-maquina se definen y controlan además las diferentes variables involucradas en cada una de las etapas del proceso de fabricación de prótesis dentales.

5. Sistema de alerta

Este sistema se encarga de emitir avisos de tipo sonoro o visual (lumínico) al usuario según se requiera, notificando que se ha iniciado o concluido determinada etapa del proceso de inyección. Este sistema está definido de forma clara y concisa para identificar cada fase del proceso y evitar malas interpretaciones.

2.3 ANÁLISIS MORFOLÓGICO

Con base en el método del diagrama morfológico de Cross [21], se llevó a cabo la definición de las posibles alternativas para cada una de las áreas funciones del prototipo a desarrollar. Como se muestra en la Tabla 4, tomando como base la información preliminar recopilada, se propusieron un conjunto de posibles soluciones basadas en la funcionalidad y características que se desean cubrir acorde a las necesidades y requerimientos definidos por el usuario.

TABLA 4. DIAGRAMA MORFOLÓGICO DE CROSS PARA LAS FUNCIONES DEL PROTOTIPO

Elemento o función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Sistema de inyección	<p>Sistema tipo mecánico de movimiento lineal continuo</p> 	<p>Sistema de tipo neumático</p> 	<p>Sistema de tipo hidráulico</p> 	
Dispositivo de calentado para termoplastificación del material	<p>Horno de resistencias eléctricas</p> 	<p>Horno tipo industrial de gas</p> 	<p>Horno de inducción</p> 	
Sistema de precalentado para la mufla	<p>Horno de resistencias eléctricas</p> 	<p>Horno tipo industrial de gas</p> 	<p>Horno de inducción</p> 	
Interfaz usuario-máquina y sistema de alerta	<p>Botones con visualización en pantalla LCD display y leds/focos. Alerta tipo visual</p> 	<p>Botones con visualización en pantalla LCD display y leds/focos. Alerta tipo sonoro</p> 	<p>Pantalla LCD TFT. Alerta tipo visual</p> 	<p>Pantalla LCD TFT. Alerta tipo sonoro</p> 

2.4 PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Una vez expuestos algunos de los principales problemas presentados por las máquinas de inyección de termoplásticos, se procedió al planteamiento de una propuesta de solución que permitiera contrarrestar significativamente dichas problemáticas en función de los objetivos planteados previamente. Para ello se hizo empleo de los conocimientos y las habilidades proporcionados por las diversas disciplinas que componen la Mecatrónica como son la mecánica, el control, la electrónica, la programación, el sensado de las variables analógicas, la transferencia de calor, la resistencia de materiales, el modelado y la simulación de estructuras y sistemas, entre otros.

El diseño del prototipo de inyectora de materiales termoplásticos flexibles planteado permitió la posibilidad de implementar un proceso de fabricación de prótesis dentales semiautomatizado a través del empleo de una interfaz de fácil interpretación y operación por parte del usuario, con control del proceso y velocidad de inyección a fin de evitar la sobreinyección del material termoplástico así como control de las variables de temperatura en la fase de calentado; todo ello con el propósito de minimizar la intervención humana y agilizar el proceso de fabricación.

La propuesta de prototipo de inyectora de materiales termoplásticos flexibles, formulada para cumplir con los requerimientos definidos anteriormente, quedó constituida de la siguiente manera:

1. Sistema de inyección que proporciona la fuerza de inyección requerida y control de la velocidad de inyección.
2. Dispositivo de calentado para la termoplastificación del material.
3. Sistema de precalentado para la mufla que permite alcanzar la temperatura adecuada para facilitar la movilidad del material inyectado.
4. Sistema de alerta que emite un aviso al usuario una vez alcanzada la temperatura requerida del dispositivo de calentado para la termoplastificación del material.
5. Interfaz usuario-máquina que permite la selección de la temperatura de calentado y del tiempo de termoplastificación acorde al material termoplástico utilizado.
6. Finalmente, la integración estructural de todos los elementos anteriormente mencionados, con los sistemas y los dispositivos calibrados y en correcto orden de operación.

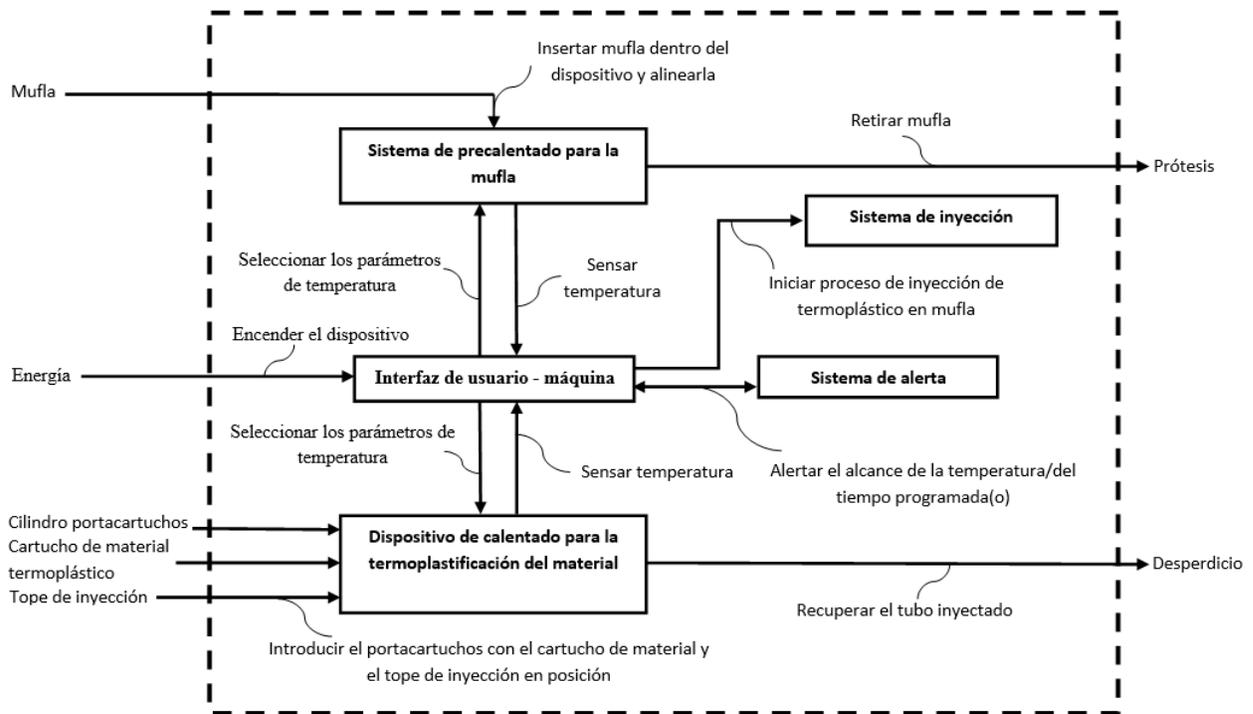


FIGURA 26. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN

El funcionamiento general del prototipo planteado, que se presenta en la Figura 26, se describe a continuación:

Con el encendido del prototipo, la interfaz usuario-máquina requiere al usuario ingresar el valor de la temperatura de termoplastificación del material termoplástico a emplear, tras lo cual dan inicio las operaciones de trabajo y sensado del dispositivo de calentado para la termoplastificación del material.

Mientras se lleva a cabo la operación anterior, el usuario prepara el cilindro portacartuchos insertando en su interior el cartucho de material termoplástico a utilizar y el tope de inyección requerido.

Una vez ha sido alcanzada la temperatura de termoplastificación ingresada por el usuario, se envía una señal de alerta a éste notificándole que es el momento indicado para llevar a cabo la inserción del cilindro portacartuchos en el dispositivo de calentado para la termoplastificación del material. Posteriormente la interfaz usuario-máquina solicita al usuario introducir los valores del tiempo de termoplastificado del material y la temperatura de precalentado de la mufla.

Sucesivamente se realiza el montaje de la mufla en el sistema de precalentado para la mufla y se espera a que la señal de alerta indique su retiro; dicha señal tendrá lugar instantes antes de que el tiempo de termoplastificado del material concluya a fin de realizar con antelación el montaje de la mufla en el sistema de inyección.

Concluido el tiempo de termoplastificado del material, una nueva señal de alerta indica al usuario que el material termoplástico está listo para su inyección, procediéndose a retirar el cilindro portacartuchos del dispositivo de calentado para la termoplastificación del material y colocarlo sobre la abertura de entrada de la mufla, previamente montada. Posteriormente se lleva a cabo la activación del sistema de inyección.

Una vez terminado el proceso de inyección y sin retornar el sistema a su posición original, se espera al enfriado de la mufla. Enfriada la mufla, se procede al retorno del sistema de inyección y el subsecuente retiro del cilindro portacartuchos y de la mufla, dando con ello por finalizado el proceso de inyección por moldeo.

2.5 SELECCIÓN DEL DISEÑO CONCEPTUAL.

Empleando el método de objetivos ponderados de Cross [21] se realizó, por consenso entre las partes involucradas en el desarrollo del presente proyecto, la definición de los lineamientos a seguir en la selección del diseño conceptual. Las partes involucradas en el desarrollo de este prototipo están conformadas por el equipo de diseño (integrado por el desarrollador y sus asesores) y el usuario.

Para llevar a cabo la definición de los objetivos ponderados para la selección del diseño conceptual, se realizó una investigación sobre los puntos de interés a considerar durante el proceso de inyección por moldeo. A continuación, se presenta la información recabada:

Los principales componentes que integran el procedimiento de moldeo por inyección son: la unidad de inyección, el molde y el polímero; siendo los parámetros para el control del proceso: la temperatura de fusión del material, la temperatura del molde a inyectar, la presión de inyección y de compactación, la velocidad de dicha inyección, y la distribución de tiempo presentada entre cada una de las fases que componen el proceso.

Uno de los aspectos más importantes a considerar durante el proceso de moldeo por inyección es la orientación que presenta el material al momento de su inyección en la cavidad del molde y durante su solidificación. A diferencia de la extrusión en donde se busca la orientación del material a fin de mejorar sus propiedades, en el proceso de moldeo por inyección esta orientación produce un efecto contraproducente sobre las mismas propiedades por lo que su minimización es requerida.

Una explicación más detallada sobre la orientación de los polímeros y su comportamiento se proporciona a continuación:

Las moléculas de los polímeros en su forma normal (estado relajado) se presentan como cadenas enredadas que tienden a desenmarañarse y orientarse en paralelo a la dirección del flujo cuando se aplica alguna presión al polímero fundido, lo cual permite a las moléculas desplazarse unas sobre otras con mayor facilidad. Esta acción de corte de una capa de material fundido sobre otra es lo que da origen a la orientación [14]

Una vez se ha cesado el esfuerzo de inyección y si permanece el polímero fundido un periodo de tiempo suficientemente largo, las moléculas recobran su forma original en forma de cadenas enredadas siendo esta fase del proceso conocida como relajación.

En función de la información expuesta, se considera a la orientación el resultado de la alineación paralela de las cadenas de moléculas en la dirección de flujo y su posterior relajación. Los casos donde las condiciones de operación del proceso afectan significativamente la orientación del material se presentan cuando:

1. Las altas temperaturas del molde y del material disminuyen la orientación, pues favorecen la ocurrencia de la relajación en las cadenas de moléculas del material. Este efecto puede prolongarse significativamente incluso después de haber sustraído el molde.
2. Las altas presiones producen un aumento de la orientación, debido a los altos esfuerzos y velocidades de corte generadas.
3. Las velocidades de inyección son especialmente críticas, a mayor velocidad, más rápido se llenará la cavidad del molde y se cerrará la entrada, dando comienzo a la relajación del fluido, es decir, disminuye la orientación. [14]

A partir del análisis de la información presentada hasta el momento y su contraste con los requerimientos y necesidades mencionados anteriormente, se procedió a la definición de los objetivos ponderados particulares para cada uno de los sistemas y dispositivos que integran el prototipo.

Para determinar el nivel de prioridad de cada uno de los objetivos ponderados definidos, se realizó una jerarquización haciendo uso de la comparación sistemática de los pares de objetivos de Cross [21] donde si la importancia del objetivo evaluado es mayor a su contraparte es colocado un 1, en el caso contrario se coloca un 0 y si tienen la misma importancia se coloca $\frac{1}{2}$. Una vez asignados dichos valores a cada objetivo ponderado, se realizó la designación de las ponderaciones relativas haciendo uso de una regla de 3 entre la sumatoria de los totales de filas obtenidos en cada evaluación (cuyo valor representa el valor total a alcanzar en una escala de 100 puntos) y la respectiva valoración de cada objetivo ponderado.

Terminado el proceso de jerarquización de los pares de objetivos respectivos a cada sistema y dispositivo que integra el prototipo, se procedió a la definición de los parámetros de rendimiento sugerido por el método de objetivos ponderados de Cross. Para efectos de este proyecto se estableció una escala de calificaciones de 4 niveles por puntos (ver Tabla 5), con la cual realizar la ponderación de las alternativas presentadas y determinar la selección más viable para el desarrollo del prototipo de inyectora de materiales flexibles para prótesis dentales.

TABLA 5. ESCALA DE CALIFICACIONES

Escala de puntos	Significado
1	Solución totalmente insuficiente: El elemento presenta fallas significativas y no satisface completamente los requerimientos de funcionamiento.
2	Solución insuficiente: El elemento satisface con dificultad los requerimientos de funcionamiento establecidos
3	Solución regular: El elemento no satisface completamente los requerimientos de funcionamiento establecidos, pero cubre los requisitos mínimos
4	Solución buena: El elemento cubre o excede los requerimientos de funcionamiento especificados, da solución a la necesidad del usuario.

2.5.1 SISTEMA DE INYECCIÓN.

Procediéndose con el proceso de selección del diseño conceptual empleando el método de objetivos ponderados de Cross, se muestran a continuación los objetivos ponderados para la selección del sistema de inyección del prototipo de inyectora de materiales termoplásticos flexibles para prótesis dentales:

A. Generar la fuerza de inyección requerida.

La fuerza es una importante variable a considerar dada la estrecha relación que guarda con el desarrollo de la fase de inyección del prototipo. El sistema a seleccionar debe ser capaz de producir la fuerza mínima necesaria (900 N) para realizar la inyección del material termoplástico y el llenado del molde sin afectar la integridad física propia y la de los elementos con que interactúa.

B. Simplicidad del diseño del mecanismo a utilizar.

Es fundamental para el diseño del prototipo buscar disminuir las cuestiones de espacio, complejidad y número de elementos de los sistemas y/o mecanismos a utilizar, permitiendo una mejor manipulación y disposición de los mismos.

C. Facilidad de fabricación / obtención de los componentes requeridos.

Este objetivo se relaciona al proceso de construcción y adquisición de los elementos mediante los cuales llevar a cabo la elaboración física del sistema de inyección; buscando reducir el tiempo empleado en el maquinado, fabricación de piezas y obtención de componentes.

D. Facilidad de instalación.

Reducción de la complejidad involucrada en el montaje de los elementos del sistema dentro del prototipo.

E. Diseñar y calcular con base en los conocimientos previos del equipo de diseño.

Enfocar los esfuerzos por parte del equipo de diseño a la selección de un sistema de inyección acorde a los conocimientos teóricos - prácticos y habilidades de los integrantes. Con ello se busca agilizar el proceso de materialización y reducir la dificultad y tiempos manejados para el proceso de diseño.

F. Emplear instalaciones / equipos externos de forma mínima.

Minimizar la cantidad de elementos e instalaciones externas requeridas por el mecanismo para llevar a cabo su funcionamiento dentro del proceso de inyección, a fin de permitir su fácil acondicionamiento dentro del lugar de trabajo designado.

Estos objetivos ponderados contaron con la aprobación de las partes involucradas en el desarrollo del prototipo.

Usando la comparación sistemática de los pares de objetivos de Cross, se procedió a la evaluación del nivel de prioridad de cada uno de los objetivos ponderados definidos para el sistema de inyección (ver Tabla 6), asignando la calificación o “peso” relativo respectivo para cada objetivo basado en una escala de 100 puntos.

Por otro lado, se llevó a cabo la recopilación de información de interés relacionada a las alternativas de sistemas de inyección propuestas anteriormente (ver Tabla 7).

Completada la asignación de los “pesos” relativos a cada objetivo ponderado y con base en la escala de calificaciones definida, se dio paso a la evaluación y comparación de los valores de utilidad relativa obtenidos para cada una de las alternativas planteadas en función del cumplimiento de los requerimientos presentados en los objetivos y de las necesidades expresadas por el usuario (ver Tabla 8). Finalmente, se realizó la selección de la opción más viable para el sistema expuesto.

TABLA 6. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA DISEÑO CONCEPTUAL. SISTEMA DE INYECCIÓN

Objetivo	A	B	C	D	E	F	Σx	Pesos
A	-	1	1/2	1	1/2	1/2	3.5	27
B	1/2	-	1/2	1	1/2	1/2	3	23
C	0	1/2	-	1	1/2	1/2	2.5	19
D	0	1/2	0	-	0	0	0.5	4
E	0	1/2	1/2	1/2	-	1/2	2	15
F	0	1/2	1/2	1/2	0	-	1.5	12
Σ final							13	100

TABLA 7. CARACTERÍSTICAS DE ALTERNATIVAS DE SISTEMA DE INYECCIÓN

Alternativa	Características generales
<p>Sistema tipo mecánico de movimiento lineal continuo</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Posible obtener una elevada ventaja mecánica acorde a diseño. 2. Posibilidad de asociación con sistemas eléctricos. 3. Posible ejercer fuerzas de gran magnitud. 4. Integrado por elementos o piezas sólidos simples. 5. Se pueden conseguir movimientos lineales de precisión.
<p>Sistema de tipo neumático</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Emplea aire comprimido para su funcionamiento, siendo esta fuente de energía insensible a las fluctuaciones de la temperatura. 2. Componentes de simple construcción y bajo costo. 3. Entre sus componentes se encuentran principalmente actuadores, válvulas, unidad de mantenimiento, fuente de aire comprimido y soplador. 4. Es posible alcanzar altas velocidades de trabajo. Su salida alcanza un límite entre 40 y 50 kN. 5. No es posible mantener el pistón a una velocidad uniforme y constante.
<p>Sistema de tipo hidráulico</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tiene la capacidad de transmisión de fuerzas y presiones grandes a tamaño relativamente reducido (conforme a diseño). 2. Capacidad de realizar movimientos rápidos o extremadamente lentos y controlables. 3. Uso de aceites para transporte de energía. 4. Variación de la velocidad, par de gira y fuerza de forma continua. 5. Su grupo de accionamiento está compuesto por válvulas, acumuladores, tanque, motor eléctrico, bomba hidráulica y manómetros principalmente.

TABLA 8. PONDERACIÓN. SISTEMA DE INYECCIÓN

Objetivo	Peso	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
		Sistema de tipo mecánico de movimiento lineal continuo		Sistema de tipo neumático		Sistema de tipo hidráulico	
		Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor
Generar la fuerza de inyección requerida.	27	4	108	4	108	4	108
Simplicidad el diseño del mecanismo a utilizar.	23	4	92	3	69	3	69
Facilidad de fabricación / obtención de los componentes requeridos	19	4	76	4	76	3	57
Facilidad de instalación.	4	3	12	3	12	2	8
Diseñar y calcular con base en los conocimientos previos del equipo de diseño.	15	4	60	3	45	2	30
Emplear instalaciones / equipos de soporte externos de forma mínima.	12	3	36	3	36	3	36
Valor general de utilidad			384		346		308

En función del valor general de utilidad obtenido en la tabla anterior; la alternativa A cumple los requerimientos definidos para el desarrollo del sistema de inyección. Entre las razones de su elección se encuentran la simplicidad del diseño, estar basado en los conocimientos previos del equipo de diseño, el número mínimo de componentes involucrados y, en una menor medida, la posibilidad de diseño sin el empleo de extensos sistemas de instalaciones externas tales como compresores, bombas, líneas de aire presurizado, etc.

2.5.2 DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL.

A continuación, se exponen los objetivos ponderados definidos para la selección del dispositivo de calentado para la termoplastificación del material acorde a los lineamientos del proceso de selección para el diseño conceptual del prototipo:

A. Generar el rango de temperatura requerido.

Alcanzar y mantener un rango de temperatura oscilante entre los 260°C y los 305°C para la termoplastificación del material seleccionado, sin exceder o decrecer dichos límites de manera significativa.

B. Facilidad de manipulación del dispositivo y los elementos que lo integran.

Este objetivo está enfocado en la necesidad de facilitar y agilizar el montaje de los elementos que integran el dispositivo a manera de evitar contratiempos y dificultades en su instalación y su maniobrabilidad dentro del prototipo.

C. Simplicidad del diseño del dispositivo de calentado a utilizar.

Reducción del tamaño y complejidad del dispositivo de calentado a razón del límite de espacio con el que se pretende contar, de forma que no entorpezca la ejecución del procedimiento de inyección y que a su vez sea práctico en lo referente a su movilidad.

D. Poseer dentro de su configuración elementos de fácil obtención / fabricación.

Este objetivo obedece a la importancia de facilitar la disponibilidad y agilizar el tiempo de adquisición de los elementos, materiales y componentes necesarios para la construcción del dispositivo de calentado para la termoplastificación del material.

E. Emplear instalaciones / equipos externos de forma mínima.

Minimizar la cantidad de elementos e instalaciones externas a utilizar por el mecanismo para llevar a cabo su funcionamiento dentro del proceso de calentado para la termoplastificación del material, a fin de permitir un fácil acondicionamiento y portabilidad dentro del lugar de trabajo designado.

Tal y como se mencionó en la sección anterior, estos objetivos ponderados contaron con la aprobación de las partes involucradas en el desarrollo del prototipo.

Se procedió entonces a la evaluación del nivel de prioridad de cada uno de los objetivos ponderados definidos para el dispositivo de calentado para termoplastificación del material (ver Tabla 9), por medio del uso de la comparación sistemática de los pares de objetivos de Cross.

De forma paralela, se llevó a cabo la recopilación de información de interés relacionada a las alternativas de dispositivos de calentado para la termoplastificación del material propuestas anteriormente (ver Tabla 10).

Tras la asignación de los “pesos” relativos a cada objetivo ponderado y con base en la escala de calificaciones designada, se realizó la evaluación y comparación de los valores de utilidad relativa de cada una de las alternativas planteadas (ver Tabla 11). Finalmente, tras la conclusión de este proceso, se procedió a la selección de la opción más viable acorde a los resultados obtenidos en contraste con los requerimientos y características requeridas para el dispositivo de calentado.

TABLA 9. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA DISEÑO CONCEPTUAL.
DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL

Objetivo	A	B	C	D	E	Σx	Pesos
A	-	1	1/2	1	1	3.5	32
B	0	-	1/2	1	1/2	2	18
C	0	1/2	-	1	1	2.5	23
D	0	1/2	1/2	-	1	2	18
E	0	1/2	1/2	0	-	1	9
Σ final						11	100

TABLA 10. CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL DISPOSITIVO DE CALENTADO
PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL

Alternativa	Características generales
Horno de resistencias eléctricas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Su energía de calentamiento es de tipo eléctrico y procede de la resistencia óhmica directa de las resistencias eléctricas dispuestas en el horno. 2. De acuerdo a la ubicación de las resistencias la calefacción en el horno puede presentarse en la parte inferior, superior, lateral o ser externa. 3. Pueden alcanzar temperaturas de hasta 1200°C o 400°C por convección.
Horno tipo industrial de gas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incrementos de temperatura muy superiores a los ofrecidos por hornos convencionales y de forma exponencial. 2. Puede alcanzar temperaturas de hasta 2200°C. 3. Son utilizados exclusivamente en procesos industriales. 4. Principalmente sirven para la fundición de materiales pesados o de estructura dura o ablandar materiales para un tratamiento posterior. 5. Se calienta por medio del uso de gas butano, natural, etc.
Horno de inducción	<ol style="list-style-type: none"> 1. Es eficiente y presenta un proceso de fusión limpio. 2. Procesos de fusión más controlados. 3. Genera grandes cantidades de calor en tiempos reducidos de tiempo. 4. Puede alcanzar temperaturas por encima de los 1500°C. 5. Usualmente usados para fundir hierro, acero, cobre, aluminio y otros metales.

TABLA 11. PONDERACIÓN. DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL

Objetivo	Peso	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
		Horno de resistencias eléctricas		Horno tipo industrial de gas		Horno de inducción	
		Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor
Generar el rango de temperatura requerido.	32	4	128	4	128	4	128
Facilidad de manipulación del dispositivo y los elementos que lo integran.	18	4	72	3	54	3	54
Simplicidad del diseño del dispositivo de calentado a utilizar	23	3	69	2	46	3	69
Poseer dentro de su configuración elementos de fácil obtención / reemplazo	18	4	72	3	54	3	54
Emplear instalaciones / equipos de soporte externos de forma mínima	9	4	36	2	18	4	36
Valor general de utilidad			377		300		341

Realizando el recuento de los resultados obtenidos tras la ponderación y evaluación de los objetivos ponderados; se determinó que la alternativa A cumple los requerimientos definidos para el desarrollo del dispositivo de calentado para la termoplastificación del material.

Entre los requerimientos cumplidos destacan: el alcance de la temperatura de calentamiento requerida por el proceso sin exceder los límites de termoplastificación que pueden afectar las condiciones del material termoplástico, la facilidad de obtención y reemplazo de los elementos involucrados, y el no emplear en su configuración instalaciones o elementos de carácter externo como son tomas de gas; las cuales pueden llegar a representar un peligro para el usuario y un coste extra en el proceso de fabricación.

2.5.3 SISTEMA DE PRECALENTADO PARA LA MUFLA.

En el moldeo por inyección, las condiciones de moldeo afectan significativamente las propiedades finales del material utilizado sin importar el diseño de la pieza; dos de las condiciones que influyen en el comportamiento del polímero son la temperatura de fusión y la temperatura del molde.

La temperatura del molde es un factor importante a considerar para determinar el grado de cristalinidad del polímero, el cual rige muchos de los parámetros de rendimiento del material

entre ellos la resistencia a la fluencia, resistencia a la fatiga, resistencia al desgaste, entre otros [22].

En función de lo expresado y al tratarse de un sistema cuya finalidad es el calentado, se consideraron para el proceso de evaluación algunos de los objetivos ponderados utilizados en el apartado anterior. Para la evaluación de este sistema se realizó un nuevo proceso de jerarquización acorde a los requerimientos específicos para este elemento. Los objetivos ponderados para el sistema de precalentado para la mufla se exponen a continuación:

A. Generar el rango de temperatura requerido.

Alcanzar y mantener un rango de temperatura oscilante entre los 20°C y los 60°C necesario para el precalentado de la mufla acorde a los parámetros de trabajo recabados, sin exceder o decrecer dichos límites de manera significativa.

B. Facilidad de movilidad para la inserción / retiro de la mufla del sistema.

Como se expone en el enunciado, la importancia de este objetivo radica en facilitar la disposición de la mufla por parte del usuario, sin provocar contratiempos o entorpecer la ejecución del proceso de inyección.

C. Poseer dentro de su configuración elementos de fácil obtención / fabricación.

Este objetivo obedece a la importancia de facilitar la disponibilidad y agilizar el tiempo de adquisición de los elementos, materiales y componentes necesarios para la construcción del sistema de precalentado para la mufla.

D. Simplicidad del diseño del sistema de precalentado a utilizar.

Reducción del tamaño y complejidad del sistema de precalentado a razón del límite de espacio con el que se pretende contar, de forma que no entorpezca la ejecución del procedimiento de inyección y que a su vez sea práctico en su movilidad.

E. Emplear instalaciones / equipos externos de forma mínima.

Minimizar la cantidad de elementos e instalaciones externas utilizadas por el sistema de precalentado para llevar a cabo su funcionamiento, a fin de permitir un fácil acondicionamiento y movilidad dentro del lugar de trabajo designado.

Establecidos los objetivos a alcanzar, se procedió a la evaluación de su nivel de prioridad como se presenta en la Tabla 12.

Por otro lado, como en las selecciones pasadas, se llevó a cabo la recopilación de información de interés relacionada a las alternativas propuestas para el sistema de precalentado para la mufla (ver Tabla 13).

Posteriormente, como en los anteriores procesos de selección, se realizó la evaluación y comparación de los valores de utilidad relativa obtenidos para cada una de las alternativas planteadas en función de la información recabada (ver Tabla 14). Finalmente se seleccionó la opción más viable acorde a las consideraciones hechas por el equipo de diseño.

TABLA 12. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE PRECALENTADO DE MUFLA

Objetivo	A	B	C	D	E	Σx	Pesos
A	-	1/2	1	1	1	3.5	30
B	1/2	-	1	1/2	1	3	26
C	0	0	-	1/2	1	1.5	13
D	0	1/2	1	-	1	2.5	22
E	0	0	1/2	1/2	-	1	9
Σ final						11.5	100

TABLA 13. CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL SISTEMA DE PRECALENTADO PARA LA MUFLA

Alternativa	Características generales
Horno de resistencias eléctricas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Su energía de calentamiento es de tipo eléctrico y procede de la resistencia óhmica directa de las resistencias eléctricas dispuestas en el horno. 2. De acuerdo a la ubicación de las resistencias la calefacción en el horno puede presentarse en la parte inferior, superior, lateral o ser externa. 3. Pueden alcanzar temperaturas de hasta 1200°C o 400°C por convección.
Horno tipo industrial de gas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incrementos de temperatura muy superiores a los ofrecidos por hornos convencionales y de forma exponencial. 2. Puede alcanzar temperaturas de hasta 2200°C. 3. Son utilizados exclusivamente en procesos industriales. 4. Principalmente sirven para la fundición de materiales pesados o de estructura dura o ablandar materiales para un tratamiento posterior. 5. Se calienta por medio del uso de gas butano, natural, etc.
Horno de inducción	<ol style="list-style-type: none"> 1. Es eficiente y presenta un proceso de fusión limpio. 2. Procesos de fusión más controlados. 3. Genera grandes cantidades de calor en tiempos reducidos de tiempo. 4. Puede alcanzar temperaturas por encima de los 1500°C. 5. Usualmente usados para fundir hierro, acero, cobre, aluminio y otros metales.

TABLA 14. PONDERACIÓN. SISTEMA DE PRECALENTADO PARA LA MUFLA

Objetivo	Peso	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
		Horno de resistencias eléctricas		Horno tipo industrial de gas		Horno de inducción	
		Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor
Generar el rango de temperatura requerido.	30	4	120	4	120	2	60
Facilidad de movilidad para la inserción / retiro de la mufla del sistema	26	4	104	4	104	3	78
Poseer dentro de su configuración elementos de fácil obtención / fabricación.	13	4	52	3	39	3	39
Simplicidad del diseño del sistema de precalentado a utilizar.	22	3	66	3	66	2	44
Emplear instalaciones / equipos de soporte externos de forma mínima	9	4	36	3	27	4	36
Valor general de utilidad			378		356		257

Como puede observarse en la Tabla 14, tras la evaluación realizada a las alternativas presentadas con respecto a los objetivos ponderados propuestos para esta sección, se determinó que la alternativa A cumple con los requerimientos estipulados entre los que destacan: generar la temperatura en el rango requerido de forma que no afecte la composición o forma del molde al interior de la mufla, la facilidad de movilidad en la disposición de la mufla, y poseer elementos de fácil obtención y reemplazo aunados al empleo mínimo de instalaciones o equipo de soporte externos.

2.5.4 INTERFAZ USUARIO-MÁQUINA Y SISTEMA DE ALERTA.

A continuación, se desglosan los objetivos ponderados propuestos para la interfaz usuario-máquina y sistema de alerta del prototipo en desarrollo:

A. Facilidad de uso e interacción por parte del usuario.

Este objetivo es esencial debido a que la interfaz usuario- máquina y sistema de alerta es la ventana de comunicación principal entre el usuario y los sistemas que integran el prototipo; por consiguiente, el uso de elementos y componentes de fácil empleo e interpretación por parte del usuario es prioritaria para garantizar un correcto desempeño del proceso en cada una de sus etapas.

B. Emplear controles y dispositivos de representación visual/sonora, claros y definidos, para cada parte del proceso que así lo requiera.

Este objetivo es fundamental en el desarrollo de las bases para la interacción entre el usuario y las diferentes fases que componen el proceso de inyección del prototipo. Debido a esto, es requerido que “la interfaz usuario-máquina y sistema de alerta” posea señales, controles y representaciones visuales claras y definidas para cada una de las partes del proceso que así lo requieran; a fin agilizar la comunicación y entendimiento entre las partes involucradas.

C. Simplificar el diseño de la interfaz usuario-máquina y sistema de alerta.

Este objetivo está vinculado estrechamente a la necesidad de simpleza del diseño en la distribución de los elementos que componen la interfaz usuario-máquina y el sistema de alerta; buscando minimizar el espacio ocupado por los mismos dentro del prototipo.

D. Facilidad en la obtención de los componentes requeridos.

Este objetivo está relacionado al proceso de construcción y adquisición de los elementos mediante los cuales llevar a cabo la elaboración física de la interfaz usuario-máquina y sistema de alerta; buscando reducir el tiempo empleado en el maquinado, fabricación de piezas, y obtención de componentes.

E. Bajo costo.

Se hace referencia a la accesibilidad económica para adquirir los dispositivos o elementos a emplear por parte del equipo de diseño.

Finalizada la definición de los objetivos ponderados, se procedió a su evaluación a fin de determinar su nivel de prioridad acorde a su importancia dentro del proceso de selección como se muestra en la Tabla 15.

Se realizó consecutivamente la obtención de los valores de utilidad para cada una de las alternativas planteadas (ver Tabla 17) con base en la información recabada de cada una de ellas (ver Tabla 16). Se consideraron los elementos de alerta de fácil interpretación y una interfaz con operatividad amigable como puntos cruciales a tomar en cuenta durante el proceso de selección.

TABLA 15. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA DISEÑO CONCEPTUAL. INTERFAZ USUARIO-MÁQUINA Y SISTEMA DE ALERTA

Objetivo	A	B	C	D	E	Σx	Pesos
A	-	1/2	1/2	1	1	3	25
B	1/2	-	1/2	1	1	3	25
C	1/2	1/2	-	1/2	1	2.5	21
D	0	1/2	1/2	-	1/2	1.5	12
E	0	1/2	1	1/2	-	2	17
Σ final						12	100

TABLA 16. CARACTERÍSTICAS DE INTERFAZ USUARIO-MÁQUINA Y SISTEMA DE ALERTA

Alternativa	Características generales
<p>Botones con visualización en pantalla LCD display, leds/focos. Alerta tipo visual</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. De fácil disponibilidad y a precios accesibles. 2. Facilidad de manipulación 3. LCD en presentaciones 16x2 y 20x4 (caracteres x líneas), voltaje de suministro de 5V, variador de contraste externo. 4. Tamaño reducido de los dispositivos. 5. Empleo de leds de aproximadamente 3.4V de alimentación o focos piloto led de 110V a 120V de alimentación. 6. Necesaria atención al momento de activación de señal visual.
<p>Botones con visualización en pantalla LCD display y leds/focos. Alerta tipo sonoro</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. De fácil disponibilidad y a precios accesibles. 2. Facilidad de manipulación 3. LCD en presentaciones 16x2 y 20x4 (caracteres x líneas), voltaje de suministro de 5V, variador de contraste externo. 4. Tamaño reducido de los dispositivos. 5. Empleo de leds de aproximadamente 3.4V de alimentación o focos piloto led de 110V a 120V de alimentación. 6. Señal de audio más clara y perceptible, no es necesaria atención directa.
<p>Pantalla LCD TFT, Alerta tipo visual</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pantalla LCD TFT: Uso de gráficos a color. 2. Alimentación de pantalla con un voltaje de máximo 5V. 3. Fácil uso, cuanta con pocos pines de comunicación. 4. Disponible en varias resoluciones y como pantalla táctil de tipo resistivo o capacitivo. 5. Alto costo (aprox. entre \$300 a \$2000). 6. Necesaria atención al momento de activación de señal visual.
<p>Pantalla LCD TFT, Alerta tipo sonoro</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pantalla LCD TFT: Uso de gráficos a color. 2. Alimentación de pantalla con un voltaje de máximo 5V. 3. Fácil uso, cuanta con pocos pines de comunicación. 4. Disponible en varias resoluciones y como pantalla táctil de tipo resistivo o capacitivo. 5. Alto costo (aprox. entre \$300 a \$2000). 6. Señal de audio más clara y perceptible, no es necesaria atención directa.

TABLA 17. PONDERACIÓN. INTERFAZ USUARIO-MÁQUINA Y SISTEMA DE ALERTA

Objetivo	Peso	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C		Alternativa D	
		Botones con visualización en pantalla LCD display y leds. Alerta tipo visual		Botones con visualización en pantalla LCD display y leds. Alerta tipo sonoro		Pantalla LCD TFT, Alerta tipo visual		Pantalla LCD TFT, Alerta tipo sonoro	
		Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor
Facilidad de uso e interacción por parte del usuario	25	4	100	4	100	3	75	3	75
Emplear controles y dispositivos de representación visual/sonora, claras y definidos, para cada parte del proceso que así lo requiera.	25	3	75	4	100	3	75	4	100
Simplificar el diseño de la interfaz usuario-máquina y sistema de alerta.	21	3	63	3	63	4	84	4	84
Facilidad en la obtención de los componentes requeridos	12	4	28	4	28	3	36	3	36
Bajo costo	17	4	68	4	68	2	34	2	34
Valor general de utilidad			334		359		304		329

El proceso de evaluación determinó, como se muestra en la Tabla 17, que la alternativa B cumple con los parámetros de solución requeridos relacionados a la facilidad de operatividad y de interpretación de las señalizaciones por parte del usuario.

Concluido el proceso de selección del diseño conceptual para cada una de las áreas funcionales, se procedió a definir la configuración final de la propuesta de prototipo de inyectora de materiales termoplásticos flexibles para prótesis dentales y cuya integración se describe a continuación:

El prototipo de inyectora cuenta con un sistema de inyección tipo mecánico de movimiento lineal continuo, así como con un dispositivo de calentado para la termoplastificación del material y un sistema de precalentado para la mufla basados en un horno de resistencias eléctricas. Todos estos sistemas y dispositivos son controlados a través de una interfaz

usuario-máquina haciendo uso de botones y una pantalla LCD, los cuales se encargan respectivamente del registro y visualización de la información introducida.

Las señalizaciones de alerta utilizadas para guiar e indicar el estado de cada una de las etapas del proceso de inyección son de tipo visual y/o sonoro. Dichas señalizaciones, incorporadas al sistema de interfaz usuario – máquina, denotan principalmente la conclusión de los procesos de calentado y termoplastificación del material en lo referente al alcance de las variables de tiempo y temperatura requeridas, así como denotar la ejecución de un paro de emergencia y el encendido del equipo.

CAPÍTULO III. DISEÑO DE DETALLE

El diseño de detalle está relacionado con la planeación de los subsistemas y componentes que en su conjunto integran el producto, independientemente de su naturaleza. Todos los componentes pueden estar o no definidos en la etapa de diseño conceptual en mayor o en menor grado, sin embargo, en la etapa de diseño pueden llegar a variar considerablemente debido a las distintas técnicas de fabricación, conocimientos sobre materiales, nuevas tecnologías, formas, entre otras con las que ahora se dispone.

Algunos aspectos a destacar en el diseño de detalle son: no se debe llevar a cabo sin hacer referencia al diseño conceptual desarrollado en la etapa anterior, considerar las restricciones e interacciones presentes entre los subsistemas y componentes para el diseño global, definir un componente dentro de un sistema involucra restricciones sobre el mismo, la reducción de variedad en los componentes reduce los tiempos y coste del producto, y diseñar pensando en la fabricación e instalación. [23]

El diseño detallado del prototipo trabajado, y que se mostrará a lo largo de este capítulo, se realizó dando seguimiento a cada uno de los sistemas y dispositivos planteados en el diseño conceptual.

3.1 SISTEMA DE INYECCIÓN

El diseño detallado del sistema de inyección para el prototipo de inyectora se comenzó retomando la alternativa seleccionada en el capítulo anterior, un sistema de tipo mecánico de movimiento lineal continuo.

La función de este sistema es llevar a cabo el proceso de inyección del material termoplástico dentro del elemento mufla induciendo una fuerza aproximada de 900N, contemplando para ello además los esfuerzos y cargas a los que estarán sometidas las piezas que integran este sistema.

Se comenzó esta selección, planteando las alternativas de sistemas de tipo mecánico de movimiento lineal continuo capaces de cubrir las especificaciones y requerimientos planteados con anterioridad. Las propuestas presentadas y sus características se muestran en Tabla 18.

Empleando el método de objetivos ponderados de Cross, se realizó la definición de los objetivos ponderados para la evaluación de las alternativas presentadas para el sistema de inyección, los cuales se muestran a continuación:

A. Ejercer fuerzas de gran magnitud

Se requiere generar y mantener una fuerza de 900N o más en el intervalo de tiempo en que se lleva a cabo la fase de inyección del material termoplástico.

B. Realizar movimientos precisos

No presentar variaciones de posición o vibraciones en los elementos que componen el sistema al momento de llevar a cabo la carrera de inyección.

C. Diseño simple y compacto.

Obedece a la necesidad de simpleza en la distribución de los elementos que componen el sistema de inyección, así como su cantidad.

D. Bajo desgaste

Las piezas no deben presentar un desgaste desproporcionado al momento de la inyección que afecte el tiempo de vida y la calidad del movimiento del sistema.

E. Capacidad de autobloqueo

Se hace referencia a la capacidad del sistema de inyección de permanecer en la posición final sin autoretroceso.

Una vez establecidos los objetivos ponderados, se evaluó el nivel de prioridad de cada uno de los objetivos ponderados definidos para el sistema de inyección (ver Tabla 19) asignando la calificación o “peso” relativo respectivo para cada objetivo basado en una escala de 100 puntos. Una vez finalizada dicha asignación de “pesos” relativos y con base en la escala de calificaciones definida en la sección de diseño conceptual, se procedió a la ponderación de las alternativas planteadas para el sistema de inyección (ver Tabla 20) en función del cumplimiento de los requerimientos presentados en los objetivos y de las necesidades expresadas por el usuario, a fin de obtener la solución más viable.

TABLA 18. CARACTERÍSTICAS DE ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO DE DETALLE DEL SISTEMA DE INYECCIÓN

Alternativa	Características generales
<p data-bbox="245 1297 505 1329">Tornillo de potencia</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mayor ventaja mecánica con el objeto de levantar pesos. 2. Ejerce fuerzas de gran magnitud. 3. Posicionamiento preciso de un movimiento axial. 4. Sencillez de su estructura. 5. Alta relación de transmisión. 6. Autobloqueo. 7. Rozamiento relativamente alto con el consiguiente desgaste.
<p data-bbox="261 1612 488 1644">Piñón- cremallera</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Proporcionan menor ventaja mecánica, requieren más esfuerzos para operar. 2. Genera movimientos lineales de precisión, transmisión uniforme. 3. Sin vibraciones. 4. Requiere menos piezas para su correcto funcionamiento. 5. Mayor presión sobre las partes individuales, provoca desgaste. 6. No presenta autobloqueo.

 <p>Tornillo de bolas</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Capaz de resistir altas cargas de empuje. 2. Rozamiento del conjunto menor, fricción baja. 3. Alta precisión. 4. Movimiento suave y control en todo el recorrido. 5. Bastante voluminosos para disponer espacio en el mecanismo. 6. Requiere una buena lubricación. 7. Necesario instalar freno externo para autobloqueo.
--	--

TABLA 19. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA DISEÑO DE DETALLE. SISTEMA DE INYECCIÓN

Objetivo	A	B	C	D	E	Σx	Pesos
A	-	1	1/2	1	1/2	3.5	33
B	1/2	-	0	1/2	0	1	9
C	1/2	1	-	1	1/2	3	29
D	1/2	1/2	0	-	0	1	10
E	0	1	1/2	1/2	-	2	19
Σ final						10.5	100

TABLA 20. PONDERACIÓN- DISEÑO DE DETALLE. SISTEMA DE INYECCIÓN

Objetivo	Peso	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
		Tornillo de potencia		Piñón-cremallera		Tornillo de bolas	
		Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor
Ejercer fuerzas de gran magnitud	33	4	132	2	66	4	132
Realizar movimientos precisos	9	4	36	4	36	4	36
Diseño simple y compacto.	29	4	116	4	116	3	87
Bajo desgaste	10	3	30	2	20	4	40
Capacidad de autobloqueo	19	4	76	2	38	3	57
Valor general de utilidad			390		276		352

Por medio del proceso de evaluación se determinó que la alternativa A, tornillo de potencia, cumple con los parámetros de solución requeridos acorde a los objetivos planteados.

Siendo la alternativa seleccionada un tornillo de potencia, se trabajó a continuación en determinar los parámetros de diseño a implementar para cumplir las demandas del sistema de inyección acorde a los elementos y variables que intervienen en el proceso, siendo estos:

1. Mantener la alineación del sistema de inyección con el cilindro portacartuchos durante la ejecución del proceso de inyección. Como se mencionó anteriormente, el cilindro portacartuchos es esencial para la disposición del cartucho de material termoplástico entre las diversas etapas del proceso. Este elemento presenta una entrada circular de 2.6cm de diámetro para introducir y albergar sin dificultad un cartucho cilíndrico de 2.5cm de diámetro y de longitud variable, así como un tope de inyección de bronce con un diámetro de 2.4cm empleado como apoyo.
2. Producir una fuerza de 900N o más según se requiera.
3. Permanecer en estado estacionario, posterior al proceso de inyección del material termoplástico, por una cantidad de tiempo indefinida mientras se produce la inyección de contracción.

Una vez establecidos los parámetros a contemplar para el diseño del tornillo de potencia, se procedió a la definición de las dimensiones y el cálculo de las variables de diseño que repercuten en su desempeño.

Como primer paso se definió el diseño del tornillo de potencia con base en una rosca tipo ACME (ver Figura 27) siendo que, aunque presentan desventajas con respecto a las roscas cuadradas en lo referente a la eficiencia y la fricción, exhibe una facilidad de maquinado y permite el empleo de una tuerca dividida ajustable para compensar el desgaste producido por la acción de cuña del tornillo.

Apoyándose en los criterios de diseño establecidos para las roscas tipo ACME americana estándar presentados en la Tabla 21, así como de la información recabada en torno a la operatividad y funcionamiento del tornillo de potencia, se establecieron las características y variables de operación del elemento mecánico:

Para el cálculo del valor de torsión requerido para la transmisión de la fuerza y el movimiento por parte del tornillo de potencia, se definió la ecuación del par de torsión de roscas tipo ACME para elevar una carga [24]:

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m \sec \alpha}{\pi d_m - f l \sec \alpha} \right) \quad [1]$$

Donde l es el avance (ver Figura 28), f el coeficiente de fricción, y α es igual a $\frac{1}{2}$ del ángulo de la rosca ACME hacia la que esta inclinada la carga normal (Figura 29).

El coeficiente de fricción f esta dado por la relación de pares roscados mostrado en la Tabla 22.

El avance del tornillo se calcula por medio de la fórmula [19]:

$$l = np$$

Donde n es el número de roscas del tornillo y p el paso del tornillo.

TABLA 21. PRINCIPALES DIMENSIONES DE LAS ROSCAS ACME AMERICANA ESTÁNDAR [25]

Diámetro mayor d (in)	Diámetro medio d_m (in)	Diámetro menor d_r (in)	Paso p (in)	Hilos por pulgada	Área de esfuerzo a tracción A_t (in ²)
0.250	0.219	0.188	0.063	16	0.032
0.313	0.277	0.241	0.071	14	0.053
0.375	0.333	0.292	0.083	12	0.077
0.438	0.396	0.354	0.083	12	0.110
0.500	0.450	0.400	0.100	10	0.142
0.625	0.563	0.500	0.125	8	0.222
0.750	0.667	0.583	0.167	6	0.307
0.875	0.792	0.708	0.167	6	0.442
1.000	0.900	0.800	0.200	5	0.568
1.125	1.025	0.925	0.200	5	0.747
1.250	1.150	1.050	0.200	5	0.950
1.375	1.250	1.125	0.250	4	1.108
1.500	1.375	1.250	0.250	4	1.353
1.750	1.625	1.500	0.250	4	1.918
2.000	1.875	1.750	0.250	4	2.580
2.250	2.083	1.917	0.333	3	3.142
2.500	2.333	2.167	0.333	3	3.976
2.750	2.583	2.417	0.333	3	4.909
3.000	2.750	2.500	0.500	2	5.412
3.500	3.250	3.000	0.500	2	7.670
4.000	3.750	3.500	0.500	2	10.32
4.500	4.250	4.000	0.500	2	13.36
5.000	4.750	4.500	0.500	2	16.80

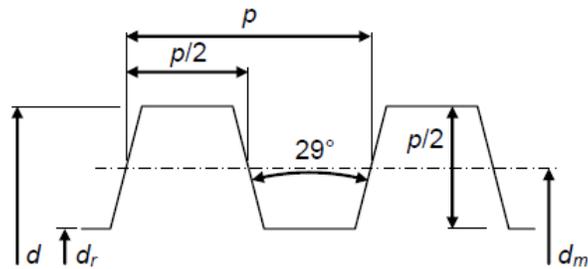


FIGURA 27. ROSCA ACME

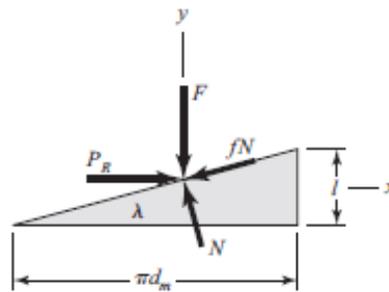


FIGURA 28. DIAGRAMA DE FUERZA AL SUBIR LA CARGA

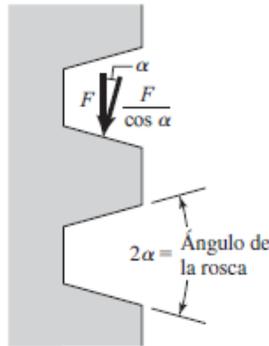


FIGURA 29. FUERZA NORMAL EN LA ROSCA ACME

TABLA 22. COEFICIENTES DE FRICCIÓN f DE PARES ROSCADOS [24]

Material del tornillo	Material de la tuerca			
	Acero	Bronce	Latón	Hierro fundido
Acero, seco	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
Acero, aceite para máquina	0.11-0.17	0.10-0.16	0.10-0.15	0.11-0.17
Bronce	0.08-0.12	0.04-0.06	-----	0.06-0.09

Dadas las anteriores fórmulas y criterios de diseño, se realizó la selección y cálculo de los parámetros de diseño finales del tornillo de potencia a emplear:

Diámetro mayor (d) igual a 2.54cm (0.0254m), diámetro medio (d_m) igual a 2.286cm (0.02286m), diámetro de raíz (d_r) igual a 2.032cm (0.02032m), paso (p) igual a 5.08mm (0.00508m), hilos por pulgada (N) igual a 5 y un ángulo de rosca (2α) de 29° . Acorde a la Tabla 22, se toma un coeficiente de fricción (f) de 0.13 que corresponde a un tornillo de acero con aceite para máquina y una tuerca de bronce. Finalmente, el número de roscas (n) propuesto para este diseño es de 2.

Haciendo uso de la fórmula de avance del tornillo (l), se obtuvo:

$$l = np = (2)(0.00508m) = 0.01016m$$

Así mismo, se estimó el par de torsión, producido por el tornillo de potencia diseñado, para elevar una carga empleando la ecuación no.1 como se muestra a continuación:

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m \sec \alpha}{\pi d_m - f l \sec \alpha} \right)$$

$$= \frac{(900N)(0.02286m)}{2} \left[\frac{0.01016m + \pi(0.13)(0.02286m) \sec(14.5^\circ)}{\pi(0.02286m) - (0.13)(0.01016m) \sec(14.5^\circ)} \right]$$

$$\begin{aligned}
&= 10.287Nm \left[\frac{0.01016m + 0.00964m}{0.07181m - 0.00136m} \right] \\
&= 10.287Nm \left(\frac{0.0198m}{0.07045m} \right) = 2.891Nm \approx 3Nm
\end{aligned}$$

Para efecto de este diseño, no se contempla el uso de collarín de empuje.

Continuando con el cálculo de las variables de diseño, se investigaron los distintos esfuerzos que influyen en el comportamiento del tornillo de potencia y el sistema en general. Los esfuerzos presentes, acorde a la bibliografía consultada, se definen a continuación [24]:

Los esfuerzos nominales en el cuerpo de los tornillos de potencia pueden relacionarse con los parámetros de la rosca en la forma siguiente. El esfuerzo cortante nominal en torsión τ del cuerpo del tornillo puede expresarse como

$$\tau = \frac{16T}{\pi d_r^3} \quad [2]$$

El esfuerzo axial en el cuerpo del tornillo debido a la carga F es

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d_r^2} \quad [3]$$

en ausencia de acción de columna.

...Los esfuerzos nominales en la rosca de los tornillos de potencia se relacionan con los parámetros de rosca de la manera siguiente. El esfuerzo de apoyo en la Figura 30, σ_B , es

$$\sigma_B = -\frac{F}{\pi d_m n_t \rho / 2} = -\frac{2F}{\pi d_m n_t \rho} \quad [4]$$

donde n_t es el número de roscas en contacto. Se determina que el esfuerzo flexionante σ_B en la raíz de la rosca es

$$Z = \frac{l}{c} = \frac{(\pi d_r n_t)(\rho/2)^2}{6} = \frac{\pi}{24} d_r n_t \rho^2 \quad M = \frac{F\rho}{4}$$

por lo tanto,

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{FP}{4} \frac{24}{\pi d_r n_t \rho^2} = \frac{6F}{\pi d_r n_t \rho} \quad [5]$$

y en la parte superior de la raíz es cero. El esfuerzo de von Mises σ' en la parte superior del "plano" de la raíz se determina identificando primero los esfuerzos normales ortogonales y los esfuerzos cortantes. A partir del sistema coordenado de la Figura 30, se observa que

$$\begin{aligned}
\sigma_x &= \frac{6F}{\pi d_r n_t \rho} & \tau_{xy} &= 0 \\
\sigma_y &= \frac{4F}{\pi d_r^2} & \tau_{xy} &= \frac{16T}{\pi d_r^3} \\
\sigma_z &= 0 & \tau_{xy} &= 0
\end{aligned}$$

...el esfuerzo von Mises puede escribirse como

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]^{1/2} \quad [6]$$

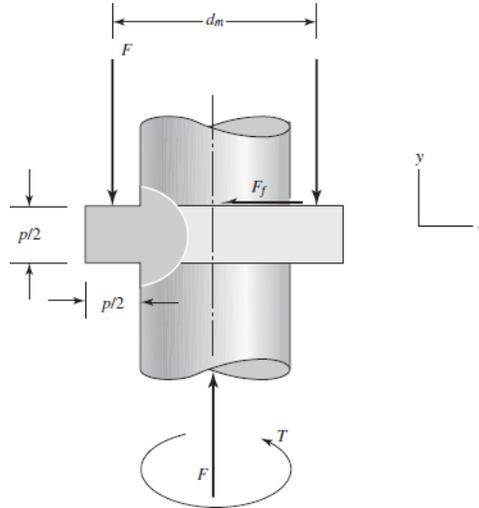


FIGURA 30. GEOMETRÍA DE ROSCA CUADRADA ÚTIL PARA CALCULAR LOS ESFUERZOS FLEXIONANTE Y CORTANTE TRANSVERSAL EN LA RAÍZ DE LA ROSCA

Sustituyendo valores, se obtuvieron los siguientes resultados:

Para el esfuerzo cortante nominal, haciendo uso de la ecuación no.2, se tiene:

$$\tau = \frac{16T}{\pi d_r^3} = \frac{16(2.891Nm)}{\pi(0.02032m)^3} = \frac{46.256Nm}{2.6358 \times 10^{-5}m^3} = 1.754MPa$$

Para el esfuerzo axial normal, usando la ecuación no.3, se obtuvo lo siguiente:

$$\sigma = -\frac{4F}{\pi d_r^2} = -\frac{4(900N)}{\pi(0.02032m)^2} = -\frac{3.6kN}{1.29717 \times 10^{-3}m^2} = -2.775MPa$$

El esfuerzo de apoyo se calculó haciendo uso de la ecuación no.4 y estableciendo $n_t=5$, correspondiente al número de hilos por pulgada acorde a las dimensiones de la rosca seleccionada:

$$\sigma_B = -\frac{2F}{\pi d_m n_t \rho} = \frac{2(900N)}{\pi(0.02286m)(5)(0.00508m)} = \frac{1.8kN}{1.824 \times 10^{-3}m^2} = 986.762kPa$$

El cálculo del esfuerzo flexionante se realizó por medio de la ecuación no.5, obteniéndose:

$$\sigma_b = \frac{6F}{\pi d_r n_t \rho} = \frac{6(900N)}{\pi(0.02032m)(5)(0.00508m)} = \frac{5.4kN}{1.621 \times 10^{-3}m^2} = 3.330MPa$$

Se procedió a sustituir los esfuerzos correspondientes en el sistema coordenado de von Mises, como se muestra en la ecuación no.6, consiguiéndose los siguientes resultados:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= 3.330MPa & \tau_{xy} &= 0 \\ \sigma_y &= -2.775MPa & \tau_{xy} &= 1.754MPa \\ \sigma_z &= 0 & \tau_{xy} &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma' &= \frac{1}{\sqrt{2}} [(3.330MPa - (-2.775MPa))^2 + (-2.775MPa)^2 + (-3.330MPa)^2 \\ &\quad + 6(1.754MPa)^2]^{1/2} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} [(6.105MPa)^2 + 7.7 \times 10^{12}Pa^2 + 1.108 \times 10^{13}Pa^2 + 1.845 \times 10^{13}Pa^2]^{1/2} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} [3.727 \times 10^{13}Pa^2 + 3.723 \times 10^{13}Pa^2]^{1/2} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} [7.45 \times 10^{13}Pa^2]^{1/2} = \frac{8.631MPa}{\sqrt{2}} = 6.103MPa\end{aligned}$$

Una vez finalizado el análisis de esfuerzos se procedió a la selección del material de fabricación del tornillo con base en la información recabada, con el fin de evitar el fallo por pandeo. Para ello se tomó en consideración el valor de la energía de distorsión de von Mises, el cual se comparó con la resistencia a la fluencia de los materiales a evaluar haciendo uso de la ecuación de fluencia expresada de la forma:

$$\sigma' = \frac{S_y}{N} \quad [7]$$

Donde S_y es la resistencia a la fluencia del material y N el factor de seguridad

La falla se producirá siempre que: $\sigma' \geq S_y$, por lo tanto, la ecuación no.7 se puede escribir como:

$$\sigma' \leq \frac{S_y}{N} \quad [8]$$

Estableciendo un factor de seguridad (N) igual a 2, se procedió a la evaluación de los materiales de fabricación propuestos y sus características (ver Tabla 23) acorde a los objetivos ponderados planteados a continuación:

A. Facilidad de maquinabilidad del material.

Permitir un fácil manejo y transformación del material utilizado para la fabricación del tornillo de potencia.

B. Buena resistencia a la fluencia.

Poseer una resistencia de fluencia que, conforme a la relación de falla de von Mises ($\sigma' \leq \frac{S_y}{N}$), sea superior al esfuerzo de von Mises calculado (6.103MPa) con un factor de seguridad igual 2, a fin de evitar un posible fallo por pandeo.

C. Capacidad para la transmisión de potencia.

Que el material permita llevar a cabo la transmisión de potencia y movimiento requeridas por el sistema, sin presentar deficiencias en su funcionamiento o deformaciones considerables en su constitución estructural.

D. Buenas propiedades mecánicas.

Que el material posea buenas propiedades mecánicas tales como alta dureza, ductilidad, elasticidad, etc., que afecten de forma positiva el desempeño del elemento a elaborar.

Finalizada la definición de los objetivos ponderados, se procedió a su evaluación (ver Tabla 24) y la posterior ponderación de las alternativas propuestas según se cumplen los requisitos plasmados en los objetivos como se muestra en la Tabla 25.

TABLA 23. CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES. TORNILLO DE POTENCIA

Alternativa	Características generales
Acero SAE 1020	<ol style="list-style-type: none"> 1. Acero bajo carbono 2. Muy buena maquinabilidad (72%) 3. Límite de fluencia de 27 kgf/mm² (264.77955MPa), con la relación de fallo de von Mises se tiene: $\sigma' = 6.103MPa \leq 132.389MPa$. 4. No apto para transmisión de potencia. 5. Bajas propiedades mecánicas, blando, dúctil, baja dureza, baja resistencia mecánica. 6. Alta tenacidad. 7. Adecuado para su uso en elemento de maquinaria y usos convencionales de baja exigencia.
Acero SAE 1045	<ol style="list-style-type: none"> 1. Acero de medio carbono 2. Buena maquinabilidad (55%) 3. Límite de fluencia de 40 kgf/mm² (392.266MPa), con la relación de fallo de von Mises se tiene: $\sigma' = 6.103MPa \leq 196.133MPa$. 4. Apto para la transmisión de potencia. 5. Mejores propiedades mecánicas que lo aceros de bajo carbono 6. Por su dureza y tenacidad es utilizado para la fabricación de componentes de maquinaria.
Acero SAE 4140	<ol style="list-style-type: none"> 1. Acero de medio carbono. 2. Buena maquinabilidad. 3. Límite de fluencia de 60 a 74 kgf/mm² (588.399MPa a 686.465MPa), con la relación de fallo de von Mises se tiene: $\sigma' = 6.103MPa \leq (294.1995- 343.2325) MPa$. 4. Apto para la transmisión de potencia. 5. Posee mediana templeabilidad, alta resistencia y buena tenacidad 6. Comúnmente utilizado para la fabricación de piezas que requieren alta tenacidad y resistencia.

TABLA 24. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA LA SELECCIÓN DE MATERIAL DE TORNILLO DE POTENCIA.

Objetivo	A	B	C	D	Σx	Pesos
A	-	1/2	1	1	2	31
B	1/2	-	1	1	2.5	38
C	0	0	-	1/2	0.5	8
D	0	1/2	1	-	1.5	23
Σ final					6.5	100

TABLA 25. PONDERACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE MATERIAL DE TORNILLO DE POTENCIA.

Objetivo	Peso	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
		Acero SAE 1020		Acero SAE 1045		Acero SAE 4140	
		Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor
Facilidad de maquinabilidad del material	31	4	124	3	93	3	93
Buena resistencia a la fluencia	38	3	114	3	114	4	152
Capacidad para la transmisión de potencia.	8	2	16	4	32	4	32
Buenas propiedades mecánicas	23	2	46	4	92	4	92
Valor general de utilidad			300		331		369

Basándose en la puntuación del valor de utilidad obtenida por cada una de las alternativas expuestas, se concluyó que la opción de material con mayor viabilidad para la fabricación del tornillo de potencia es la alternativa C, acero SAE 4140. Para efectos de maquinado, el diámetro del cilindro de material elegido ha de ser al menos un centímetro más grande con respecto al diámetro mayor (d) propuesto para el tornillo de potencia.

En función de ello, se prosiguió con la elaboración de los cálculos para determinar las dimensiones longitudinales del tornillo de potencia y definir los fenómenos que influyen en su comportamiento.

En el desarrollo de los cálculos para definir la longitud del tornillo, se consideró a éste como una columna con miras a determinar la carga admisible del elemento a fin de evitar el fallo por pandeo durante el proceso de inyección. Se procedió entonces al cálculo de la longitud efectiva (L_e), la cual se define como la distancia entre los puntos de inflexión de una columna y que se establece de la siguiente forma:

$$L_e = KL \quad [9]$$

Donde L es la longitud real de la columna entre los soportes y K la constante que depende del extremo fijo y que se muestra en la Figura 31. Acorde a la Figura 31, los valores mostrados en la primera fila corresponden a los datos teóricos basados en la forma de la

columna pandeada mientras los valores de la segunda fila toman en cuenta la fijación esperada para los extremos de las columnas en casos reales y estructuras prácticas [26].

Para este proyecto en particular se trabajó considerando al tornillo de potencia como una columna empotrada-articulada como se muestra en el inciso *d* de la Figura 31, seleccionando un valor igual a 0.8 para la constante *K*, valor relacionado a casos reales y estructuras prácticas.

A partir de ello y con un valor propuesto $L=20\text{cm}$ (de los cuales 16cm corresponden a la rosca o carrera del tornillo y los restantes 4cm al cuello del tornillo) se obtuvo la longitud efectiva, dando como resultado:

$$L_e = KL = 0.8(20\text{cm}) = 16\text{cm}$$

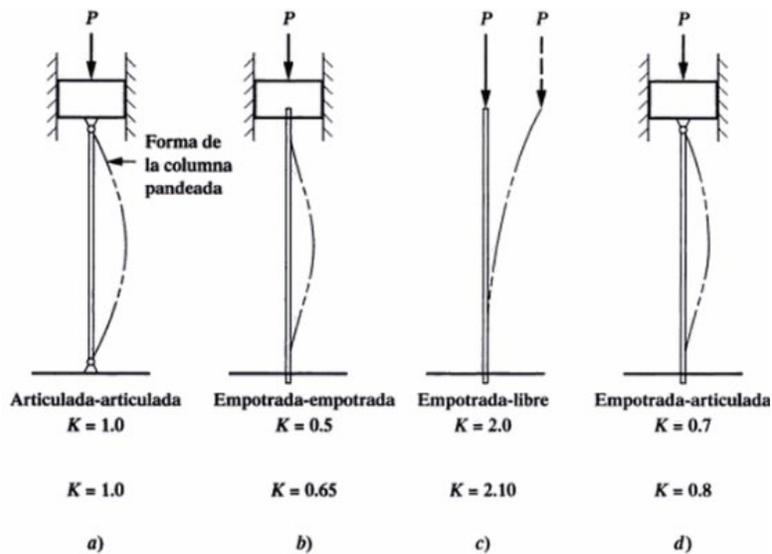


FIGURA 31. VALORES DE *K* PARA OBTENER LA LONGITUD EFECTIVA

Posteriormente se calculó la relación de esbeltez, la cual se emplea para ayudar en la selección del método de análisis de columnas rectas y con carga central. Dicha relación se presenta de la forma:

$$\text{Relación de esbeltez} = L_e/r_{min} = KL/r_{min} \quad [10]$$

Donde r_{min} es el radio mínimo de giro de la sección transversal dado por la fórmula

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

Donde *I* es la inercia y *A* el área de sección transversal.

Para el análisis de columnas rectas con carga central se emplean dos métodos: 1) La fórmula de Euler para columnas largas y esbeltas y 2) la fórmula de J.B. Johnson para columnas cortas.

La selección del método más adecuado depende de la relación de esbeltez de la columna analizada comparada con la relación de esbeltez de transición o constante de columna (C_c), que se define de la forma:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} \quad [11]$$

Donde E es el módulo de elasticidad del material de la columna y S_y la resistencia de fluencia del material.

Dada la información recabada hasta el momento, se procedió inicialmente a la obtención del radio mínimo de giro de la sección transversal para lo cual se consideró a la sección transversal del tornillo de potencia como un círculo. La inercia de un círculo está dada por la expresión $\pi d^4/64$, mientras el área de sección transversal es $\pi d^2/4$. Sustituyendo en la fórmula del radio mínimo de giro:

$$r = \sqrt{I/A} = \sqrt{\frac{\frac{\pi d^4}{64}}{\frac{\pi d^2}{4}}} = \sqrt{\frac{d^2}{16}} = \frac{d}{4}$$

Tomando d como el diámetro de raíz del tornillo de potencia ($d_r=2.032\text{cm}=0.02032\text{m}$) se obtuvo:

$$r_{min} = \frac{2.032\text{cm}}{4} = 0.508\text{cm}$$

Obtenido este valor, se procedió al cálculo de la relación de esbeltez para el tornillo de potencia dada la ecuación no.10, siendo la constante $K=0.8$ como se definió anteriormente, dando como resultado:

$$\text{Relación de esbeltez} = \frac{L_e}{r_{min}} = \frac{KL}{r_{min}} = \frac{0.8(20\text{cm})}{0.508\text{cm}} = \frac{16\text{cm}}{0.508\text{cm}} = 31.49$$

Calculando la constante de columna (C_c) haciendo uso de la ecuación no.11, siendo el módulo de elasticidad del acero (E) igual a $200 \times 10^9 \frac{N}{m^2}$ y la resistencia de fluencia del material (S_y) igual a $588.399 \text{MPa}(\frac{N}{m^2})$, el resultado obtenido es:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \left(200 \times 10^9 \frac{N}{m^2}\right)}{588.399 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}} = \sqrt{\frac{3.9 \times 10^{12} \frac{N}{m^2}}{588.399 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}} = \sqrt{6628.155}$$

$$C_c = 81.41$$

Comparándose los resultados calculados se tiene que la relación de esbeltez (L_e/r_{min}) es menor que el valor de constante de columna (C_c), por lo cual la columna se considera como corta y se emplea la fórmula de J.B. Johnson para el análisis pertinente.

La fórmula de J.B. Johnson para carga crítica por pandeo (P_{cr}) se escribe como:

$$P_{cr} = AS_y \left[1 - \frac{S_y(KL/r)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad [12]$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$\begin{aligned} P_{cr} &= \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) S_y \left[1 - \frac{S_y \left(\frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right] \\ &= \left(\frac{\pi(0.02032\text{m})^2}{4} \right) \left(588.399 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) \left[1 - \frac{\left(588.399 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) (31.49)^2}{4\pi^2 \left(200 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)} \right] \\ &= (190.813 \times 10^3 \text{N}) \left[1 - \frac{\left(588.399 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) (31.49)^2}{4\pi^2 \left(200 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)} \right] \\ &= (190.813 \times 10^3 \text{N}) \left[1 - \left(\frac{5.834 \times 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{7.89 \times 10^{12} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \right) \right] = (190.813 \times 10^3 \text{N})(0.926) \\ P_{cr} &= 176.711 \text{ kN} \end{aligned}$$

Como menciona en su libro Robert I. Mott [26], el objetivo principal en el análisis y diseño de columnas es el garantizar que la carga aplicada sobre una columna sea segura y considerablemente menor que la carga crítica por pandeo. Entre las definiciones que se deben contemplar se encuentran las siguientes:

$$\begin{aligned} P_{cr} &= \text{carga crítica de pandeo.} \\ P_a &= \text{carga admisible} \\ P &= \text{carga real aplicada} \\ N &= \text{factor de diseño} \end{aligned}$$

Siendo:

$$P_a = P_{cr}/N$$

Donde la carga real aplicada P debe ser menor que P_a .

Aplicando un factor de diseño (N) igual a 3, para aplicaciones típicas en el diseño de máquinas, se calculó la carga admisible obteniéndose:

$$P_a = 176.711 \text{ kN} / 3 = 58.703 \text{ kN}$$

Relacionando la carga real ($P = 900N$) y la carga admisible calculada ($P_a = 58.703kN$), se determinó que $P < P_a$, por lo tanto, la carga es segura.

Una vez desarrollados los cálculos pertinentes para asegurar la viabilidad mecánica del tornillo de potencia, así como definidas sus dimensiones finales, se procedió al diseño y parametrización de los elementos que, junto al tornillo de potencia, constituirán el sistema de inyección final del prototipo presentado.

En la Figura 32 se muestra una vista preliminar del tornillo de potencia, esbozándose acorde a los valores específicos de diseño seleccionados. Dicho elemento sirve de conexión para la transmisión de potencia entre el elemento generador y los componentes restantes del sistema, siendo el tornillo un elemento fijo que rota sobre su eje. Entre los componentes restantes que componen el sistema de inyección se encuentra el husillo de inyección (ver Figura 33) y la tuerca del tornillo de potencia (ver Figura 34).

La tuerca del tornillo de potencia es el elemento que realiza el movimiento de traslación a lo largo del tornillo de potencia, estando dicho elemento empotrado y alineado en el husillo de inyección a fin de evitar un movimiento de rotación que impida ejecutar una traslación lineal. Este elemento está fabricado, como indican los criterios de diseño seleccionados, de bronce común.

El husillo de inyección, como su nombre lo indica, cumple la función de llevar a cabo la inyección del material por medio del pistón que posee en su extremo inferior, el cual permite abarcar completamente el área de inyección del cilindro portacartuchos asegurando su adecuado acoplamiento. Este elemento cuenta además con un espacio interior donde albergar el tornillo de potencia conforme se desarrolla el avance o retroceso del sistema, esto a fin de reducir espacio y permitir realizar el proceso de inyección empleando la tuerca dada la fuerza de apoyo requerida durante el periodo de compactación del material una vez finalizada la inyección. Dadas las condiciones de trabajo a las que se encuentra sometido este elemento, éste está elaborado en acero SAE 4041 como la mayor parte de los componentes del sistema.

A fin de asegurar un movimiento lineal durante la transmisión de potencia del tornillo de potencia, el husillo de inyección se fijó a una placa guía empotrada en los extremos de la estructura principal que a su vez permite un movimiento ascendente y descendente en conjunto de todos los elementos integrados. El diseño de la placa guía se presenta en la Figura 35. Este elemento está unido al husillo de inyección por medio de prisioneros tipo Allen de $\frac{1}{2}$ " x $1 \frac{1}{2}$ " de largo localizados en sus caras frontal y posterior.

Los dibujos técnicos correspondiente a cada uno de los elementos mencionados se muestra en el apartado de apéndices de este documento.

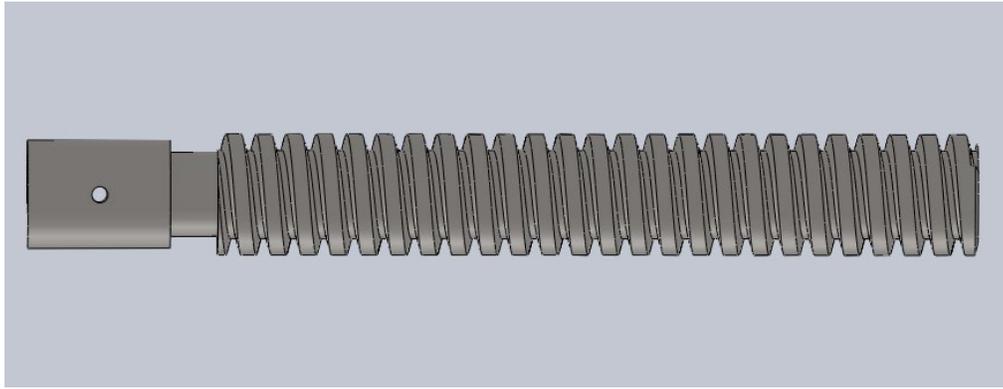


FIGURA 32. PERFIL DE TORNILLO DE POTENCIA

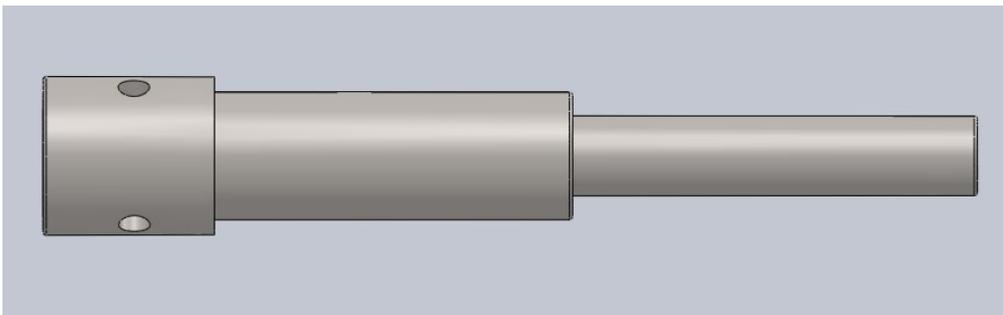


FIGURA 33. HUSILLO DE INYECCIÓN

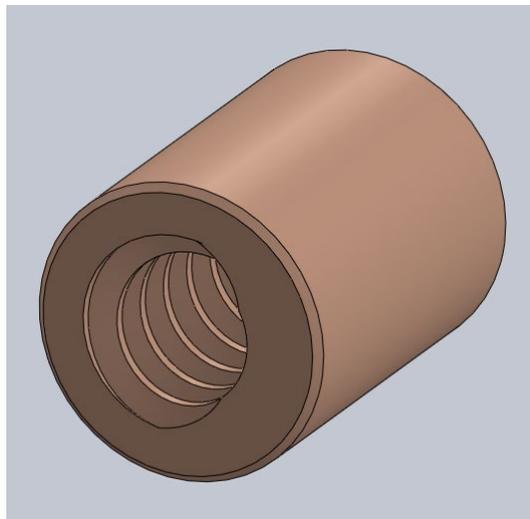


FIGURA 34. TUERCA PARA TORNILLO DE POTENCIA

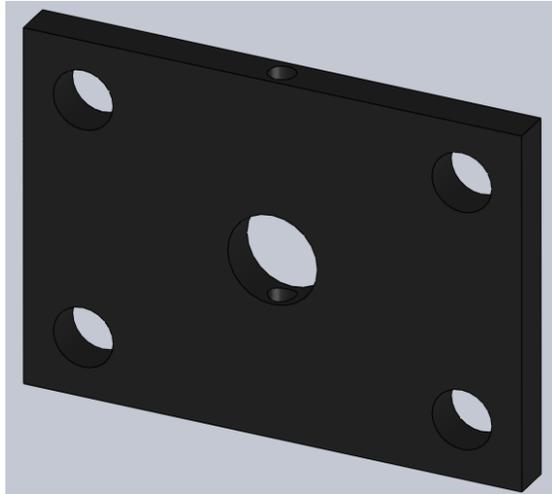


FIGURA 35. VISTA SUPERIOR DE PLACA GUÍA PARA EL SISTEMA DE INYECCIÓN

Consecuentemente, se realizó el estudio estático del elemento de tornillo de potencia a fin de observar su comportamiento ante la acción de las fuerzas de inyección estimadas. Como puede observarse en la Figura 36, las condiciones iniciales dadas para la realización de este estudio basadas en el comportamiento esperado del sistema fueron: la parte superior del tornillo de potencia se definió como una geometría fija de sujeción (flechas de indicación verdes), mientras una fuerza normal de 900N se ejerció en la parte inferior del elemento (flechas de indicación moradas) correspondiente al pistón de inyección. La cuerda del elemento fue omitida por cuestiones de mallado.

Los resultados de interés obtenidos de este estudio son el análisis estático de tensión nodal y la deformación unitaria estática.

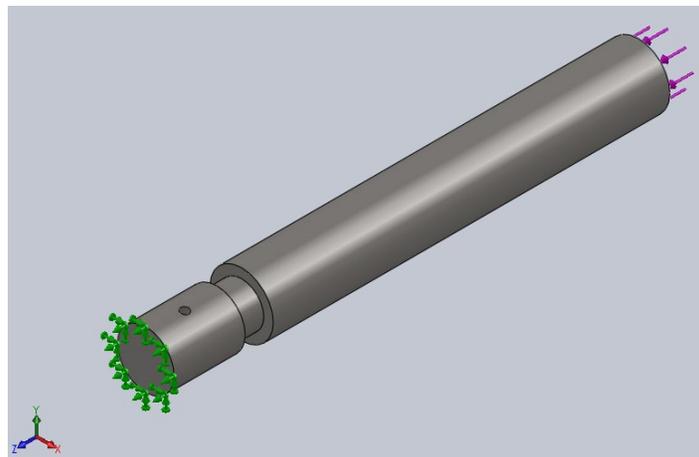


FIGURA 36. ANÁLISIS ESTÁTICO DE TORNILLO DE POTENCIA

Como se observa en la Figura 37, los resultados arrojados por el análisis estático de tensión nodal son los siguientes: relacionando los valores proporcionados por el gráfico del análisis

estático de tensión nodal con el esfuerzo de von Mises, calculado con anterioridad para el tornillo de potencia, se determinó que el elemento estructural es estable y no presenta fallo por pandeo. La zona central de la sección roscada del tornillo de potencia es la que exhibe un mayor impacto debido a los esfuerzos que actúan sobre la pieza, por lo que su integridad debe ser evaluada y diagnosticada con regularidad a fin de evitar daños o fallas durante el proceso de inyección.

En la Figura 38, se observan los resultados de la deformación unitaria estática obtenidos para el tornillo de potencia los cuales, al igual que en el análisis estático de tensión nodal, arrojan que el elemento estructural es estable pese a presentarse una probabilidad de deformación considerable en la sección roscada central del tornillo de potencia debido a las fuerzas manejadas y al material empleado, por lo cual debe prestarse especial atención en el comportamiento e integridad de esta sección del elemento.

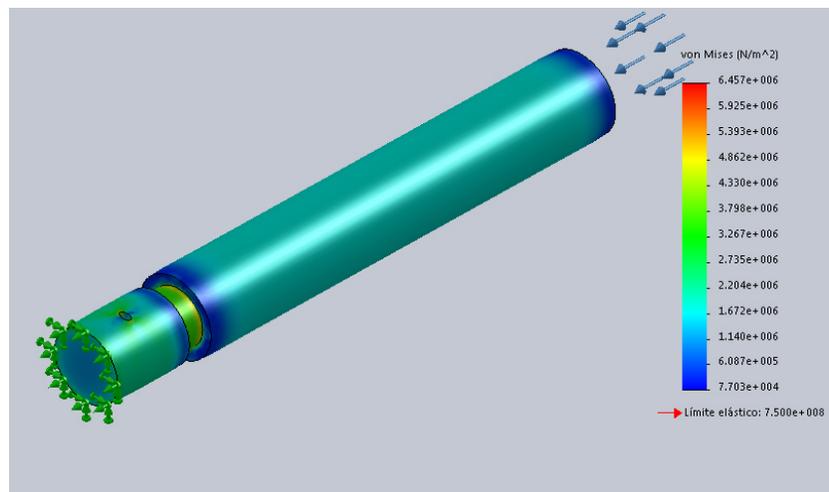


FIGURA 37. ANÁLISIS ESTÁTICO DE TENSIÓN NODAL DEL TORNILLO DE POTENCIA

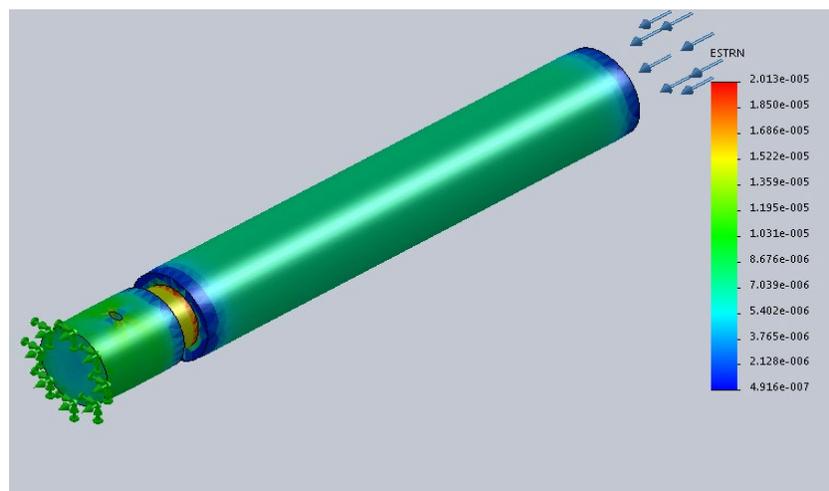


FIGURA 38. RESULTADOS DE LA DEFORMACIÓN UNITARIA ESTÁTICA DEL TORNILLO DE POTENCIA

Con relación a la transmisión de potencia, se planteó la incorporación de un mecanismo eléctrico para la generación del torque y de la fuerza de inyección requeridas por el proceso. En función de ello, se propuso el uso de un motor como fuente de movimiento para el sistema de inyección.

Establecido lo anterior, se procedió al cálculo de la velocidad y fuerza requerida por el proceso de inyección. Tomando como base la velocidad de entrada para la inyección del material calculada con anterioridad, se prosiguió al cálculo de la velocidad de avance angular del tornillo en valores de RPM, cuyo procedimiento de obtención y resultado se exponen a continuación:

$$\omega_{avace} = V_{ent} \left(\frac{1rev}{l} \right) \left(\frac{60s}{1min} \right)$$

Siendo l el avance del tronillo obtenido previamente.

Sustituyendo valores en la ecuación, se obtuvo como resultado final:

$$\omega_{avace} = \left(0.0045 \frac{m}{s} \right) \left(\frac{1rev}{0.01016m} \right) \left(\frac{60s}{1min} \right) = 26.7 \text{ RPM}$$

Para el cálculo de la potencia de motor, se tiene:

$$P = \frac{Mn}{9.550} \quad [13]$$

Donde M es el par del motor en Nm, n la velocidad en RPM, y P la potencia en kW (kilo Watts).

Usando la ecuación no.13 y sustituyendo los valores obtenidos, se hizo el cálculo de la potencia aproximada del motor requerido:

$$P = \frac{(2.891Nm)(26.7RPM)}{9.550} = 8.08W$$

Obtenidos los valores de velocidad y potencia se procedió a la selección del motor a utilizar con base en las características presentadas en la Tabla 26, planteándose de forma inicial los objetivos ponderados a considerar para su selección:

A. Generar la potencia de torque requerida.

Se considera esencial debido a la relación que guarda con la fuerza necesaria para el movimiento y la aplicación de la carga requerida por el proceso de inyección. Debe ser igual o superior a la estimada en los cálculos realizados.

B. Generar las RPM requeridas, minimizando el uso de elementos externos ajenos al motor.

Alcanzar la velocidad de avance angular calculada para el tornillo de potencia, buscando minimizar el empleo de reductores de velocidad ajenos al motor o transmisores de potencia.

C. Alimentación eléctrica de bajo voltaje.

Que el motor trabaje a una tensión aproximada de 120V buscando evitar rangos de tensión iguales o superiores a los 220V (instalaciones eléctricas comerciales e industriales).

D. Permitir inversión de giro

Que el motor permita el control de la inversión de giro del eje para el retorno del sistema de inyección al punto de partida una vez terminado el proceso.

Como en los casos de selección anteriores, se procedió a la designación de los niveles de prioridad de los objetivos ponderados establecidos (ver Tabla 27) y a la sucesiva evaluación de las alternativas planteadas (ver Tabla 28).

TABLA 26. CARACTERÍSTICAS DE MOTORES. TORNILLO DE POTENCIA

Alternativa	Características generales
Moto monofásico jaula de ardilla a prueba de goteo; aislamiento clase B; 4 polos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arranque por capacitor, base rígida, con balero (uso general). 2. Potencias manejadas de 0.5HP, 0.75HP, 1 HP, 1.5 HP, 2HP. 3. Velocidad angular: 1735RPM /1720RPM. 4. Tensión: 127/220 V. 5. Giro del motor en sentido de las manecillas del reloj, posibilidad de cambio de rotación.
Motor monofásico jaula de ardilla a prueba de goteo; aislamiento clase B; 2 polos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arranque por capacitor, base rígida, con balero (uso general). 2. Potencias manejadas de 0.5HP, 0.75HP, 1 HP, 1.5 HP, 2HP. 3. Velocidad angular: 3600RPM. 4. Tensión: 127/220 V. 5. Giro del motor en sentido de las manecillas del reloj, posibilidad de cambio de rotación.
Motorreductores hermanos de CA monofásico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Entre mayor reducción de la velocidad final de giro de la flecha del motorreductor se tenga más alto será el par de salida. 2. Permite motores más pequeños y un mayor ahorro de energía. 3. Montaje en eje recto o en eje paralelo. 4. Potencia 0.5HP. 5. Torque permisible: 10 ~ 390.5 Nm, 9 ~ 270 Nm, 9.6 ~ 431.5Nm. 6. Velocidad angular: depende de la relación de transmisión y las RPM del motor (posible hasta 28RPM) 7. Monofásico de tensión de 115V, 220V, 230V.

TABLA 27. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA SELECCIÓN DE MOTOR. TORNILLO DE POTENCIA.

Objetivo	A	B	C	D	Σx	Pesos
A	-	1/2	1	1/2	2	28
B	1	-	1	1/2	2.5	37
C	0	1/2	-	1/2	1	14
D	0	1/2	1	-	1.5	21
Σ final					7	100

TABLA 28. PONDERACIÓN DE SELECCIÓN DE MOTOR.

Objetivo	Peso	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
		Motor monofásico jaula de ardilla a prueba de goteo; aislamiento clase B; 4 polos		Motor monofásico jaula de ardilla a prueba de goteo aislamiento clase B; 2 polos		Motorreductores hermanos CA monofásico	
		Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor
Generar la potencia de torque requerida.	28	4	112	4	112	4	112
Generar las RPM requeridas, minimizando el uso de elementos externos ajenos al motor.	37	3	111	3	111	4	148
Alimentación eléctrica de bajo voltaje.	14	4	56	4	56	4	56
Permitir inversión de giro	21	4	84	4	84	4	84
Valor general de utilidad			363		363		400

En función de los resultados obtenidos, se estableció la alternativa C como la opción más viable para su empleo en la transmisión de potencia del sistema de inyección, dada la similitud de los valores y características entregados por el motor con los requeridos por el sistema.

A fin de ensamblar el motor con el sistema de inyección, se realizó el diseño de un acoplamiento (ver Figura 41) para unir el cuñero del motor y la sección de agarre el tornillo de potencia, con lo cual llevar de forma satisfactoria la transmisión de movimiento entre ambas partes.

Las unidades fueron fijadas haciendo uso de un perno de taco de 1/8"x1" de largo, evitando desajustes en el ensamblado. Para el anclaje del motorreductor a la estructura principal de

forma vertical, se realizó el diseño de una base de apoyo como se muestra en la Figura 42; para fijar el elemento se hicieron uso de tornillos Allen de 3/8"x1" de largo.

En lo pertinente al control del motorreductor, se propuso la implementación de un control de ángulo de fase o dimmer digital cuyo diagrama electrónico es mostrado en la Figura 39 [27]; con el cual se realizó el control del ángulo de disparo para variar la carga transmitida al motor y con ello la velocidad del mismo como se muestra en la Figura 40, donde el área sombreada corresponde a la porción de forma de onda suministrada a la carga. La etapa de potencia está controlada por un MOC3022, optoacoplador que sirve como interfaz entre el sistema digital y la etapa de potencia por medio de un TRIAC BTA08-600BW3G dada sus características de conducción de voltaje en ambos sentidos, siendo usado un LM555 como tren de pulsos para el cruce por cero el cual activa el MOC que a su vez activa el TRIAC y permitiendo el flujo de voltaje a la carga.

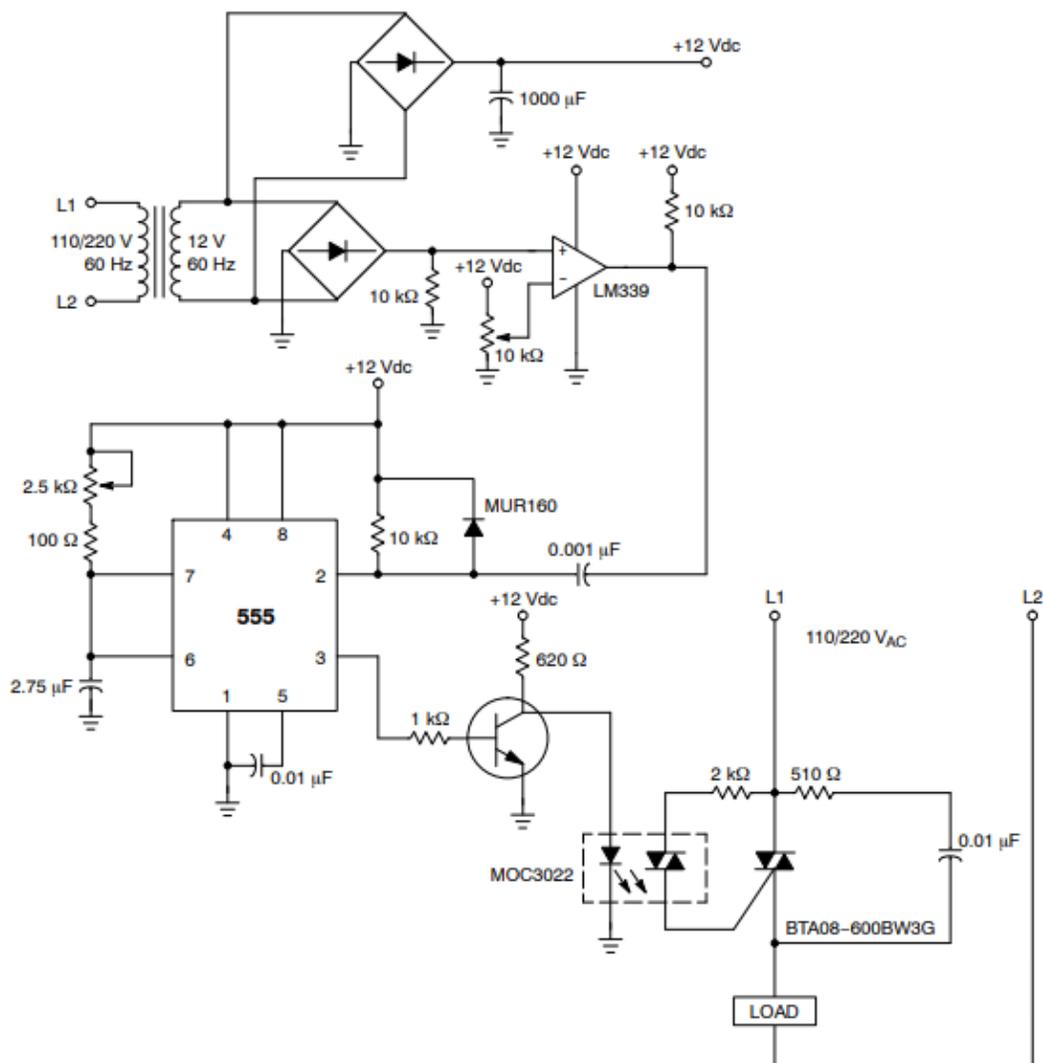


FIGURA 39. CONTROL DE ÁNGULO DE FASE

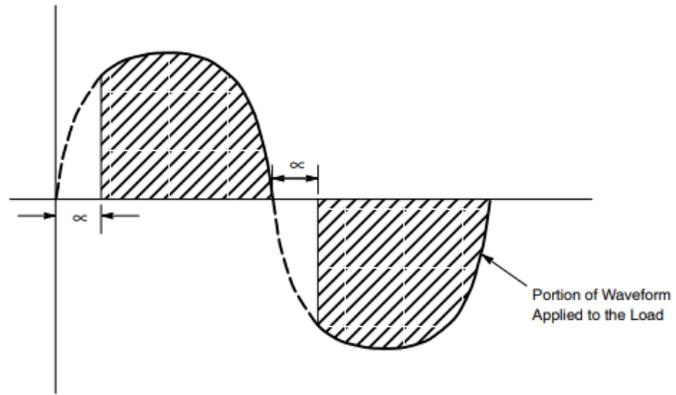


FIGURA 40. CONTROL DE FASE DE FORMA DE ONDA CA

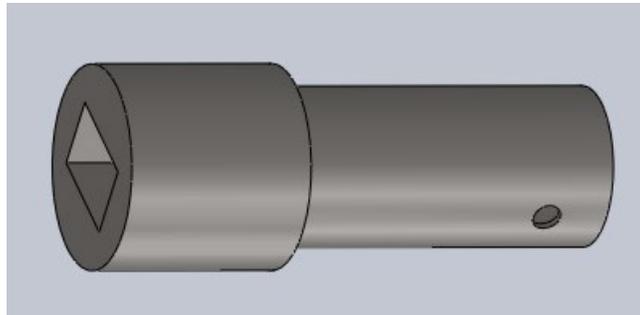


FIGURA 41. ACOPLAMIENTO MOTORREDUCTOR-SISTEMA DE INYECCIÓN

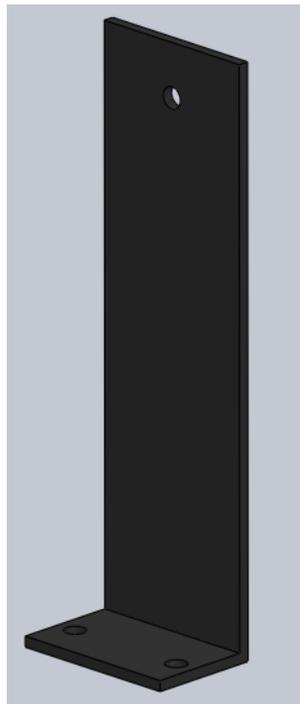


FIGURA 42. VISTA FRONTAL DE BASE DE SUJECCIÓN DE MOTOR

Dado que el ciclo de operación para la fabricación de prótesis dentales es bajo, siendo elaboradas un promedio de 4 piezas al día, el proceso de producción no requiere demasiada automatización, por lo cual se planteó un sistema de inyección semiautomático basado en el uso de botones de activación para el avance y retroceso. Como medida de seguridad, se propuso el empleo de un botón normalmente abierto que permita al usuario controlar el paso de potencia al motor y con ello el encendido del sistema de inyección.

Definido lo anterior, el desarrollo de la etapa de inyección por medio del sistema de inyección da comienzo como se describe a continuación: una vez finalizado el proceso de termoplastificación del material en el dispositivo de calentado, se da comienzo a la etapa de inyección alineando con exactitud el canal de salida del cilindro portacartuchos sobre el canal de entrada de la mufla a fin de evitar accidentes.

El cilindro portacartuchos contiene de forma previa el cartucho de material fundido y el tope de inyección.

Terminada la alineación de los elementos, se procede a realizar la inyección accionando el motorreductor. Una vez se ha inyectado el material, se deshabilita la alimentación hacia el motor, quedando el tornillo en la posición final y en modo de autobloqueo a fin de mantener una presión constante dentro de la mufla. Después de un lapso de tiempo, se procede al retorno del tornillo accionando de forma inversa el motorreductor y retirando los elementos utilizados.

Cabe recalcar que el tornillo de potencia nunca entra en contacto directo con el material al momento de su inyección gracias a que el que tope de inyección aísla el termoplástico del medio además de servir de apoyo en el aumento de la presión suministrada, razón por la cual no se consideró necesario el empleo de materiales de grado alimenticio para la fabricación del sistema de inyección.

Así mismo las posibles causas de contaminación del producto pueden tener diversos factores desde la falta de limpieza al momento de realizar el molde del producto hasta negligencia por parte del mecánico dental al momento de preparar el material; dicha contaminación es observable al momento de la sustracción del producto final dado que afecta las características y composición del material, volviéndolo inviable para su uso.

Con ello, se dio por finalizado el análisis de las variables que influyen en la funcionalidad y comportamiento de los elementos que conforman el tornillo de potencia y sistema de inyección.

3.2 DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL.

Con base en la alternativa de diseño conceptual elegida para el dispositivo de calentado para la termoplastificación del material, correspondiente a un horno de resistencias eléctricas, se prosiguió al desarrollo del diseño detallado de sus componentes.

La función del dispositivo de calentado es realizar el proceso de termoplastificación del material elegido en un rango de temperatura entre los 260°C a 305°C aproximadamente ; por ende, para el diseño de este dispositivo y la selección de los elementos que lo integran, se contempló el sensado y el control de las variables de temperatura involucradas en el proceso así como se definió la distribución y cantidad de las resistencias eléctricas a utilizar; todo ello con el fin de asegurar el adecuado funcionamiento del dispositivo durante esta fase del proceso.

Se dio comienzo a esta selección planteando las alternativas de resistencias eléctricas a utilizar, capaces de cubrir los requerimientos de funcionamiento y operatividad estipulados. Las propuestas presentadas y sus características se muestran en la Tabla 29.

Empleando el método de objetivos ponderados de Cross, se establecieron los lineamientos de evaluación de las alternativas del dispositivo de calentado para la termoplastificación del material, los cuales se presentan a continuación:

A. Generar la temperatura requerida por el dispositivo

Se requiere generar y mantener una temperatura entre 260°C y 305°C para llevar a cabo la fase de termoplastificación del material.

B. Presentar una alta densidad de potencia.

Esta potencia influye en la cantidad de calor emitido por unidad de área y en la velocidad de calentado; entre mayor es su valor, más superficie es calentada en un periodo de tiempo más corto.

C. Bajo costo.

Se hace referencia a la accesibilidad económica que presentan los dispositivos o elementos a adquirir.

D. Facilidad de obtención del elemento.

Hace alusión a la complejidad de la búsqueda de los elementos evaluados en lo referente a la cantidad de tiempo invertido y su disponibilidad en el mercado.

E. Facilidad de instalación.

Reducción de la complejidad involucrada en el montaje de los elementos del dispositivo dentro del lugar designado para su uso.

F. Larga durabilidad.

Tiempo de vida prolongado para evitar un constante reemplazo de los elementos.

Terminada la definición de los objetivos ponderados, y como se ha venido haciendo en las últimas secciones, se realizó la evaluación de los niveles de prioridad de los objetivos definidos (ver Tabla 30) y la posterior ponderación de las alternativas acorde a las calificaciones obtenidas por cada lineamiento (ver Tabla 31).

TABLA 29. CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.

Alternativa	Características generales
<p>Resistencias de banda aislada con cerámica</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura de trabajo máxima: 875°C. 2. Densidad de potencia: 7W/cm². 3. Coste alto, se hacen a pedido dependiendo de las dimensiones requeridas. 4. Diseño robusto y durable. Permite la utilización de resistencias más anchas y de una sola pieza; ideal para calentar superficies cilíndricas. 5. Aplicaciones en máquinas de inyección de plásticos, extrusoras y moldeo por soplado.
<p>Resistencias tipo cartucho de alta concentración</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura de trabajo máxima: 820°C. 2. Densidad de potencia: 40W/cm². 3. Coste alto, se hacen a pedido dependiendo de las dimensiones requeridas. Tiempo de entrega entre 3 a 10 días. 4. Larga durabilidad, hasta 15 veces más que los cartuchos comunes. 5. Necesidad de soporte para su montaje. 6. Aplicaciones en máquinas de inyección de plásticos, extrusoras de plástico, selladoras de bolsas, moldes, etc.
<p>Resistencias de tipo cartucho de baja concentración</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura de trabajo máxima: 650°C. 2. Densidad de potencia: 7W/cm². 3. Económicas 4. Corta durabilidad. 5. Necesidad de soporte para su montaje. 6. Aplicaciones en máquinas de inyección de plásticos, estampado en caliente, equipo de empaque y etiquetado, otros usos que requieren bajas temperaturas.

TABLA 30. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA SELECCIÓN DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

Objetivo	A	B	C	D	E	F	Σ x	Pesos
A	-	1/2	1	1	1	1	4.5	35
B	1/2	-	1/2	1	1	1/2	3.5	27
C	0	0	-	1/2	1	0	1.5	11
D	0	0	1/2	-	1/2	0	1	8
E	0	0	0	1/2	-	0	0.5	4
F	0	0	1	1/2	1	-	2	15
Σ final							13	100

TABLA 31. PONDERACIÓN DE SELECCIÓN DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

Objetivo	Peso	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
		Resistencias de banda aislada con cerámica		Resistencias tipo cartucho de alta concentración		Resistencias de tipo cartucho de baja concentración	
		Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor
Generar la temperatura requerida por el dispositivo	35	4	140	4	140	4	140
Presentar una alta densidad de potencia.	27	2	54	4	108	2	54
Bajo costo.	11	2	22	2	22	4	44
Facilidad de obtención del elemento.	8	3	24	3	24	4	32
Facilidad de instalación.	4	4	16	3	12	3	12
Larga durabilidad.	15	3	45	4	60	2	30
Valor general de utilidad			301		366		312

Basándose en el resultado general de la utilidad obtenida para cada alternativa evaluada, se determinó que la alternativa B, resistencias tipo cartucho de alta concentración, cumple con los requerimientos expresados en los objetivos.

En la aplicación práctica de la alternativa seleccionada, fue necesario realizar algunas consideraciones con el fin de garantizar entre otras cuestiones un calentado uniforme del material por parte de las resistencias eléctricas, así como un fácil manejo y disposición del cilindro portacartuchos durante el proceso. Entre dichas consideraciones destacan: el número de resistencias eléctricas a utilizar; la forma, distribución y dimensiones del soporte cilíndrico al que estarán ancladas dichas resistencias eléctricas; el tamaño de la entrada de la cámara de termoplastificación del material dentro del soporte cilíndrico donde se hará la inserción del cilindro portacartuchos; y el grosor del material aislante a utilizar.

Las características del cilindro portacartuchos comercial considerado como modelo para este diseño se describen a continuación: un cilindro hueco de acero inoxidable con una altura de 12.7cm, un radio externo de 3.8cm, un diámetro interno de 2.6cm, y un mango de soporte de aproximadamente 14cm de largo por 1cm de grosor con material aislante de dimensiones variables en el extremo.

Abriendo un breve paréntesis, cabe aclarar que los elementos tales como el cilindro portacartuchos, mufla, tope de inyección y el cartucho de material termoplástico, no forman parte de los elementos de construcción ni diseño del presente trabajo, siendo por ende requerida su adquisición de forma independiente a fin de resguardar la viabilidad y sanidad de las prótesis dentales fabricadas. Los componentes citados anteriormente son en su mayoría elaborados por empresas que cuentan con certificaciones tales como la norma ISO 1385-2013 o la NOM-241-SSA1-2012 (“Buenas prácticas de fabricación para establecimientos

dedicados a la fabricación de dispositivos médicos”) y que las acreditan para la fabricación y distribución de equipo de tipo médico. Así mismo, el dispositivo de calentado para la termoplastificación del material no entra en contacto directo con el material termoplástico utilizado, sirviendo simplemente como medio de transferencia de calor para la fusión del polímero. Se cierra paréntesis.

Dada la información anterior; para el caso del soporte cilíndrico se planteó el uso del aluminio 6061 T6 como material de fabricación; esto debido a su excelente conductividad térmica (205kW/m°C) contra la presentada por materiales como el acero (50.2kW/m°C), así como un peso ligero, fácil maquinabilidad y una alta resistencia estructural.

Por su parte, el cálculo del número de resistencias a ocupar por el dispositivo de calentado para la termoplastificación del material, con base en la información proporcionada, se comenzó obteniendo el calor transferido entre la fuente de calor y el material termoplástico, así como el calor transferido entre la fuente de calor y el material del soporte cilíndrico haciendo uso de la expresión:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad [14]$$

Donde Q es el calor suministrado en calorías en Joule (J), C_p es el calor específico de la sustancia en J/kg °C, m la masa en kg y ΔT la variación de la temperatura en °C.

Siendo proporcionados los siguientes datos referentes al material termoplástico, se tiene: calor específico del material termoplástico (polipropileno) $C_{pmaterial}=1700-1900$ J/kg °C, masa del material $m_{material}=20g=0.02kg$, la variación de tiempo $\Delta T= (300^\circ C-5^\circ C) = 295^\circ C$.

Sustituyendo valores en la expresión no.14, se calcula el calor del material termoplástico:

$$Q_{material} = m_{material} \cdot C_{pmaterial} \cdot \Delta T = (0.02 \text{ kg}) \left(1900 \frac{J}{kg^\circ C} \right) (295^\circ C) = 11210 \text{ J}$$

Presentándose los siguientes datos para el soporte cilíndrico, se tiene: calor específico del aluminio $C_{psoporte}=880$ J/kg °C, la variación de tiempo $\Delta T= (300^\circ C-5^\circ C) = 295^\circ C$. La masa del material del cilindro de soporte se calculó a través de la expresión:

$$m = \rho V$$

Donde ρ es la densidad del material en kg/m³ y V es el volumen del elemento en m³.

El volumen total del soporte cilíndrico (V_{CT}) se obtuvo mediante la diferencia del volumen del cilindro de soporte (V_{CE}) y del volumen de la boquilla de inserción (V_{CI}), ambos de forma cilíndrica y cuyo volumen esta dado por la expresión:

$$V = \pi r^2 h$$

Donde r es el radio de la base circular en m y h es la altura del cilindro en m

Realizándose el desarrollo de los cálculos, se tiene que:

$$V_{CE} = \pi r_{ext}^2 h = \pi (0.1m)^2 (0.123m) = 0.00386 \text{ m}^3$$

$$V_{Cl} = \pi r_{ext}^2 h = \pi(0.04m)^2(0.123m) = 0.000618 m^3$$

$$V_{CT} = 0.00386m^3 - 0.000618m^3 = 0.00324m^3$$

Obtenido el volumen del soporte cilíndrico se procedió al cálculo de su masa, donde $\rho_{Al} = 2700kg/m^3$:

$$m_{soporte} = \rho_{Al} V_{CT} = \left(2700 \frac{kg}{m^3}\right) (0.00324m^3) = 8.748kg$$

Realizando el cálculo del calor del soporte cilíndrico con la expresión no.14, se tiene:

$$Q_{soporte} = m_{soporte} \cdot C_{pAl} \cdot \Delta T = (8.748 kg) \left(880 \frac{J}{kg^{\circ}C}\right) (295^{\circ}C) = 2270980.8 J$$

Se procedió a determinar el calor total del sistema a través de la suma de los calores obtenidos, teniéndose:

$$Q_{Total} = Q_{material} + Q_{soporte} = 11210 J + 2270980.8 J = 2282190.8 J$$

Dividiendo el calor total obtenido entre un rango de tiempo propuesto, hizo posible obtener el calor transmitido por unidad de tiempo (s). Proponiéndose un rango de tiempo aproximado de $t=25 \text{ min}=1500s$ para este dispositivo de calentado, se tiene que:

$$Potencia\ total = \frac{Q_{total}}{t} = \frac{2282190.8 J}{1500s} = 1521.46 \frac{J}{s} = 1521.4W$$

El resultado corresponde a la potencia total requerida por el sistema para llevar a cabo el proceso de termoplastificación del material.

Con el propósito de conocer el número de resistencias necesarias para el proceso de calentado, se procedió al cálculo del área de una resistencia eléctrica de alta concentración dadas las siguientes características: acorde a las medidas del soporte cilindro otorgadas y con base al catálogo de resistencias consultado [28] se hizo selección de una resistencia eléctrica de 10cm (0.1m) con un calibre de 3/8'' (0.009525m) con 200W de potencia a 120V. Siendo un elemento cilíndrico, el cálculo de su área se dio por medio de la fórmula:

$$A = \frac{\pi}{4} dL$$

Donde d es el diámetro de la base del cilindro en m^2 y L el largo del cilindro en m^2 . Sustituyendo en la fórmula del área del cilindro:

$$A_{resistencia} = \frac{\pi}{4} (0.009525m)(0.1m) = 0.000748m^2 = 7.48cm^2$$

Posteriormente se calculó la potencia emitida por la resistencia eléctrica, multiplicando el área de la misma por su densidad de potencia. La densidad de potencia de las resistencias de alta concentración es de $40W/cm^2$.

Procediendo con el cálculo se obtuvo:

$$Potencia\ resistencia = 40 \frac{W}{cm^2} (7.48cm^2) = 299.2W$$

Dividiendo el área de calentado entre el área de la resistencia se obtuvo el número aproximado de resistencias a utilizar:

$$No.\ resistencias = \frac{Potencia\ total}{Potencia\ resistencia} = \frac{1521.4W}{299.2W} = 5.08 \approx 5\ resistencias$$

Por lo tanto, son necesarias 5 resistencias eléctricas, con las características descritas anteriormente, para llevar a cabo el calentado de las superficies del soporte cilíndrico y el material termoplástico en un tiempo aproximado de 25 min.

Obtenido el número de resistencias eléctricas a utilizar, así como a partir de la información proporcionada concerniente a los elementos que intervienen en esta fase del proceso, se procedió a definir las dimensiones del soporte cilíndrico y la intensidad de corriente a consumir por dichos elementos.

La intensidad de corriente que consume cada una de las resistencias eléctricas seleccionadas se calculó por medio de la ecuación de potencia:

$$P = VI$$

Donde P , es la potencia en Watts (W), V la tensión suministrada en Volts (V) e I la intensidad de corriente que recorre el elemento en Amperes (A).

Despejando I , se tiene:

$$I = \frac{P}{V}$$

Sustituyendo los valores de las resistencias eléctricas, siendo la potencia para resistencias tipo cartucho de alta densidad igual a 200W, se obtiene:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{200W}{120V} = 1.6W\ por\ resistencia$$

Con base en el resultado anterior, la intensidad de corriente a consumir por las resistencias eléctricas de alta concentración de este dispositivo será igual a 8.3W aproximadamente.

Dadas las medidas del cilindro portacartuchos a emplear; se estableció para la entrada de la cámara de termoplastificación del material un diámetro de 3.6cm perforado dentro de un cilindro de aluminio propuesto de 3 pulgadas (7.62cm) de diámetro. Así mismo, con base en la longitud de cilindro portacartuchos y con el fin de asegurar la completa inserción del elemento dentro del dispositivo de calentado para la termoplastificación del material, se propuso una longitud para el soporte cilíndrico igual a 15.5cm. La longitud y diámetro propuestos para el soporte cilíndrico del dispositivo de calentado para la termoplastificación del material permite una adecuada distribución de los elementos involucrados en el proceso, sin presentarse interferencias entre ellos.

El soporte cilíndrico será asegurado al gabinete del dispositivo de termoplastificación del material por medio del uso de 5 tornillos de sujeción de 3/8" de diámetro x 1 1/4" de largo acoplados apoyándose de un elemento de sujeción de 3 pulgadas (7.62cm) de diámetro y un espesor de 1.3cm.

Para el empotrado del número requerido de resistencias eléctricas al soporte, se realizaron perforaciones de 10cm de profundidad y un diámetro de 1cm a distancias equidistantes de 72° y 2.85cm con respecto al centro del soporte cilíndrico; de forma que favorezcan el calentado del material y la reducción en la transferencia de calor con el medio.

Finalizada la selección, cálculos y diseño correspondientes a las resistencias eléctricas y al soporte cilíndrico que las alojará, se procedió a la definición de los dispositivos de sensado a utilizar acorde a los rangos de temperatura a monitorearse y a las características deseadas para dichos componentes. Para ello, se partió de la definición de los objetivos ponderados para la selección de las alternativas propuestas, las cuales se presentan en la Tabla 32. Los objetivos ponderados que se establecieron son:

A. Capaz de medir el rango de temperatura de trabajo del dispositivo.

Que permita realizar mediciones de temperatura de valores entre los 260°C y los 305°C o más.

B. Buena precisión en las mediciones realizadas.

Hace referencia al margen de error mínimo manejado por el elemento a fin de garantizar mediciones más exactas y con valores más cercanos a la temperatura real registrada.

C. Bajo costo.

Se hace referencia a la accesibilidad económica que presentan los dispositivos o elementos a adquirir.

D. Presentar una buena estabilidad en su funcionamiento.

Hace alusión a la desviación (en °C) en las mediciones registradas por el elemento sensor con respecto al valor teórico dado. Debe presentarse una desviación mínima a fin de garantizar la fidelidad de los datos obtenidos.

E. Ejecutar un tiempo de respuesta corto.

Tiempo que le toma al elemento registrar las variaciones del valor medido.

F. No presentar autocalentamiento.

Escoger un sensor de temperatura que permita minimizar el efecto calorífico de la corriente que pasa a través del elemento durante el proceso, a fin de evitar errores de mediciones por interferencia.

Terminada la definición de los objetivos ponderados, se continuó con la evaluación del nivel y la ponderación de las opciones como se puede observar en las Tabla 33 y Tabla 34 respectivamente.

TABLA 32. CARACTERÍSTICAS DE SENSORES DE TEMPERATURA.

Alternativa	Características generales
<p>Sensor RTD Pt100</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rango de temperatura: $0^{\circ} \sim 1250^{\circ}\text{C}$. 2. Precisión: 0.01°C (Muy preciso). 3. Alto costo. 4. Muy estables. 5. Mayor tamaño y masa con relación a un termopar, velocidad de reacción limitada y tiempo de respuesta lento. 6. Baja durabilidad. 7. Autocalentamiento presente.
<p>Termopar</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tipo K - Rango de temperatura: $-200^{\circ} \sim 1372^{\circ}\text{C}$, sensibilidad $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 2. Tipo J - Rango de temperatura: $-270^{\circ} \sim 1200^{\circ}\text{C}$, sensibilidad $55\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 3. Límite de error: 2.2°C - Estándar. 1.1°C- Especial 4. Económicos. 5. Baja estabilidad. 6. Reacción rápida por variaciones de temperatura a medir. 7. No hay autocalentamiento (despreciable).
<p>Termistor</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Margen de funcionamiento: $-100^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C}$. 2. Error introducido por los hilos: Despreciable. 3. Económicos 4. Grandes variaciones de resistencia ante pequeñas variaciones de temperatura. 5. Bajo tiempo de reacción del sensor (Rápido). 6. Autocalentamiento presente.

TABLA 33. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA SELECCIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA

Objetivo	A	B	C	D	E	F	Σx	Pesos
A	-	1/2	1	1/2	1/2	1	3.5	27
B	1/2	-	1/2	1/2	1/2	1	3	23
C	0	0	-	1	1/2	1	2.5	19
D	0	1/2	1/2	-	1/2	1/2	2	15
E	0	1/2	1/2	1/2	-	0	1.5	12
F	0	0	1/2	0	0	-	0.5	4
Σ final							13	100

TABLA 34. PONDERACIÓN PARA SELECCIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA

Objetivo	Peso	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
		Sensor RTD Pt100		Termopar		Termistor	
		Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor
Capaz de medir el rango de temperatura de trabajo del dispositivo.	27	4	108	4	108	4	108
Buena precisión en las mediciones realizadas.	23	4	92	3	69	3	69
Bajo costo.	19	2	38	4	76	4	76
Presentar una buena estabilidad en su funcionamiento.	15	2	30	3	45	3	45
Ejecutar un tiempo de respuesta corto.	12	4	48	4	48	3	36
No presentar autocalentamiento.	4	2	8	4	16	2	8
Valor general de utilidad			324		362		342

Con base en los resultados obtenidos se determinó que la alternativa B, termopar, es la opción más viable a utilizar acorde a los planteamientos y requerimientos estipulados.

Dentro de los termopares, los dos tipos más utilizados son el tipo J y K. La selección del tipo de termopar para llevar a cabo las mediciones de sensado se dio con base en las características presentadas por los termopares mencionados en lo referente al rango de temperatura y sensibilidad, siendo la alternativa seleccionada el termopar tipo K dado que posee un rango de temperatura de 200° a 1372°C y una sensibilidad de 41µV/°C, características claramente superiores a su contraparte, el termopar tipo J, que posee un rango de temperatura de 270° a 1200°C y una sensibilidad de 55µV/°C.

Para llevar a cabo el proceso de sensado, se estableció el empleo de un solo elemento termopar. Dicho elemento se integró al soporte cilíndrico del dispositivo de calentado para la termoplastificación del material por medio de una perforación de 6cm de profundidad y 0.66cm de diámetro localizada a 2.85cm con respecto al centro del soporte cilíndrico. La distancia seleccionada para dicho elemento tiene como fin obtener mediciones más claras y precisas del proceso de sensado entre las resistencias eléctricas y la cámara de termoplastificación del material donde se ingresa el cilindro, permitiendo un mayor control de la temperatura.

La propuesta final de la forma y distribución que tendrá el soporte cilíndrico del dispositivo de calentado para la termoplastificación del material se expone en la Figura 43 y Figura 44. En la Figura 45 se presenta el diseño del elemento de sujeción del soporte cilíndrico.

Los dibujos técnicos correspondiente a cada uno de los elementos mencionados se muestra en el apartado de apéndices de este documento.

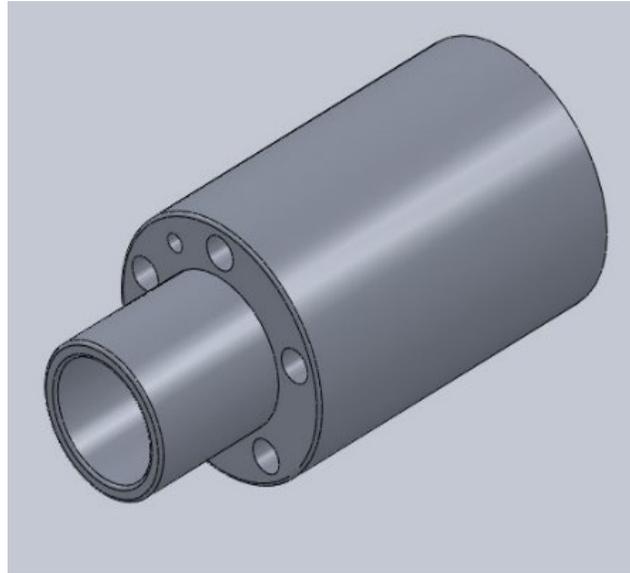


FIGURA 43. VISTA INFERIOR DEL DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL, SE MUESTRAN LAS SECCIONES DE MONTAJE PARA LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS Y EL TERMOPAR TIPO K

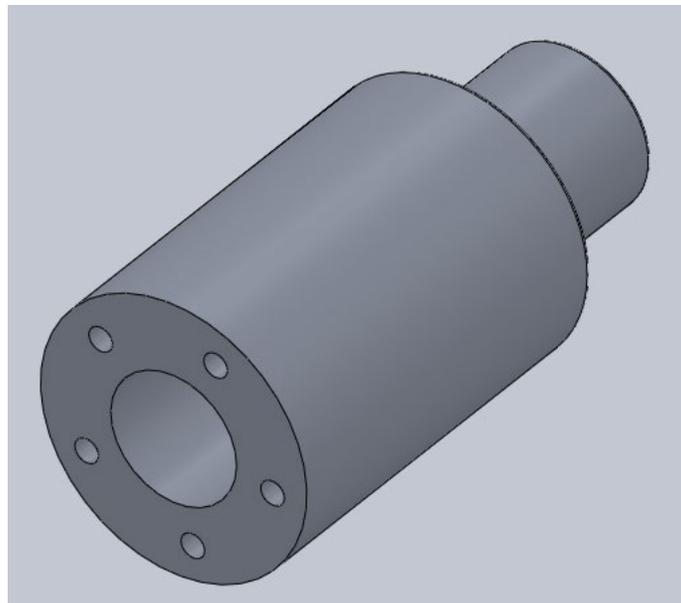


FIGURA 44. VISTA SUPERIOR DEL DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL, SE MUESTRAN LAS SECCIONES DE SUJECCIÓN PARA LOS TORNILLOS

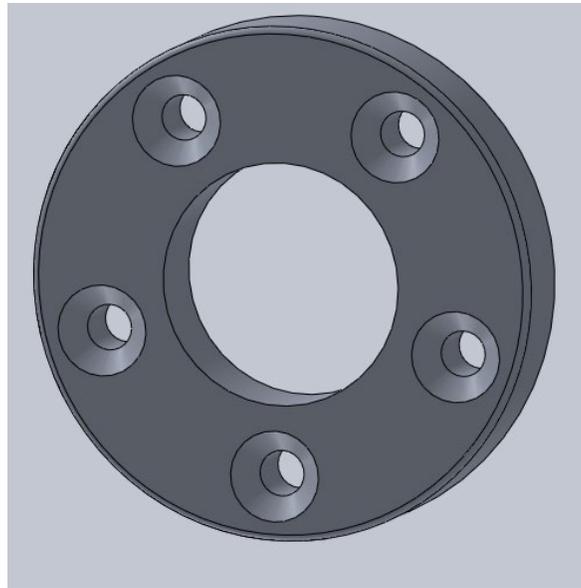


FIGURA 45. ELEMENTO DE SUJECIÓN DEL SOPORTE CILINDRICO

En la Figura 46 y la Figura 47, se presenta el comportamiento térmico del dispositivo de calentado para la termoplastificación del material bajo las siguientes condiciones: una temperatura de 300°C generada por las resistencias eléctricas, a una temperatura ambiente de 5°C y un coeficiente de convección del aire de 5W/m²K°. Como puede observarse, dadas las condiciones mencionadas, la cámara de termoplastificación del material presenta una temperatura aproximada de 298°C, ideal para el proceso de fusión del material termoplástico.

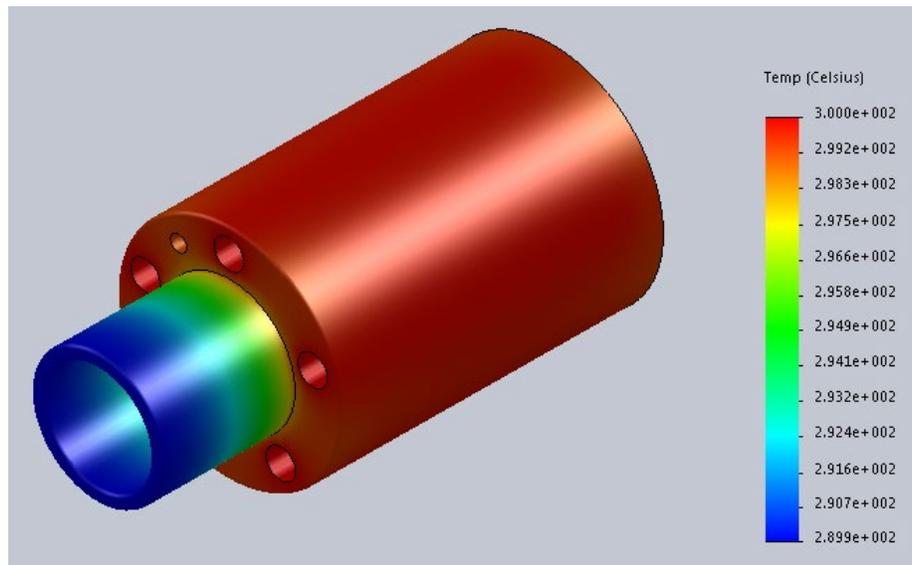


FIGURA 46. ANÁLISIS TÉRMICO DEL DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL

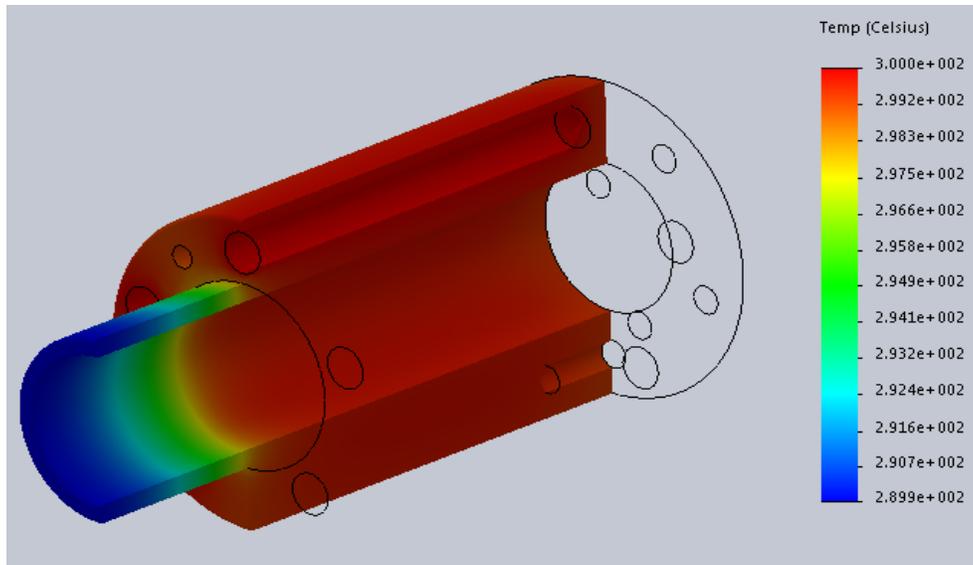


FIGURA 47. VISTA SECCIONADA DEL ANÁLISIS TÉRMICO DEL DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL

En la Figura 48 y la Figura 49, se exhiben los resultados del estudio estático correspondiente a la deformación unitaria equivalente que presenta el dispositivo de calentado para la termoplastificación del material acorde al comportamiento térmico mencionado anteriormente. Como puede observarse, el dispositivo no muestra deformaciones considerables en su estructura a causa del calor generado.

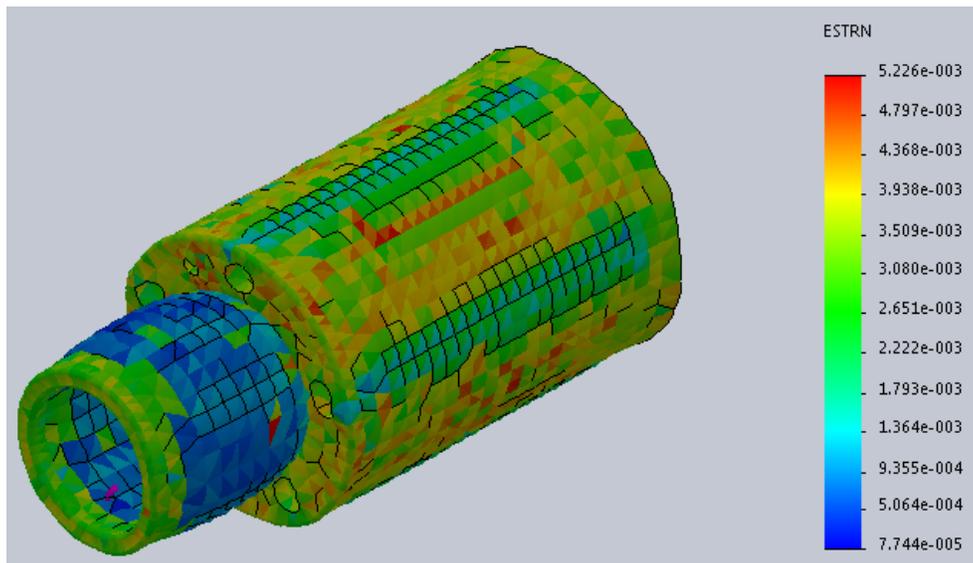


FIGURA 48. ESTUDIO ESTÁTICO CORRESPONDIENTE A LA DEFORMACIÓN UNITARIA EQUIVALENTE DEL DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL

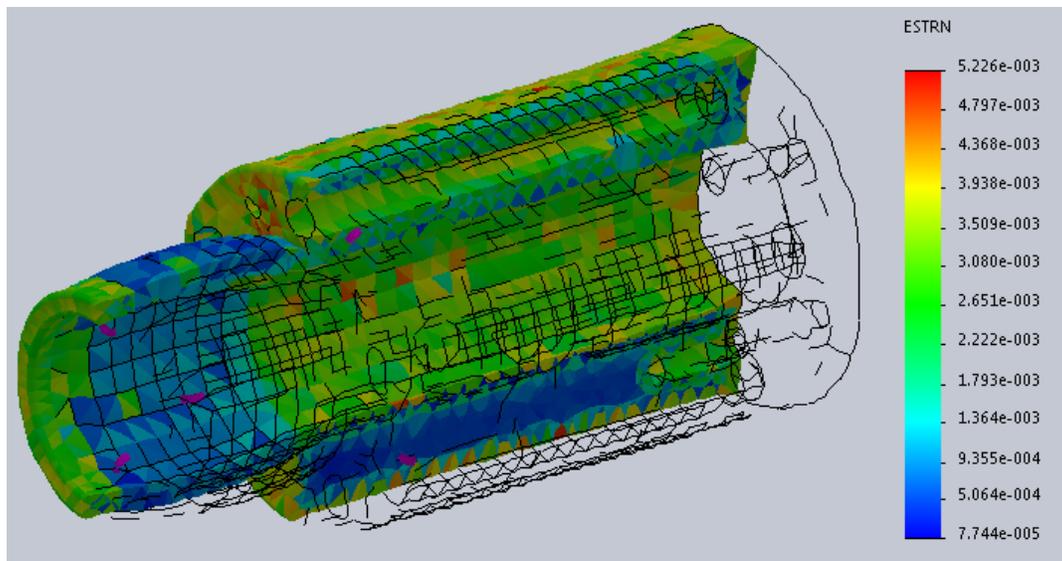


FIGURA 49. VISTA SECCIONADA DEL ESTUDIO ESTÁTICO CORRESPONDIENTE A LA DEFORMACIÓN UNITARIA EQUIVALENTE DEL DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL

En virtud de las temperaturas manejadas por el dispositivo de calentado para la termoplastificación del material, se consideró la instalación de un material aislante con el fin de evitar daños sustanciales en la integridad y funcionamiento de los componentes que conforman los restantes sistemas y dispositivos del prototipo propuesto, evitar pérdidas de calor, así como proteger la integridad física del usuario final.

Se tomaron en cuenta, para la selección del material aislante a utilizar, factores como la temperatura máxima de operación, la conductividad térmica, el coste, facilidad de instalación y manejo e inflamabilidad. Entre las opciones encontradas figuran: el poliuretano en plancha, la tela de fibra de vidrio, lana de roca/lana de escoria y colchoneta de fibra cerámica, cuyas características se desglosan en la Tabla 35.

Para llevar a cabo la selección se hizo uso de los siguientes objetivos ponderados, los cuales fueron evaluados y contrastados acorde a la viabilidad de las opciones como en los procesos de selección realizados anteriormente:

- A. Soportar la temperatura máxima de trabajo del dispositivo.

La temperatura máxima de operación del material debe ser mayor a 300°C y tener una baja conductividad térmica (menor a $0.08 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$).

- B. Ser de fácil instalación.

No presente dificultades en su manipulación y montaje.

- C. Bajo costo.

Se hace referencia a la accesibilidad económica que presentan los dispositivos o elementos a adquirir.

D. No ser inflamables.

Que el material no se quemara al estar expuesto a altas temperaturas y no sea necesario el empleo de revestimiento de otros materiales para lograr su inflamabilidad.

E. Facilidad de obtención del material.

Hace alusión a la complejidad de la búsqueda de los materiales evaluados en lo referente a la cantidad de tiempo invertido para su obtención y su disponibilidad en el mercado.

Establecidos los objetivos ponderados, se determinó su nivel de prioridad (ver Tabla 36) para posteriormente proseguir a la evaluación de las alternativas consideradas, como puede observarse en la Tabla 37.

TABLA 35. CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES AISLANTES

Alternativa	Características generales
Poliuretano en plancha 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperaturas de trabajo de 0°C hasta 70°C, baja conductividad térmica (0.023W/m°C). 2. Instalación relativamente fácil y económica. 3. Relativamente caro. 4. Posibilidad de ignición, requerido el uso de un revestimiento para la protección del material. 5. De difícil obtención.
Tela de fibra de vidrio 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Posee una temperatura máxima de operación de 540°C, baja conductividad térmica (0.04W/m°C). 2. Fácil instalación y mejor manejo, no tener contacto directo con la piel. 3. Bajo costo. 4. Alta resistencia al fuego y al calor. 5. Fácil obtención.
Lana de roca/lana de escoria 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conserva sus propiedades mecánicas a temperaturas altas (650°C), baja conductividad térmica (0.05 y 0.031 W/m°C). 2. Fácil instalación, pero se requiere de manejo cauteloso y uso de equipo especial para evitar problemas de salud. 3. Económico. 4. Es un material no combustible. 5. Mediana facilidad de obtención.
Colchoneta de fibra cerámica 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resistente a altas temperaturas (entre 538°C hasta 1485°C) y baja conductividad térmica (0.024 W/m°C). 2. Fácil instalación y manipulación. 3. Bajo costo de adquisición y de mantenimiento. 4. Tiene resistencia a calor debido a su baja conductividad térmica, bajo almacenamiento de calor, resistencia al shock térmico, etc. 5. Mediana facilidad de obtención.

TABLA 36. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA SELECCIÓN DE MATERIAL AISLANTE

Objetivo	A	B	C	D	E	Σx	Pesos
A	-	1	1/2	1/2	1	3	33
B	0	-	1/2	0	1/2	1	11
C	0	1/2	-	0	1/2	1	11
D	1/2	1	1/2	-	1/2	2.5	28
E	0	1/2	1/2	1/2	-	1.5	17
Σ final						9	100

TABLA 37. PONDERACIÓN PARA SELECCIÓN DE MATERIAL AISLANTE

Objetivo	Peso	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C		Alternativa D	
		Poliuretano en plancha		Tela de fibra de vidrio		Lana de roca/lana de escoria		Colchoneta de fibra cerámica	
		Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor
Soportar la temperatura máxima de trabajo del dispositivo.	33	1	33	3	99	3	99	4	132
Ser de fácil instalación.	11	4	44	3	33	3	33	4	44
Bajo costo	11	1	11	4	44	4	44	4	44
No ser inflamables	28	1	28	4	112	4	112	4	112
Fácil obtención del material	17	1	17	4	68	3	51	3	51
Valor general de utilidad			133		356		339		383

Como material aislante, con base en el valor de utilidad obtenido por cada uno de los materiales evaluados, se seleccionó la alternativa D, colchoneta de fibra cerámica, debido a su bajo coste, facilidad de instalación, su excelente resistencia al calor radiante, y altas temperaturas de trabajo.

Para determinar la cantidad mínima de material aislante a utilizar se procedió al cálculo del radio crítico de aislamiento (r_{cr}) por medio del uso de la ecuación:

$$r_{cr} = \frac{k}{h} \quad [15]$$

Donde k es la conductividad térmica del material $W/m^{\circ}K$ y h el coeficiente de transferencia de calor en $W/m^2^{\circ}K$.

Siendo la conductividad térmica de la fibra cerámica $k=0.024 W/m^{\circ}K$ y el coeficiente de transferencia de calor del medio en el que se desarrolla el intercambio, aire por convección

natural, $h=5\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, se procedió a su sustitución en la ecuación no.15, obteniéndose lo siguiente:

$$r_{cr} = \frac{0.024 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{K}}}{5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} = 0.0048\text{m} = 4.8\text{mm}$$

Para disminuir la pérdida de calor, el radio del aislante (r_{aisl}) debe ser mayor que el radio crítico (r_{cr}); por lo tanto, basándose en el resultado obtenido, el espesor de la colcha de fibra cerámica debe ser mayor a 4.8mm.

Posterior a la selección del sensor, así como del grosor y tipo de aislante a utilizar, se buscó definir la forma en la que llevar a cabo el control y monitoreo de las variables de temperatura durante el proceso de termoplastificación, para lo cual se plantearon las alternativas mostradas en la Tabla 38.

Para la selección del dispositivo de control, se definieron los siguientes objetivos ponderados basados en las características y necesidades requeridas por el usuario:

A. Mantener el rango de temperatura.

El método de control del dispositivo debe tener un margen error reducido y no permitir un sobrepaso de la temperatura con relación al valor de la temperatura objetivo o en su defecto un decremento sustancial.

B. Implementar el tipo de sensor elegido dentro del dispositivo de control.

El dispositivo seleccionado debe permitir el acople y lectura del sensor tipo K, elegido para el registro y sensado de la temperatura del dispositivo de calentado

C. Alimentación de bajo voltaje.

Que el dispositivo trabaje a una tensión aproximada de 120V o menor buscando evitar el uso de rangos de tensión iguales o superiores a los 220V (instalaciones eléctricas comerciales e industriales).

D. Presentar dimensiones reducidas.

El dispositivo debe ser compacto y ocupar poco espacio dentro del sistema.

Establecidos los objetivos ponderados correspondientes, se llevó a cabo la evaluación del nivel de prioridad de los mismos (ver Tabla 39) y la posterior evaluación de las alternativas propuestas como se ha venido desarrollando a lo largo del presente trabajo (ver Tabla 40).

TABLA 38. CARACTERÍSTICAS DE DISPOSITIVO DE CONTROL DE TEMPERATURA

Alternativa	Características generales
<p>Termostato digital /en riel DIN TLZ35</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hace uso de regulación tipo ON/OFF donde simplemente se activa o desactiva el controlador dependiendo si se excede o no el margen de temperatura, no interviene mayor lógica que el apagado y encendido. 2. Posee una entrada para sondas tipo: PTC y NTC (termistores) 3. Alimentación de 12V de CA/CD, 24 V de CA/CD, 100-240V de CA/CD. 4. Dimensiones de 86x70x60mm.
<p>Termostato digital W1209</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hace uso de regulación tipo ON/OFF. 2. Rango de temperatura 50-110. 3. Alimentación de 12V de CD. 4. Tiene una entrada de medición NTC (Termistor). 5. Dimensiones de 48x40mm.
<p>Control de temperatura compacto N1030</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hace uso de un control tipo ON/OFF y PID (control en el que interviene algoritmos que limitan el sobrepaso de temperatura sobre la temperatura a alcanzar, margen de error reducido). 2. Sintonía automática de parámetro del PID. 3. Acepta termopares J,K,T y termoresistencias Pt100 4. Posee dos opciones de alimentación eléctrica: 100-240 V de CA/CD o 12-24 V de CA/CD. 5. Dimensiones de 48x48x35mm.
<p>Control de temperatura ATZN4M</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hace uso de un control tipo ON/OFF, P, PI, PD, PIDF, PIDS. 2. Sintonía automática de parámetro del PID. 3. Acepta termopares (J, K, T, E, R, S, N, y W) y termoresistencias RDT's (Pt100 DIN o JIS). 4. Opciones de alimentación eléctrica: 100-240 V de CA/CD, 24 V CA 50/60Hz, 24-48V CD. 5. Dimensiones de 72x67x73mm.

TABLA 39. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA SELECCIÓN DE DISPOSITIVO DE CONTROL DE TEMPERATURA

Objetivo	A	B	C	D	Σx	Pesos
A	-	1/2	1	1	2.5	39
B	1	-	1	1/2	2.5	38
C	0	0	-	1/2	0.5	8
D	0	1/2	1/2	-	1	15
Σ final					6.5	100

TABLA 40. PONDERACIÓN PARA SELECCIÓN DE DISPOSITIVO DE CONTROL DE TEMPERATURA

Objetivo	Peso	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C		Alternativa D	
		Termostato digital / en riel DIN TLZ35		Termostato digital W1209		Control de temperatura compacto N1030		Control de temperatura ATZN4M	
		Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor
Mantener rango de temperatura, evitar sobrepasos.	39	1	39	1	39	4	156	4	156
Implementar el tipo de sensor elegido dentro del dispositivo de control.	38	1	38	1	38	4	152	4	152
Alimentación de bajo voltaje	8	4	32	4	32	4	32	4	32
Presentar dimensiones reducidas.	15	2	30	3	45	3	45	2	30
Valor general de utilidad			139		154		385		370

En función de los valores generales de utilidad obtenidos se determinó que la alternativa C, control de temperatura compacto N1030, cumple con las especificaciones requeridas por el dispositivo de calentado en lo relacionado al control de la temperatura objetivo gracias a la implementación de un control PID, manteniendo un margen de error mínimo en la lectura de la variable durante el proceso.

El gabinete que albergará los componentes del dispositivo de calentado para la termoplastificación del material estará anexo al gabinete de la interfaz usuario-máquina por medio de perfiles cuadrados de acero de ¾” y de 5.5cm de longitud, con el objetivo de mejorar la movilidad, disposición, y conexión de los elementos afines entre ambos dispositivos. La propuesta de diseño se mostrará posteriormente.

En lo relacionado a la instalación, la conexión, la coordinación de trabajo, y la alimentación de los diferentes sistemas y dispositivos, dadas las condiciones y temperaturas de trabajo

manejadas, se optó por el empleo de un cable de alta temperatura con aislamiento de fibra de vidrio calibre 10awg, debió a su precio y facilidad de obtención, a una temperatura de operación de -60°C hasta un máximo de 500°C . El empleo de este tipo de cable se da a fin de evitar accidentes, reemplazos innecesarios y constantes de material y componentes, así como impedir fallas en el funcionamiento del prototipo.

De esta forma, se da por concluido el diseño de detalle del dispositivo de calentado para la termoplastificación del material.

3.3 SISTEMA DE PRECALENTADO PARA LA MUFLA

Con base en la alternativa de diseño conceptual seleccionada para este dispositivo, horno de resistencias eléctricas, se procedió a la realización del diseño detallado tomando como referencia el procedimiento llevado a cabo en el apartado de selección anterior.

La función principal del sistema de precalentado para la mufla radica en llevar a cabo el calentado de la mufla que contiene el modelo de prótesis dental a ser inyectado a una temperatura que permita un mayor flujo del material al momento de su inyección, oscilando dicha temperatura entre los 20°C a 60°C acorde a la información recabada. Para el diseño de este dispositivo y la selección de los elementos que lo integran, se contempló el sensado y el control de las variables de temperatura involucradas en el proceso, así como se definió el tipo, la distribución, y la cantidad de las resistencias eléctricas a utilizar; todo ello con el fin de asegurar el adecuado funcionamiento del dispositivo durante esta fase del proceso.

Se dio comienzo a este proceso de selección tomando como referencia las alternativas de resistencias eléctricas planteadas en la sección anterior y adecuando los objetivos ponderados a los nuevos requerimientos de funcionamiento y operatividad:

A. Capaz de medir el rango de temperatura de trabajo del sistema.

Se requiere generar y mantener una temperatura entre 20°C a 60°C para llevar a cabo la fase de precalentado de la mufla.

B. Presentar una alta densidad de potencia.

Esta potencia influye en la cantidad de calor emitido por unidad de área y en la velocidad de calentado; entre mayor es su valor, más superficie es calentada en un periodo de tiempo más corto.

C. Bajo costo.

Se hace referencia a la accesibilidad económica que presentan los dispositivos o elementos a adquirir.

D. Facilidad de instalación.

Reducción de la complejidad involucrada en el montaje de los elementos del sistema dentro del lugar designado para su uso.

E. Facilidad de obtención del elemento.

Hace alusión a la complejidad de la búsqueda de los elementos evaluados en lo referente a la cantidad de tiempo invertido y su disponibilidad en el mercado.

Derivado de lo anterior, las alternativas de resistencias térmicas planteadas se presentan en la Tabla 41. Sucesivamente, se realizó la evaluación del nivel de prioridad de los objetivos ponderado (ver Tabla 42) y la ponderación de las alternativas (ver Tabla 43), definiéndose la opción más viable para el proceso en cuestión.

TABLA 41. CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.

Alternativa	Características generales
<p>Resistencias tipo tira con cerámica</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura de trabajo máxima: 650°C. 2. Densidad de potencia: entre 3.1W/cm² y 7W/cm². 3. Económicas. 4. Utilizadas para instalaciones que exigen montaje en superficies planas y sólidas, suspensas o por inserción en una ranura. Con o sin orejas de sujeción. Disponibles con aletas de montaje. 5. Aplicaciones en hornos, moldes, troqueles, precalentamiento para la soldadura, moldes en caliente, etc. 6. De fácil obtención.
<p>Resistencias tipo cartucho de alta concentración</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura de trabajo máxima: 820°C. 2. Densidad de potencia: 40W/cm². 3. Larga durabilidad, hasta 15 veces más que los cartuchos comunes. 4. Necesidad de soporte para su montaje. 5. Aplicaciones en máquinas de inyección de plásticos, extrusoras de plástico, selladoras de bolsas, moldes, etc. 6. Se hacen a pedido dependiendo de las dimensiones requeridas. Tiempo de entrega entre 3 a 10 días.
<p>Resistencias de tipo cartucho de baja concentración</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura de trabajo máxima: 650°C. 2. Densidad de potencia: 7W/cm². 3. Económicas 4. Necesidad de soporte para su montaje. 5. Aplicaciones en máquinas de inyección de plásticos, estampado en caliente, equipo de empaque y etiquetado, otros usos que requieren bajas temperaturas. 6. De fácil obtención.

TABLA 42. PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS PARA SELECCIÓN DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

Objetivo	A	B	C	D	E	Σx	Pesos
A	-	1/2	1	1	1	3.5	35
B	1/2	-	1/2	1/2	1	2.5	25
C	0	0	-	1/2	1/2	1	10
D	0	1/2	1/2	-	1	2	20
E	0	0	1/2	1/2	-	1	10
Σ final						10	100

TABLA 43. PONDERACIÓN DE SELECCIÓN DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

Objetivo	Peso	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
		Resistencias tipo tira con cerámica		Resistencias tipo cartucho de alta concentración		Resistencias de tipo cartucho de baja concentración	
		Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor
Capaz de medir el rango de temperatura de trabajo del dispositivo	35	4	140	4	140	4	140
Presentar una alta densidad de potencia.	25	2	50	4	100	2	50
Bajo costo.	10	4	40	2	20	4	40
Facilidad de instalación	20	4	80	3	60	3	60
Facilidad de obtención del elemento	10	4	40	3	30	4	40
Valor general de utilidad			350		350		330

Acorde a los valores de utilidad obtenidos en la ponderación, las alternativas A y B se muestran igualmente viables para su empleo en el sistema de precalentado para la mufla. Basándose en los rangos de temperatura mínimos requeridos; la simplicidad de montaje y uso de los elementos; así como contrastando la información recabada, se determinó que el empleo de la resistencia tipo tira con cerámica con orejas de sujeción es el más adecuado para este dispositivo. Esta decisión parte del hecho de no ser requerido un amplio margen de temperatura para el calentado, la simplificación del diseño del dispositivo, así como por la practicidad de la resistencia tipo tira en su instalación en superficies planas, lo que permite un mayor contacto entre la mufla y el elemento calefactor.

Partiendo de la selección realizada, se procedió al cálculo del número de resistencias requerido para el calentado, tomando como base para dichos cálculos una de las dos secciones de la mufla.

La información requerida para realizar los cálculos correspondientes se desglosa a continuación:

1. Se considera a la sección de la mufla un paralelepípedo rectangular de 0.042m de alto, 0.11m de ancho y 0.128m de largo, con una sección interna hueca de forma cilíndrica de 0.037m de alto y un radio de 0.08m.
2. La mufla está elaborada de aluminio, cuyo valor de calor específico (C_p) es igual a 880J/kg°C y densidad de 2700 kg/m³.
3. Como se mencionó anteriormente, la sección hueca dentro de la mufla está ocupada por un material denominado yeso Tipo II (β hemidrato “Blanca Nieves” o Yeso de Paris) y Tipo III (α hemidrato o Yeso piedra dental) cuyas densidades son 2600kg/m³ y 2700kg/m³ respectivamente. El calor específico del yeso de Paris, el cual será usado para este cálculo, es igual a 4700J/kg °C.
4. Temperatura inicial de 5°C y temperatura final máxima de 60°C, $\Delta T=55^\circ\text{C}$, obtenida de la Tabla 1.
5. Con base en las páginas y catálogos consultados [28] [29] [30], las medidas de la resistencia tipo tira con cerámica son los siguientes: Ancho de 0.06477m, espesor de 0.003175m, un largo total de 0.10m y una zona de calentamiento de 0.035m a lo largo de la resistencia.

Usando la información proporcionada, se comenzó por el cálculo del área de la resistencia eléctrica, un paralelepípedo, dada por la expresión:

$$A_{resistencia} = 2Le + 2La + 2ea$$

Donde L es la largo del paralelepípedo, e el espesor, y a el ancho, todos medidos en metros. Sustituyendo:

$$A_{resistencia} = 2(0.035m)(0.003175m) + 2(0.035m)(0.06477m) + 2(0.003175m)(0.06477m)$$

$$A_{resistencia} = 2.2 \times 10^{-4} m^2 + 0.0045 m^2 + 0.0004 m^2 = 0.005 m^2 = 50 cm^2$$

Obtenida el área de la resistencia eléctrica, se realizó el cálculo del volumen de la mufla dado por la fórmula:

$$V_{mufla} = L \times a \times c$$

Donde L es la longitud del paralelepípedo, c el alto, y a el ancho, todos medidos en metros. Sustituyendo:

$$V_{mufla} = (0.128m)(0.11m)(0.042m) = 0.000591m^3$$

Calculando la sección hueca del elemento, con la expresión:

$$V_{int} = \pi r^2 h$$

Sustituyendo:

$$V_{int} = \pi(0.04m)^2(0.037m) = 0.000186m^3$$

Obteniendo el volumen total:

$$V_{total} = V_{mufla} - V_{int} = 0.000591m^3 - 0.000186m^3 = 0.000405m^3$$

Calculando la masa a través de la expresión:

$$m = \rho V$$

Donde ρ es la densidad del material en kg/m^3 y V es el volumen del elemento en m^3 .

Calculando la masa de la mufla se tiene:

$$m_{mufla} = \left(7874 \frac{kg}{m^3}\right) (0.000405m^3) = 3.188kg$$

Haciendo uso del yeso Tipo II para este cálculo, se sustituyeron los valores para la obtención de la masa:

$$m_{yeso} = \left(2600 \frac{kg}{m^3}\right) (0.000186m^3) = 0.4836kg$$

Una vez obtenidas las masas de los elementos y haciendo uso de la formula no.14 y con una diferencia de temperatura de $55^\circ C$, se hizo la obtención del calor de la mufla y del material interior:

$$Q_{mufla} = m_{mufla} \cdot C_{pmaterial} \cdot \Delta T = (3.188 kg) \left(450 \frac{J}{kg^\circ C}\right) (55^\circ C) = 78903 J$$

$$Q_{yeso} = m_{yeso} \cdot C_{pyeso} \cdot \Delta T = (0.4836 kg) \left(4700 \frac{J}{kg^\circ C}\right) (55^\circ C) = 125010.6 J$$

Obteniendo el calor total del sistema:

$$Q_{Total} = Q_{mufla} + Q_{yeso} = 78903 J + 125010.6 J = 203913.6 J$$

Dividiendo el calor total obtenido entre un rango de tiempo propuesto hizo posible obtener el calor transmitido por unidad de tiempo (s) correspondiente a la potencia requerida por el sistema. Proponiéndose un rango de tiempo $t=10 \text{ min}=600s$ para este dispositivo de calentado, se tiene que:

$$Potencia\ total = \frac{Q_{Total}}{t} = \frac{203913.6 J}{600s} = 339.856 \frac{J}{s} = 339.856W$$

Por otra parte, calculando la potencia emitida por la resistencia eléctrica, siendo su densidad de potencia igual a $7W/cm^2$, se obtuvo:

$$Potencia\ resistencia = 7 \frac{W}{cm^2} (50cm^2) = 350W$$

Finalmente, dividiendo el área de calentado entre el área de la resistencia se obtuvo el número aproximado de resistencias a utilizar:

$$No. resistencias = \frac{Potencia\ total}{Potencia\ resistencia} = \frac{339.856W}{350W} = 0.97 \approx 1\ resistencia$$

Por lo tanto, son necesarias aproximadamente 1 resistencias eléctricas con las características descritas anteriormente para llevar a cabo el calentado de una sección de la mufla en un tiempo estimado de 10 min, siendo posible reducir este tiempo dado el resultado obtenido.

Posteriormente, así como en el apartado anterior, se procedió a determinar la intensidad de corriente a consumir por dichos elementos.

La intensidad de corriente que consume cada una de las resistencias eléctricas seleccionadas se calculó por medio de la ecuación de potencia:

$$P = VI$$

Donde P , es la potencia en Watts (W), V la tensión suministrada en Volts (V) e I la intensidad de corriente que recorre el elemento en Amperes (A).

Despejando I , se tiene:

$$I = \frac{P}{V}$$

Sustituyendo los valores de las resistencias eléctricas, siendo la potencia para resistencias tipo cartucho tira cerámica a 100W, se obtiene:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{100W}{120V} = 0.83W\ por\ resistencia$$

Por lo tanto, la intensidad de corriente consumida por las dos resistencias tipo tira cerámica que constituyen el sistema de precalentado para la mufla corresponde a 1.66W.

Obtenido el número de resistencias y su respectivo consumo de intensidad de corriente, se prosiguió a la definición del sistema de control y de sensado. En función de las selecciones llevadas a cabo en el apartado anterior para un dispositivo de calentado basado en resistencias como en la presente sección, se definió el empleo de un control de temperatura compacto N1030 y un sensor tipo K, ya que cumplen con los requerimientos necesarios para el adecuado manejo y funcionamiento del dispositivo.

La propuesta del gabinete que albergara la sección principal del sistema de precalentado para la mufla se muestra en la Figura 50. Se propuso el empleo de láminas de acero inoxidable AISI 304 para su elaboración debido a sus propiedades de trabajo (ductilidad, soldadura y pulido) y resistencia a la fluencia, las cuales son útiles para las condiciones presentadas en esta fase. También cuenta con material aislante en sus paredes, montado y sostenido por medio de perfiles cuadrados colocados a los costados de la estructura a fin de servir como punto de apoyo para la instalación de las resistencias eléctricas y evitar el flujo de calor entre estas y el conjunto estructural.

Por otra parte, se propuso la integración en un único módulo del gabinete del sistema de precalentado para la mufla y del gabinete del dispositivo para la termoplastificación del

material, a fin de simplificar el diseño del prototipo y facilitar su manejo en lo referente a su traslado al tratarse de una sola unidad. Este gabinete, como se mencionó en la sección anterior, estará unido al gabinete de la interfaz usuario-máquina a fin de facilitar la conexión y comunicación de los componentes relacionados entre ambos sistemas. Las conexiones eléctricas y cables fluirán por medio de secciones y aberturas elaboradas en posiciones específicas dentro de los gabinetes.

El dibujo técnico correspondiente a esta estructura se presenta en el apéndice del presente documento.

El proceso de sustracción de la mufla, por la parte superior del gabinete, se llevará a cabo de forma manual haciendo uso de guates u otros elementos de seguridad.

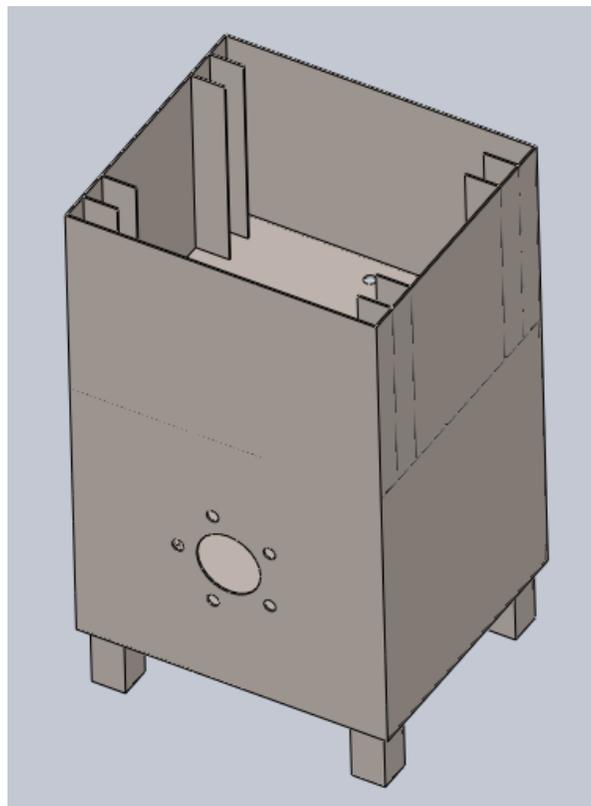


FIGURA 50. VISTA LATERAL DE LA CARCASA DEL SISTEMA DE PRECALENTADO PARA LA MUFLA

De esta forma, se da por concluido el diseño de detalle del sistema de precalentado para la mufla.

3.4 INTERFAZ USUARIO-MÁQUINA Y SISTEMA DE ALERTA

La interfaz usuario-máquina es el medio que permite la interacción y control de la operatividad y funciones del prototipo en cuestión por parte del usuario a lo largo del proceso

ejecutado. Dichas operaciones se hacen por medio de componentes y elementos que se busquen de fácil interpretación y de uso intuitivo en la mayor parte de los casos.

Como paso inicial en la construcción de la interfaz usuario-máquina, acorde a los requerimientos buscados, se abordaron las cuestiones relacionadas a la selección de temperaturas por parte de los dispositivos de calentado, así como la definición del tiempo en el dispositivo de calentado para la termoplastificación del material. Partiendo de ello, la selección y control de las temperaturas en ambos dispositivos, así como el sistema de alerta correspondiente, fue cubierta por medio de la selección del control de temperatura N1030, componente que facilita la operatividad de los dispositivos a utilizar, permitiendo el ahorro de tiempo y recursos por medio del empleo de tecnologías de control ya desarrolladas.

El encendido de los sistemas se realiza por medio de un botón led en el costado izquierdo del gabinete de la interfaz usuario-máquina y cuya señalización recae en un piloto led color verde situado en la sección superior izquierda. La alimentación de los sistemas se realiza por medio de una clavija tipo macho empotrada en el costado izquierdo de la unidad y un cable con conexión desmontable.

Dentro de la interfaz se incluyó igualmente un sistema de selección para el tiempo de plastificado el cual, con base en la selección obtenida en la etapa de diseño conceptual, se constituyó por una LCD16x2 debido a la simplicidad de su uso e interpretación por parte del usuario; así mismo se decidió el empleo de un teclado matricial alfanumérico rígido 4x4 para la captura de información, por su facilidad de operación. El precio relativamente reducido de ambos componentes presentó un factor decisivo en su elección.

Para el sistema de alerta, que indica la conclusión del tiempo de termoplastificación del material, se decidió hacer el empleo de un módulo buzzer activo de entre 3V a 8V a 40mA de alimentación y un foco piloto led de señalización color azul de alto brillo de 12V y 20mA; esto con el fin de emitir una alarma simultánea de tipo sonora y visual intermitente que indique con mayor facilidad y exactitud al usuario el final de dicho proceso, diferenciándolo de otras alertas e indicadores del prototipo.

Finalmente, en lo referente al control y manejo de la información generada por los diferentes sistemas y dispositivos, se decidió por el uso de un microcontrolador tipo AVR. La selección de este microcontrolador por encima de otros como el PIC se debió a las siguientes razones:

1. Para los microcontroladores AVR se pueden encontrar compiladores en lenguaje C, C++, Basic, brindando la ventaja de no ser necesario aprender o saber lenguaje tipo ensamblador y la posibilidad de trabajar en un lenguaje más común para el programador.
2. La existencia de material de consulta y educacional con relación a los microcontroladores AVR, permitiendo una programación más sencilla basada en referencias de fácil acceso.
3. La complejidad del circuito programador por cuestiones relacionadas al puerto de programación y el empleo de alto voltaje por parte de la familia de microcontroladores PIC en contraste con la familia AVR.

4. Los AVR presentan un consumo reducido de tensión y corriente, permitiendo practicidad en su alimentación.
 5. El coste de los microcontroladores AVR es mucha más accesible que el de los PIC's.
- [31]

El microcontrolador seleccionado fue el AVR ATmega16, debido principalmente al número de entradas/salidas programables con las que cuenta.

El diseño del gabinete donde montar los elementos y componentes de interacción directa de la interfaz usuario-máquina se muestra en la Figura 51. Se realizó en lámina de acero inoxidable AISI 304, debido a sus propiedades de trabajo (ductilidad, soldadura y pulido) y resistencia a la fluencia. Como puede observarse, la localización de los componentes está asignada de forma que sea de fácil acceso y manejabilidad por parte del usuario.

El dibujo esquemático de esta estructura se presenta en el apéndice del presente documento.

Finalmente, en la Figura 52 se visualiza la integración estructural final del gabinete de la interfaz usuario-máquina y del gabinete correspondiente al dispositivo de calentado para la termoplastificación del material y sistema de precalentado para la mufla. Dicha unión se realizó mediante el empleo de perfiles cuadrados de acero de 3/4" que presentan una separación de 5.5 cm como se indicó con anterioridad; ello con el fin de evitar contacto directo entre los elementos por cuestiones de seguridad debido a las transferencias térmicas presentes que puedan afectar la integridad y funcionalidad de los elementos y componentes.

También como puede apreciarse, ambos gabinetes cuentan con soportes ajustables en sus bases para nivelar su altura acorde a las necesidades del usuario y mantener una equidistancia entre elementos.

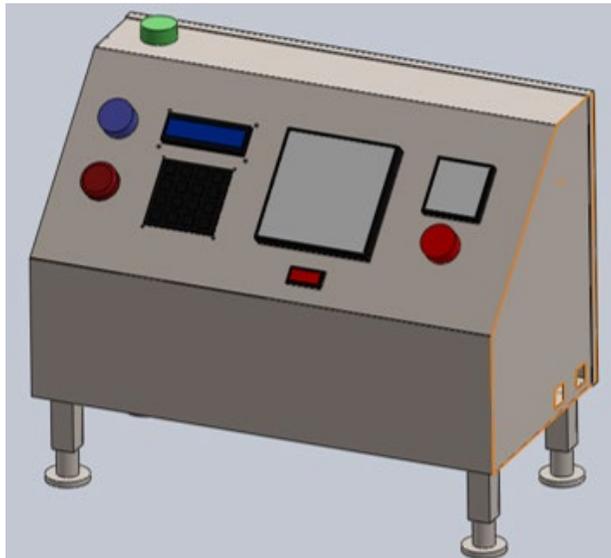


FIGURA 51. VISTA LATERAL DEL GABINETE DE LA INTERFAZ USUARIO-MÁQUINA

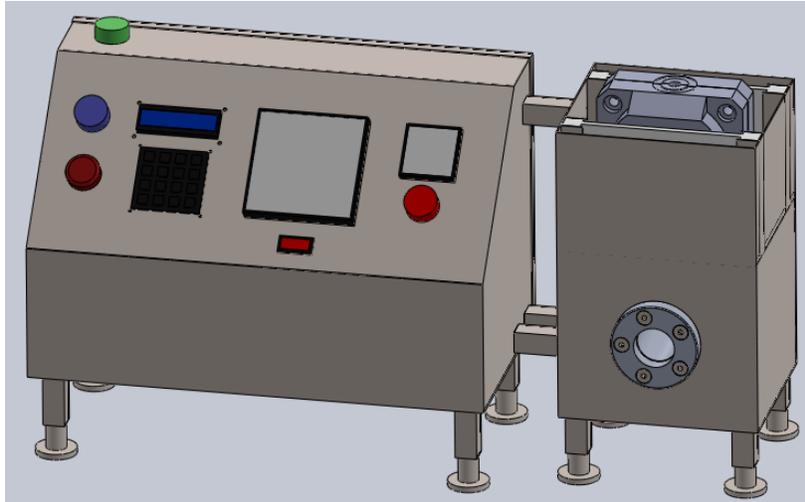


FIGURA 52. VISTA LATERAL DEL GABINETE FINAL INTEGRADO POR LA INTERFAZ USUARIO-MÁQUINA Y LOS DISPOSITIVOS DE CALENTADO

Con esto se concluye el diseño de detalle de la sección de interfaz usuario-máquina y sistema de alerta.

A continuación, se presenta el planteamiento de la organización y distribución de los diferentes sistemas dentro del prototipo de inyectora de materiales termoplásticos flexibles para prótesis dentales:

El sistema de inyección del prototipo se montó sobre una configuración estructural vertical, a fin de favorecer el flujo de material gracias a la acción gravedad. La altura manejada contemplo las dimensiones del cilindro portacartuchos, la mufla, y el sistema de inyección, los cuales intervienen en la fase de inyección, a fin de evitar problemas durante el proceso. Así mismo, se ranuro el perfil de la mufla sobre la base de la estructura del sistema de inyección, a fin de facilitar al usuario el posicionar el elemento al momento de dar comienzo el proceso de inyección.

Dicha estructura está unida por medio de 4 soportes elaborados a base de tubos de acero SAE 4041 de 1" de diámetro (ver Figura 53). La selección se realizó tomando en cuenta la alta tenacidad y resistencia del material dada la magnitud de las fuerzas manejadas durante el proceso de inyección. Las placas base inferior y superior del sistema estructural se presentan en la Figura 54 y la Figura 55 respectivamente, ambas con los barrenados requeridos para cada uno de los elementos a ensamblar. Estas placas están elaboradas de hierro dulce dadas sus propiedades de ductilidad y facilidad de maquinado.

También se contempló dentro del diseño la instalación de una base de soporte para el motorreductor hecha de hierro dulce, a fin de servir como guía y apoyo a este componente.

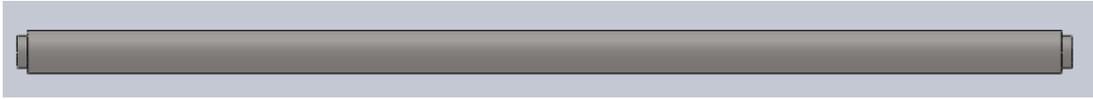


FIGURA 53. SOPORTE ESTRUCTURAL

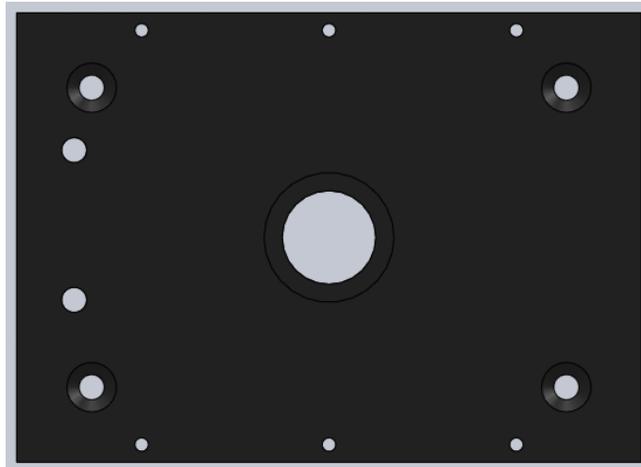


FIGURA 54. VISTA SUPERIOR PLACA BASE SUPERIOR

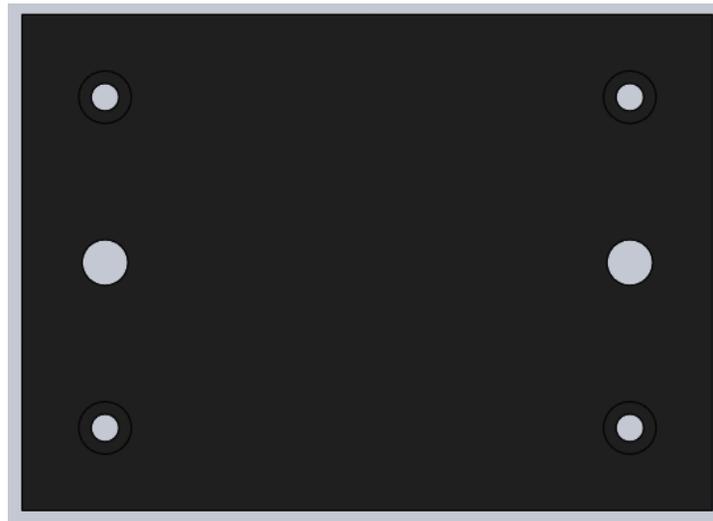


FIGURA 55. VISTA SUPERIOR PLACA BASE INFERIOR

Con el fin de impedir el desensamble y desalineamiento del acoplamiento del motorreductor-sistema de inyección con respecto a la placa superior de la estructura, se aseguró el elemento por medio de un rodamiento; permitiendo la transmisión de la potencia de giro sin generar inestabilidad en el sistema de inyección.

En la Figura 56 se muestra el montaje final del sistema de inyección del prototipo de inyectora de materiales termoplásticos para prótesis dentales dadas las especificaciones anteriores

En la Figura 57 y la Figura 58, se muestran los resultados del estudio estático de las tensiones y del estudio estático de los desplazamientos realizados a la estructura del sistema de inyección empleando una fuerza de 900N focalizada en el pistón de inyección del tornillo de potencia. Como puede apreciarse, se presentó un pandeo en la zona correspondiente a la línea del eje del sistema de inyección, debido a las características y configuración de los elementos que los vuelve susceptibles. Interpretando los datos arrojados, se concluyó que no se presenta un pandeo considerable dado el valor de von Mises calculado con anterioridad para este efecto, por lo cual la deformación crítica mostrada es aceptable.

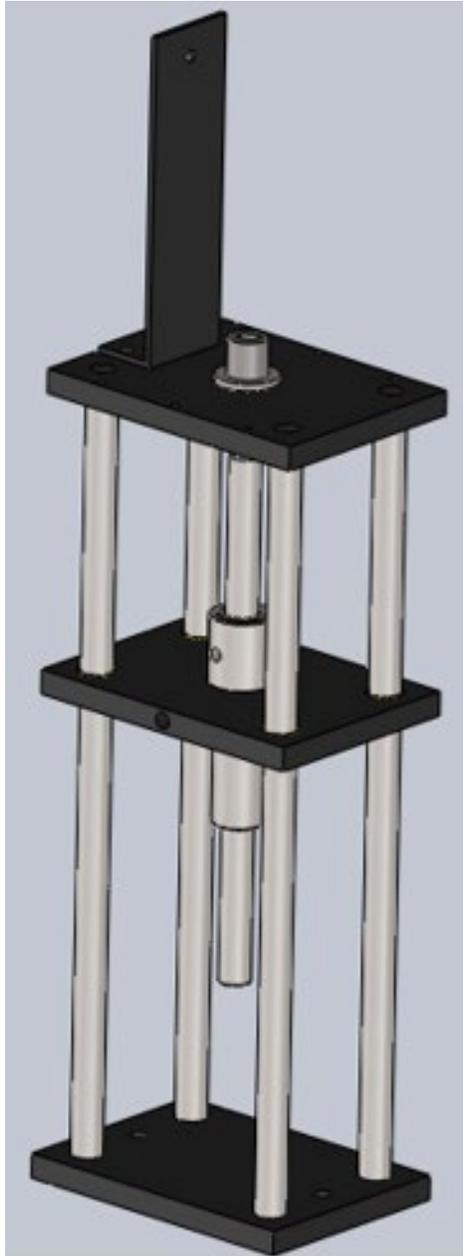


FIGURA 56. MONTAJE ESTRUCTURA, SISTEMA DE INYECCIÓN

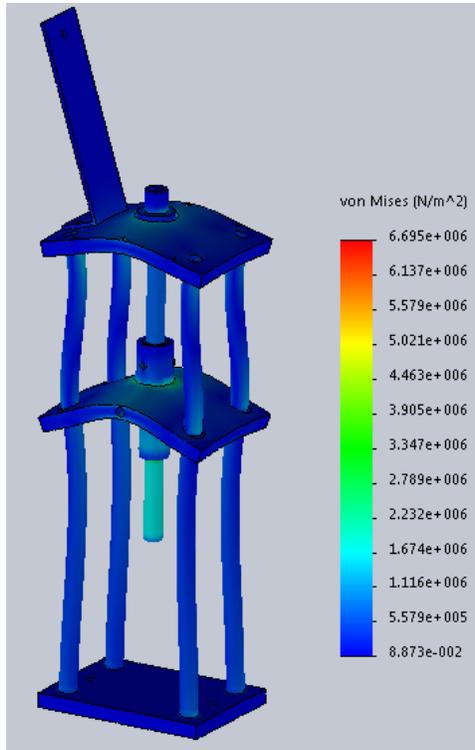


FIGURA 57. ANÁLISIS ESTÁTICO -TENSIONES. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE INYECCIÓN

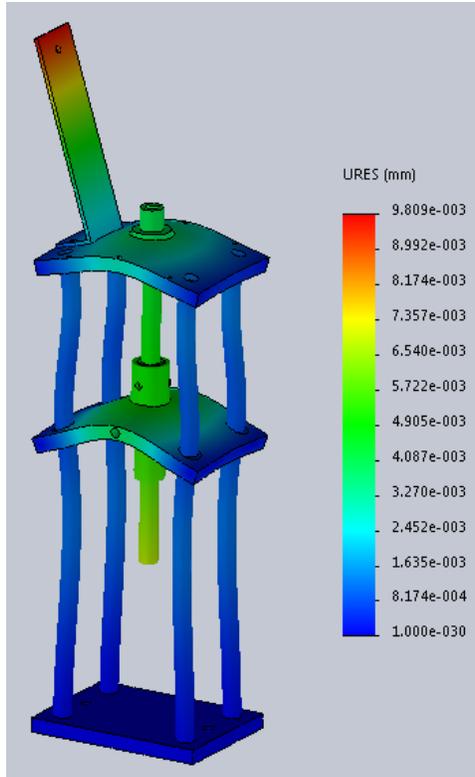


FIGURA 58. ANÁLISIS ESTÁTICO - DESPLAZAMIENTOS. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE INYECCIÓN

El sistema de inyección y el gabinete de la interfaz usuario-máquina - dispositivos de calentado se encuentran de forma independiente en su cuestión estructural, a fin de permitir una mejor movilidad de los elementos.

En la Figura 59 y la Figura 60, se muestran diversas perspectivas de la integración final del prototipo de inyectora de materiales termoplásticos flexibles para prótesis dentales.

La conexión entre el motorreductor y el control de ángulo de fase montado en el interior del gabinete de la interfaz usuario-máquina se realiza por medio de un cable de conexión y una clavija, a fin de facilitar el montaje y desmontaje de los dispositivos. Así mismo, el motorreductor fue cubierto con un gabinete a fin de aislarlo del medio y evitar accidentes o fallos en su funcionamiento.

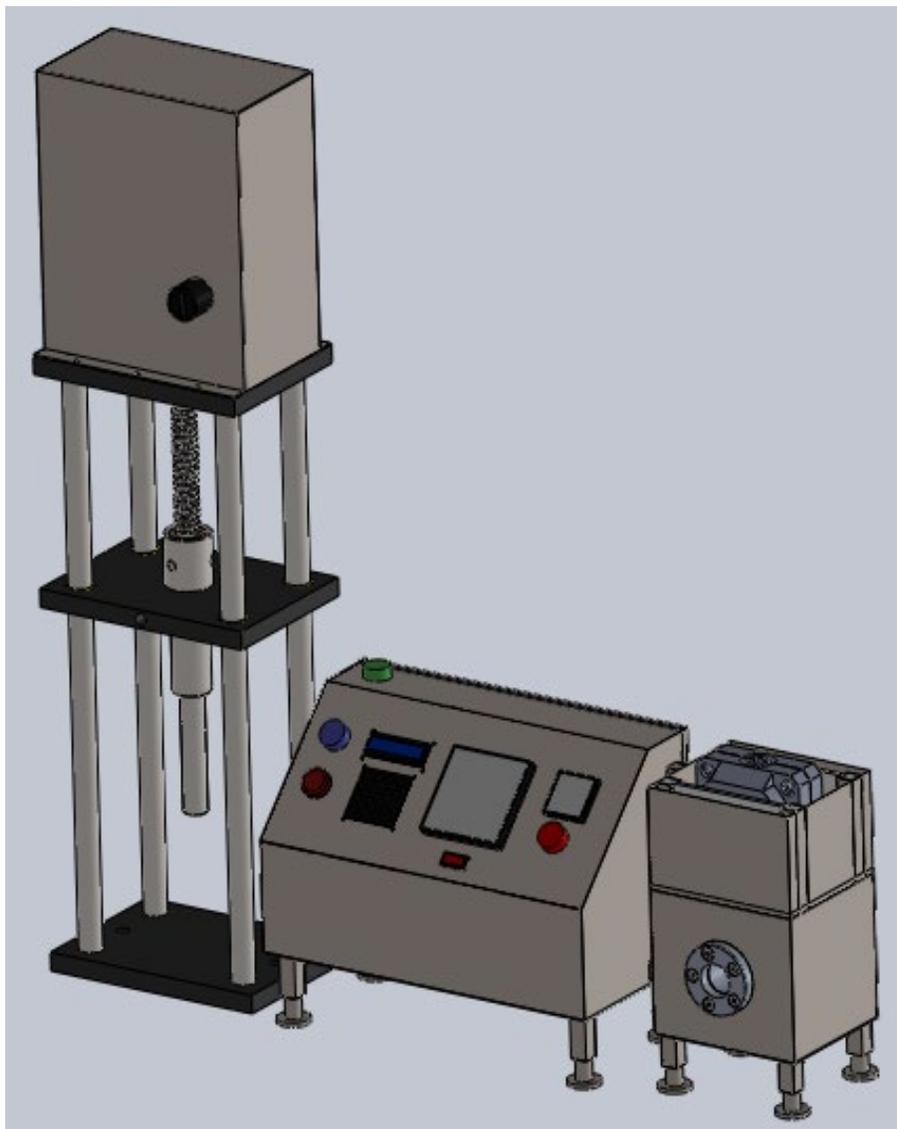


FIGURA 59. VISTA LATERAL DE PROTOTIPO DE INYECTORA DE MATERIALES TERMOPLÁSTICOS FLEXIBLES PARA PRÓTESIS DENTALES

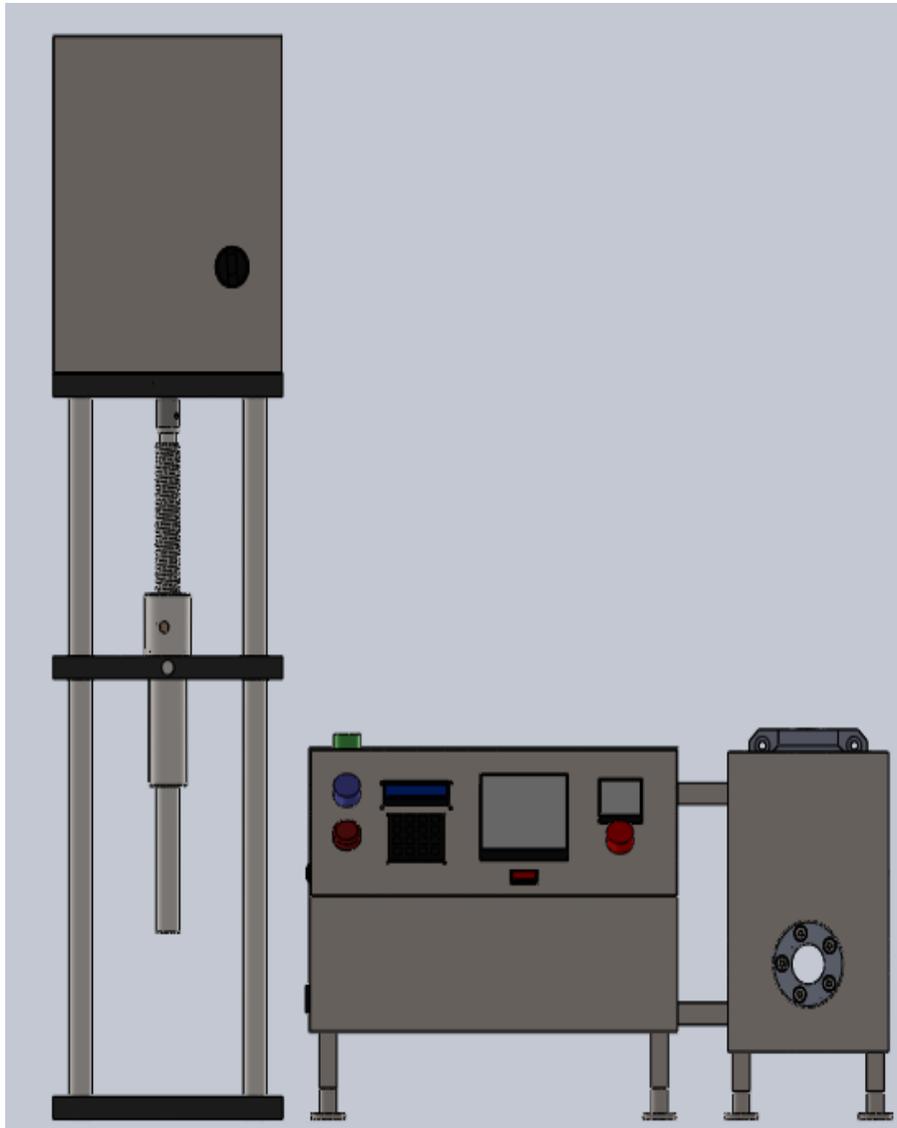


FIGURA 60. VISTA FRONTAL DE PROTOTIPO DE INYECTORA DE MATERIALES TERMOPLÁSTICOS FLEXIBLES PARA PRÓTESIS DENTALES

Para finalizar, se describe de forma breve el comportamiento general de prototipo:

Se comienzan las operaciones iniciando los sistemas y dispositivos del prototipo, cuya activación será indicada por un piloto led color verde en la sección superior izquierda de la consola de la interfaz usuario-máquina una vez accionado el botón led de encendido. Sucesivamente el mecánico dental hace la preparación del cartucho de material termoplástico, insertándolo dentro del cilindro portacartuchos seguido del tope de inyección que aísla el mismo del medio.

Posterior al preparado del material; el mecánico dental ingresa en el primer controlador de temperatura N1030, montado del lado derecho en la cara frontal del gabinete de la interfaz

usuario-máquina, la temperatura máxima a alcanzar por parte del dispositivo de calentado para la termoplastificación del material, iniciándose el proceso de calentado.

Una vez alcanzada la temperatura asignada, el sistema de alerta conformado por un piloto led color rojo indicara al mecánico dental que se puede ingresar el cilindro portacartuchos en el acceso del dispositivo de calentado para la termoplastificación del material que se encuentra en la sección derecha de la consola de la interfaz usuario-máquina. Realizado esto, el mecánico dental procede a ingresar el tiempo de termoplastificación, asignado a cada material por el fabricante, haciendo uso del teclado matricial rígido que se encuentra montado en la consola de la interfaz; la información ingresada se desplegara en el display LCD16x2 localizado arriba del teclado.

Al mismo tiempo, el mecánico dental puede comenzar el proceso de precalentado de la mufla, montando la misma en el sistema de precalentado para la mufla localizado en la parte superior del gabinete en la sección de dispositivos de calentado. Posteriormente se hace la selección de la temperatura mediante el segundo control de temperatura N1030 ubicado en el centro de la cara frontal del gabinete de la interfaz usuario-máquina.

Pasado el tiempo designado para su calentado, se hace el retiro de la mufla haciendo uso del equipo de seguridad, dada la temperatura de la superficie, y se coloca en la parte inferior de la estructura del sistema de inyección.

Alcanzado el tiempo de termoplastificación, el sistema dará aviso al mecánico dental por medio de una alerta de tipo visual y sonora basada en un piloto led color azul, localizado a un costado de la LCD16X2, y un buzzer; procediéndose entonces al retiro del cilindro portacartuchos del dispositivo de calentado para la termoplastificación del material.

Retirado el cilindro portacartuchos y posicionada la mufla en la estructura del sistema de inyección, se procede a alinear los elementos de forma que queden bajo la misma línea de acción del sistema de inyección. Realizado esto, se acciona el motorreductor presionando el botón localizado al costado izquierdo de la consola de la interfaz usuario-máquina, haciendo bajar el tornillo de potencia el cual inyecta el material termoplástico. En caso de presentarse una emergencia durante el proceso, el usuario puede dejar de accionar el botón y la potencia suministrada al motor será interrumpida.

Continuando con el proceso de inyección, el husillo de inyección genera presión sobre el tope de inyección al tiempo que este elemento la ejerce sobre la parte superior del cartucho de material; el incremento de la presión rompe el sellado de la boquilla del tubo de material y obliga al termoplástico a fluir a través de los canales del portacartuchos y mufla hasta llenar el molde.

Con base en la observación, el usuario determinará si se ha completado la inyección del material tras lo cual dejará de presionar el botón de accionado del motor, parándolo, y dando paso al enclavamiento del tornillo de potencia; el cual, a razón del autobloqueo, permanecerá en la posición final a fin de evitar variaciones de la presión en el molde mientras se da el proceso de enfriado.

Enfriado el molde, se procede al retiro del tornillo de potencia accionando nuevamente el botón (visto de arriba hacia abajo) de la consola de interfaz usuario-máquina e invirtiendo el giro del motor por medio de un botón de selección, tras lo cual se realiza el retiro del cilindro portacartuchos y la disposición de la mufla y de los residuos resultantes; dando con ello fin al proceso de fabricación de prótesis dentales.

Cabe recalcar que cada uno de los elementos de control y accionamiento contarán con sus respectivos rótulos de identificación a fin de evitar confusión durante las operaciones.

CAPÍTULO IV. INTEGRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA

En el desarrollo de este capítulo, se profundizará en el proceso de montaje y fabricación de cada uno de los dispositivos y sistemas que integran el prototipo de inyectora de materiales termoplásticos flexibles para prótesis dentales, acorde a los lineamientos establecidos en los apartados anteriores

4. 1 SISTEMA DE INYECCIÓN

Como se había manejado a lo largo de los capítulos anteriores, el sistema de inyección es uno de los pilares en el proceso de fabricación de prótesis dentales. Dentro de las problemáticas a resolver se encuentra la cuestión de la sobreinyección y como controlarla; razón por la cual, con base en las selecciones realizadas, se definió el uso de un controlador de ángulo de fase para el control del motor que proporcionara la potencia requerida por el sistema para efectuar su actividad.

Para la sujeción del elemento de acoplamiento del motor del-sistema de inyección, y como se mencionó con antelación, se empleó un rodamiento como eje principal, como se muestra en la Figura 61.

El motorreductor obtenido para este sistema fue un motor de tipo médico para su uso en camas eléctricas. Debido a sus características de torque y velocidad angular se consideró la opción más viable para su empleo en el sistema de inyección. El motor Hill-Rom K37MYC223332 (ver Figura 62) presenta un torque de 60 con una velocidad angular de 75 RPM; además de contar con una bobina auxiliar para la perdida de tensión y un control de cambio de giro integrado, por lo que su desarrollo no fue requerido.



FIGURA 61. ACOPLAMIENTO MOTOR-SISTEMA DE INYECCIÓN Y RODAMIENTO



FIGURA 62. MOTORREDUCTOR

Al ser un motorreductor, se presentaron ciertas dificultades en lo relacionado al control de la velocidad, sobre todo en lo concerniente a la calibración del control de ángulo de fase; ya que, dada la naturaleza del elemento a controlar, se presentaba una considerable compensación de la pérdida de carga por parte del mismo motorreductor, lo cual hacía poco visible el cambio de velocidad. La etapa de potencia fue de especial cuidado sobre todo en lo relacionado al cuidado del voltaje de alimentación y cubrir la corriente mínima de 15mA para el disparo del elemento MOC empleado. Los disparos se efectuaron en un intervalo de medio segundo en sincronía con el elemento LM555 el cual envía un tren de pulsos para dicho efecto.

El diagrama electrónico del control de ángulo de fase se muestra en la Figura 63, siendo presentado su diseño PCB en la Figura 64.

En la Figura 65 se muestra la placa final. Como se puede apreciar, se incluyó una fuente de 5V a 1 ampere por cuestiones de practicidad en lo relacionado a la alimentación de otros elementos

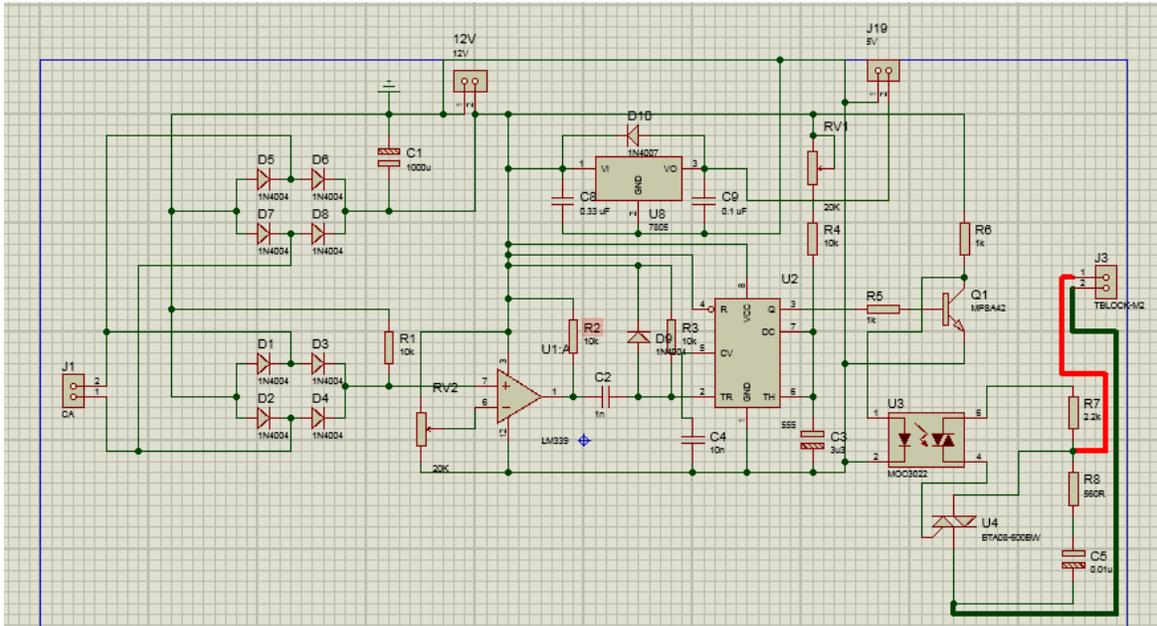


FIGURA 63. DIAGRAMA ELECTRÓNICO DEL CONTROL DE ÁNGULO DE FASE

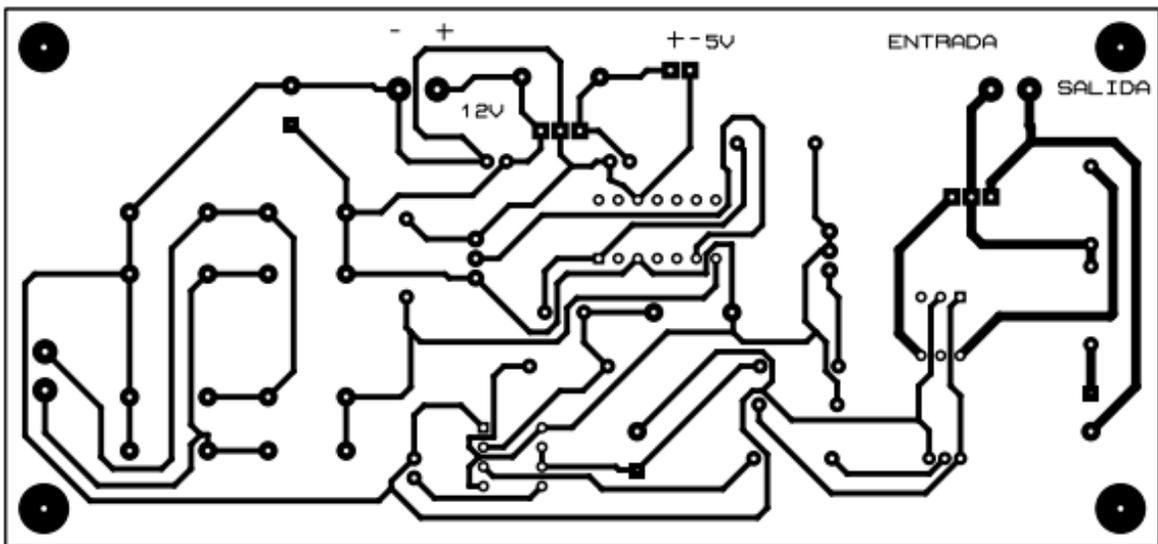


FIGURA 64. PCB CONTROL DE ÁNGULO DE FASE



FIGURA 65. PLACA FINAL CONTROL DE ÁNGULO DE FASE

El motor se colocó de forma vertical sobre el acoplamiento para el tornillo de potencia, sujetándolo a través del empleo del soporte del motor como se muestra en la Figura 66.

Por otra parte, con base en la observaciones presentadas por el jurado y a fin de evitar demoras en el proceso de inyección y agilizar la instalación de la mufla en el sistema de inyección, se diseñó, fabricó e instaló un conjunto de sujeciones de hierro dulce como se muestran en la Figura 67 y la Figura 68; permitiendo centrar la mufla de forma más sencilla, evitando así la pérdida de tiempo en la alineación del elemento antes de la inyección del material. Dicho conjunto de sujeciones está sujeto por medio de tornillos de 5/8" x 1" de largo, lo que permite su movilidad y adaptación a nuevas dimensiones de muflas según lo requerido. Su montaje final se muestra en la Figura 69.



FIGURA 66. MONTAJE MOTORREDUCTOR

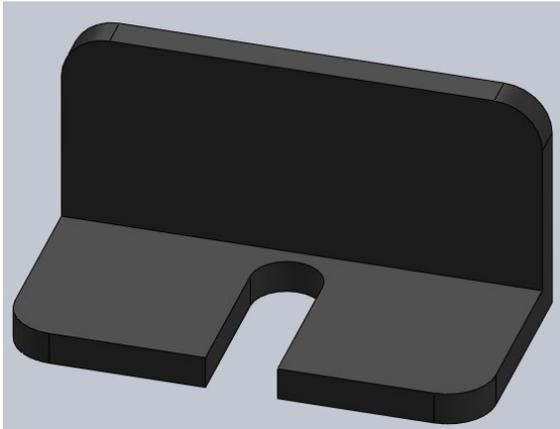


FIGURA 67. SUJECIÓN FRONTAL DE MUFLA

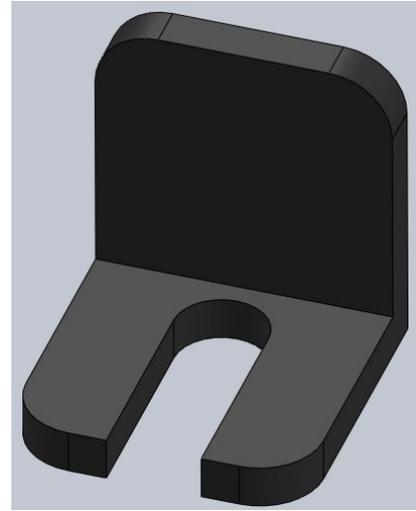


FIGURA 68. SUJECIÓN LATERAL DE MUFLA



FIGURA 69. MONTAJE SUJECIONES PARA LA MUFLA

Como se observó durante las pruebas de inyección y como dato del jurado evaluador; a causa de las fuerzas de reacción del proceso de inyección sobre el acoplamiento del motorreductor-sistema de inyección y el rodamiento instalado, se presentó desensamblaje y desalineación de los elementos que integran el sistema de inyección, lo cual a grandes rasgos repercute en la funcionalidad del sistema. Teniendo ello en mente, se realizó una pieza de sujeción en hierro dulce para la contención del rodamiento como se muestra en la Figura 70, a fin de evitar una posible expulsión del elemento y daños en el sistema. Su montaje final en la estructura principal del sistema de inyección se muestra en la Figura 71.

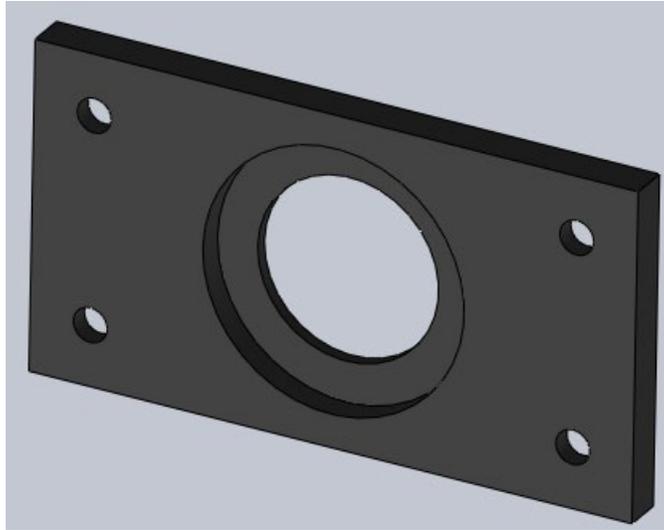


FIGURA 70. VISTA SUPERIOR DE ELEMENTO DE SUJECIÓN PARA RODAMIENTO



FIGURA 71. MONTAJE DE ELEMENTO DE SUJECIÓN PARA RODAMIENTO

El montaje final de los elementos que componen el sistema de inyección se muestra en la Figura 74 . Las placas de base inferior y superior fueron rediseñadas a consecuencia de los elementos estructurales agregados, mostrándose una vista parcial de los mismos en la Figura 72 y la Figura 73.

Se rotularon, para seguridad del usuario, señalizaciones rojas en el límite final de la carrera del tornillo de potencia con el propósito de evitar accidentes, caída de los elementos o generar esfuerzos por contacto entre superficies solidas que afecten la integridad del sistema en general.

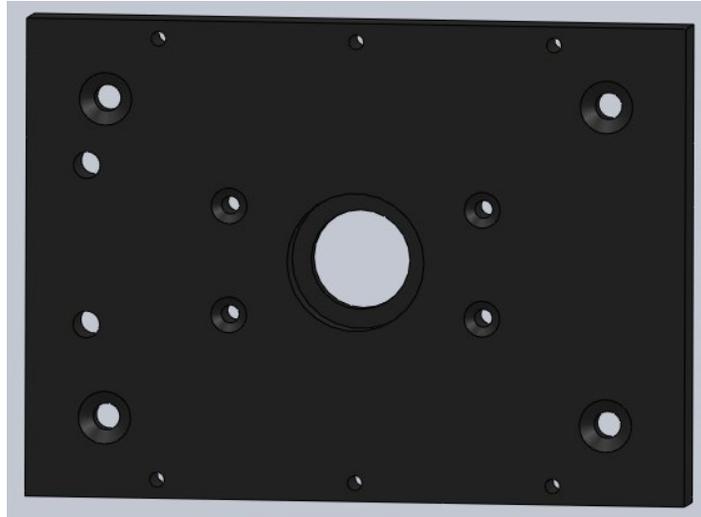


FIGURA 72. VISTA SUPERIOR PLACA BASE SUPERIOR

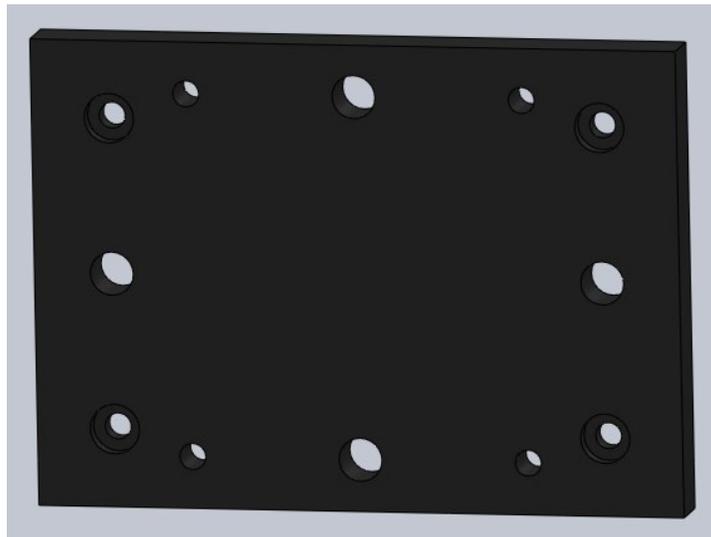


FIGURA 73. VISTA SUPERIOR PLACA BASE INFERIOR



FIGURA 74. MONTAJE FINAL DE SISTEMA DE INYECCIÓN

Los dibujos técnicos de las piezas modificadas se encuentran en la sección de apéndices letra A, reemplazándose los diseños previos.

4.2 DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL

El dispositivo de calentado para la termoplastificación del material presentó cambios con respecto al tipo de material aislante utilizado debido a la dificultad de instalación que presento el aislante escogido, así como el riesgo de transmisión de calor por medio de los elementos de sujeción a utilizar llámense tornillo o pijas. Para ello se empleó una tabla de asbesto dada la facilidad de manejo, propiedades térmicas del material, y facilidad de obtención.

En la Figura 75, se presenta el montaje final del horno con los elementos resistivos y aislantes en primer plano, haciendo uso de cable de alta temperatura como se mencionó en el apartado de diseño.

Así mismo el controlador de temperatura fue reemplazo por una versión más comercial, el XMTG8L8 (ver Figura 76), que posee características similares a las requeridas por el N1030, tales como: la posibilidad de trabajar con un control de tipo ON/OFF y PID, salidas de alarma, y el empleo de termopares tipo K como se especificó en la sección anterior del mismo nombre.



FIGURA 75. INTERIOR DEL DISPOSITIVO DE CALENTADO PARA LA TERMOPLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL



FIGURA 76. CONTROLADOR DE TEMPERATURA XMTG818

La etapa de potencia entre las resistencias eléctricas y el controlador digital está representada por un relevador de estado sólido SSRNC-425A (ver Figura 77) al ser descartado el uso de un relevador electromecánico debido principalmente a los picos de corriente y campo electromagnético generados por este último elemento, ya que afectan considerablemente el comportamiento de las placas y dispositivos electrónicos del prototipo.

El relevador de estado sólido suministra la potencia requerida por las resistencias, las cuales fueron conectadas en paralelo a sus terminales de salida a fin de no comprometer la potencia térmica de las mismas.



FIGURA 77. SSRNC-425A

Para el control del tiempo de termoplastificación del material, se programó un ATMEGA16 haciendo uso de los timers disponibles; usando el timer 0 para generar la señal PWM del buzzer y el timer 2 para el temporizador designado por el usuario. El código empleado se presenta en el apéndice B del presente documento.

El diseño electrónico y PCB para este microcontrolador se presenta en la Figura 78 y la Figura 79; donde se empleó igualmente una etapa de potencia haciendo uso un MOC3061; el cual incluye internamente la etapa de detección del cruce por cero para el encendido/apagado del piloto led correspondiente a la alarma de este control (parpadeo en el modo de alarma).

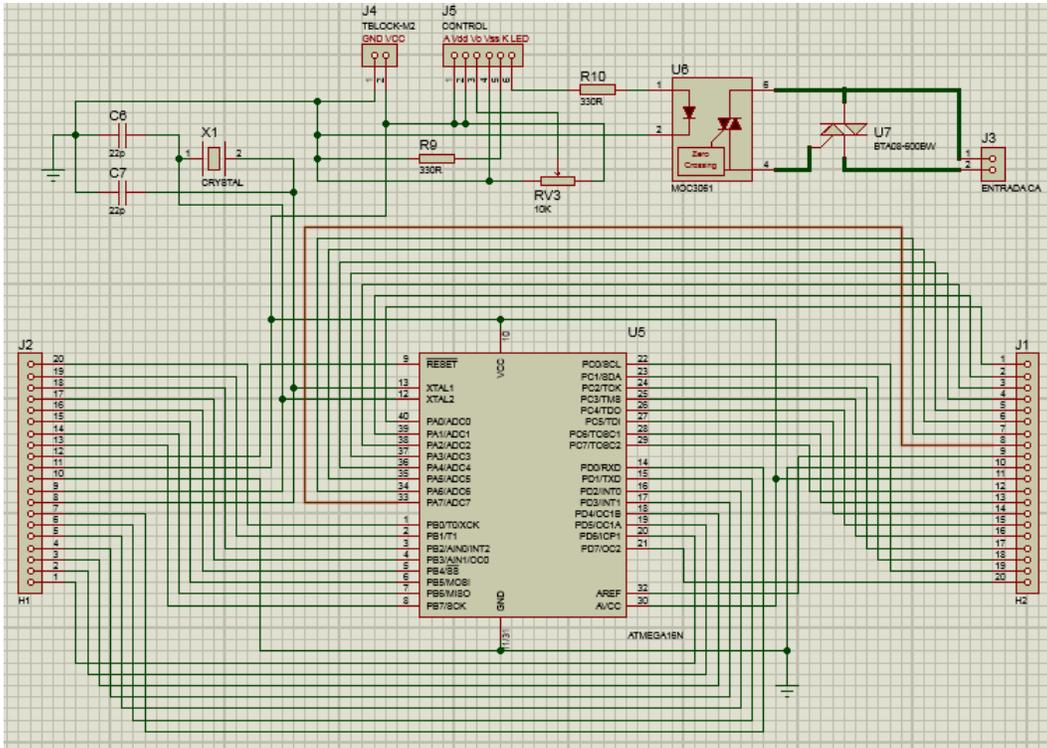


FIGURA 78. DIAGRAMA ELECTRÓNICO MICROCONTROLADOR

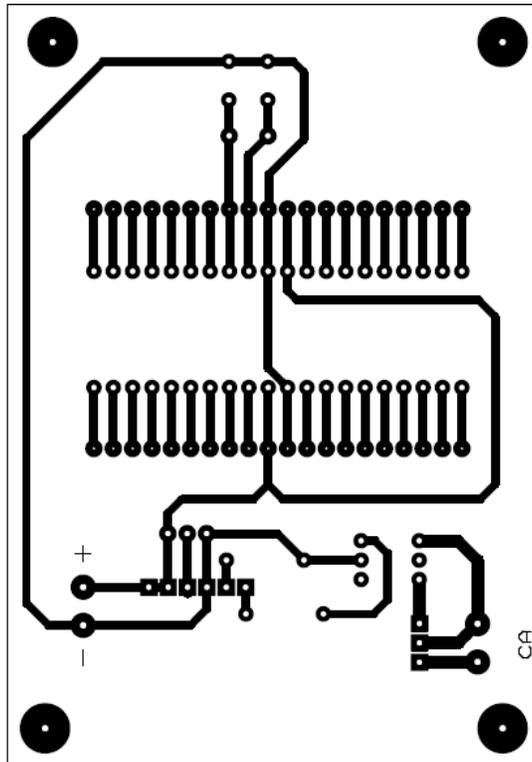


FIGURA 79. PCB MICROCONTROLADOR

4.3 SISTEMA DE PRECALENTADO PARA LA MUFLA

Para este dispositivo, los cambios más significativos estuvieron relacionados, así como en la sección anterior, al tipo de controlador de temperatura empleado y el tipo de aislamiento, agregando además un cambio en el tipo de termopar utilizado, pasando de un tipo K a un tipo J. La razón de dicho cambio se debe al rango de temperatura manejado por la mufla y al no ser requerida una lectura precisa para esta parte del proceso dadas las características del material utilizado, ya que la fluidez del material no se ve comprometida ante la temperatura de la mufla. El controlador de temperatura seleccionado para esta etapa se trata de un pirómetro analógico de tipo ON/OFF nombrado XM-TE96P, el cual cumple la función requerida de mantener la temperatura de la mufla en un intervalo aceptable. Este sistema hace uso de un termopar tipo J dado que su rango de acción es más reducido.

Así mismo, se hizo empleo del material asbesto para el recubrimiento de las paredes de este dispositivo dada su facilidad de manejo e instalación. Aprovechando su naturaleza sólida, se acondicionaron y montaron las resistencias eléctricas sobre el material aislante; entrando de esta forma éstas en contacto directo con las paredes de la mufla a fin de asegurar una buena transmisión térmica (ver Figura 81). Para la medición y registro de la temperatura, se colocó el termopar tipo J en la base del dispositivo, a fin de entrar en contacto directo con una de las caras de la mufla como se muestra en la Figura 80, enviado a su vez el cable de conexión a través de una abertura localizada bajo el elemento. El termopar tipo J se sujetó a la estructura haciendo uso de una abrazadera tipo metálica.

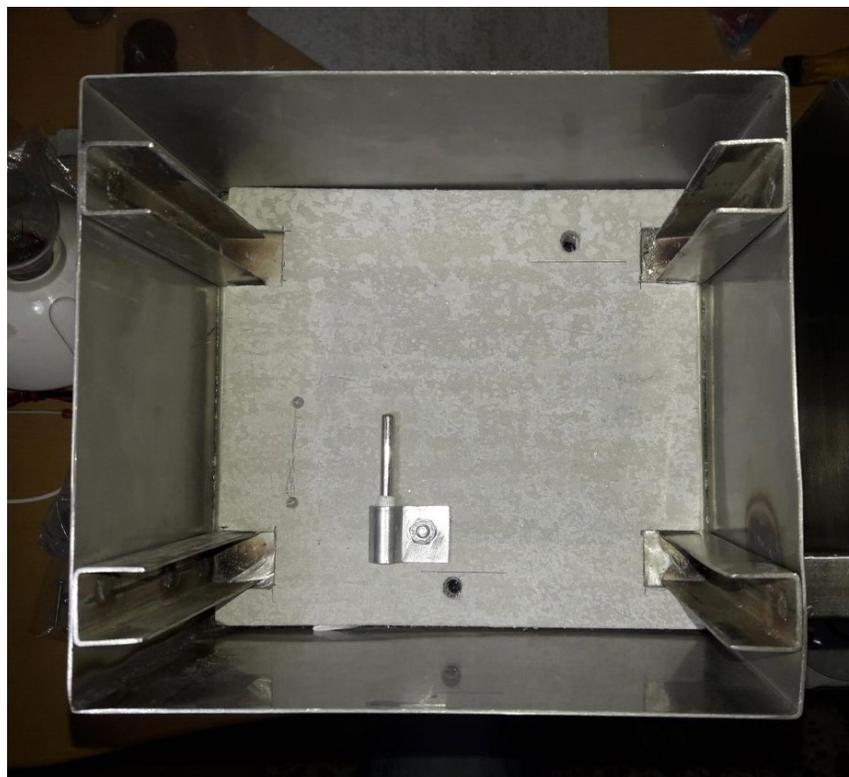


FIGURA 80. VISTA SUPERIOR DEL SISTEMA DE PRECALENTADO PARA LA MUFLA



FIGURA 81. MONTAJE DE RESISTENCIA ELÉCTRICA EN SISTEMA DE PRECALENTADO PARA LA MUFLA

4.4 INTERFAZ USUARIO-MÁQUINA Y SISTEMA DE ALERTA

Entre las cuestiones principales consideradas en esta sección, tomo importancia la de alimentar energéticamente cada uno de los dispositivos del prototipo en general sin hacer uso de grandes cantidades de espacio o derivaciones en el cableado. Para realizar la alimentación de CA requerida por los elementos correspondientes, se hizo uso de un block de terminales de 30A a 600V con 5 pares como el mostrado en la Figura 82. Así mismo se realizó el montaje de los elementos dentro del gabinete de la interfaz usuario-maquina tomando como base una tabla de acrílico, dadas sus propiedades aislantes y facilidad de manejo (ver Figura 83).



FIGURA 82. BLOCK DE TERMINALES DE 30A A 600V SERIE

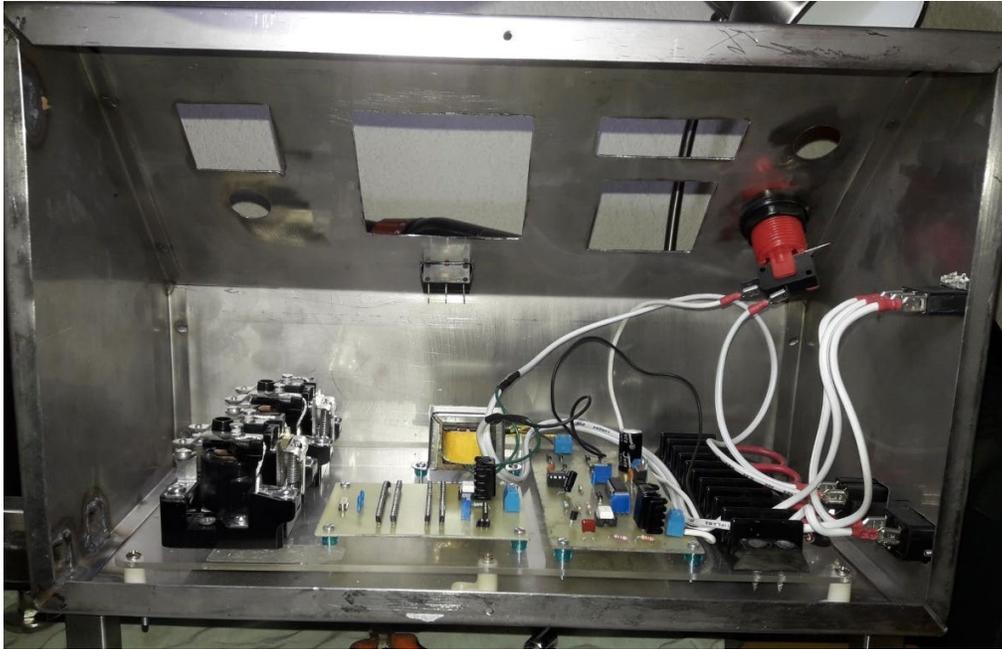


FIGURA 83. MONTAJE DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS INTERIOR DE GABINETE DE INTERFAZ USUARIO-MÁQUINA

Dado el efecto producido por el campo electromagnético de algunos dispositivos como son los controles de temperatura, el transformador e inclusive el block de terminales de alimentación del prototipo; se llevó a cabo el aislamiento de los dispositivos susceptibles a dichos fenómenos (LCD16X2, teclado matricial rígido de 4x4, placa de control de ángulo de fase y placa de microcontrolador) haciendo uso de placas de cobre montadas en forma de estructuras y barreras como medio de absorción y distribución de dichas ondas a fin de reducir su efecto e influencia en el comportamiento de dichos dispositivos (jaula de Faraday).

En la Figura 84 se observa el montaje interior final del gabinete de la interfaz usuario-máquina y sistema de alerta; como se observa, los elementos de relé de estado sólido están montados dentro de esta misma estructura con el fin de minimizar el espacio ocupado, siendo sus respectivas conexiones dentro del gabinete de los dispositivos de calentado enviadas a través de los conductos de unión inferiores mencionados con anterioridad.



FIGURA 84. MONTAJE INTERIOR FINAL - INTERFAZ USUARIO-MÁQUINA

La cotización estimada final del presente prototipo se presenta en las secciones finales del presente documento.

RESULTADOS

Para efectos del proceso de inyección y por medio de la comparación entre los resultados obtenidos en diferentes mediciones empíricas de un horno de uso común en el laboratorio dental consultado; se calibró el control de temperatura del dispositivo para la termoplastificación del material, estableciéndose para éste una temperatura de termoplastificación de 312°C con base en un control PID. Se presento un calentado uniforme y constante del material termoplástico utilizado (Partial Flex®).

El aislamiento térmico de los dispositivos de calentado se considera optimo, dado que limita la cantidad de calor presente en la superficie del gabinete de los dispositivos de calentado, así como mantiene el calor generado dentro de los sistemas, favoreciendo una reducción en la pérdida por transferencia térmica con el medio.

La Figura 85 presenta una fotografía de la prótesis obtenida después de realizado el proceso de inyección; con una duración aproximada de 5 segundos para la inserción del termoplástico en la mufla por el husillo de inyección, ejerciendo el motor su torque máximo equivalente a 60 con una velocidad de 75 RPM. La Figura 86, muestra una fotografía de la prótesis dental en bruto extraída del molde, comprobando la inyección exitosa del material termoplástico.

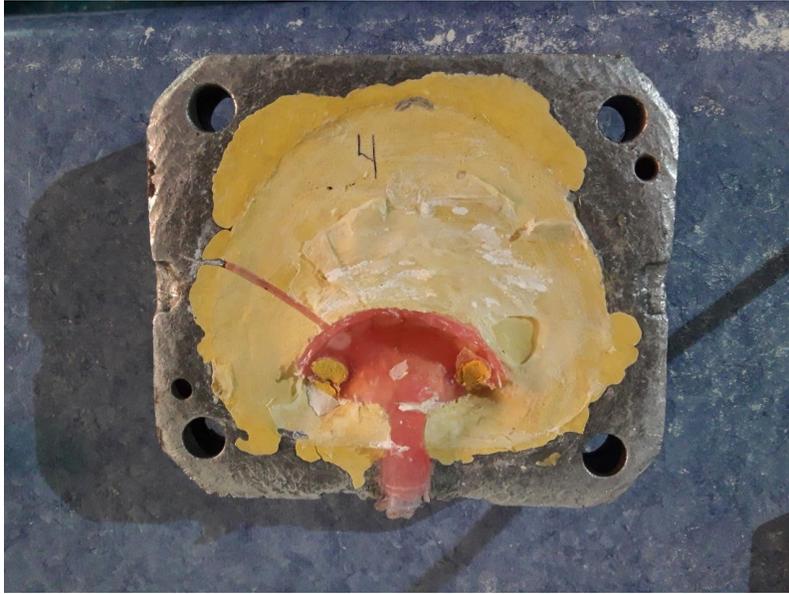


FIGURA 85. PROTESIS TRAS LA INYECCIÓN DEL TERMOPLÁSTICO

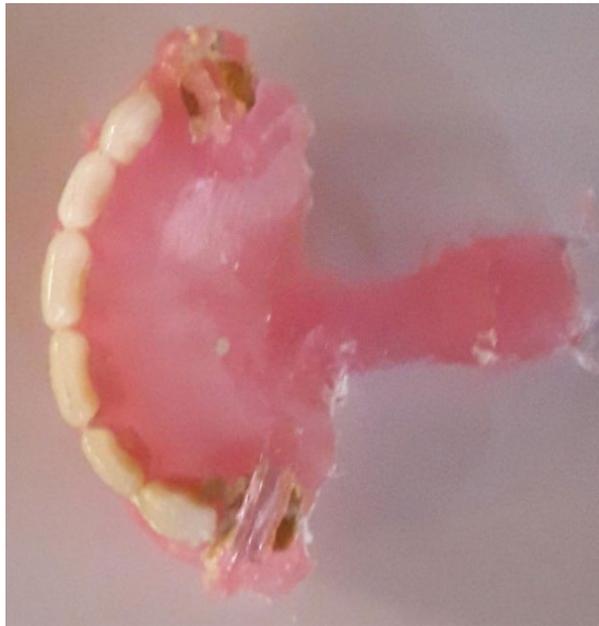


FIGURA 86. PROTESIS EXTRAIDA DE LA MUFLA

CONCLUSIONES

La incorporación de un temporizador programable en el gabinete, como control de tiempo para la termoplastificación del material, auxilia en gran medida al mecánico dental en el proceso de elaboración de prótesis dentales, debido a que la inyección del material debe realizarse inmediatamente después de alcanzado el punto de termoplastificación a fin de evitar la solidificación del material y por ende dificultades en el proceso de inyección. El calentado del material termoplástico fue uniforme dadas las características de distribución de las resistencias eléctricas y el calor generado en la cámara de termoplastificado del dispositivo; esto se comprobó debido a la facilidad de inyección, así como la falta de solidificación que presentó el material en la última etapa del proceso.

El sistema de inyección proporciona la fuerza requerida, sin exceso, para realizar la inyección del material termoplástico al interior de la mufla, en un tiempo menor a la operación manual. Este proceso se simplifica gracias al empleo de un motorreductor de CA controlado por un botón pulsador, ya que el usuario no ejerce ninguna fuerza en la fase de inyección. Por otra parte, no se presentó sobreinyección del cartucho dado que se suministra la fuerza necesaria durante la inyección del material.

La conformación del sistema por la integración del módulo de inyección, los dispositivos de calentado para el material termoplástico y la mufla, así como el gabinete con sus respectivos controles y señalizaciones, agiliza la inyección del material termoplástico por la disposición inmediata del equipo necesario en el proceso. Por los puntos anteriormente expuestos, se puede concluir que el sistema permite la posibilidad de aumentar la producción de prótesis dentales en una jornada laboral.

Como propuestas de mejora a futuro relacionadas a este prototipo se pueden mencionar:

1. Optimización del código de programación, a fin de simplificar la complejidad y tiempo de procesamiento.
2. Optimización de sistema de inyección a fin de reducir el consumo energético y sobrecalentamiento de los elementos empleados.
3. Serialización de la producción.
4. Simplificar interfaz usuario-maquina y sistema de alerta para hacerlas más intuitivas y amigables con el usuario
5. Rediseño estructural del prototipo a fin de mejorar su portabilidad y reducir el número de elementos/dispositivos empleados.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «QUIMICA.ES,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.quimica.es/enciclopedia/Termopl%C3%A1stico.html>. [Último acceso: 2018].
- [2] «Mecánico Dental, el artesano bucal,» educaweb, [En línea]. Available: <https://blog.educaweb.mx/mecanico-dental-artesano-bucal/>. [Último acceso: 2018].
- [3] «Mufla (dental),» Wikilengua, [En línea]. Available: [http://www.wikilengua.org/index.php/Terminesp:mufla_\(dental\)](http://www.wikilengua.org/index.php/Terminesp:mufla_(dental)). [Último acceso: 2018].
- [4] M. E. Silva, Interviewee, *Protesista dental*. [Entrevista]. 10 04 2018.
- [5] «Cátalogo Partial Flex®,» Partial Flex®, [En línea]. Available: http://www.partialflex.com/assets/catalogo-partial-flex_esp.pdf. [Último acceso: 20 04 2018].
- [6] «Información sobre polipropileno y generalidades,» PROPILCO, [En línea]. Available: https://www.esenttia.co/downloadableFiles/technologyServices/informacionPolipropileno/421_Generalidades_con_Logo.pdf. [Último acceso: 2018].
- [7] M. B. R. y. A. M. Gomis, Tecnología de Polímeros. Procesado y propiedades, Universidad de Alicante. Servicio de publicaciones, 2012, p. 276.
- [8] M. G. L. F. y. C. V. L. Londoño P. O. L., «Guía para construir estados del arte,» 2014. [En línea]. Available: http://www.colombiaaprende.edu.co/html/investigadores/1609/articles-322806_recurso_1.pdf. [Último acceso: 2018].
- [9] M. A. Kalina Georgieva, «An injection moulding device, improving the existing injection system for acrylic denture fabrication,» *Scripta Scientifica Medicinæ Dentalis*.
- [10] S. o. U. d. A. d. P. Subdirección de patentes, *Búsqueda del Estado de la Técnica, Patentes de Invención, Modelos de Utilidad, Guía - Ejemplo*, INAPI Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, 2012.
- [11] W. Wachter, W. Pokorny, G. Rohner y R. Grunenfelder, «Device and Method for Production of Dental Molded Parts». United States of America Patente US 2014/0093602 A1, 3 April 2014.
- [12] «Máquinas Inyectoras Sabilex,» Sabilex, 2017. [En línea]. Available: <http://sabilex.com/microinyectoras/>. [Último acceso: 25 04 2018].

- [13] C. d. p. d. grado, «Marco de referencia,» 2012. [En línea]. Available: <https://trabajodegradouamerica.wikispaces.com/file/view/MarcoReferencia.pdf>. [Último acceso: 2018].
- [14] «Tema 11: Moldeo por inyección,» Yumpu, [En línea]. Available: <https://www.yumpu.com/es/document/view/14808133/tema-11-moldeo-por-inyeccion-pagina-antigua>. [Último acceso: 2018].
- [15] F. P. Incropedia y D. P. DeWitt, Fundamentos de transferencia de calor, Cuarta Edición ed., México: Prentice Hall, 1999, p. 912.
- [16] «¿Qué es la prótesis dental?,» Odontología Especial, [En línea]. Available: <http://www.odontologiaespecializada-vd.com.mx/servicios/odontolog%C3%ADa-restauradora-y-est%C3%A9tica-pr%C3%B3tesis-dental/>. [Último acceso: 15 04 2018].
- [17] Á. L. Herrero, «Valplast®, prótesis removibles flexibles flexibles e irrompibles,» *Revista Gaceta Dental*, 2009.
- [18] D. V. M. P. Guerrero, *Prótesis Flexibles en la Odontología Moderna*, Lucitone FRS. Flexible Dental Resin.
- [19] T. W. T. C. F. Y. M. X. distributionLei Yu, «Polypropylene random copolymer in pipe application: Performanceimprovement with controlled molecular weight distribution,» *ELSEVIER*, pp. 43-52, 2014.
- [20] «Ingeniería del Diseño. Diseño conceptual,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/ingenieriadeldisenio/disenio-conceptual>. [Último acceso: 2018].
- [21] N. Cross, Métodos de diseño: Estrategias para el diseño de productos, México: Limusa Wiley, 1999, p. 190.
- [22] «La importancia de las temperaturas de fusión y del molde,» Technology MÉXICO, [En línea]. Available: <https://www.pt-mexico.com/columnas/la-importancia-de-las-temperaturas-de-fusin-y-del-molde>. [Último acceso: 2018].
- [23] «CAPÍTULO 4. Diseño de detalle,» [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3953/fichero/Memoria+PFC%252F05-CAPITULO+4.pdf>. [Último acceso: 2018].
- [24] J. J. N. Richard G. Budynas, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición ed., The McGraw-Hill, 2012.
- [25] «Conceptos básicos sobre diseño de máquinas. Capítulo 8. Diseño de tornillos,» [En línea]. Available: <http://blog.utp.edu.co/lvanegas/files/2011/08/Cap8.pdf>. [Último acceso: 7 05 2018].
- [26] R. L. Mott, Diseño de elementos de máquinas, México: PEARSON Educación, 2006.

- [27] L. Semiconductor Components Industries, *High Resolution Digital Dimmer*, Literature Distribution Center for ON Semiconductor, 2008.
- [28] P. d. c. i. PoliMEX, «Catálogo de resistencias eléctricas industriales,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.polimex.mx/catalogos/Catalogo-de-Resistencias-Electricas-Polimex-2017.pdf>. [Último acceso: 2018].
- [29] «Resistencias eléctricas industriales, controles y sensores,» Grupo ROAG, [En línea]. Available: <http://roag.com.mx/interiores/resitencias.php?page=2&ipp=4>. [Último acceso: 2018].
- [30] «Resistencia Tipo Tira,» Kintel, [En línea]. Available: <http://www.kintel.com.mx/resistencias-tipo-tira/>. [Último acceso: 2018].
- [31] O. O. F. Cortez, «Batalla de microcontroladores ¿AVR o PIC?,» *Boletín Escuela de Informática, Facultad de Informática y Ciencias Aplicadas, UTEC*, 2009.

ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

En la Tabla 44, se desglosaron los costos de los componentes de cada uno de los sistemas y dispositivos del presente prototipo. Ha de recalcarse que en el costo total aproximado presentado no se contemplaron gastos extras, material de apoyo u otros insumos.

TABLA 44. COSTOS DE COMPONENTES

Costos de componentes		
Cantidad (pzs, m, etc.)	Descripción	Precio unitario (MXN)
1.- Sistema de inyección		
*	Material y mano de obra para tornillo de potencia, husillo y sistema estructural; incluidos componentes (rodamiento, buges). Material empleado: acero SAE 4041 y hierro dulce	10500
1	Material y mano de obra para tuerca de tornillo de potencia. Material empleado: bronce comercial	500
1	Motorreductor K37MYC223332	1500
4	Perfiles de hierro dulce para sujeción de mufla con tornillos Allen de 5/8" x 1" de largo	55
8	Tornillos Allen cabeza plana 3/8" x 1" de largo	9
6	Tornillos Allen 1/8" x 1 1/2" de largo y tuerca	5
2	Tornillo estándar hexagonal de 3/8" x 1"	10
2	Prisionero Allen 1/2" x 1" de largo	45
1	Placa de cobre/fibra de vidrio 10x15	22
4	Diodos 1N4004	1
1	LM339	12
1	Paquete de resistencias 10k Ω	6
1	Paquete de resistencias 100 Ω	6
1	Paquete de resistencias 680 Ω	6
1	Paquete de resistencias 2.2k Ω	6
1	Paquete de resistencias 560 Ω	6
1	Transformador 12V con derivación central a 3A	230
1	Trimpot 10k Ω	12
1	Trimpot 5k Ω	12
1	Capacitor 1000pF a 25A	7
1	Diodo MUR160G	7
1	Capacitor 3.3uF a 60 V	3
1	Capacitor 0.01uF a 250V	3
1	Capacitor de poliéster 0.01uF a 600V	1.5
1	NE555	6
1	Transistor MPSA42	12
1	MOC3022	5
1	TRIAC BTA08-600BW	18
2	Borneras alto voltaje	4.5
1	Transistor 7805	10
1	Capacitor 0.33uF	2

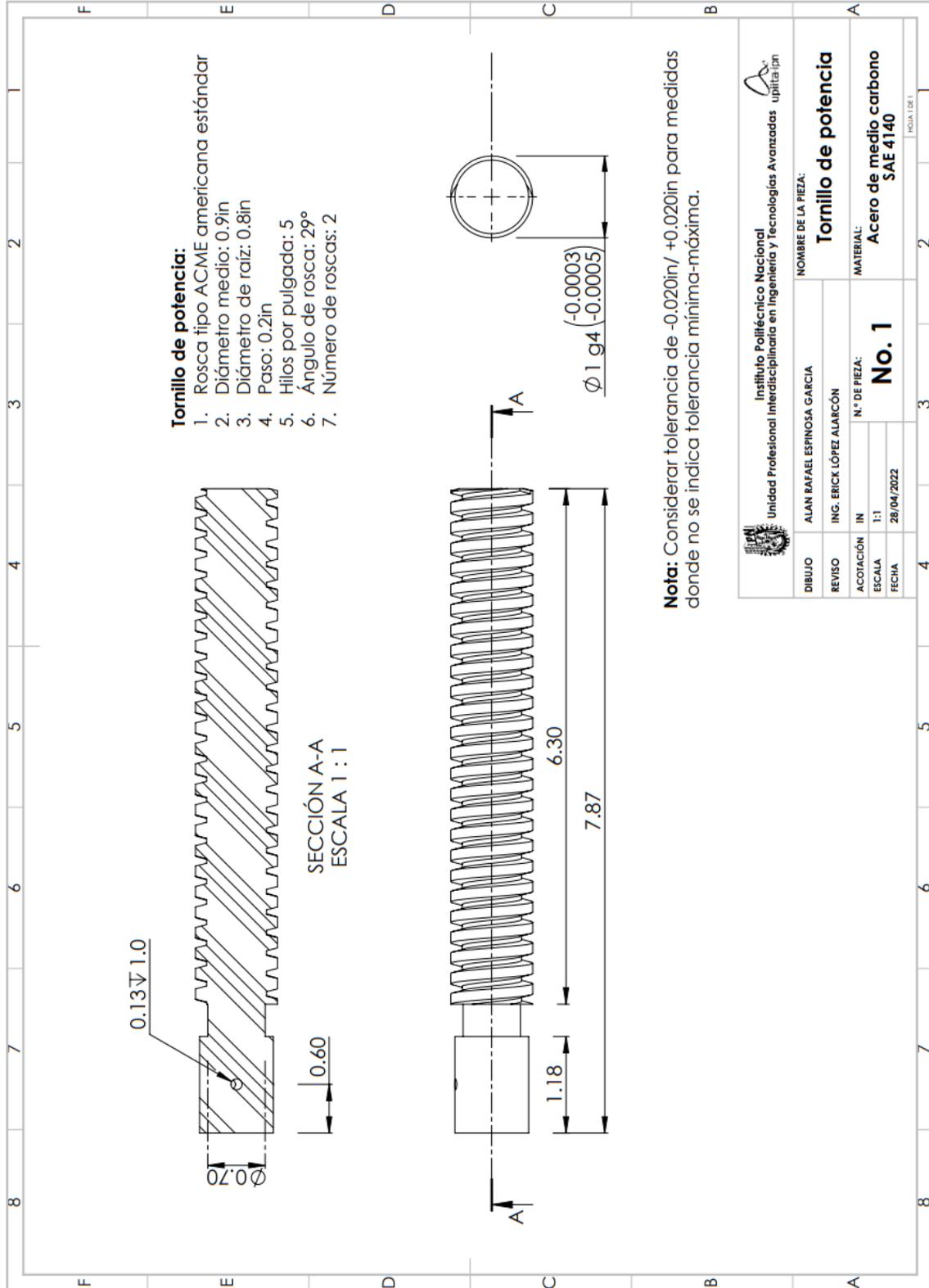
1	Capacitor 0.1uF	4
1	Diodo 1N4007	1
1	Zocalo de 8 pines	4
1	Zocalo de 6 pines	4
1	Zocalo de 14 pines	4
2.- Dispositivo de calentado para la termoplastificación del material		
1	Barra cilíndrica de aluminio 6061 T6	350
1	Mano de obra para maquinado	1700
5	Tornillos Allen 1/8" x1 1/2" de largo	5
5	Resistencias tipo cartucho de alta densidad de 3/8" a 10cm	300
1	Termopar tipo K	100
8	Cable de alta temperatura (500°C) calibre 16	31
1	Cinta de aislar térmica 185°C	280
1	Placa de asbesto de 4mm de espesor 60 cm x 120cm	204
1	Control de temperatura digital XMTG818	760
10	Ojillos de alta temperatura	4.5
1	Relevador de estado sólido SSRNC-425 ^a	290
3.- Sistema de precalentado para mufla		
2	Resistencias tipo tira cerámica de 10cm	30
1	Termopar tipo J	100
1	Pirómetro XM-TE96P	560
1	Relevador de estado sólido SSRNC-425 ^a	290
8	Ojillos de alta temperatura	4.5
4.- Interfaz usuario-máquina y sistema de alerta		
*	Material y mano de obra para gabinete de interfaz usuario-máquina y dispositivos de calentado, y gabinete del motor; con accesorias (patas de nivelación de acero inoxidable). Material: lamina de acero AISI 304	5500
1	LCD 16X2 azul	90
1	Teclado matricial rígido 4x4	150
3	Piloto led de varios colores	20
1	Botón normalmente abierto con micro switch	25
1	AVR ATmega16	120
3	Apagadores con led	20
2	Conectores hembra	15
1	Conectores macho	10
2	Cables de conexión terminales hembra-macho	75
1	Plantilla adhesiva para señalizaciones	50
1	Placa de cobre/fibra de vidrio 10x15	22
1	Zocalo de 40 pines	6
1	Zocalo de 6 pines	4
3	Tiras de header macho de 40 pines	10
2	Capacitores 22pF	4
1	Cristal de cuarzo 4MHz	10
1	Paquete de resistencias de 330Ω	6
1	MOC3061	15
1	TRIAC BTA08-600BW	18
1	Trimpot 10kΩ	12
2	Borneras	4.5

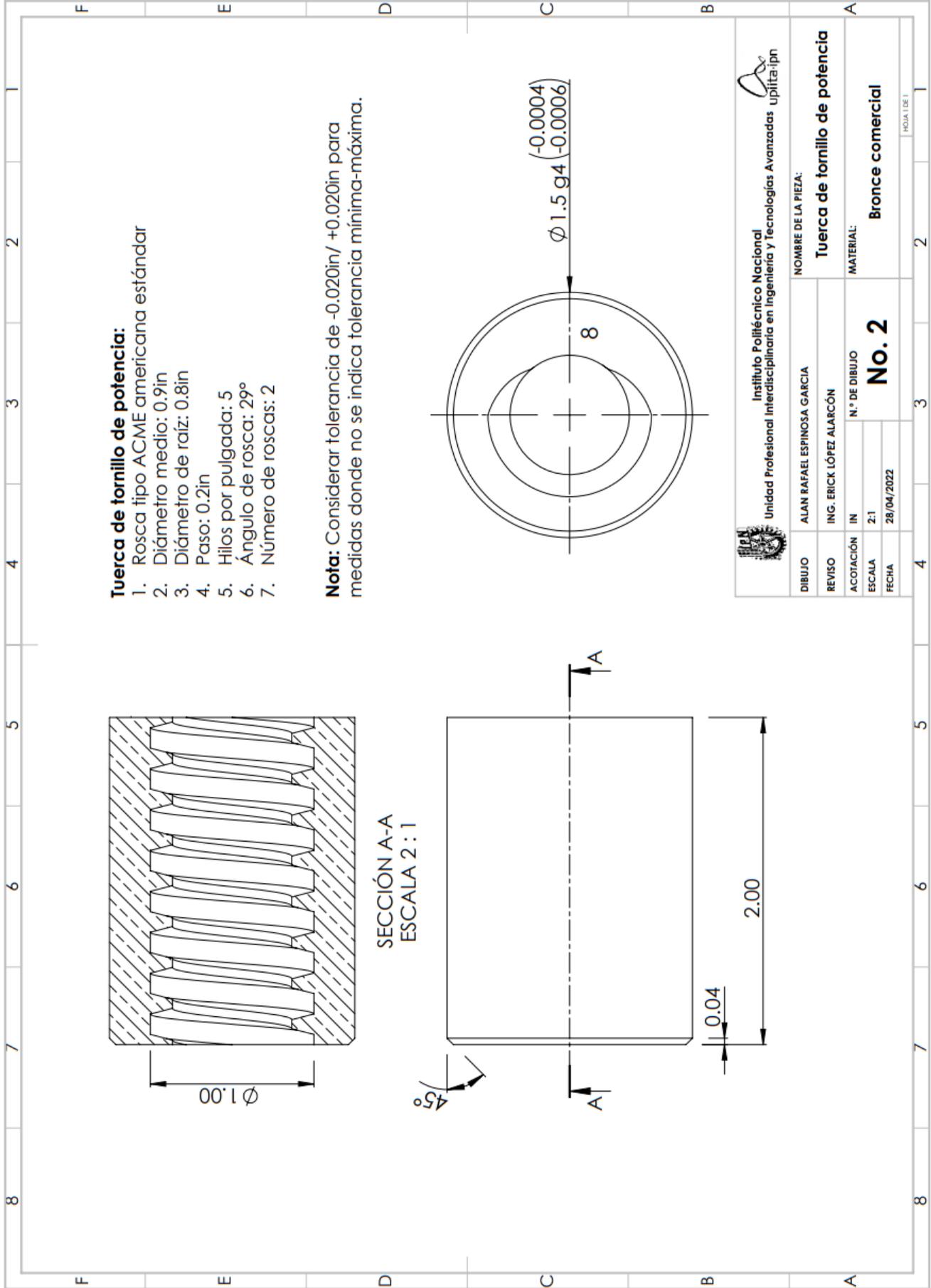
1	Tira de jumpers hembra-hembra	40
1	Tira de jumpers macho-hembra	40
6	Cable eléctrico uso rudo calibre 12awg	11
1	Block de terminales de 30A a 600V serie	75
1	Cilindro portacartuchos 377063	1150
1	Tope de inyección 377049	330
1	Mufla estándar 377300	850
TOTAL		28838.5

Las inyectoras comerciales Partial Flex® de tipo manual tienen un valor estimado en el mercado que ronda entre los \$2600MXN y \$29500MXN. Así mismo las inyectoras de tipo neumático Sabilex, rondan un precio estimado de \$25000MXN. Tratándose de un prototipo y con base en los valores monetarios estimados obtenidos para su construcción, se define que el proyecto es viable económicamente para su reproducción, sin embargo, en cuestiones competitivas no presenta una clara ventaja económica al corto y mediano plazo frente a otros dispositivos ya posicionados en el mercado.

APÉNDICE A

DIBUJOS ESQUEMÁTICOS





Tuerca de tornillo de potencia:

1. Rosca tipo ACME americana estándar
2. Diámetro medio: 0.9in
3. Diámetro de raíz: 0.8in
4. Paso: 0.2in
5. Hilos por pulgada: 5
6. Ángulo de rosca: 29°
7. Número de roscas: 2

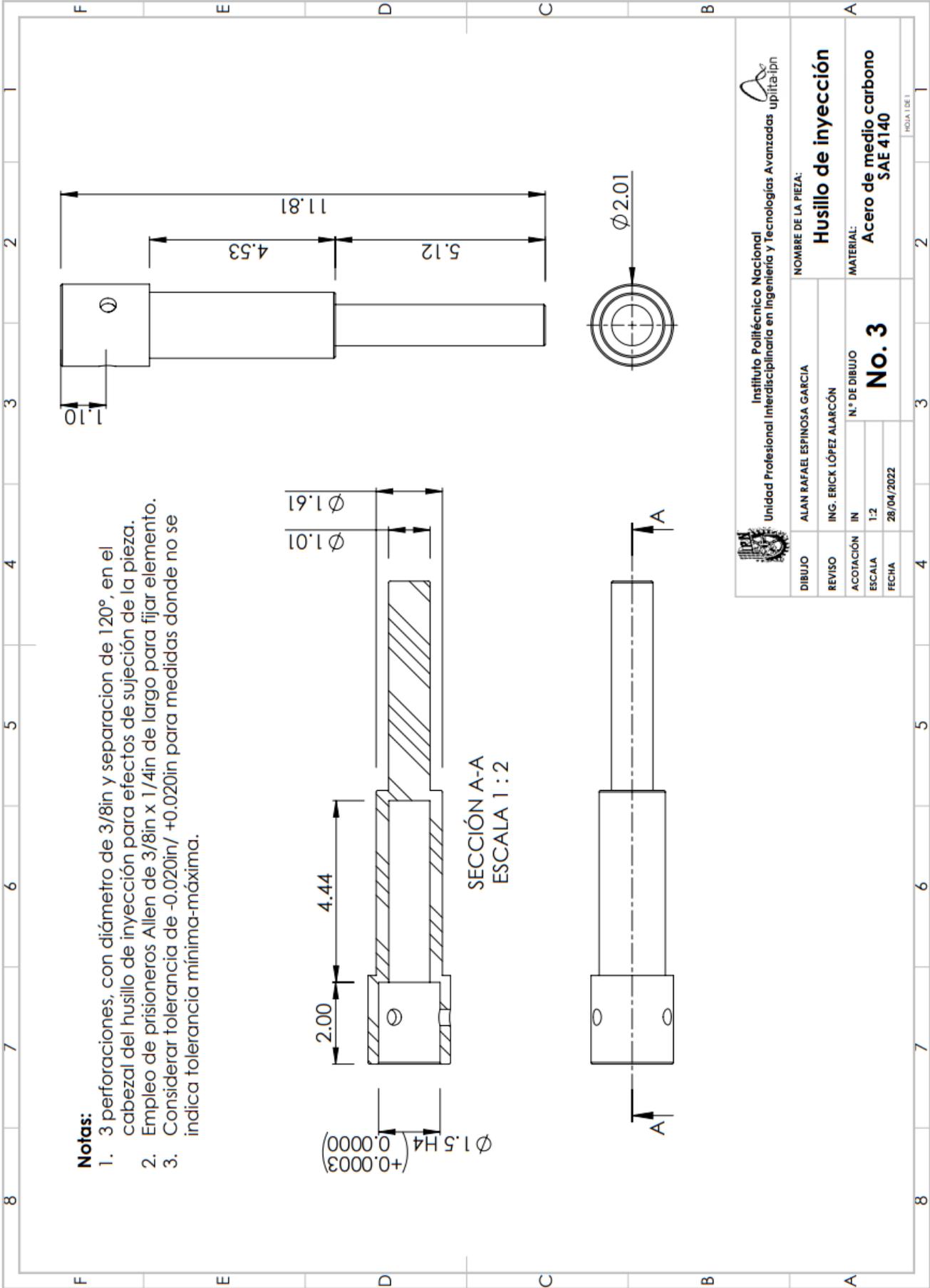
Nota: Considerar tolerancia de -0.020in/ +0.020in para medidas donde no se indica tolerancia mínima-máxima.

SECCIÓN A-A
ESCALA 2 : 1


Instituto Politécnico Nacional
 Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas
 upiita-ign

DIBUJO	ALAN RAFAEL ESPINOSA GARCIA	NOMBRE DE LA PIEZA:	Tuerca de tornillo de potencia
REVISO	ING. ERICK LÓPEZ ALARCÓN	MATERIAL:	Bronce comercial
ACOTACIÓN	IN	N.º DE DIBUJO	No. 2
ESCALA	2:1		
FECHA	28/04/2022		

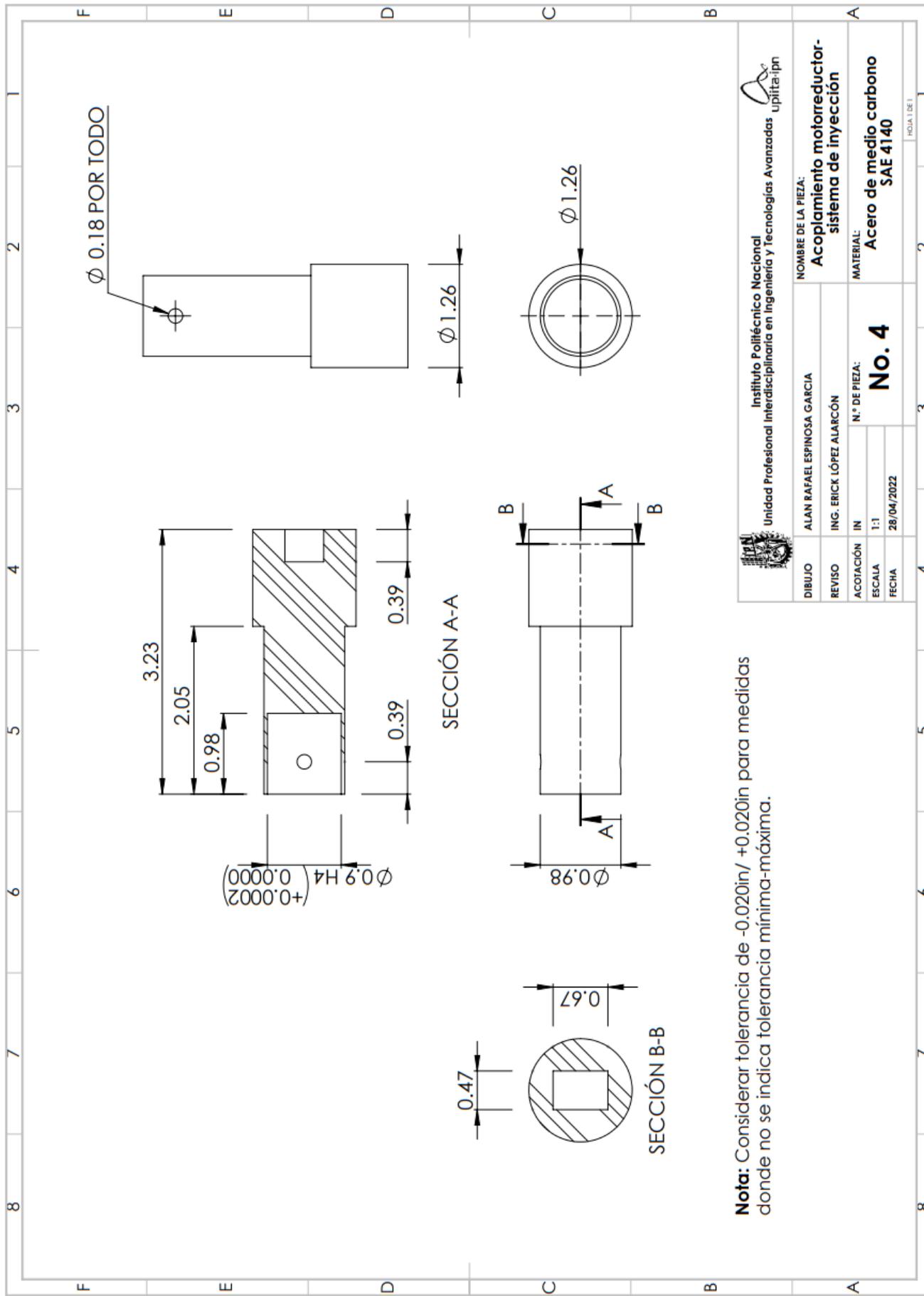
HOJA 1 DE 1



Notas:

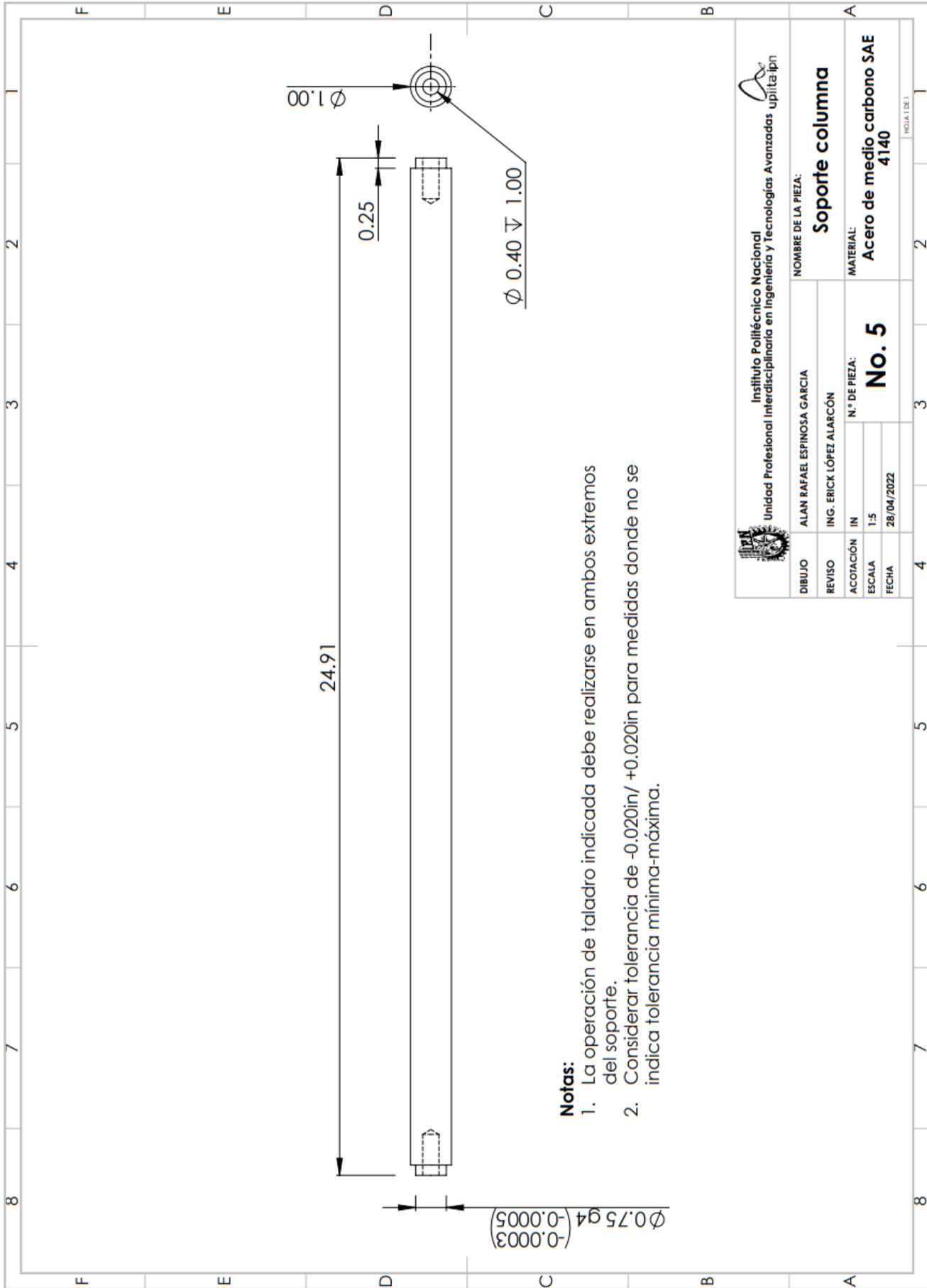
1. 3 perforaciones, con diámetro de 3/8in y separación de 120°, en el cabezal del husillo de inyección para efectos de sujeción de la pieza.
2. Empleo de prisioneros Allen de 3/8in x 1/4in de largo para fijar elemento.
3. Considerar tolerancia de -0.020in/ +0.020in para medidas donde no se indica tolerancia mínima-máxima.

		Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA)	
DIBUJO	ALAN RAFAEL ESPINOSA GARCIA	NOMBRE DE LA PIEZA:	
REVISO	ING. ERICK LÓPEZ ALARCÓN	Husillo de inyección	
ACOTACIÓN	IN	N.º DE DIBUJO	No. 3
ESCALA	1:2	MATERIAL:	Acero de medio carbono SAE 4140
FECHA	28/04/2022	HORA: 1:01	



Nota: Considerar tolerancia de -0.020in/ +0.020in para medidas donde no se indica tolerancia mínima-máxima.

 Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas upiita:ipn	NOMBRE DE LA PIEZA: Acoplamiento motorreductor- sistema de inyección	
	DIBUJO ALAN RAFAEL ESPINOSA GARCIA	REVISO ING. ERICK LÓPEZ ALARCÓN
ACOTACIÓN ESCALA FECHA	IN 1:1 28/04/2022	N.º DE PIEZA: No. 4
MATERIAL: Acero de medio carbono SAE 4140		HOJA 1 DE 1



Notas:

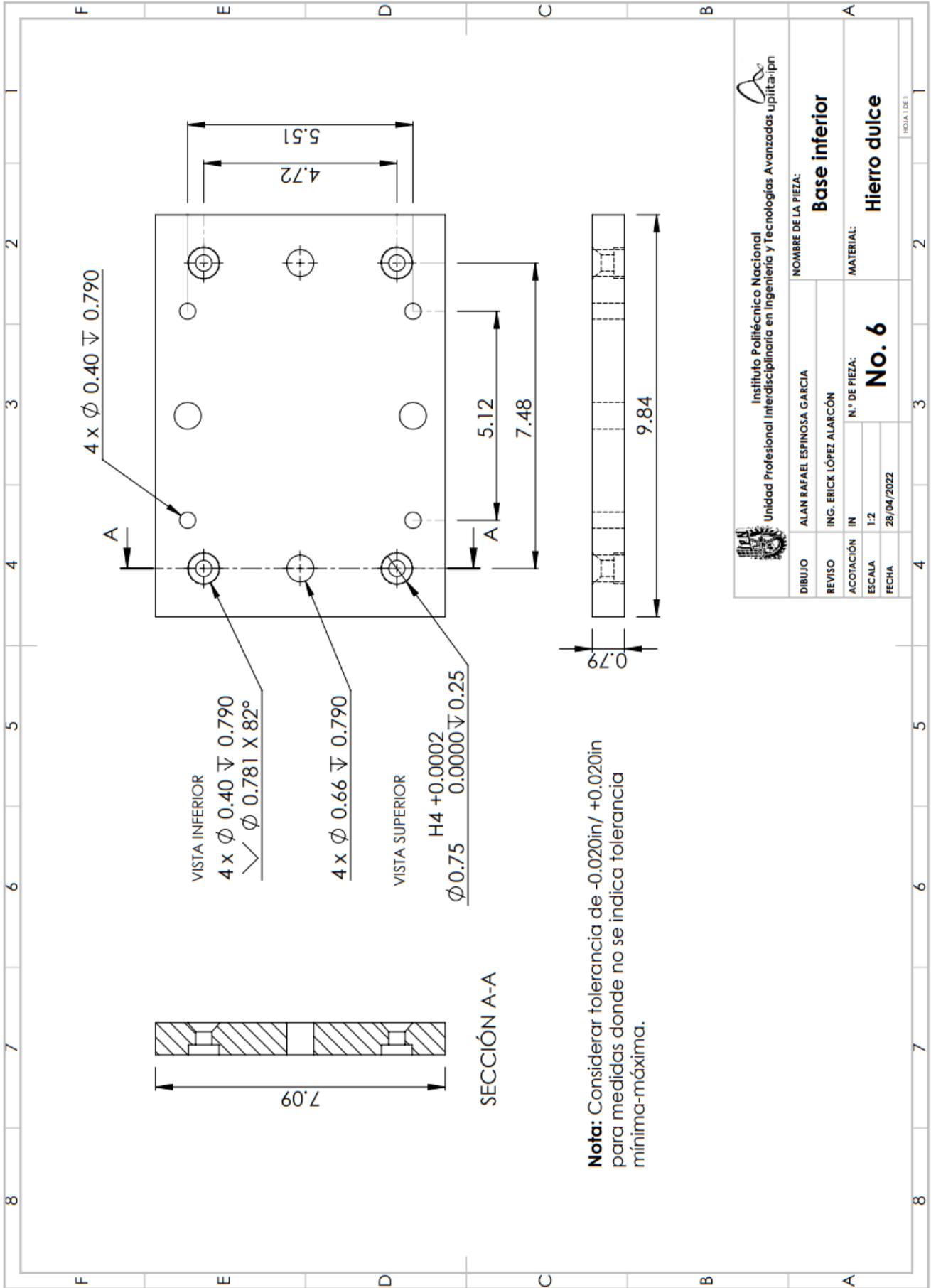
1. La operación de taladro indicada debe realizarse en ambos extremos del soporte.
2. Considerar tolerancia de $-0.020\text{in}/ +0.020\text{in}$ para medidas donde no se indica tolerancia mínima-máxima.



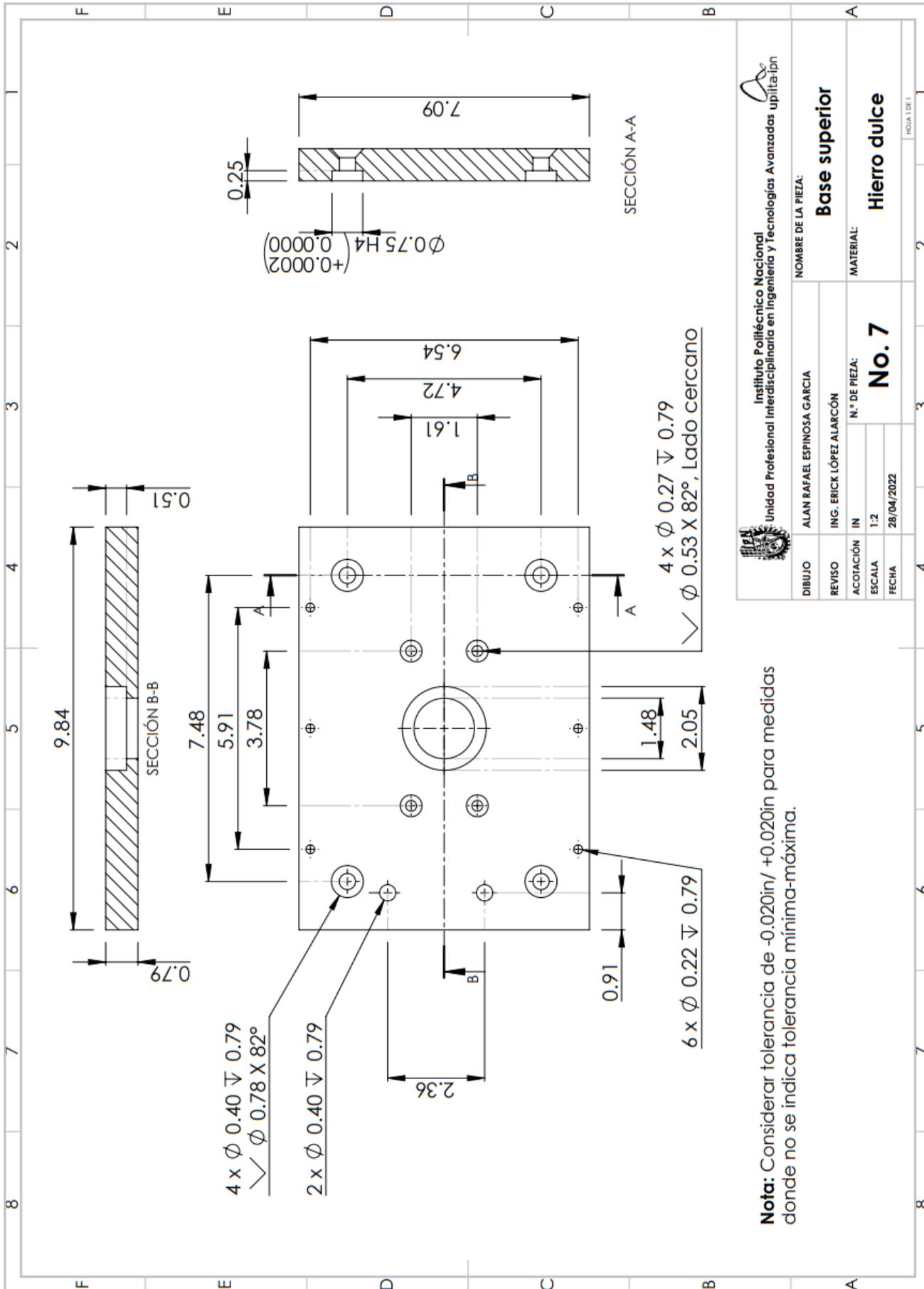
Instituto Politécnico Nacional
Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas upiita ipn

DIBUJO	ALAN RAFAEL ESPINOSA GARCIA	NOMBRE DE LA PIEZA:	
REVISO	ING. ERICK LÓPEZ ALARCÓN	Soporte columna	
ACOTACIÓN	IN	N.º DE PIEZA:	
ESCALA	1:5	No. 5	
FECHA	28/04/2022	MATERIAL:	Acero de medio carbono SAE 4140
4	3	2	1

HOLLA 1 DE 1

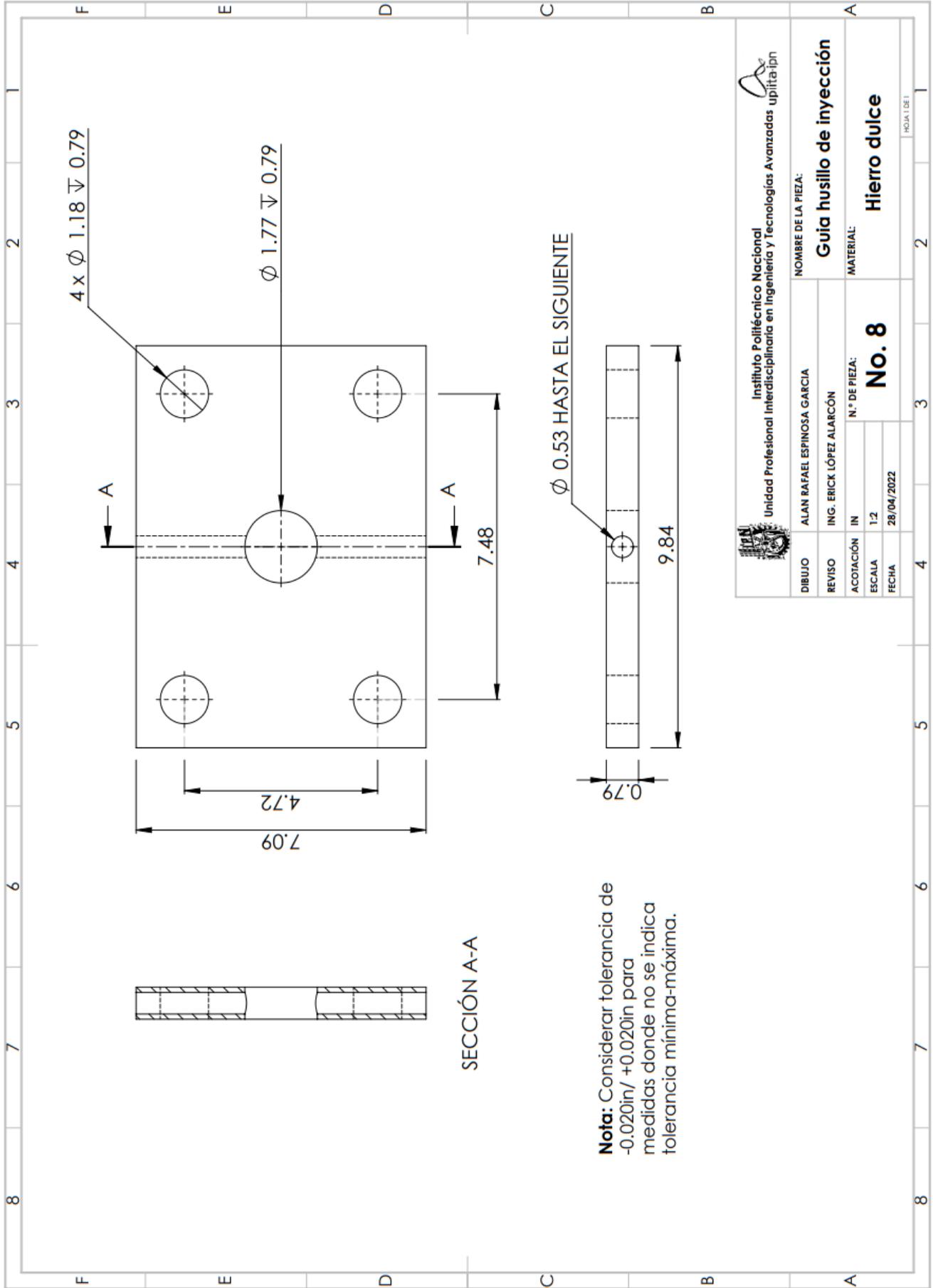


DIBUJO		ALAN RAFAEL ESPINOSA GARCIA		NOMBRE DE LA PIEZA:		Base inferior	
REVISO		ING. ERICK LÓPEZ ALARCÓN		MATERIAL:		Hierro dulce	
ACOTACIÓN		IN		N° DE PIEZA:		No. 6	
ESCALA		1:2		FECHA		28/04/2022	
HOJA 1 DE 1		3		2		8	

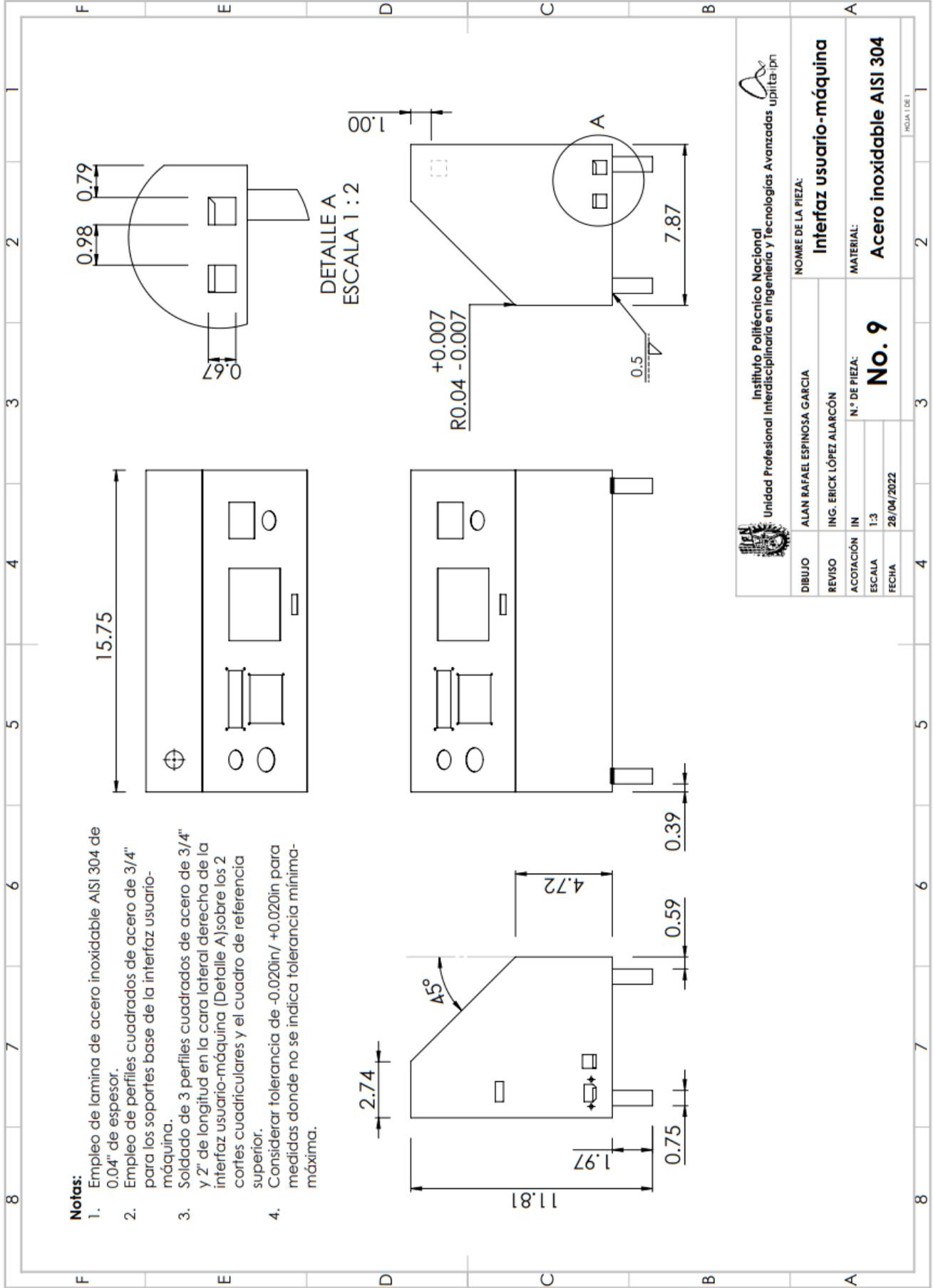


Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas upitaipn		NOMBRE DE LA PIEZA: Base superior	
DIBUJO	ALAN RAFAEL ESPINOSA GARCIA	REVISO	ING. ERICK LÓPEZ ALARCÓN
ACOTACIÓN	IN	N.º DE PIEZA:	No. 7
ESCALA	1:2	MATERIAL:	Hierro dulce
FECHA	28/04/2022		
			HOJA 1 DE 1

Nota: Considerar tolerancia de $-0.020\text{in}/ +0.020\text{in}$ para medidas donde no se indica tolerancia mínima-máxima.



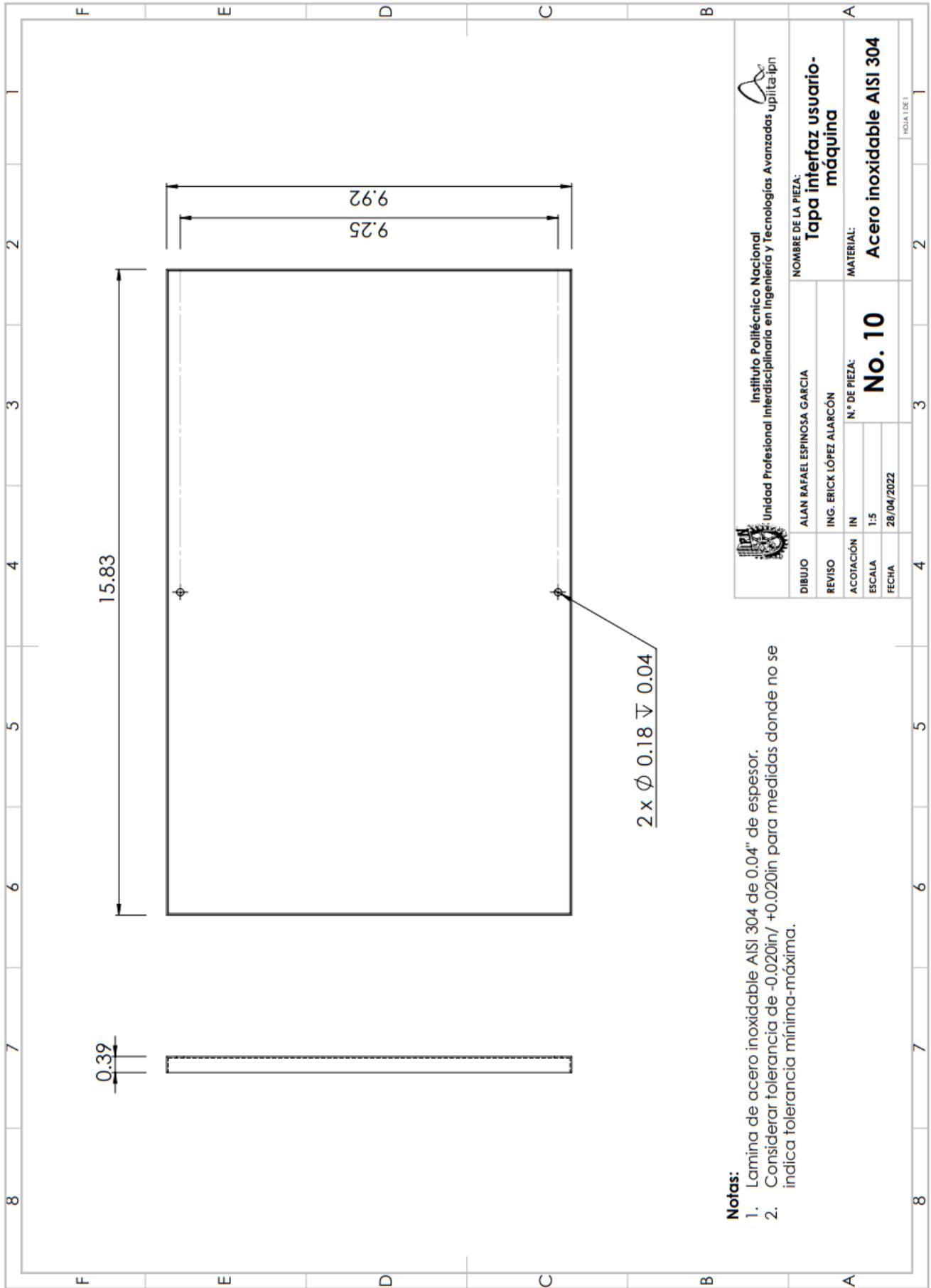
DIBUJO	ALAN RAFAEL ESPINOSA GARCIA	NOMBRE DE LA PIEZA:	Guia husillo de inyección
REVISO	ING. ERICK LÓPEZ ALARCÓN	MATERIAL:	Hierro dulce
ACOTACIÓN	IN	N.º DE PIEZA:	No. 8
ESCALA	1:2		
FECHA	28/04/2022		
			HOJA 1 DE 1



Notas:

1. Empleo de lamina de acero inoxidable AISI 304 de 0.04" de espesor.
2. Empleo de perfiles cuadrados de acero de 3/4" para los soportes base de la interfaz usuario-máquina.
3. Soldado de 3 perfiles cuadrados de acero de 3/4" y 2" de longitud en la cara lateral derecha de la interfaz usuario-máquina (Detalle A) sobre los 2 cortes cuadriculares y el cuadro de referencia superior.
4. Considerar tolerancia de $-0.020\text{in}/ +0.020\text{in}$ para medidas donde no se indica tolerancia mínima-máxima.

 Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas upiita-iptn	
DIBUJO	ALAN RAFAEL ESPINOSA GARCIA
REVISO	ING. ERICK LÓPEZ ALARCÓN
ACOTACIÓN	IN
ESCALA	1:3
FECHA	28/04/2022
N° DE PIEZA: No. 9	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304	
NOMBRE DE LA PIEZA: Interfaz usuario-máquina	



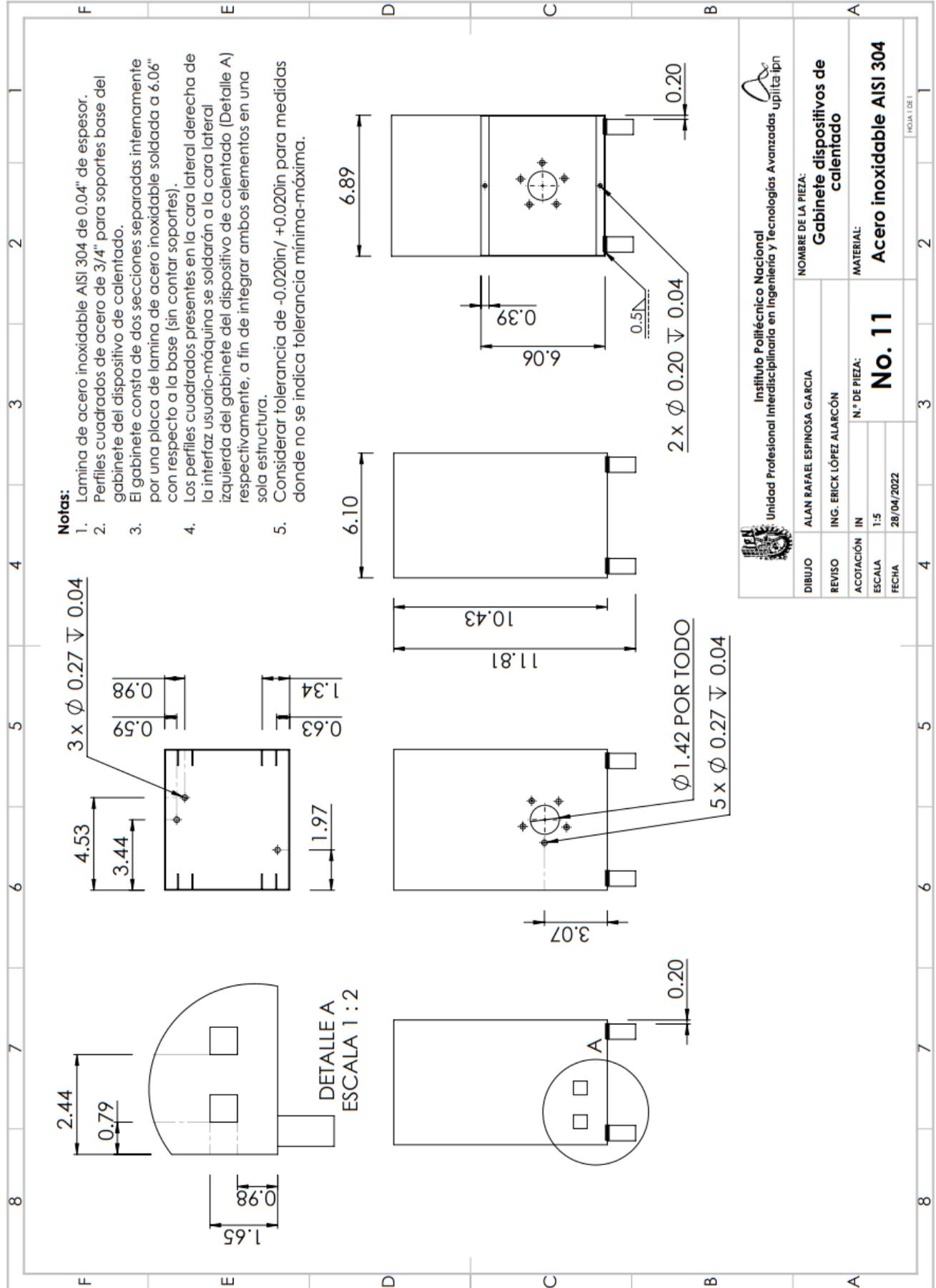
Notas:

1. Lamina de acero inoxidable AISI 304 de 0.04" de espesor.
2. Considerar tolerancia de -0.020in/ +0.020in para medidas donde no se indica tolerancia mínima-máxima.

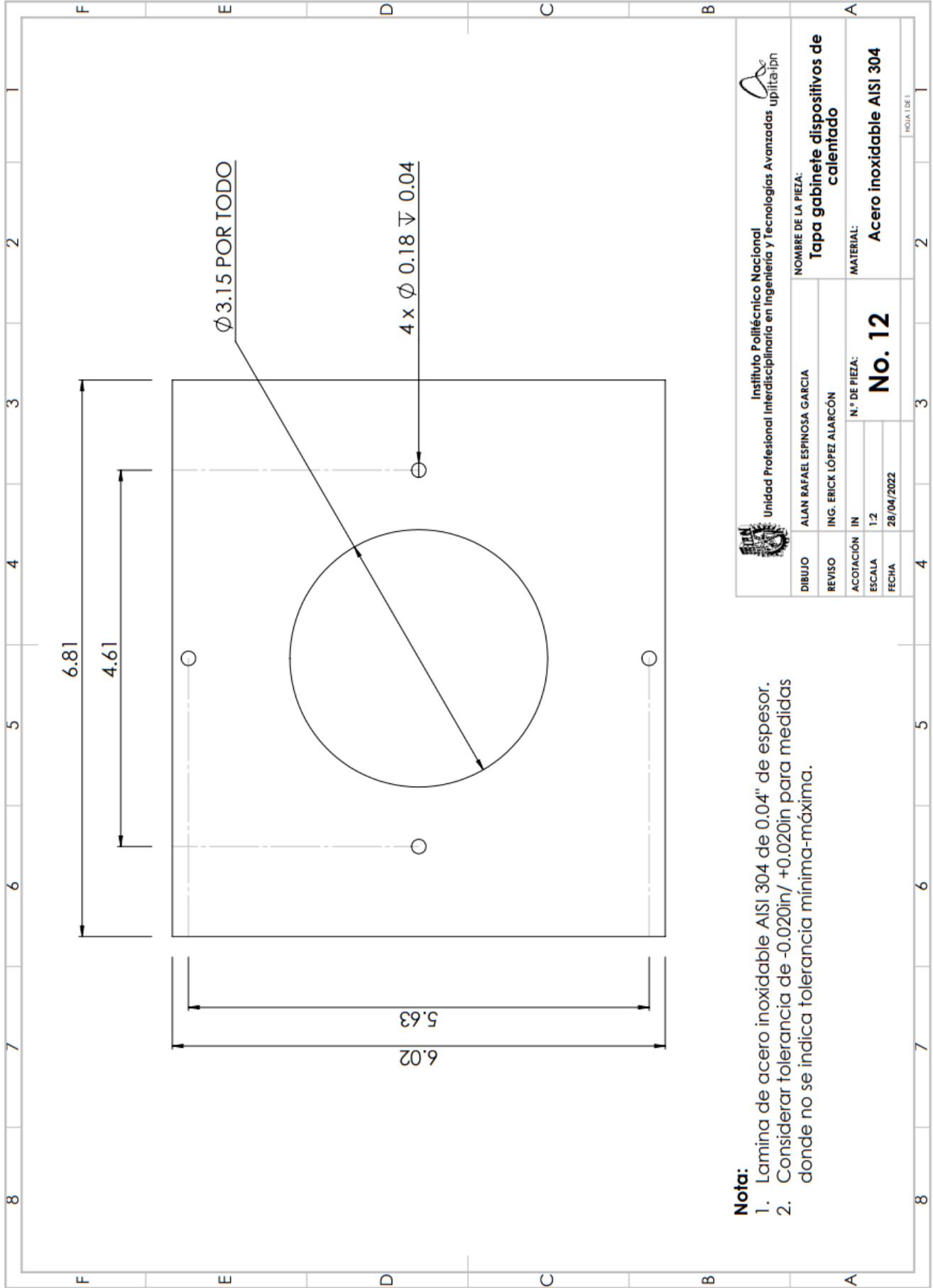

 Instituto Politécnico Nacional
 Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas upiita-iptn

DIBUJO	ALAN RAFAEL ESPINOSA GARCIA		
REVISO	ING. ERICK LÓPEZ ALARCÓN		
ACOTACIÓN	IN	N.º DE PIEZA:	No. 10
ESCALA	1:5		
FECHA	28/04/2022		

NOMBRE DE LA PIEZA: **Tapa interfaz usuario-máquina**
 MATERIAL: **Acero inoxidable AISI 304**



 Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas upiita ipn		NOMBRE DE LA PIEZA: Gabinete dispositivos de calentado	
DIBUJO	ALAN RAFAEL ESPINOSA GARCIA	MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304	
REVISO	ING. ERICK LÓPEZ ALARCÓN	N° DE PIEZA: No. 11	
ACOTACIÓN	IN	ESCALA	1:5
FECHA	28/04/2022	HOJA 1 DE 1	



Nota:

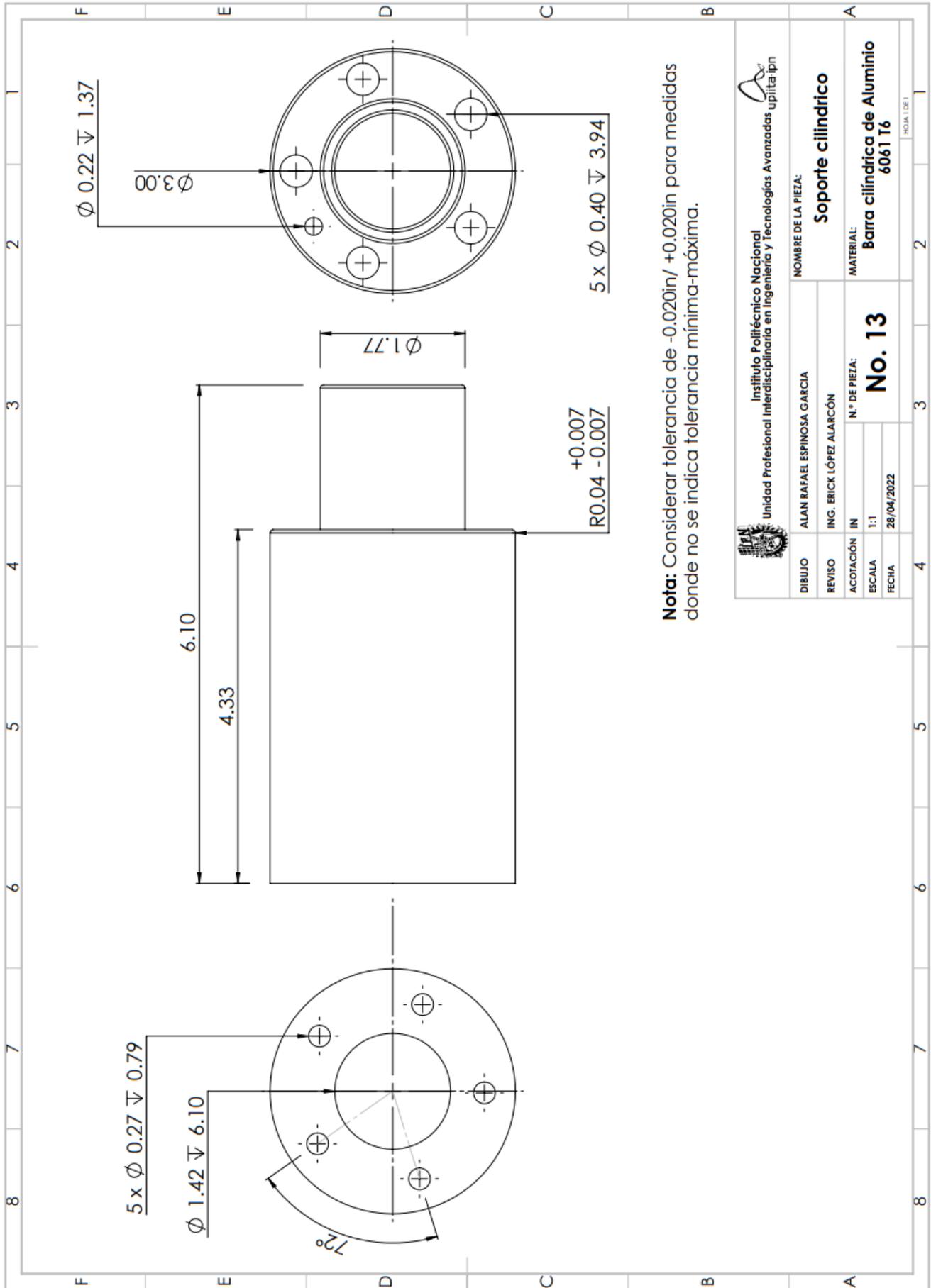
1. Lamina de acero inoxidable AISI 304 de 0.04" de espesor.
2. Considerar tolerancia de -0.020in/ +0.020in para medidas donde no se indica tolerancia mínima-máxima.


 Instituto Politécnico Nacional
 Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas

DIBUJO	ALAN RAFAEL ESPINOSA GARCIA	NOMBRE DE LA PIEZA:	Tapa gabinete dispositivos de calentado
REVISO	ING. ERICK LÓPEZ ALARCÓN	MATERIAL:	

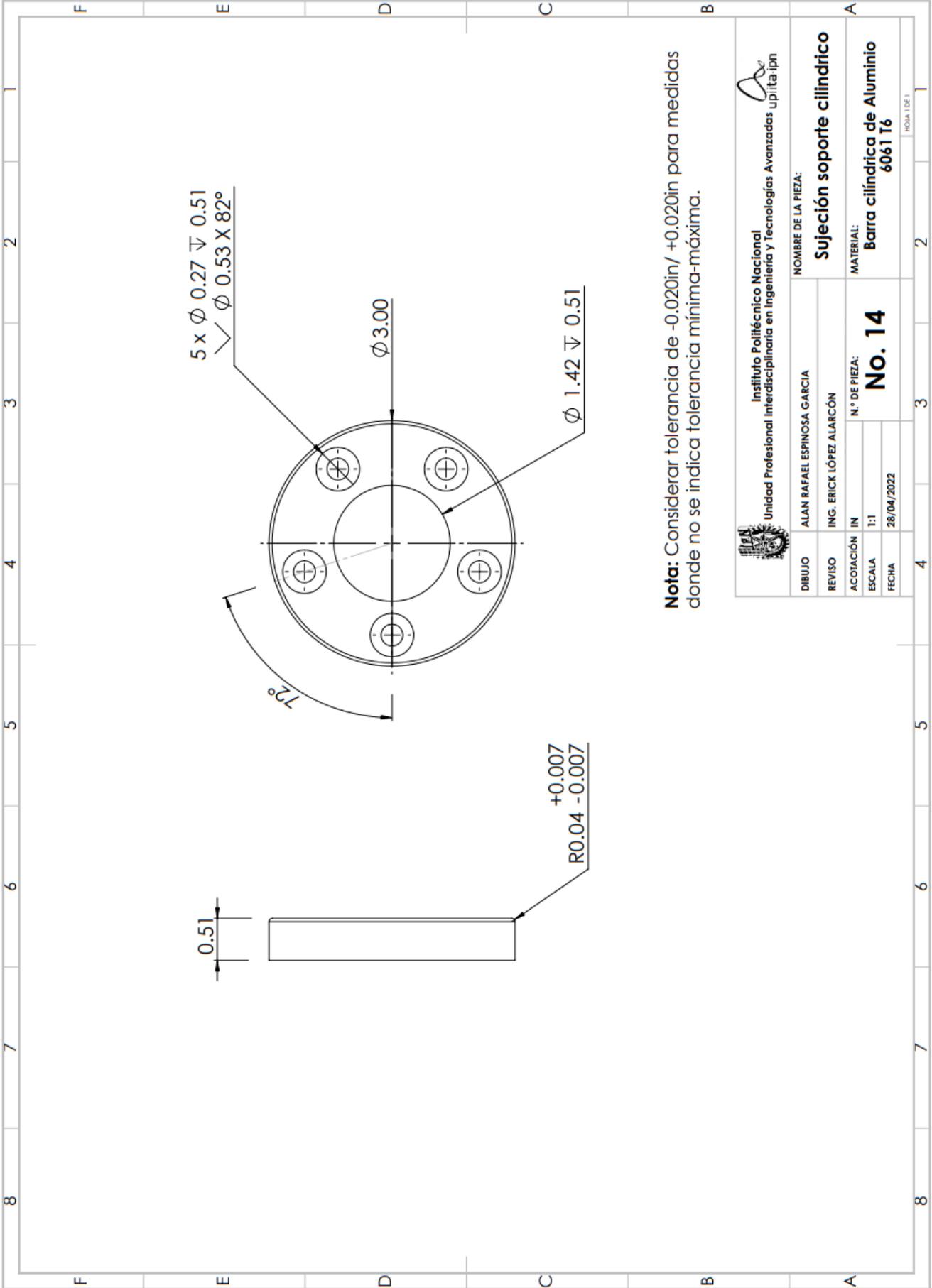
ACOTACIÓN	IN	N.º DE PIEZA:	No. 12
ESCALA	1:2		
FECHA	28/04/2022		

HOJA 1 DE 1



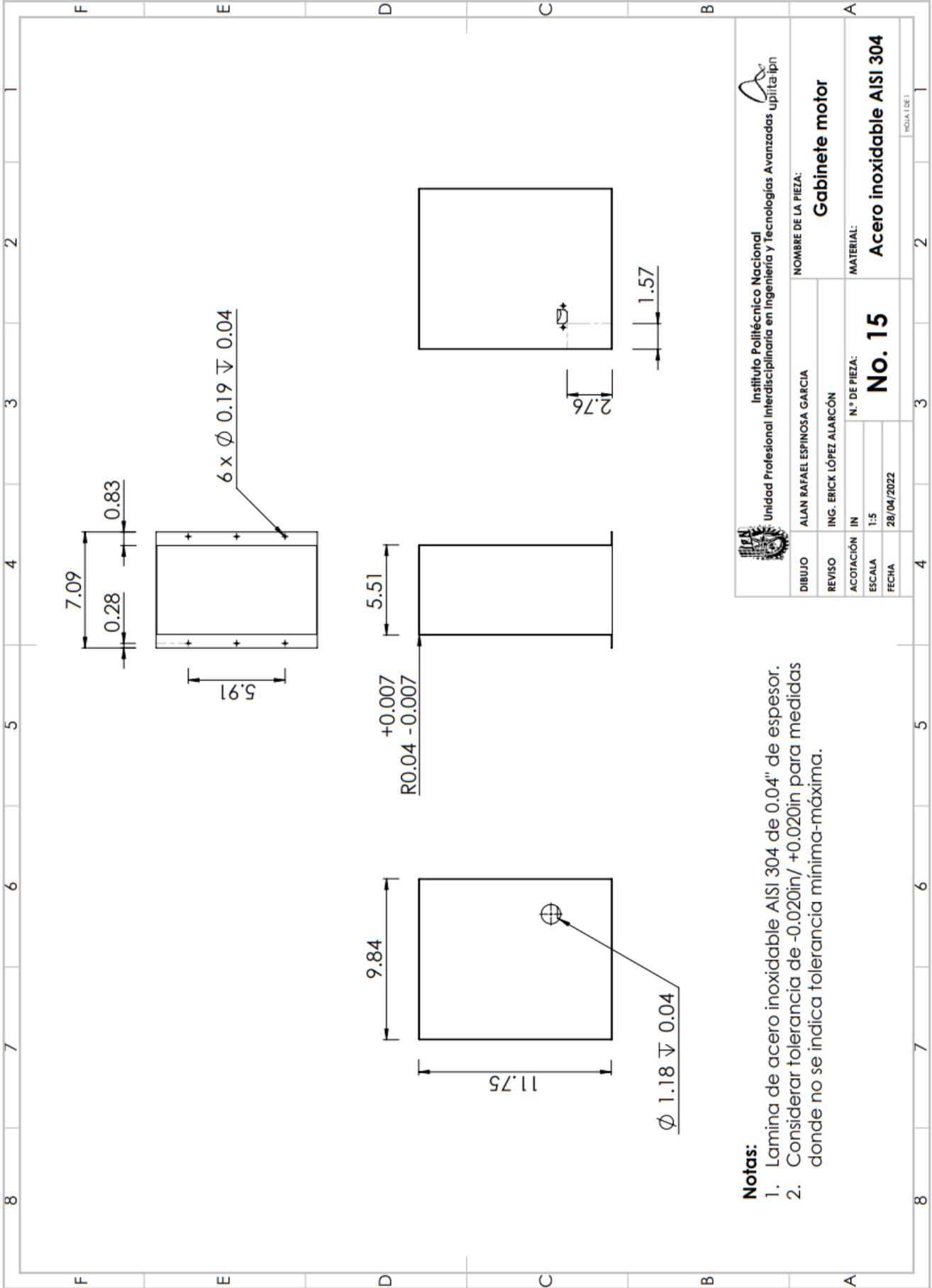
Nota: Considerar tolerancia de $-0.020\text{in}/ +0.020\text{in}$ para medidas donde no se indica tolerancia mínima-máxima.

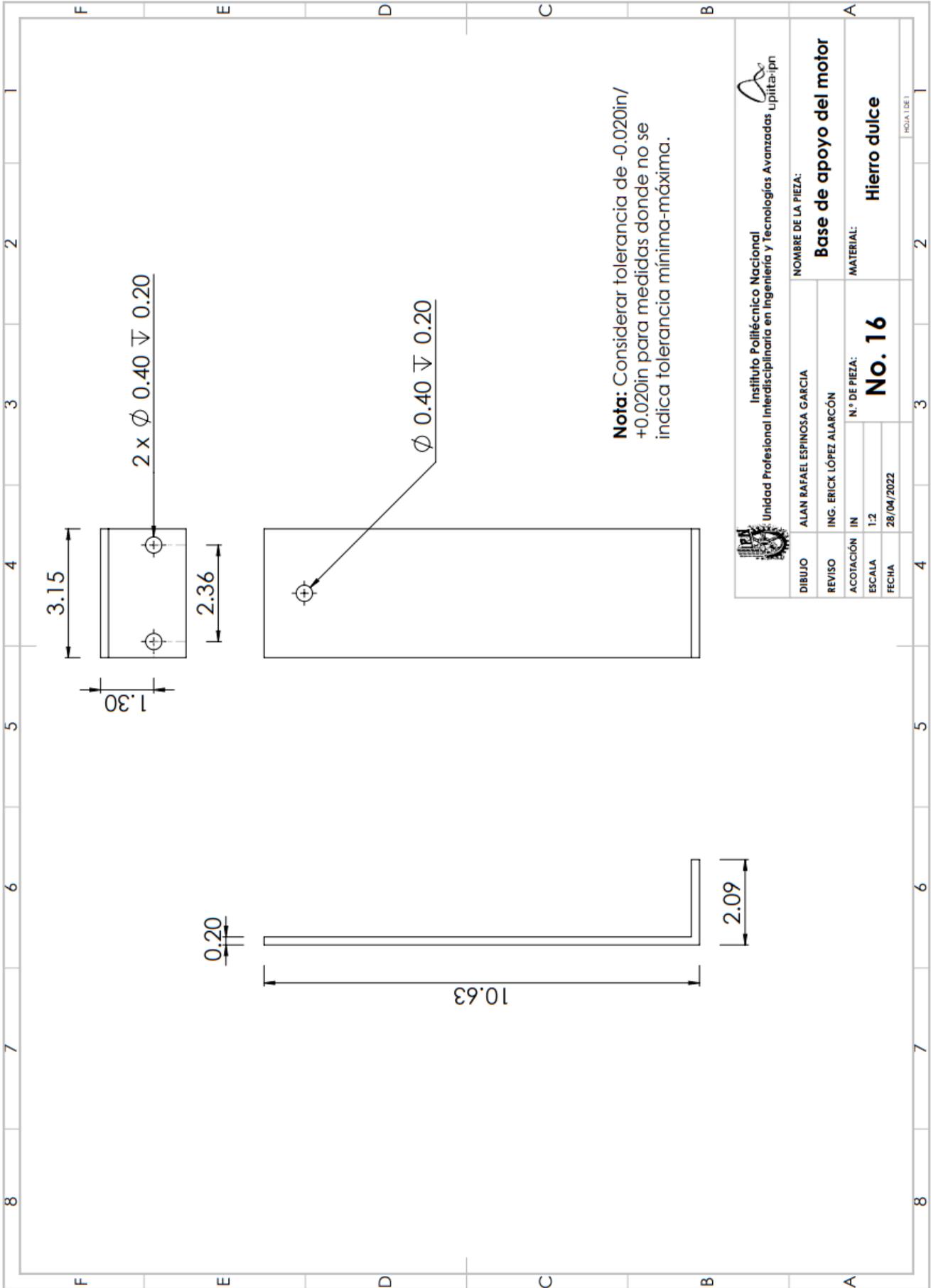
 Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas upiita ipn		NOMBRE DE LA PIEZA: Soporte cilíndrico	
DIBUJO	ALAN RAFAEL ESPINOSA GARCIA		
REVISO	ING. ERICK LÓPEZ ALARCÓN		
ACOTACIÓN	IN	MATERIAL:	
ESCALA	1:1	Barra cilíndrica de Aluminio	
FECHA	28/04/2022	6061 T6	
		HOJA 1 DE 1	



Instituto Politécnico Nacional
 Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas
 UPIITA-IPN

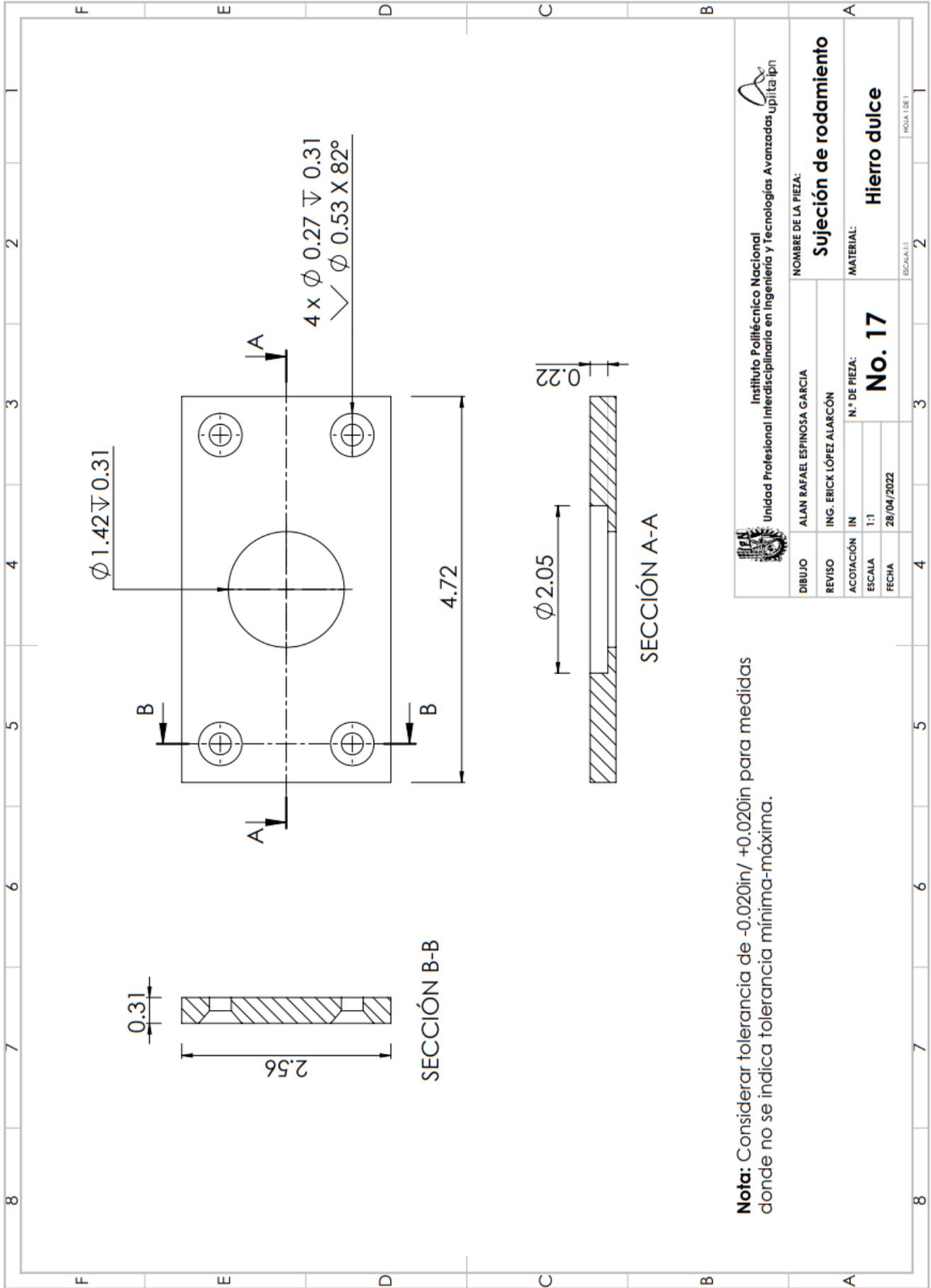
DIBUJO		ALAN RAFAEL ESPINOSA GARCIA		NOMBRE DE LA PIEZA:	
REVISO		ING. ERICK LÓPEZ ALARCÓN		Sujeción soporte cilíndrico	
ACOTACIÓN		IN		MATERIAL:	
ESCALA		1:1		Barra cilíndrica de Aluminio	
FECHA		28/04/2022		6061 T6	
		No. 14		HOJA DE 1	





Instituto Politécnico Nacional
 Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas upiita-ipn

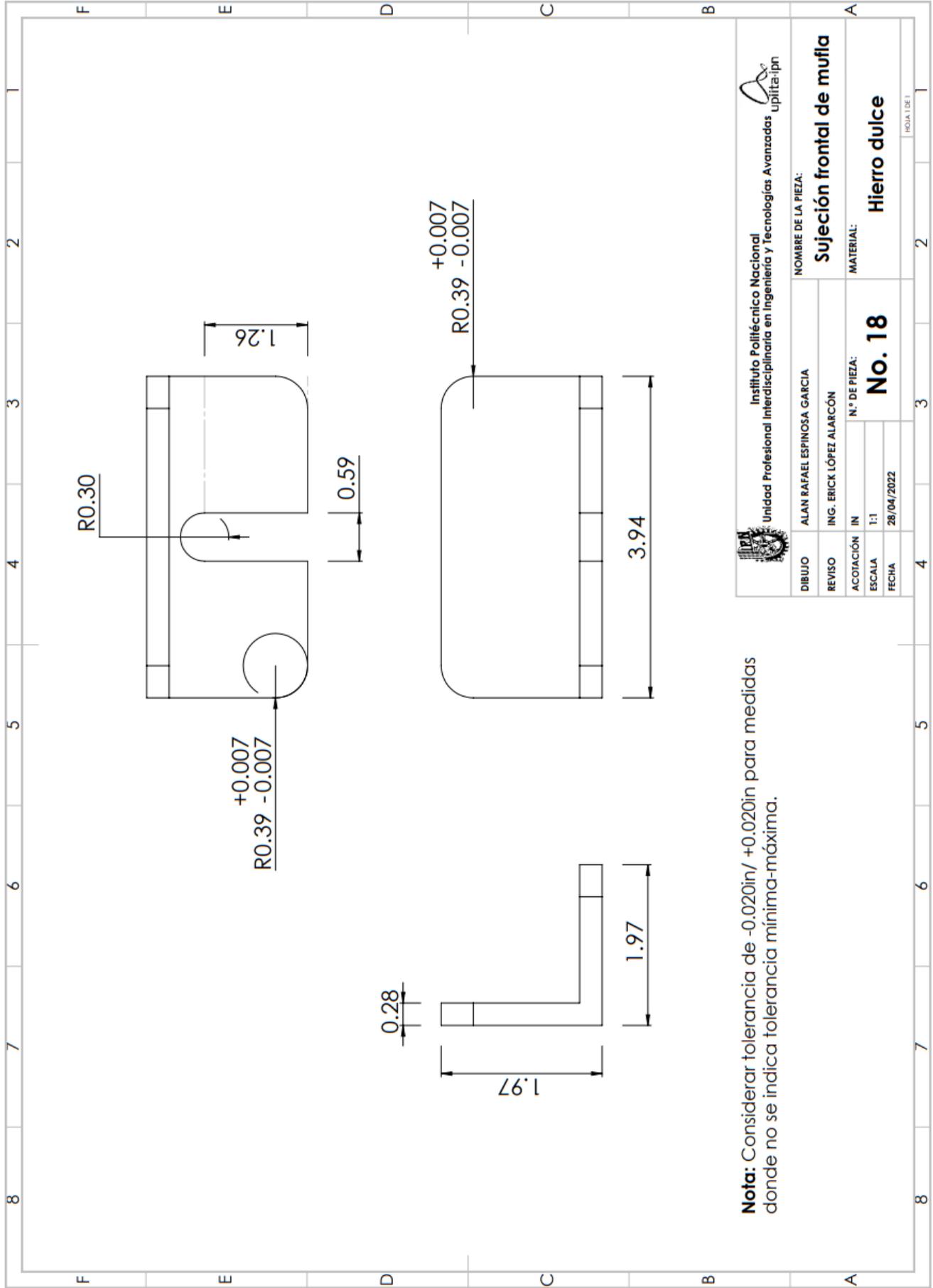
DIBUJO		ALAN RAFAEL ESPINOSA GARCIA		NOMBRE DE LA PIEZA:	
REVISO		ING. ERICK LÓPEZ ALARCÓN		Base de apoyo del motor	
ACOTACIÓN		IN		MATERIAL:	
ESCALA		1:2		Hierro dulce	
FECHA		28/04/2022		No. 16	
				HOJA 1 DE 1	

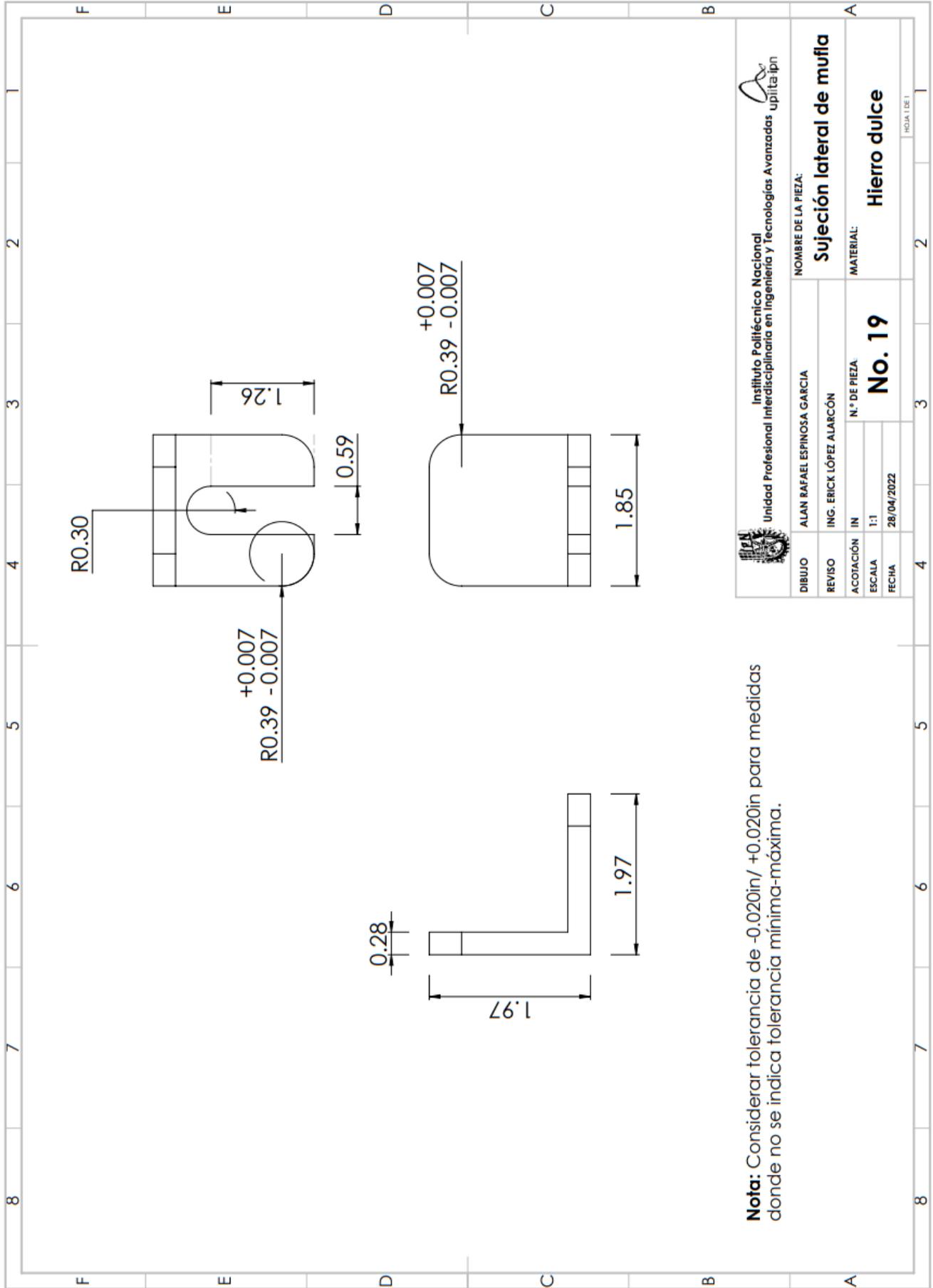


Nota: Considerar tolerancia de $-0.020\text{in} / +0.020\text{in}$ para medidas donde no se indica tolerancia mínima-máxima.


Instituto Politécnico Nacional
 Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas *upita ipn*

DIBUJO	ALAN RAFAEL ESPINOSA GARCIA	NOMBRE DE LA PIEZA:	Sujeción de rodamiento
REVISO	ING. ERICK LÓPEZ ALARCÓN	MATERIAL:	
ACOTACIÓN	IN	N.º DE PIEZA:	Hierro dulce
ESCALA	1:1	No. 17	
FECHA	28/04/2022		
		ESCALA 1:1	2





Nota: Considerar tolerancia de $-0.020\text{in}/ +0.020\text{in}$ para medidas donde no se indica tolerancia mínima-máxima.

 Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas upiitaijn		NOMBRE DE LA PIEZA: Sujeción lateral de mufía	
DIBUJO	ALAN RAFAEL ESPINOSA GARCIA	ACOTACIÓN	IN
REVISO	ING. ERICK LÓPEZ ALARCÓN	ESCALA	1:1
		N.º DE PIEZA	No. 19
		FECHA	28/04/2022
		MATERIAL: Hierro dulce	
		HOJA 1 DE 1	

APÉNDICE B

PROGRAMA MICROCONTROLADOR

```
#define F_CPU 4000000UL

#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <util/delay.h>
#include <stdio.h>

#define true 1
#define false 0

#define WAIT true

//Declaración de los puertos utilizados del AVR
#define INLCD PORTA
#define DIRLCD DDRA
#define OUTLCD PINA
#define RSLCD 0 //Pines del puerto definido en OUTLCD
#define RWLCD 1
#define ELCD 2
#define D4LCD 4
#define D5LCD 5
#define D6LCD 6
#define D7LCD 7
//===== Teclado =====
#define INTEC PORTB
#define DIRTEC DDRB
#define OUTTEC PINB

//Tiempos de espera
#define T_WAITEus 2 //Tiempo de espera en el pin Enable
#define T_WAITInsus 45 //Tiempo de espera para una Instrucción

//Comandos para la LCD
#define _8bitsMode 0b00110000
#define _2linesMode 0b00101000
#define ON 0b00001110
#define OFF 0b00001000
#define CLEAR 0b00000001
#define incr_Mode 0b00000110 //Modo incremental sin Shift

//Máscaras para las interfaces de dispositivo
#define _8BitsMPU true
#define _4BitsMPU false
#define _4BitsInstruction 0xF0
```

```

//===== Constantes para el algoritmo del teclado =====
#define ENTER 'A'
#define CANCEL 'C'
#define SKIP -1
const unsigned char Keyboard[16]={'1','2','3','A','4','5','6','B','7','8','9','C','*','0','#','D'};

//===== Alarma LED =====
#define INLED PORTA
#define DIRLED DDRA
#define WLED 3
unsigned int PWM_LED=1; //Variable de registro para la intermitencia de la alarma LED.
volatile unsigned char LED_ON=0; //Variable que indica el estado (activado o desactivado) del LED.
//=====

//===== Buzzer =====
#define Do6 118
#define Reb6 112
#define Re6 105
#define Mib6 99
#define Mi6 94
#define Fa6 88
#define Solb6 83
#define Sol6 79
#define Lab6 74
#define La6 70
#define Sib6 66
#define Si6 62

#define Do7 59
#define Reb7 55
#define Re7 52
#define Mib7 49
#define Mi7 46
#define Fa7 44
#define Solb7 41
#define Sol7 39
#define Lab7 37
#define La7 35
#define Sib7 33
#define Si7 31

#define INBUZZER PORTD
#define DIRBUZZER DDRD
#define BUZZER 0
#define OCTAVE 5

enum{ALARM_01,ALARM_02};

```

```

//----- Alarma 01 (Aviso)-----
const unsigned char MIDI_01[4]={Do6,Reb6,Re6,Mib6};
const unsigned char
MIDI_beat_01[8]={4*OCTAVE,OCTAVE,4*OCTAVE,OCTAVE,4*OCTAVE,OCTAVE,4*OCTAVE,OCTAVE
}; //Duración de las notas y los silencios.
//-----
//----- Alarma 02 (Emergencia)-----
const unsigned char MIDI_02[2]={Do7,Do6};
const unsigned char MIDI_beat_02[4]={8*OCTAVE,OCTAVE,8*OCTAVE,OCTAVE};
//-----
const unsigned char *MIDI[2]={MIDI_01,MIDI_02};
const unsigned char *MIDI_beat[2]={MIDI_beat_01,MIDI_beat_02};
//Alarma 01: 4.
//Alarma 02: 2.
const unsigned char MIDI_length[2]={4,2}; //Elementos de las cadenas: MIDI.
unsigned char tune; //Variable para la selección del tono.
unsigned char beat=1; //Variable de conteo para la duración de las notas y los silencios.
unsigned char note=0; //Variable de registro para la cadena apuntada por: MIDI.
unsigned char baton=0; //Variable de registro para la cadena apuntada por: MIDI_beat.
volatile unsigned char pause=0; //Variable que indica la reproducción de un silencio.
unsigned char cycle=1; //Variable para la generación de la señal PWM enviada al buzzer.
volatile unsigned char end=0; //Variable que indica el fin de la reproducción del tono.
volatile unsigned char Buzzer_ON=0; //Variable que indica el estado (activado o desactivado) del
buzzer.
//=====

//==== Temporizador ====
volatile unsigned char Timer_ON=0; //Variable que indica el estado (activado o desactivado) del
temporizador.
volatile unsigned char min=0; //Número de minutos establecidos para el temporizador.
volatile unsigned char seg=0; //Variable de registro para los segundos.
volatile unsigned char timeU=1; //Variable de registro para el conteo de segundos.
volatile unsigned char TimeOver=0; //Variable que indica la finalización del tiempo establecido en
el temporizador.
unsigned char digit=0; //Variable para el almacenamiento de las decenas y las unidades del
temporizador.
unsigned char time[2]={'0','0'}; //Arreglo de los dígitos del temporizador.
unsigned char countdown=0; //Variable que indica si el temporizador está activado.
//=====

void TurnOff_Timer(void){
    if(!(Timer_ON|LED_ON|Buzzer_ON))
        //Timer/Counter2 se detiene.
        TCCR2&=~((1<<CS22)|(1<<CS21)|(1<<CS20));
}

//===== Funciones =====

```

```

//===== Buzzer =====

void Res_Buzzer(void){
    //Timer/Counter0 se detiene.
    TCCR0&=~((1<<CS02)|(1<<CS01)|(1<<CS00));

    TurnOff_Timer();

    //Restablecimiento de los valores de las variables para el buzzer.
    beat=1;
    baton=0;
    pause=0;
    note=0;
    cycle=1;
    Buzzer_ON=0;

    //Desactivación del buzzer.
    INBUZZER|=(1<<BUZZER);
}

//Interrupt Service Routine
ISR(TIMER0_COMP_vect){
    switch(cycle){
        case 1:
            INBUZZER|=(1<<BUZZER);
            cycle++;
            break;
        case 4:
            if(pause){
                //Timer/Counter0 se detiene y el buzzer se apaga.
                TCCR0&=~((1<<CS02)|(1<<CS01)|(1<<CS00));
                INBUZZER|=(1<<BUZZER);
            }else
                INBUZZER&=~(1<<BUZZER);

            cycle=1;
            break;
        default:
            cycle++;
            break;
    }
}

void Act_Buzzer(void){
    if(beat==MIDI_beat[tune][baton]){
        beat=1;
        baton++;
    }
}

```

```

        if(baton==2*MIDI_length[tune])
            baton=0;

        if(pause){
            note++;

            if(note==MIDI_length[tune])
                note=0;

            OCR0=MIDI[tune][note];

            //Activación del buzzer.
            INBUZZER&=~(1<<BUZZER);
            //CS02, CS01 y CS00: (clk_I/O)/8.
            TCCR0|=(1<<CS01);
            TCCR0&=~((1<<CS02)|(1<<CS00));

        }

        //Conmutación con los valores: 0 y 1.
        pause=!pause;
    }else
        beat++;
}

void Ini_Buzzer(void){
    //----- Timer/Counter0 -----
    //Forma de onda (PWM) para las notas.

    //WGM01 y WGM00: Modo CTC.
    //Timer/Counter0 detenido.
    TCCR0|=(1<<WGM01);
    TCCR0&=~(1<<WGM00);

    //Habilitación de la interrupción por Compare Match.
    TIMSK|=(1<<OCIE0);
    //-----

    DIRBUZZER|=(1<<BUZZER); //Pin como salida.
    INBUZZER|=(1<<BUZZER); //Inicialización del pin en nivel alto (buzzer desactivado.)
}

void Play_Tune(unsigned char melody){
    tune=melody;

    //Registro Output Compare.
    OCR0=MIDI[tune][note];

```

```

//Activación del buzzer.
INBUZZER&=~(1<<BUZZER);

//----- Activación del Timer/Counter0 y Timer/Counter2 -----
//CS02, CS01 y CS00: (clk_I/O)/8.
TCCR0|=(1<<CS01);
TCCR0&=~((1<<CS02)|(1<<CS00));

//CS22, CS21 y CS20: (clk_T2S)/1024.
TCCR2|=(1<<CS22)|(1<<CS21)|(1<<CS20);
//-----

//Habilitación del buzzer en el Timer/Counter2.
Buzzer_ON=1;
}
//=====

void Reloj(void){
    //----- Timer/Counter2 -----

    //WGM21 y WGM20: Modo CTC.
    //Timer/Counter2 detenido.
    TCCR2|=(1<<WGM21);
    TCCR2&=~(1<<WGM20);

    //Timer/Counter2 configurado a 25 ms.
    OCR2=97;

    //Habilitación de la interrupción por Compare Match.
    TIMSK|=(1<<OCIE2);
    //-----
}

//===== Funciones =====
//===== LED =====
void Res_LED(void){
    TurnOff_Timer();

    //Restablecimiento de los valores de las variables para el LED.
    PWM_LED=1;
    LED_ON=0;

    //Apagado del LED.
    INLED&=~(1<<WLED);
}

void Act_LED(void){
    if(PWM_LED==20){

```

```

        INLED^=(1<<WLED);
        PWM_LED=1;
    }else
        PWM_LED++;
}

void Light_LED(void){
    INLED|=(1<<WLED);

    //---- Activación del Timer/Counter2 ----
    //CS22, CS21 y CS20: (clk_T2S)/1024.
    TCCR2|=(1<<CS22)|(1<<CS21)|(1<<CS20);
    //-----

    LED_ON=1;
}
//=====

//===== Funciones =====
//===== LCD =====
void EnableLCD(void){
    INLCD|=(1<<ELCD);
    _delay_us(T_WAITEus);
    INLCD&=~(1<<ELCD);
}

void WaitLCD(void){
    DIRLCD&=~((1<<D4LCD)|(1<<D5LCD)|(1<<D6LCD)|(1<<D7LCD)); //Se establece el puerto
del AVR como entrada para monitorear la LCD
    INLCD&=~(1<<RSLCD); //Modo Instrucción
    INLCD|=(1<<RWLCD); //Modo Lectura

    unsigned char BusyFlag=true;
    unsigned char data;

    while(BusyFlag){
        INLCD|=(1<<ELCD);
        _delay_us(T_WAITEus);
        data=OUTLCD;
        INLCD&=~(1<<ELCD);

        _delay_us(T_WAITEus);

        INLCD|=(1<<ELCD);
        _delay_us(T_WAITEus);
        data=(OUTLCD>>4)|(data&_4BitsInstruction);
        INLCD&=~(1<<ELCD);
    }
}

```

```

        BusyFlag=data>>D7LCD;
    }

    DIRLCD|=((1<<D4LCD)|(1<<D5LCD)|(1<<D6LCD)|(1<<D7LCD));
}

void Instruction(uint8_t command,unsigned char TestBussy,unsigned char Interface){
    char n;

    if(Interface)
        n=1;
    else
        n=2;

    if(TestBussy){
        WaitLCD(); //Revisa el estado de la LCD
    }

    for(char i=0;i<n;i++){
        INLCD&=~(1<<RSLCD); //Modo Instrucción
        INLCD&=~(1<<RWLCD); //Modo Escritura
        _delay_us(100);
        INLCD=(~(_4BitsInstruction)&OUTLCD)|(_4BitsInstruction&(command<<(4*i)));
        EnableLCD();
    }
}

void WriteGL(char letter){
    WaitLCD();

    for(char i=0;i<2;i++){
        INLCD|=(1<<RSLCD); //Modo Dato
        INLCD&=~(1<<RWLCD); //Modo Escritura
        _delay_us(100);
        INLCD=(~(_4BitsInstruction)&OUTLCD)|(_4BitsInstruction&(letter<<(4*i)));

        EnableLCD();
    }
}

void SendLCD(char *text){
    unsigned char c, i=0;

    while((c=text[i++){
        WriteGL(c); //Instrucción "Write Data to DDRAM/CGRAM"
    }
}

```

```

void Pos(unsigned char row,uint8_t col){
    WaitLCD();

    for(char i=0;i<2;i++){
        INLCD&=~(1<<RSLCD); //Modo Instrucción
        INLCD&=~(1<<RWLCD); //Modo Escritura
        _delay_us(100);
        if(row==1){

            INLCD=(~(_4BitsInstruction)&OUTLCD)|(_4BitsInstruction&((0b11000000+col)<<(4*i)));
//Dirección de la DDRAM (Segunda línea)
                }else{

            INLCD=(~(_4BitsInstruction)&OUTLCD)|(_4BitsInstruction&((0b10000000+col)<<(4*i)));
                }

            EnableLCD();
        }
    }
}

void Ini_LCD(void){
    //Rutina para la inicialización de la LCD de acuerdo al fabricante
    DIRLCD |=((1<<RSLCD)|(1<<RWLCD)|(1<<ELCD)|(1<<D4LCD)|(1<<D5LCD)|(1<<D6LCD)|(1<<
<D7LCD)); //Se establece el puerto del AVR como salida para manejar la LCD

    INLCD&=~(1<<RSLCD); //Modo Instrucción
    INLCD&=~(1<<RWLCD); //Modo Escritura
    INLCD&=~(1<<ELCD); //Pulso bajo en pin Enable

    _delay_ms(45); //Tiempo de carga de la LCD (mayor a 40 ms)
    Instruction(_8bitsMode,!WAIT,_8BitsMPU);
    _delay_ms(5); //Tiempo de espera mayor a 4.1 ms
    Instruction(_8bitsMode,!WAIT,_8BitsMPU);
    _delay_us(150); //Tiempo de espera mayor a 100 us
    Instruction(_8bitsMode,!WAIT,_8BitsMPU);
    Instruction(_2linesMode,WAIT,_8BitsMPU);
    Instruction(_2linesMode,WAIT,_4BitsMPU); //Comando: Dos líneas habilitadas y Fuente
de Carácter 5x8
    Instruction(OFF,WAIT,_4BitsMPU); //Comando: Display Off
    Instruction(CLEAR,WAIT,_4BitsMPU); //Comando: Clear Display
    Instruction(incr_Mode,WAIT,_4BitsMPU); //Comando: Modo incremental unitario sin Shift
(incluyendo REV de ocupado)
    Instruction(ON,WAIT,_4BitsMPU); //Comando: Display On
}

void Number2String(unsigned char number){
    unsigned char unit='0';

```

```

    unsigned char ten='0';

    while(number){
        if(unit=='9'){
            ten++;
            unit='0';
        }else
            unit++;

        number--;
    }

    WriteGL(ten);
    WriteGL(unit);
}

void Display_Time(void){
    Number2String(min);
    WriteGL(':');
    Number2String(seg);
}
//=====================================================

//===== Funciones =====
//===== Temporizador ===
void Res_Timer(void){
    TurnOff_Timer();

    //Restablecimiento de los valores de las variables para el temporizador.
    timeU=1;
    min=0;
    seg=0;
    TimeOver=0;
    Timer_ON=0;
}

void Act_Timer(void){
    if(timeU==40){
        timeU=1;

        if(seg==0){
            min--;
            seg=59;
        }else
            seg--;

        if((min==0)&&(seg==0)){
            Instruction(CLEAR, WAIT, _4BitsMPU); //Comando: Clear Display.
        }
    }
}

```

```

        SendLCD("Presione \"A\"");

        Timer_ON=0;
        TurnOff_Timer();

        Light_LED();
        Play_Tune(ALARM_02);

        TimeOver=1;
    }

    Pos(1,0);
    Display_Time();
    if(!TimeOver)
        SendLCD(" Canc. C");
}
else
    timeU++;
}

void Start_Timer(void){
    Instruction(CLEAR, WAIT, _4BitsMPU); //Comando: Clear Display.
    SendLCD("Temporizador");
    Pos(1,0);
    Display_Time();
    SendLCD(" Canc. C");

    Timer_ON=1;

    //----- Activación del Timer/Counter2 -----
    //CS22, CS21 y CS20: (clk_T2S)/1024.
    TCCR2|=(1<<CS22)|(1<<CS21)|(1<<CS20);
    //-----
}
//=====

//===== Teclado =====
signed char Press_Keyboard(void){
    signed char key=SKIP;
    char PushDown=false;

    for(char i=4;i<8;i++){ //Filas [Entradas]
        for(char j=0;j<4;j++){ //Columnas [Salidas]
            INTEC&=~(1<<j);
            _delay_us(100);
            if((OUTTEC&(1<<i))==0){

                key=Keyboard[4*(i-4)+j];
            }
        }
    }
}

```

```

        while((OUTTEC&(1<<i))==0)
            _delay_ms(10);

        PushDown=true;
    }

    INTEC|=(1<<j);

    if(PushDown)
        break;
}

    if(PushDown){
        PushDown=false;
        break;
    }
}

return key;
}
//=====

//===== Reloj =====
ISR(TIMER2_COMP_vect){
    if(Timer_ON)
        Act_Timer();

    if(Buzzer_ON)
        Act_Buzzer();

    if(LED_ON)
        Act_LED();
}
//=====

void Set_Timer(void){
    Instruction(CLEAR, WAIT, _4BitsMPU); //Comando: Clear Display.
    SendLCD("Ingrese Tiempo:");
    Pos(1,0);
    SendLCD("00 min Pres. A");
    Pos(1,0);

    digit=0;
    time[0]='0';
    time[1]='0';

    Res_Buzzer();
    Res_LED();
}

```

```

    Res_Timer();

    TimeOver=0;
    countdown=0;
}

int main(void)
{
    //Desactivación de la interfaz JTAG.
    MCUCSR|=(1<<JTD);
    MCUCSR|=(1<<JTD);

    //===== Código: LED =====
    DIRLED|=(1<<WLED);
    INLED&=~(1<<WLED);
    //=====

    //===== Código: Teclado =====
    signed char tecla;

    DIRTEC|=0x0F; //Columnas del teclado como salidas.
    DIRTEC&=~(0xF0); //Filas del teclado como entradas.
    INTEC|=0xFF; //Activación de las resistencias de Pull Up para las filas.
                                     //Establecimiento de un nivel alto para las columnas.
    //=====

    Ini_LCD();

    cli(); //Deshabilita las interrupciones.

    Ini_Buzzer();

    Reloj();

    sei(); //Habilita las interrupciones.

    SendLCD("Ingrese Tiempo:");
    Pos(1,0);
    SendLCD("00 min Pres. A");
    Pos(1,0);

    while(1)
    {
        tecla=Press_Keyboard();

        switch(tecla){
            case ENTER: /*Caracter: A*/
                if(TimeOver)

```

```

        countdown=0;

        if(!countdown){
            if(!TimeOver){
                if(min==0){
                    //Condiciones para activar
                    inmediatamente las alarmas: LED y buzzer.
                    timeU=40;
                    seg=1;
                }

                countdown=1;
                Start_Timer();
            }else
                Set_Timer();
        }

        break;
    case CANCEL:/*Caracter: C*/
        if(countdown)
            if(!TimeOver)
                Set_Timer();

        break;
    default:
        if(!countdown){
            if(('0'<=tecla)&&(tecla<='9')){
                WriteGL(tecla);

                if(digit)
                    Pos(1,0);

                time[digit]=tecla;

                min=10*(time[0]-'0')+(time[1]-'0');

                digit=!digit;
            }
        }

        break;
    }

    _delay_ms(100);
}
}

```