

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN MANUFACTURA

COHORTE 2019

TEMA:

**“TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE MOLDES PARA OPTIMIZAR EL
PROCESO DE MOLDEO POR SOPLADO DE ENVASES PET, EN UNA
PLANTA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS”**

Trabajo de Titulación

Previo a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica

Mención Manufactura

Autor: Ing. Diego Javier Yugsi Llano

Director: Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg.

Ambato - Ecuador

Enero - 2021

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y

Mecánica

El tribunal receptor del Trabajo de Titulación presidido por el Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg., e integrado por: Ing. Diego Fernando Núñez Núñez, Mg., Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: **“TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE MOLDES PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE MOLDEO POR SOPLADO DE ENVASES PET, EN UNA PLANTA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS”**, elaborado y presentado por el señor: Ing. Diego Javier Yugsi Llano, para optar por el Grado Académico de Magíster en Mecánica mención Manufactura; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.

Presidente del Tribunal de Defensa



Ing. Diego Fernando Núñez Núñez, Mg.

Miembro del Tribunal



Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg.

Miembro del Tribunal

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: **“TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE MOLDES PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE MOLDEO POR SOPLADO DE ENVASES PET, EN UNA PLANTA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS”**, le corresponde exclusivamente al: Ingeniero Diego Javier Yugsi Llano, Autor bajo la Dirección del Ingeniero Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg., Director del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Diego Javier Yugsi Llano

C.C. 050329396-1

AUTOR



Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg.

C.C. 180382826-6

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según normas de la Institución.

Cedo los derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Diego Javier Yugsi Llano
C.C. 050329396-1

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a mi madre, abuelos y en especial a mi tío Oscar.

Agradezco a Dios por otorgarme la vida, salud y felicidad.

A mi madre por darme la fuerza e incentivo para cumplir mis logros, estoy agradecido con Dios por tenerte a mi lado y siempre creer en mí.

A mis abuelitos por su amor y ternura fundamentales para alcanzar mis metas profesionales y personales.

A mi tío Oscar, aunque ya no estés presente en esta vida “Tu espíritu sigue inspirando sabiduría en mis logros”.

A mis docentes, amigos y compañeros de maestría por el apoyo brindado en esta nueva etapa académica, gracias por compartir su experiencia y conocimiento.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, a sus Autoridades, cuerpo Docente y de Servicio por ser los promotores de esta Maestría.

Al personal de la empresa “Centros de Mecanizado MARCNC” de la ciudad de Quito por compartir sus conocimientos y experiencia para la realización del presente proyecto de investigación.

Al Ing. Oscar Analuiza que es el tutor de esta investigación, por su apoyo, direccionamiento y asesoramiento en el desarrollo de la presente tesis.

ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO

	Pág.
PÁGINAS PRELIMINARES	i
CARÁTULA.....	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xix
RESUMEN EJECUTIVO	xx
EXECUTIVE SUMMARY.....	xxi
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Hipótesis.....	4
1.4.1 Señalamiento de Variables.....	4

1.4.1.1	Variable Independiente	4
1.4.1.2	Variable Dependiente	5
1.5	Fundamentación Teórica	5
1.5.1	Tecnología.....	5
1.5.2	Tecnologías de Fabricación.....	5
1.5.2.1	Tipos de Tecnologías de fabricación	6
1.5.3	El PET	9
1.5.3.1	Proceso de Transformación del PET	9
1.5.3.2	Estados del PET	10
1.5.4	Pellets	11
1.5.5	Preformas	12
1.5.6	Envases.....	12
1.5.6.1	Factores que influyen en la obtención de Envases	13
1.5.7	Planta Embotelladora de bebidas	15
1.5.8	Máquinas Sopladoras	17
1.5.8.1	Máquinas Sopladoras Rotativas.....	17
1.5.8.2	Maquinas Sopladoras Lineales	18
1.5.9	Molde de Soplado	20
1.5.9.1	Tipos de Moldes de Soplado.....	20
1.5.10	Etapas del Proceso de Moldeo por soplado de envases	23
1.5.10.1	Alimentación de las Preformas	23
1.5.10.2	Carga y Transferencia de preformas	23
1.5.10.3	Acondicionamiento de Preformas.....	24
1.5.10.4	Moldeo por Estirado y Soplado (MES)	25
1.5.10.5	Transferencia de envases	26

1.6	Técnicas de análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD).....	26
1.6.1	Campos de aplicación	26
1.6.2	Ventajas e inconvenientes	27
1.7	Fundamentación Legal	28
CAPÍTULO II		29
METODOLOGÍA		29
2.1	Materiales	29
2.1.1	Preforma.....	29
2.1.2	Envase	29
2.1.3	Metales para la fabricación de moldes	30
2.2	Metodología.....	31
2.2.1	Operacionalización de Variables.....	32
2.2.1.1	Variable Independiente	32
2.2.1.2	Variable Dependiente	33
2.2.2	Recolección de la información.....	34
2.2.3	Procesamiento y Análisis	35
CAPÍTULO III.....		36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		36
3.1	Análisis y discusión de los resultados	36
3.1.1	Recopilación de datos preliminares	38
3.1.2	Tabulación y Presentación Grafica de los datos	41
3.1.2.1	Diseño de la Preforma.....	41
3.1.2.2	Diseño del Envase.....	42
3.1.2.3	Diseño de la Tecnología de fabricación de moldes	43
3.1.2.4	Simulación del Proceso de Moldeo por Soplado	45

3.2	Verificación de hipótesis	49
CAPÍTULO IV		54
DESARROLLO DE PROPUESTA		54
4.1	Descripción.....	54
4.2	Objetivos	54
4.3	Desarrollo	54
4.3.1	Diseño de la Tecnología de Fabricación de moldes.....	54
4.3.1.1	Modelado de la preforma y el envase	54
4.3.1.2	Modelado de los componentes del molde.....	56
4.3.1.3	Simulación de Operaciones de Torno.....	58
4.3.1.4	Simulación de Operaciones de Fresado	75
4.3.1.5	Hojas de Proceso.....	86
4.3.2	Simulación del Proceso de Moldeo por Soplado	96
4.3.2.1	Condiciones de borde.....	96
4.3.2.2	Velocidades de flujo, presiones y temperatura	97
4.3.2.3	Preparación del modelo	98
4.3.2.4	Criterio de mallado	105
4.3.2.5	Distribucion de Espesores en el Envase	107
4.3.3	Evaluación mecánica y térmica del molde.....	118
4.3.4	Informe tecnológico de Optimización del Proceso.....	124
4.4	Análisis de resultados	131
4.4.1	Análisis Técnico.....	131
4.4.2	Análisis Económico	131
4.4.2.1	Costos de materia prima	131
4.4.2.2	Costos de elementos normalizados	132

4.4.2.3	Costos de mano de obra	132
4.4.2.4	Costos de Tratamientos Térmicos.....	133
4.4.2.5	Costos de diseño	133
4.4.2.6	Costo total del proyecto	134
CAPÍTULO V		136
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		136
5.1	Conclusiones	136
5.2	Recomendaciones	138
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		139
ANEXOS		141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Uso de la tecnología de fabricación aditiva en moldes	6
Figura 1-2 Proceso de fabricación de molde mediante impresión 3D Polyjet.....	7
Figura 1-3 Disposición de elementos de impresión 3D	7
Figura 1-4 Mecanizado CNC de moldes de soplado.....	8
Figura 1-5 Simulación de mecanizado CNC.....	8
Figura 1-6 Estructura Molecular y Simbología del PET.....	9
Figura 1-7 Proceso de obtención del PET.....	10
Figura 1-8 Resina virgen.....	10
Figura 1-9 Preforma	11
Figura 1-10 Envase	11
Figura 1-11 Pellets y Preformas	12
Figura 1-12 Partes de un envase.....	13
Figura 1-13 Curva de absorción de humedad en el PET.....	15
Figura 1-14 Principales plantas embotelladoras ecuatorianas.	15
Figura 1-15 Layout de maquinarias en una planta embotelladora de bebidas	16
Figura 1-16 Rueda de soplado de 16 bastidores.....	17
Figura 1-17 Levas de apertura y cierre de prensa	18
Figura 1-18 Etapas de proceso de una sopladora tipo rotativa.....	18
Figura 1-19 Prensa de soplado monoblock	19
Figura 1-20 Mecanismos de apertura y cierre de prensa.....	19
Figura 1-21 Etapas de proceso de una sopladora tipo lineal.....	19
Figura 1-22 Partes de un molde de soplado rotativo.....	21
Figura 1-23 Disposición de moldes en una sopladora rotativa	21
Figura 1-24 Partes de un molde de soplado lineal	22
Figura 1-25 Disposición de moldes en una sopladora lineal.....	22

Figura 1-26 Alimentación de las preformas.....	23
Figura 1-27 Carga y transferencia de preformas.....	24
Figura 1-28 Acondicionamiento de preformas	24
Figura 1-29 Conformado del envase en un molde de soplado.....	25
Figura 1-30 Moldeo por estirado y soplado de envases.....	25
Figura 1-31 Transferencia de los envases	26
Figura 1-32 Análisis CFD en una matriz de soplado.....	27
Figura 2-1 Preforma y envase PET.	29
Figura 2-2 Estructuras en los envases PET.	30
Figura 3-1 Diagrama de flujo del proceso de investigación.	37
Figura 3-2 Variaciones de temperatura.	52
Figura 3-3 Coeficiente de Transferencia de Calor.	52
Figura 4-1 Modelado de la preforma.	55
Figura 4-2 Modelado del envase.	55
Figura 4-3 Volumen de llenado del envase.....	56
Figura 4-4 Barra de herramientas de moldes.	57
Figura 4-5 Ensamble final de los moldes de soplado.....	57
Figura 4-6 Árbol de rasgos de mecanizado.....	64
Figura 4-7 Árbol de operaciones.....	64
Figura 4-8 Árbol de herramientas.	64
Figura 4-9 Configuración de herramientas - plaquita.	65
Figura 4-10 Configuración de portaherramientas.	65
Figura 4-11 Características del torno CNC.....	66
Figura 4-12 Selección de la torreta de herramientas - torno.....	66
Figura 4-13 Importación y selección del postprocesador.	67
Figura 4-14 Selección de cabezal principal.	67
Figura 4-15 Configuración del tocho.	68

Figura 4-16 Designación de sistema de coordenadas.	68
Figura 4-17 Extracción de rasgos mecanizables.	69
Figura 4-18 Generacion de plan de operaciones.	69
Figura 4-19 Generación de camino de herramientas.	69
Figura 4-20 Disposición de tocho en el cabezal.	70
Figura 4-21 Simulación del mecanizado.	70
Figura 4-22 Operación de refrentado y desbaste.	71
Figura 4-23 Operación de acabado.	71
Figura 4-24 Operación de tronzado.	71
Figura 4-25 Verificación del mecanizado final y material sobrante.	72
Figura 4-26 Mecanizado final	72
Figura 4-27 Postprocesado de códigos G.	73
Figura 4-28 Editor de códigos G.	73
Figura 4-29 Máquina virtual - torno.	73
Figura 4-30 Simulación en máquina virtual.	74
Figura 4-31 Recorrido de la herramienta.	74
Figura 4-32 Árbol de rasgos de mecanizado.	75
Figura 4-33 Árbol de operaciones.	75
Figura 4-34 Árbol de herramientas.	75
Figura 4-35 Configuración de herramientas - fresas.	76
Figura 4-36 Configuración de portaherramientas.	76
Figura 4-37 Características de la fresadora CNC.	77
Figura 4-38 Selección de la torreta de herramientas - fresadora.	77
Figura 4-39 Importación y selección del postprocesador.	78
Figura 4-40 Configuración del tocho.	78
Figura 4-41 Designación de sistema de coordenadas.	79
Figura 4-42 Extracción de rasgos mecanizables.	79

Figura 4-43 Generacion de plan de operaciones.....	80
Figura 4-44 Generación de camino de herramientas.....	80
Figura 4-45 Disposición de tocho en la mesa.....	81
Figura 4-46 Simulación del mecanizado.....	81
Figura 4-47 Operación de taladrado.....	81
Figura 4-48 Operación de desbaste.....	82
Figura 4-49 Operación de contorneado.....	82
Figura 4-50 Verificación del mecanizado final.....	82
Figura 4-51 Postprocesado de códigos G.....	83
Figura 4-52 Editor de códigos G.....	83
Figura 4-53 Origen del plan de trabajo.....	84
Figura 4-54 Desplazamiento de las herramientas.....	84
Figura 4-55 Máquina virtual - fresadora.....	85
Figura 4-56 Simulación en máquina virtual.....	85
Figura 4-57 Recorrido de la herramienta.....	85
Figura 4-58 Máquina virtual CNC.....	86
Figura 4-59 Vista isométrica del molde.....	96
Figura 4-60 Listado de materiales.....	97
Figura 4-61 Molde unido.....	97
Figura 4-62 Molde modificado para simulación.....	98
Figura 4-63 Parámetros de configuración.....	99
Figura 4-64 Selección de fluidos.....	99
Figura 4-65 Selección de materiales.....	100
Figura 4-66 Condiciones de pared.....	100
Figura 4-67 Condiciones iniciales.....	101
Figura 4-68 Configuración de entrada de aire.....	101
Figura 4-69 Configuración de entrada de agua.....	102

Figura 4-70 Configuración de los materiales.	102
Figura 4-71 Posición de material duraluminio.	103
Figura 4-72 Posición de material acero inoxidable.	103
Figura 4-73 Posición de material acero templado.	104
Figura 4-74 Velocidad de entrada del aire.	104
Figura 4-75 Velocidad de entrada del agua.	105
Figura 4-76 Cofiguración del mallado en el molde.	106
Figura 4-77 Calidad de los elementos de mallado.	106
Figura 4-78 Mallado de elementos.	107
Figura 4-79 Árbol de secuencia de simulación ANSYS.	107
Figura 4-80 Importación de la preforma y envase.	108
Figura 4-81 Mallado de la preforma.	109
Figura 4-82 Mallado del envase.	109
Figura 4-83 Mallado del hombro y cuerpo del envase.	110
Figura 4-84 Mallado en el asiento del envase.	110
Figura 4-85 Ventana principal Polydata – ANSYS.	111
Figura 4-86 Presión de soplado.	113
Figura 4-87 Variables de dependencia del tiempo.	114
Figura 4-88 Problema de contacto en el molde del envase.	114
Figura 4-89 Regiones de contactos del envase.	114
Figura 4-90 Dirección de la presión de soplado.	115
Figura 4-91 Viscosidad intrínseca de la preforma.	115
Figura 4-92 Densidad de la preforma.	116
Figura 4-93 Espesor inicial para la simulación.	116
Figura 4-94 Parámetros de transiente iterativa.	117
Figura 4-95 Unidades de medida para la simulación.	117
Figura 4-96 Actualización de solución.	118

Figura 4-97 Temperatura inicial en distintas profundidades.....	119
Figura 4-98 Análisis de temperatura en plano medio.	119
Figura 4-99 Análisis de temperatura en corte 1 (Profundidad= 15 mm).	119
Figura 4-100 Análisis de temperatura en corte 2 (Profundidad= 30 mm).	120
Figura 4-101 Análisis de temperatura en corte 3 (Profundidad= 45 mm).	120
Figura 4-102 Análisis de temperatura en el asiento.	121
Figura 4-103 Análisis de temperatura en los ductos.	121
Figura 4-104 Distribución de espesores en el envase.	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Propiedades del Tereftalato de Polietileno .	9
Tabla 1-2 Niveles de cristalinidad a lo largo de las diferentes etapas del proceso ...	14
Tabla 1-3 Ventajas e inconvenientes en la utilización de las técnicas CFD	27
Tabla 2-1 Criterios y ponderaciones para las alternativas de materiales.	30
Tabla 3-1 Especificaciones técnicas de la preforma	38
Tabla 3-2 Especificaciones técnicas del envase	39
Tabla 3-3 Características del centro de mecanizado.	40
Tabla 3-4 Características técnicas de los Equipos de soplado.	40
Tabla 3-5 Materiales de construcción del molde de soplado.	49
Tabla 3-6 Parámetros de mecanizado del molde de soplado.	49
Tabla 3-7 Herramientas utilizadas.	50
Tabla 3-8 Parámetros de proceso de moldeo por soplado.	50
Tabla 3-9 Evaluación mecánica y térmica del molde de soplado.	51
Tabla 3-10 Distribución de espesores en el envase.	53
Tabla 4-1 Resultados del diseño de la preforma y el envase.	56
Tabla 4-2 Descripción de los fluidos.	98
Tabla 4-3 Parámetros de optimización del proceso.	124
Tabla 4-4 Alternativas de mejora de proceso.	130
Tabla 4-5 Costos de materia prima.	131
Tabla 4-6 Costos de elementos normalizados.	132
Tabla 4-7 Costos de mecanizado.	132
Tabla 4-8 Costos de tratamientos térmicos.	133
Tabla 4-9 Costos de diseño.	133
Tabla 4-10 Costo total del proyecto	134
Tabla 4-11 Costos de Diseño y simulación.	135

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Especificación Técnica de la Preforma 19 gramos	142
ANEXO 2. Especificación Técnica del Envase PET	145
ANEXO 3. Planta Embotelladora Norma NTC ISO 2859 – 2.....	147
ANEXO 4. Planta Embotelladora Norma NTC 4773	149
ANEXO 5. Equipos para el Control de Calidad de Envases.....	151
ANEXO 6. Acero Bonificado Bohler V 155	152
ANEXO 7. Acero Bohler A 604	154
ANEXO 8. Duraluminio 7075	156
ANEXO 9. Acero Bohler M 238	157
ANEXO 10. Velocidades de Mecanizado para Fresadora	159
ANEXO 11. Registro de control del proceso de moldeo por soplado	160
ANEXO 12. Termorregulador Eurotherm TE10A.....	161
ANEXO 13. Presostato tipo “FF4”	162
ANEXO 14. Manorreductor tipo “TESCOM”.....	163
ANEXO 15. Procedimiento para la limpieza de los moldes de soplado.....	164
ANEXO 16. Termostato serie A19.....	165
ANEXO 17. Regulador de Flujo FQS DANFOSS	166
ANEXO 18. Electroválvula TECHNOPLAN.....	167
ANEXO 19. Plano de los Bujes	169
ANEXO 20. Plano de las Guías.	170
ANEXO 21. Plano de los Cuellos.....	171
ANEXO 22. Plano de los Asientos	172
ANEXO 23. Plano de las Cavidades.....	173
ANEXO 24. Plano de la Placa para los Asientos.....	174
ANEXO 25. Plano de la Placa para las Cavidades	175
ANEXO 26. Ensamble de Moldes de Soplado para Envases 500 ml	176

RESUMEN EJECUTIVO

Actualmente los moldes mejor diseñados y manufacturados no se hacen en Ecuador estos provienen de empresas extranjeras incrementando el costo por importación y tiempos de manufactura de moldes prototipo para pruebas, factores que afectan a la eficiencia de producción de envases; por lo tanto, el objetivo del presente proyecto de investigación es diseñar la tecnología de fabricación de moldes y simular el proceso de moldeo por soplado de envases PET los cuales serán validados acorde a especificaciones requeridas por la planta embotelladora de bebidas con el fin de optimizar tiempos, costos de fabricación y parámetros de proceso.

Se diseñó la tecnología de fabricación de moldes a través de softwares de diseño y manufactura e ingeniería asistido por computador (CAD/CAM/CAE) y se estableció los parámetros de mecanizado y materiales disponibles en el país para la manufactura de cada una de las partes que conforman un molde de soplado.

Con el desarrollo de la simulación del proceso de moldeo por soplado mediante un software de dinámica de fluidos computacional (CFD) se evaluó las propiedades mecánicas y térmicas del molde y se determinó el espesor para los envases, es así que se analizó las temperaturas de transferencia de calor en el molde durante el proceso de moldeo acorde a parámetros de proceso de la planta embotelladora.

Finalmente se implementó un informe tecnológico para optimización del proceso de moldeo por soplado, en el que se describe los parámetros adecuados para eliminar los defectos en los envases, los cuales son una presión de 32 bares, una temperatura de 95 grados centígrados, tiempo de ciclo de soplado de 2,5 segundos a una velocidad de 7,31 metros por segundo y un coeficiente de transferencia de calor de 6569,3 Watts, cuyos datos están asociados a la simulación ejecutada.

Descriptores: Tecnología, Manufactura, Molde de Soplado, Envase PET, Simulación CFD, Optimización, Proceso.

EXECUTIVE SUMMARY

Currently, the best designed and manufactured molds are not made in Ecuador, they come from foreign companies, increasing the cost of imports and manufacturing times of prototype molds for testing, factors that affect the efficiency of packaging production; therefore, the objective of this research project is to design the mold manufacturing technology and simulate the blow molding process of PET containers, which will be validated according to the specifications required by the beverage bottling plant in order to optimize times, manufacturing costs and process parameters.

Mold manufacturing technology was designed through computer-aided design and manufacturing and engineering software (CAD/CAM/CAE) and the machining parameters and materials available in the country were established for the manufacture of each of the parts that make up a blow mold.

With the development of the simulation of the blow molding process using computational fluid dynamics (CFD) software, the mechanical and thermal properties of the mold were evaluated and the thickness for the containers was determined, thus, the transfer temperatures were analyzed heat in the mold during the molding process according to process parameters of the bottling plant.

Finally, a technological report was implemented to optimize the blow molding process, which describes the appropriate parameters to eliminate defects in the containers, which are a pressure of 32 bars, a temperature of 95 degrees centigrade, cycle time blowing speed of 2.5 seconds at a speed of 7.31 meters per second and a heat transfer coefficient of 6569.3 Watts, whose data is associated with the simulation run.

Descriptors: Technology, Manufacturing, Blow Mold, PET Container, CFD Simulation, Optimization, Process.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

Existen investigaciones previas sobre el uso de tecnologías para la fabricación de moldes. Entre las que hacen referencia al uso de estas tecnologías actuales se tiene la realizada por **G. Carrillo, C. Nuila, J. Laínez** [1], que utiliza la ingeniería inversa para la creación rápida de prototipos de moldes aplicando tecnologías tales como el control numérico computarizado (CNC), impresión 3D y modelado por deposición fundida (FDM), estas tecnologías permiten optimizar los costos que implica la selección de materiales, construcción de prototipos y pruebas de funcionamiento en campo. Una de las principales ventajas del uso de softwares de diseño y manufactura asistido por computador (CAD-CAM) es el poder verificar la fabricación de los moldes en solo cuestión de horas disminuyendo el tiempo y costo que implica el desarrollo de los prototipos.

Existen investigaciones previas sobre la fabricación de moldes, una de ellas realizada en Paris por los autores **L. Grandguillaumea, S. Lavernhea, Y. Quinsata, C. Tournier** [2], hace referencia a la optimización de fresado y proceso de pulido, la cual establece una metodología con parámetros de mecanizado que permiten alcanzar la rugosidad superficial requerida y equilibrar los tiempos de fabricación en moldes de aluminio para el proceso de soplado de botellas de plástico.

En la investigación realizada en Túnez por los autores **Z. Bouaziz, J. Ben Younes** [3], establece un procedimiento para evaluar los costos de mecanizado de moldes y matrices producidas en máquinas CNC, esta técnica de modelado favorece la vinculación de la aplicación CAD con la información requerida para las aplicaciones como la planificación de procesos de mecanizado, tiempo de mecanizado, el volumen a remover y la superficie producida.

En un estudio realizado en Pamplona por **E. Haritz** [4], establece los parámetros óptimos de validación para piezas poliméricas, además de decidir si el diseño del molde es el correcto desde la selección de materiales hasta la fabricación a través de sistemas CAD-CAM los cuales nos permiten obtener de manera rápida los parámetros de mecanizado basados en los cálculos de expertos en el mundo de moldeo y matricería.

Una importante investigación realizada en Chipre por **A Lontos, A. Gregoriou** [5] demuestra mediante un software de dinámica de fluidos computacional (CFD) la tasa de deformación en la distribución final de la pared del espesor de la botella, considerando parámetros de proceso de soplado reales; llegando a deducir que a mayor velocidad de estiramiento mayor es la concentración de material resultante en la base de la botella, además se encontró que la presión de soplado más alta acumula material grueso en la región central de la botella mientras que las regiones superior e inferior de la botella se vuelven más delgadas.

En la investigación realizada en Irlanda por los autores **S. Yan, G. Menary, J. Nixon** [6], en el comportamiento constitutivo del PET durante el proceso de estirado-soplado (SBM), desarrollaron un nuevo método de caracterización de materiales que proporcione nuevos datos para el comportamiento de deformación del PET relevantes para el proceso SBM; este método utilizó una barra de estiramiento instrumentada y un sistema de correlación de imagen digital para determinar la relación tensión-deformación de las preformas y también se investigó el efecto de la temperatura de la preforma y el caudal másico de aire sobre el comportamiento de deformación del PET, debido a que el comportamiento viscoelástico no lineal del PET es muy sensible a su historial termomecánico.

Otra importante investigación es la que se realizó en la India por los autores **S. Gupta, V. Uday, A. Singh, S. Chowkshey, S. Nath Das, S. Suresh** [7], destaca el uso del software de dinámica de fluidos computacional para simular el proceso de moldeo por soplado que incluye flujo isotérmico y transitorio de fluido newtoniano en geometrías complejas simultáneamente con la estructuración y solidificación obteniendo resultados que muestran una buena concordancia con el perfil de espesor de la botella.

En el ámbito nacional se tiene proyectos referentes a la fabricación de moldes de soplado, entre el más representativo se tiene el proyecto de desarrollo sobre la aplicación de tecnologías CNC para modelar matrices de soplado de plásticos realizada en Riobamba por **D. Iguasnia, C. Torres** [8], donde hace referencia al uso de softwares de diseño y manufactura asistidos por computador para obtener informes de mecanizado en los que se detallan los pasos adecuados para obtener cada uno de los elementos que conforman los moldes de soplado logrando optimizar tiempos y operaciones inadecuadas.

1.2 Justificación

La fabricación de moldes prototipo presenta altos costos de mecanizado donde se requiere mucho tiempo y equipos adecuados para su manufactura, lo que impide a empresarios y microempresarios escalar a otros segmentos de mercado o mercados internacionales, frenando el crecimiento de sus negocios. El sector industrial matricero se encuentra en constante desarrollo científico y tecnológico, porque busca la fabricación local de moldes de soplado con materiales más livianos y resistentes que cumplan las especificaciones de calidad de una planta embotelladora de bebidas. Uno de los principales estudios es la optimización del proceso de moldeo por soplado de envases PET a través de un software de dinámica de fluidos computacional (CFD) con la tecnología CNC adecuada para la fabricación de moldes y matrices.

Los moldes son los activos fijos más utilizados en plantas embotelladoras, de ellos depende la calidad de los envases producidos; sin embargo, la tendencia es la optimización de tiempos, costos y parámetros de proceso a través del uso de softwares de diseño, manufactura e ingeniería asistidos por computador (CAD/CAM/CAE). Por lo tanto, el desarrollo de la tecnología de fabricación de moldes para optimizar el proceso de moldeo por soplado es de gran interés, ya que tiene poca información en especial en el país, de ahí el interés de realizar la investigación en esta área. Mediante la realización del presente trabajo se podrá determinar cómo influyen los moldes en la calidad y apariencia de los envases.

La investigación utilizó métodos de manufactura avanzada para desarrollar la tecnología de fabricación de moldes adherida a normas y especificaciones de una planta embotelladora, estableció una correcta planeación sin tener que crear costosos

prototipos siguiendo un procedimiento ordenado y con ayuda de un software se simuló el comportamiento de los moldes en un proceso de moldeo por soplado. Los resultados obtenidos mediante simulaciones podrán ser utilizados por futuras empresas que necesiten validar los envases producidos por los moldes diseñados sin necesidad de fabricar costosos prototipos y la logística humana que implica para realizar pruebas a pie de máquina; se convirtió en una buena opción para mantener el distanciamiento social que imperó en todo el mundo a causa de enfermedades contagiosas como el COVID-19.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar la tecnología de fabricación de moldes para optimizar el proceso de moldeo por soplado de envases PET, en una planta embotelladora de bebidas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar una búsqueda bibliográfica acerca de investigaciones efectuadas en el proceso de diseño e ingeniería de moldes.
- Diseñar la tecnología de fabricación para la elaboración de moldes utilizando herramientas CAD/CAM/CAE.
- Simular el proceso de moldeo por soplado y evaluar las propiedades mecánicas y térmicas del molde utilizando herramientas CFD (Dinámica de Fluidos Computacional).
- Implementar un informe tecnológico para optimización del proceso de moldeo por soplado de envases PET.

1.4 Hipótesis

“La tecnología de fabricación de moldes optimizará el proceso de moldeo por soplado de envases PET, en una planta embotelladora de bebidas”.

1.4.1 Señalamiento de Variables

1.4.1.1 Variable Independiente

“Tecnología de fabricación de moldes”.

1.4.1.2 Variable Dependiente

“Optimización del proceso de moldeo por soplado”.

1.5 Fundamentación teórica

1.5.1 Tecnología

Es el conjunto de conocimientos técnicos, ordenados científicamente, que permiten diseñar y crear bienes y servicios que facilitan la adaptación al medio ambiente y satisfacer tanto las necesidades esenciales como los deseos de las personas. Aunque hay muchas tecnologías muy diferentes entre sí, es frecuente usar el termino en singular para referirse a una de ellas o al conjunto de todas [9].

La actividad tecnológica influye en el progreso social y económico, pero su carácter abrumadoramente comercial hace que este más orientada a satisfacer los deseos de los más prósperos (consumismo) que las necesidades esenciales de los más necesitados, lo que tiende además a hacer uso no sostenible del medio ambiente. Sin embargo, la tecnología también puede ser usada para proteger el medio ambiente y evitar que las crecientes necesidades provoquen un agotamiento y degradación de los recursos materiales y energéticos del planeta o aumenten las desigualdades sociales [9].

1.5.2 Tecnologías de fabricación

La tecnología de fabricación se define como el conjunto de conocimientos para la elaboración de objetos a través de etapas de fabricación como la producción, construcción, elaboración de objetos por determinados medios sean estos mecánicos o químicos [9].

La impresión 3D y el mecanizado CNC son tecnologías de fabricación que en las últimas décadas han resultado muy útiles, sobre todo a la hora de resolver los retos de diseño que afrontan los fabricantes de moldes y matrices en la actualidad [10].

Entre las elevadas posibilidades que ofrece la fabricación aditiva (impresión 3D), su aplicación directa en la realización de moldes prototipo de extrusión/soplado (figura

1-1) puede ser muy apropiada en la obtención de preseries de piezas termoplásticas con material final, no sólo consideradas como prototipo, y todo ello contemplando unos plazos de obtención muy reducidos. La fabricación aditiva es una herramienta multisectorial más que implantada en la industria, con la existencia de una diversidad muy amplia de tecnologías que nos puede ayudar por ejemplo a disponer de modelos prototipo con mayor o menor calidad, precisión o nivel de detalle en consonancia a nuestras exigencias [11].

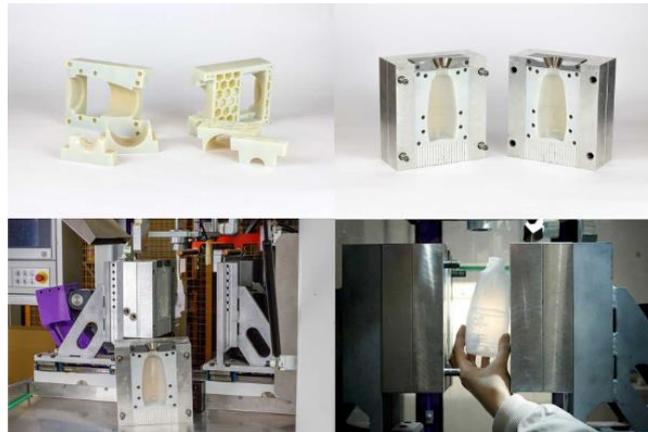


Figura 1-1 Uso de la tecnología de fabricación aditiva en moldes [11].

1.5.2.1 Tipos de Tecnologías de fabricación

Existen principalmente 2 tipos de tecnologías de fabricación de moldes las cuales son:

1.5.2.1.1 Impresión 3D FDM

También conocida como tecnología de fabricación aditiva o modelado por deposición fundida (FDM), utiliza la imagen digital de un objeto, para realizar una impresión en capas que produce una réplica idéntica del mismo. La impresión 3D FDM (figura 1-2) admite gran variedad de formatos y tamaños (como él es caso de las impresoras inteligentes de gran formato JCR3D). Esta tecnología también permite el uso de muchos materiales entre los más populares está el PLA (Acido Poliacético) y el ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), razón por la que cada vez más empresas eligen esta tecnología para transformar sus procesos productivos [10].

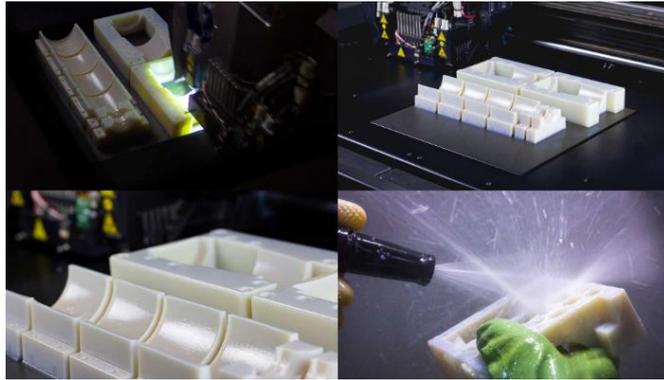


Figura 1-2 Proceso de fabricación de molde mediante impresión 3D Polyjet [11].

A diferencia de un proceso de mecanizado, esta solución de fabricación permite la obtención de las distintas partes de molde contemplando vaciados para optimizar al máximo el gasto de material; con ello es posible aplicar incluso análisis de optimizado topológico para alinear resistencia de material con los esfuerzos a los que va a estar sometido el molde durante el proceso de extrusión/soplado. [11].

Se basa en 3 elementos principales (figura 1-3): una placa/cama de impresión en la que se imprime la pieza, una bobina de filamento que sirve como material de impresión y una cabeza de extrusión también llamada extrusor. En resumen, el filamento es succionado y fundido por el extrusor de la impresora 3D, que deposita el material de forma precisa capa por capa sobre la cama de impresión [12].

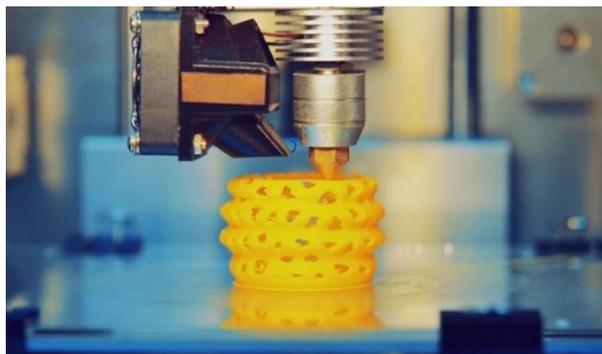


Figura 1-3 Disposición de elementos de impresión 3D [12].

1.5.2.1.2 Mecanizado CNC

El mecanizado CNC (control numérico computarizado) es una tecnología de fabricación basada en el fresado común. De hecho, el mecanizado es una evolución

del torno. Tanto es así, que esta tecnología también es conocida como torno CNC. A diferencia de la impresión 3D, el mecanizado CNC (figura 1-4) comienza con un bloque sólido y utiliza diversas herramientas rotativas, afiladas o cortadores, para retirar el material necesario y obtener una forma final. Este método de fabricación ha sido muy popular, especialmente para trabajos a media o gran escala, y no tanto para la elaboración de prototipos. Esto es debido a que es una tecnología precisa y su gran cualidad es la repetibilidad. Por ello, su uso casi se restringe a la fabricación de piezas en metal, aunque también puede admitir algunas maderas y termoplásticos. Como estos materiales varían en su consistencia y sus características, se deben utilizar diferentes tipos de cortadores para cada uno de ellos [10].



Figura 1-4 Mecanizado CNC de moldes de soplado [11].

La tecnología de fabricación CNC posee herramientas de simulación (figura 1-5) para planificar, programar y comprobar las operaciones de mecanizado, esto permite detectar y solucionar posibles problemas de colisiones convirtiéndolo no solo en un proceso muy seguro, sino también enormemente cómodo y eficiente con el uso de múltiples máquinas y la fabricación sin operarios [12].

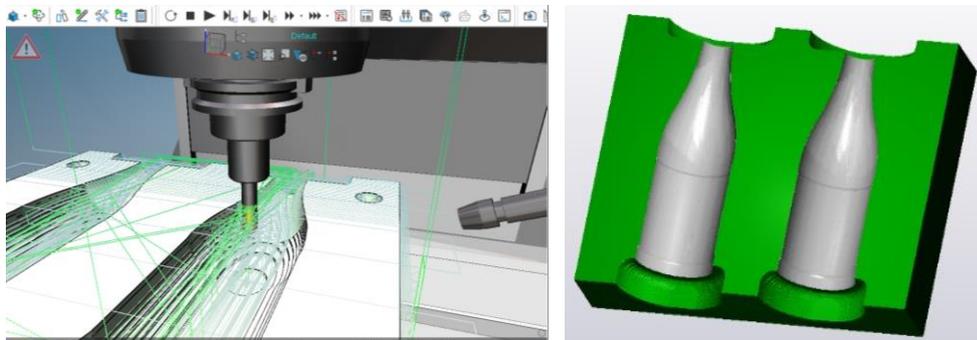


Figura 1-5 Simulación de mecanizado CNC [12].

1.5.3 El PET

El PET (Tereftalato de Polietileno) es un termoplástico poliéster que se fabrica combinando Ácido Tereftálico Purificado (PTA) y Etilenglicol (EG), dos derivados del petróleo, en un reactor para formar un polímero; su estructura molecular y su simbología se muestra en la figura 1-6 [13].

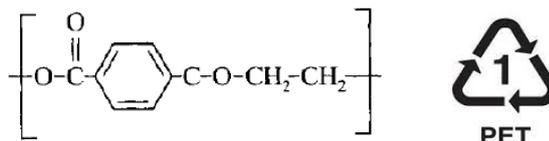


Figura 1-6 Estructura Molecular y Simbología del PET [13].

Este termoplástico es utilizado principalmente en la producción de envases de bebidas y alimentos debido a sus propiedades (tabla 1-1) tales como: impermeabilidad, cristalinidad, transparencia, resistencia al desgaste, buen coeficiente de deslizamiento, reciclable, rígido [13].

Tabla 1-1 Propiedades del tereftalato de polietileno [13].

Propiedad	Valor
Temperatura de transición vítrea (Tg)	73 – 80 °C
Temperatura de fusión (Tf)	245 – 265 °C
Densidad	1.29 – 1.40 g/cm ³
Rendimiento	30 m ² /kg
Resistencia a la tensión	48.2 – 72.3 Mpa
Módulo de tensión	2.756 – 4.135 Mpa
Alargamiento a rotura	30 – 3000 %
Resistencia al desgarre	30 gr/25μ, película
Permeabilidad O ₂	0.12 – 0.24 cm ³ /μm/mt ² día atm, 25 °C
Permeabilidad CO ₂	0.59 – 0.98 cm ³ /μm/mt ² día atm, 25 °C
Absorción de agua	0.1 – 0.2 % 0.32 cm espesor 24 h

1.5.3.1 Proceso de transformación del PET

El PET es un material procesado extraído del petróleo, por lo tanto, debe pasar por un proceso de transformación antes de ser utilizado para la producción de envases; la Figura 1-7 describe de manera simplificada las etapas de transformación desde que el material es extraído y sometido a un proceso de refinación hasta llegar a la etapa de

polimerización donde luego pasa por un proceso de inyección que da como resultado unos gránulos plásticos conocidos como Pellets [13].

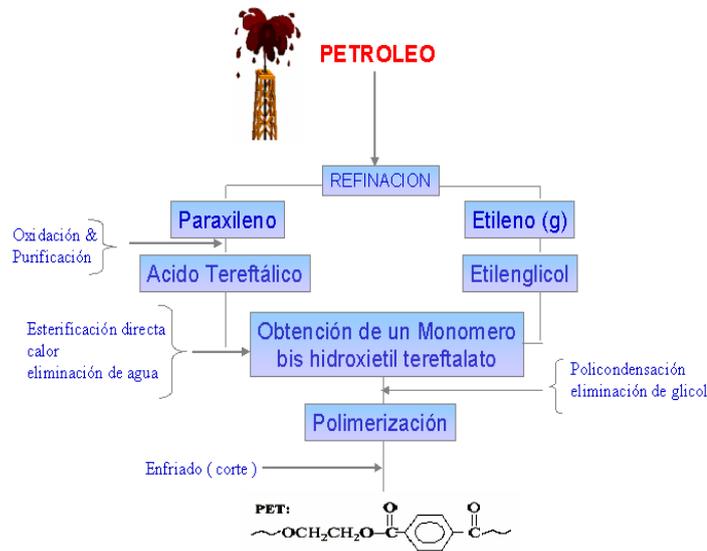


Figura 1-7 Proceso de obtención del PET [13].

1.5.3.2 Estados del PET

1.5.3.2.1 Cristalino

En este estado el PET es, opaco lechoso y puede ser quebradizo; como ejemplo tenemos la resina virgen (figura 1-8). Este estado que es el de menor energía, se forma cuando el PET fundido se enfría lentamente, o bien si el PET amorfo se calienta gradualmente a una temperatura por encima de 80 °C [13].



Figura 1-8 Resina virgen [13].

1.5.3.2.2 Amorfo

Significa que las fibras o moléculas del PET son aleatorias y desordenadas a nivel de microscopio, en otras palabras, el plástico no está ni cristalizado ni orientado y

presenta propiedades de barrera pobres a los gases, transparente y baja rigidez; la Figura 1-9 muestra un ejemplo del estado amorfo como es la preforma [13].



Figura 1-9 Preforma [13].

1.5.3.2.3 Biorientado

Este se forma en el soplado con el estiramiento mecánico del PET amorfo, por encima de los 80 °C, con esta estructura, el PET es transparente, claro, resistente a la presión y con excelentes propiedades de barrera a los gases; la figura 1-10 muestra un envase el cual es el estado biorientado que se obtiene a través de un proceso de conformado de polímeros [13].



Figura 1-10 Envase [13].

1.5.4 Pellets

Los pellets son polímeros de forma cilíndrica sólida de diámetro muy pequeño aproximadamente 3 mm cortadas en longitudes de 5 mm, se obtienen por medio de procesos de calentamiento, extrusión, secado y corte; son utilizados como materia prima para elaborar las preformas [14].

1.5.5 Preformas

Las preformas son polímeros que se obtienen a través de un proceso de inyección, su forma es cilíndrica hueca que tiene un cuello y una rosca en su extremo denominado finish el cual puede variar acorde al tamaño y volumen del envase a producir. La figura 1-11 muestra la apariencia física de los pellets y las preformas, principales materias primas para producir los envases por medio de un proceso de moldeo por soplado [14].



Figura 1-11 Pellets y Preformas [14].

Los procesos de conformado de polímeros en los cuales se transforma las preformas a envases son los siguientes:

1. Proceso de inyección y soplado.
2. Proceso de extrusión y soplado.
3. Proceso de estirado y soplado.

Cada proceso depende del tipo de material que se utilice para el conformado de envases, en las plantas embotelladoras de bebidas el proceso más confiable y eficiente es el proceso de estirado y soplado el cual ofrece altas velocidades de producción para cubrir la demanda del cliente [14].

1.5.6 Envases

Se denomina envase a un contenedor cilíndrico hueco el cual puede fabricarse de diferentes y sirve para contener, proteger, manipular y preservar generalmente líquidos aptos para el consumo humano en cualquier etapa de su proceso productivo, de distribución o de venta. El producto final es un envase acorde a especificaciones de la planta embotelladora y cuyas partes son esenciales para efectuar el control de calidad

del producto; el envase está constituido principalmente por la rosca donde va alojada la tapa, el hombro, el cuerpo y la base o asiento petaloide, partes principales para determinar la apariencia y calidad del producto final. La figura 1-12 muestra las partes principales de un envase para contener bebidas [14].



Figura 1-12 Partes de un envase [14].

1.5.6.1 Factores que influyen en la obtención de envases

El material al ser procesado para la obtención de preformas y botellas sufre numerosos ciclos de calentamiento que pueden causar alteraciones en valores como porcentaje de acetaldehído, viscosidad intrínseca y cristalinidad, los cuales son sumamente importante para las propiedades finales de la botella. Estos términos se describen a continuación [14].

1.5.6.1.1 Acetaldehído

Es un líquido volátil e incoloro con un típico gusto frutal, no es tóxico y normalmente se encuentra presente en vinos y muchas otras bebidas alcohólicas y comidas. Generalmente, es encontrado en la resina de PET en partes por millón (ppm), siendo el principal producto de la degradación que esta sufre por encima de los 150°C. El principal interés en conocer los niveles de acetaldehído (AA), tanto en preformas como

en botellas terminadas, debido a que es necesario que las partes por millón (ppm) sean muy bajas para que su sabor no altere el de la bebida contenida en la botella, siendo una variable crítica en la elaboración de envases para agua por ser una bebida insabora [14].

1.5.6.1.2 Viscosidad intrínseca

La viscosidad intrínseca probablemente es la característica más importante en la descripción del PET. Esta indica la longitud media de las moléculas o de la masa molecular. Cuanto más elevada es la masa molecular, más largas serán las cadenas, mejorando las propiedades del PET, como su resistencia mecánica, impermeabilidad y menor será la velocidad de cristalización del polímero. La viscosidad intrínseca de las resinas PET grado botella puede estar comprendida entre 0,72 y 0,85 dl/g [14].

1.5.6.1.3 Niveles de cristalinidad en diferentes estados

La cristalinidad influye en la apariencia física de la botella, ya que al aumentar la misma se pierden propiedades ópticas y mecánicas, es por eso que en cada etapa del proceso el material debe presentarse un nivel de cristalinidad y densidad diferentes tal como se muestra en la tabla 1-2 [14].

Tabla 1-2 Niveles de cristalinidad a lo largo de las diferentes etapas del proceso [14].

Etapa del proceso	Estado del material	Nivel de cristalinidad	Densidad (g/cm^3)
Gránulos antes de la transformación	Semi-Cristalino (opaco)	>50% por peso	1,400
Preforma	Amorfo (transparente)	1% por peso	1,336
Botella	Orientado (transparente)	26% por peso	1,365

1.5.6.1.4 Absorción de humedad del ambiente

El PET es una resina higroscópica, en el sentido de que tiende a absorber humedad del ambiente, la cantidad de agua absorbida depende de varios factores, como tiempo de almacenamiento, temperatura, punto de rocío del ambiente, porcentaje de cristalización de la resina; el PET en estado amorfo absorbe humedad más rápidamente

que en estado cristalino, la figura 1-13 muestra la curva de absorción de humedad en función del tiempo de para un estado amorfo y cristalino [14].

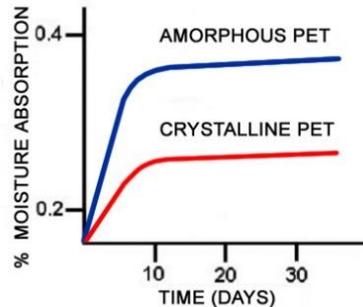


Figura 1-13 Curva de absorción de humedad en el PET [14].

1.5.7 Planta embotelladora de bebidas

Una planta embotelladora o empacadora de botellas es una empresa cuya función es el envasado de bebidas para su distribución y satisfacción de las personas. Muchas compañías embotelladoras son franquicias de corporaciones que distribuyen las bebidas producidas por estas en regiones geográficas específicas, donde, además, pueden embotellar otras bebidas regionales. Estas organizaciones se encargan de mezclar los ingredientes de la bebida, para luego insertar el producto en recipientes como botellas o latas. Luego, el producto final es distribuido a vendedores [15].

Grandes compañías como Pepsi y The Coca-Cola Company venden su producción a plantas embotelladoras ecuatorianas (figura 1-14) como Tesalia CBC y ARCA continental respectivamente, donde es embotellada y distribuida bajo permisos de marca.



Figura 1-14 Principales plantas embotelladoras ecuatorianas.

Tesalia CBC es la planta embotelladora de bebidas de la marca PepsiCo con el portafolio más amplio de la región, con más de 100 años de trayectoria en el mercado ecuatoriano, es parte de la corporación de bebidas del caribe con sede en Guatemala; fundada en el año 1906 está ubicada en la ciudad de Machachi y en la actualidad posee líneas de producción con maquinaria de última generación para producir bebidas carbonatadas y no carbonatadas acorde a normas de calidad internacional. Una planta embotelladora de bebidas está conformada por líneas de producción y cada una de estas dispone de la siguiente maquinaria según el producto a elaborar [16]:

1. Máquina sopladora.
2. Máquina llenadora.
3. Máquina tapadora.
4. Máquina etiquetadora.
5. Máquina termofijadora.
6. Máquina paletizadora.

Las máquinas descritas se verifican en la figura 1-15.

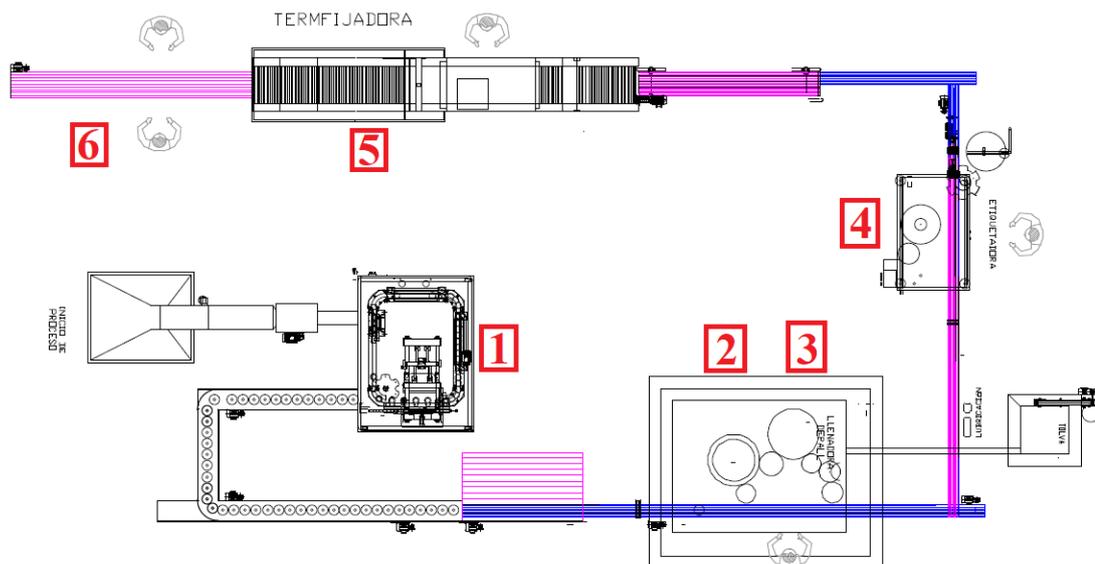


Figura 1-15 Layout de maquinarias en una planta embotelladora de bebidas [16].

Las máquinas descritas funcionan en forma sincronizada a la velocidad de producción de envases, por lo tanto, el equipo fundamental para inicio del proceso es la máquina sopladora la cual es la encargada de elaborar los envases que van a contener la bebida en diferentes presentaciones.

1.5.8 Máquinas sopladoras

Las máquinas sopladoras están compuestas por sistemas electromecánicos los cuales permiten el conformado de los envases por medio de la inyección de aire comprimido de alta presión dentro de las cavidades de un molde previamente instalado; se dividen en máquinas rotativas y lineales, las características principales de estas máquinas son el número de moldes, velocidad de producción de envases, número de hornos de acondicionamiento de preforma, capacidad de aire de proceso y capacidad de refrigeración. Para su funcionamiento disponen de equipos auxiliares tales como un compresor de alta presión y un chiller frigorífico [17].

1.5.8.1 Máquinas sopladoras rotativas

Estas máquinas se constituyen de un mecanismo giratorio denominado Rueda de Soplado que dispone de una rueda dentada principal, engranaje intermedio engranaje motriz y rodamiento principal los cuales ejecutan el giro de los bastidores, este tipo de máquina se muestra en la Figura 1-16 [17].



Figura 1-16 Rueda de soplado de 16 bastidores [17].

La apertura y cierre de los moldes es vertical a través de un mecanismo de levas por donde se deslizan los rodamientos de las prensas en cada etapa de transferencia de preformas, la figura 1-17 muestra el mecanismo mencionado.



Figura 1-17 Levas de apertura y cierre de prensa [17].

Las etapas de proceso de producción de envases en una máquina sopladora rotativa inician con la carga de preformas, calentamiento, transferencia, soplado y finalizan con la evacuación de envases tal como se muestra en la figura 1-18.

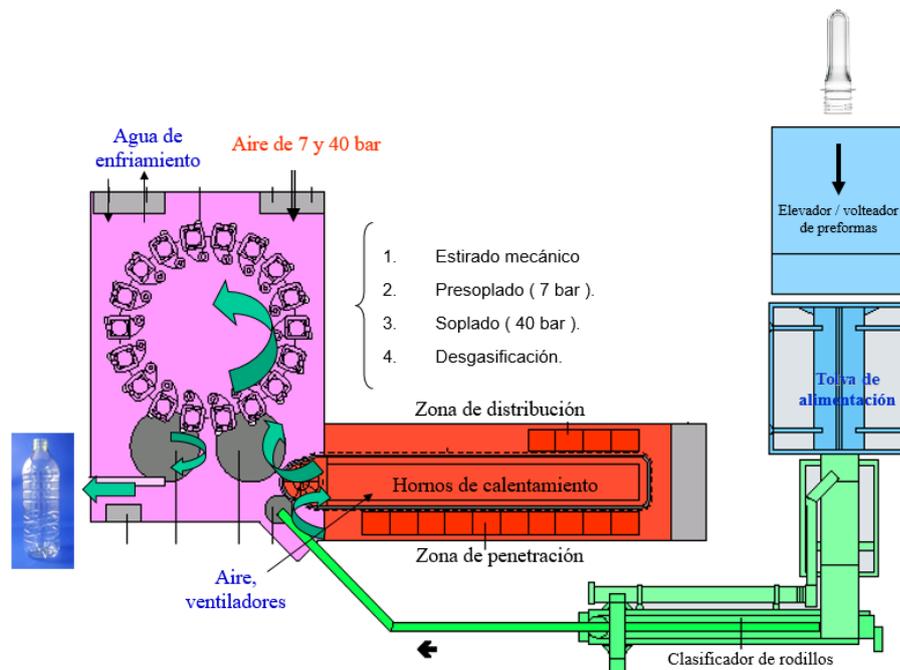


Figura 1-18 Etapas de proceso de una sopladora tipo rotativa [18].

1.5.8.2 Máquinas sopladoras lineales

Este tipo de máquinas se constituyen de un mecanismo lineal denominado prensa de soplado que dispone de columnas, eslabones, guías y rodamientos lineales los cuales ejecutan el movimiento horizontal de apertura y cierre de moldes; este tipo de máquina se muestra en la figura 1-19.



Figura 1-19 Prensa de soplado monoblock [19].

La apertura y cierre de los moldes es horizontal través de un mecanismo de eslabones, columnas y guías por donde se deslizan los rodamientos lineales en cada etapa de transferencia de preforma, la figura 1-20 muestra el mecanismo mencionado.



Figura 1-20 Mecanismos de apertura y cierre de prensa [19].

Las etapas de proceso de producción de envases en una máquina sopladora lineal son similares al de una rotativa la única diferencia es la disposición de sus equipos tal como se muestra en la figura 1-21.

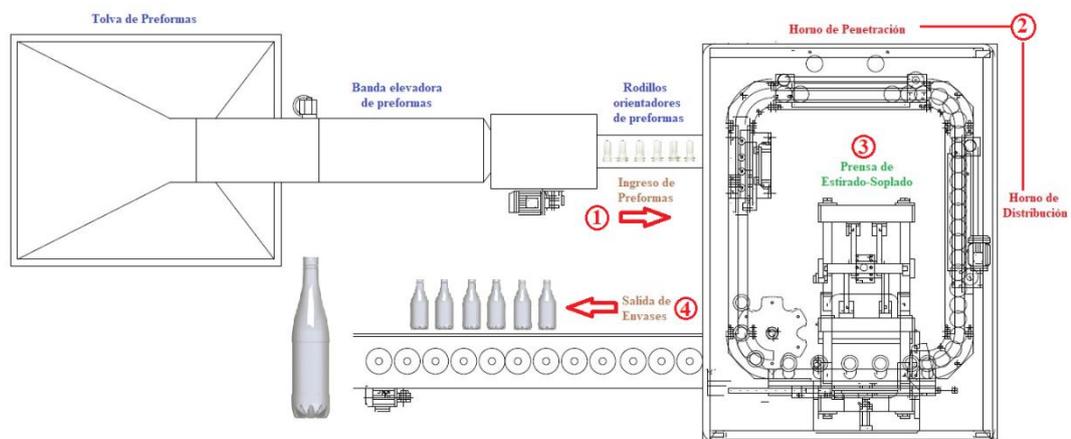


Figura 1-21 Etapas de proceso de una sopladora tipo lineal [19].

1.5.9 Molde de soplado

Un molde es una herramienta donde se conforma el producto plástico a través de un proceso de estirado y soplado, mediante la ayuda de la preforma, el aire de soplado y enfriamiento del producto. El diseño del molde de soplado determina el tamaño, la forma, dimensiones, acabado, y a veces, las propiedades físicas del producto final. Los principales aspectos por considerar son [20]:

- Conocer perfectamente el plano del envase y preforma a soplar.
- Establecer líneas de partición, lugar de la entrada y de expulsores.
- Revisar las dimensiones, tolerancias y conicidades de las piezas.
- Conocer el tamaño y peso de la pieza, así como el número de cavidades, basándose en el tamaño de las máquinas y las exigencias de fabricación o de costos.
- Determinar el tipo de máquina sopladora (lineal o giratoria) su defecto en el diseño de molde.
- Tener en cuenta la concentración, característica de flujo, abrasión y requerimientos de calentamiento y enfriamiento del material a soplar.

1.5.9.1 Tipos de moldes de soplado

Existen 2 tipos de moldes de soplado los cuales se describen a continuación.

1.5.9.1.1 Molde de soplado rotativo

Utilizados en máquinas sopladoras con prensas de apertura vertical, trabajan a mayores velocidades de producción. Las partes elementales de un molde de soplado para una máquina sopladora rotativa son:

- A. Cavidad interna fija.
- B. Cavidad externa móvil.
- C. Cavidad de fondo de molde.
- D. Horquilla de expulsión preforma-envase
- E. Conectores de refrigeración de molde.

Las partes descritas se verifican en la figura 1-22.

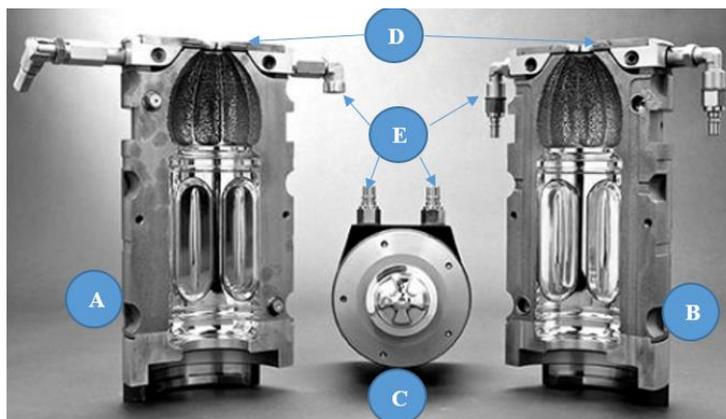


Figura 1-22 Partes de un molde de soplado rotativo [20].

La disposición de un molde de soplado en una máquina sopladora rotativa (figura 1-23) se efectúa en unidades portamolde que se fijan con bridas a los bastidores de cada estación de soplado.



Figura 1-23 Disposición de moldes en una sopladora rotativa [20].

1.5.9.1.2 Molde de soplado lineal

Utilizados en máquinas sopladoras con prensas de apertura horizontal, trabajan a menores velocidades de producción. Las partes elementales de un molde de soplado para una máquina sopladora lineal son:

Las partes elementales de un molde de soplado para una máquina sopladora lineal son:

1. Cavidad.
2. Fondo.

3. Sistema de agua.
4. Cuello.
5. Placa de respaldo.
6. Salidas de aire.
7. Pines guías.
8. Accesorio – racor.

Las partes descritas se verifican en la figura 1-24.

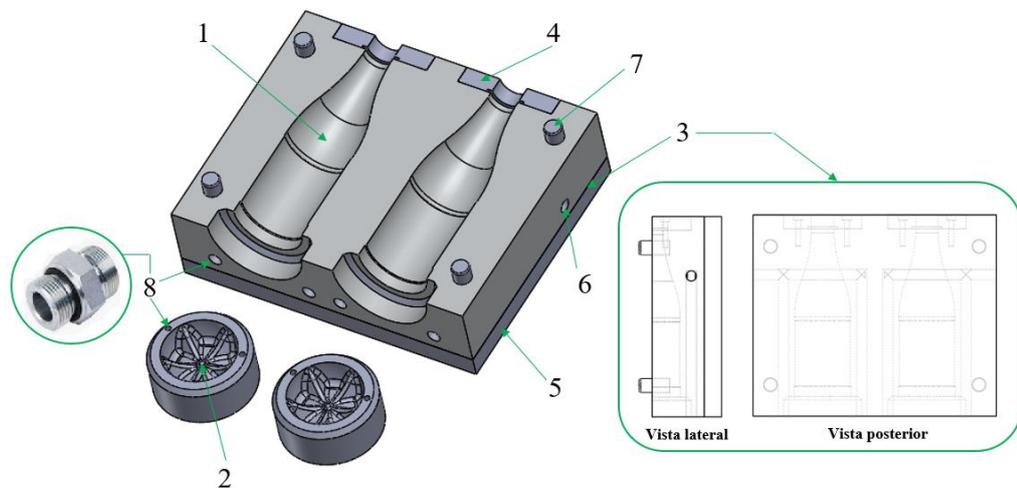


Figura 1-24 Partes de un molde de soplado lineal [20].

La disposición de un molde de soplado en una máquina sopladora lineal (figura 1-25) se efectúa en placas de respaldo o placas base que se fijan con pernos al bastidor de la máquina sujetando de esta manera la cavidad fija, la cavidad móvil y el fondo de molde.



Figura 1-25 Disposición de moldes en una sopladora lineal [20].

1.5.10 Etapas del proceso de moldeo por soplado de envases

El ciclo operativo completo mediante el cual se obtiene la producción de los envases en una planta embotelladora puede resumirse en etapas de proceso, como se describe a continuación.

1.5.10.1 Alimentación de las preformas

La fase de alimentación (figura 1-26) garantiza un flujo continuo y correcto de las preformas necesarias para alimentar la máquina. Las preformas presentes en el contenedor del grupo tolva son tomadas y arrastradas hacia el orientador por medio de una cinta de goma. El orientador dispone correctamente las preformas antes que se envíen al selector de alimentación, dispuestas con el cuerpo abajo, el cuello arriba y una al lado de la otra. Por efecto de la gravedad, las preformas bajan por los rodillos orientadores y se dirigen hacia el selector de preformas [21].



Figura 1-26 Alimentación de las preformas [21].

1.5.10.2 Carga y transferencia de preformas

Las preformas presentes en el selector de alimentación son cargadas a través de un movimiento vertical de microcilindros neumáticos los cuales cumplen la función de enmangar los cuellos de las preformas a ejes que giran uniformemente (portapreformas). Durante el traslado de las preformas estas son controladas por un perfil para impedir que algunas preformas deformadas o mal colocadas puedan ser acondicionadas; la figura 1-27 muestra la etapa de carga y transferencia [21].

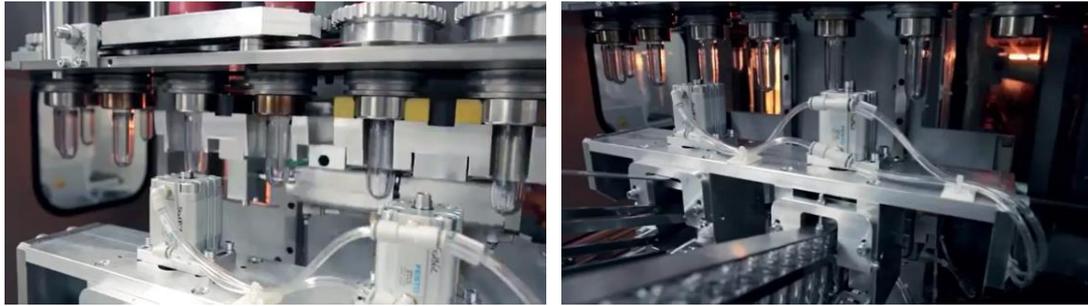


Figura 1-27 Carga y transferencia de preformas [21].

1.5.10.3 Acondicionamiento de preformas

Las preformas presentes en los portapreformas son trasladadas hacia los hornos de penetración y hornos de distribución ejecutando un doble movimiento: un movimiento de traslación y uno de rotación, el movimiento de traslación permite el pasaje progresivo de las preformas en los hornos dispuestos en serie a lo largo del perímetro del bastidor del horno, mientras que el movimiento de rotación de las preformas, alrededor de su propio eje, permite un calentamiento uniforme, gracias también a la acción de los ventiladores. Las preformas sólo alcanzan el perfil térmico ideal después de un enfriamiento espontáneo, llamado también inversión térmica (al aire libre) la cual está controlada por un pirómetro que interviene comandando en retroacción la potencia suministrada por los hornos. Para permitir tal enfriamiento las preformas cumplen un recorrido posterior fuera de los hornos, siempre enganchadas a la cadena de transporte de los carros portapreformas, antes de pasar a la fase de moldeo por estirado y soplado (MES); la figura 1-28 muestra la etapa del acondicionamiento de preformas [21].

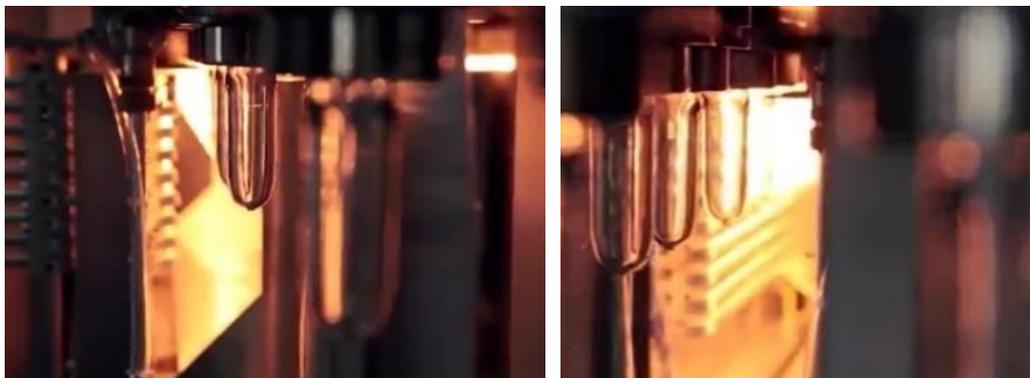


Figura 1-28 Acondicionamiento de preformas [21].

1.5.10.4 Moldeo por estirado y soplado (MES)

La fase de estirado y soplado es la parte fundamental del proceso la cual permite el paso de preforma a envase, las preformas depositadas en el molde de soplado (completamente abierto) durante la precedente fase de transferencia, sufren un estirado vertical (molde completamente cerrado) por efecto de las barras de estirado de accionamiento neumático, con carrera vertical unida a una guía lineal. El estirado definitivo se obtiene con el soplado en dos fases distintas de admisión de aire a baja presión (10 bar) y a alta presión (40 bar), el cierre de los moldes de soplado se efectúa por medio de un sistema completamente mecánico (prensa horizontal); la figura 1-29 muestra la transición de conformado de los envases dentro del molde de soplado [21].

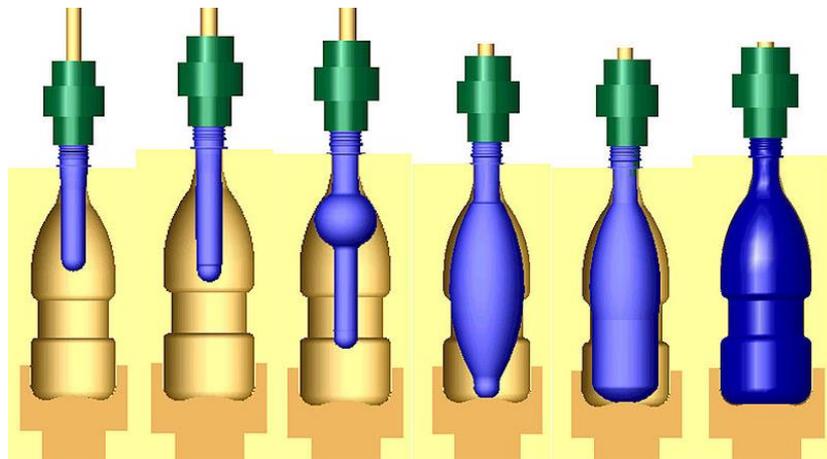


Figura 1-29 Conformado del envase en un molde de soplado [21].

En la figura 1-30 se observa la transferencia de las preformas y la transferencia de los envases en un proceso de moldeo por soplado completo.

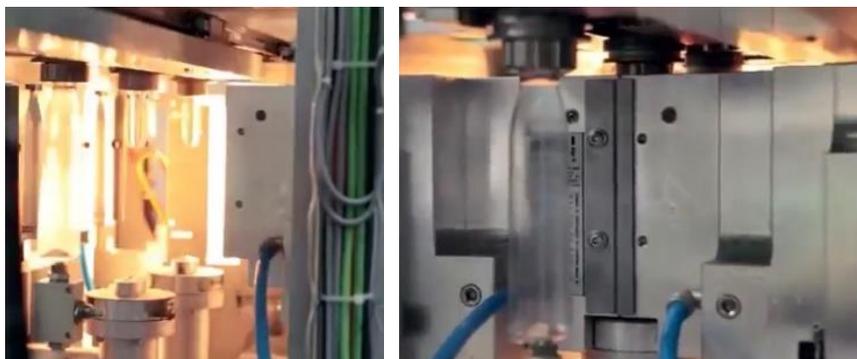


Figura 1-30 Moldeo por estirado y soplado de envases [21].

1.5.10.5 Transferencia de envases

Al término de la fase de estirado y soplado los contenedores son removidos (transferidos) de los moldes y enviados al externo de la máquina (alineador, línea de almacenamiento, línea de llenado, etc.). La transferencia de envases (figura 1-31) se realiza, de modo análogo a la fase de transferencia de las preformas a través de la cadena de transporte en la cual se acoplan los portapreformas [21].



Figura 1-31 Transferencia de los envases [21].

1.6 Técnicas de análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD)

El CFD, consiste básicamente en el empleo de computadoras y de técnicas numéricas para resolver todos aquellos problemas físicos que están relacionados con el movimiento de los fluidos, y en ocasiones, de otros fenómenos asociados como la transferencia de calor, las reacciones químicas, el arrastre de sólidos, etc [22].

1.6.1 Campos de aplicación

El repaso a la evolución de las técnicas computacionales en la mecánica de fluidos demuestra como la industria aeroespacial fue pionera en el empleo de estas herramientas. Sin embargo, hoy en día su utilización se ha ido extendiendo a todo tipo de procesos industriales, gracias a la universalización de códigos comerciales y a la progresiva mejora de los algoritmos que implementan. Para el caso especial, se encuentra la industria de moldes y matrices, un breve ejemplo se observa en la figura 1-32, ya que se centra en el estudio de flujos de metales líquidos a altas temperaturas, estudio de sistemas de refrigeración entre otras aplicaciones [22].

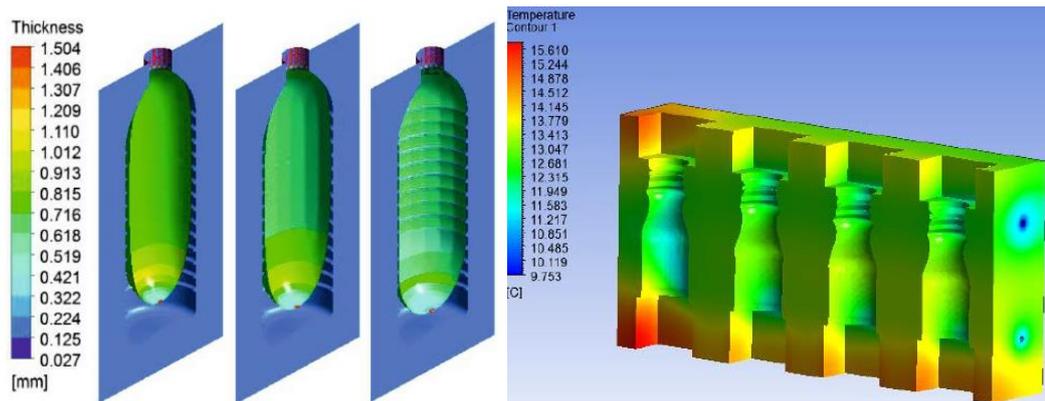


Figura 1-32 Análisis CFD en una matriz de soplado [22].

1.6.2 Ventajas e inconvenientes

En la tabla 1-3 se detalla las ventajas y los inconvenientes que tiene el uso de las técnicas CFD, ya que es muy importantes conocerlas antes de realizar un estudio o análisis CFD.

Tabla 1-3 Ventajas e inconvenientes en la utilización de las técnicas CFD [22].

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Reducción sustancial de los tiempos y costes en los nuevos diseños.	Las técnicas CFD no son baratas. <ul style="list-style-type: none"> Máquinas de gran capacidad de cálculo. Programas con un precio no asequible al gran público.
Posibilidad de analizar sistemas o condiciones muy difíciles de reproducir experimentalmente. <ul style="list-style-type: none"> Velocidades hipersónicas, temperaturas muy altas o bajas, movimientos relativos, etc. 	Se necesita personal capacitado. <ul style="list-style-type: none"> Ejecutar programas y definir modelos. Analizar soluciones.
Capacidad de estudiar sistemas bajo condiciones peligrosas. <ul style="list-style-type: none"> Accidentes, situaciones límite de equipos, etc. 	No siempre es posible obtener resultados lo suficientemente precisos. <ul style="list-style-type: none"> Necesidad de simplificar el fenómeno. Imposibilidad práctica de todo tipo de ejecuciones.
Nivel de detalle prácticamente ilimitado. <ul style="list-style-type: none"> Facilidad para estudios paramétricos. Gran cantidad de información. Sin coste por aumento de sensores. 	Limitación de los modelos existentes para la turbulencia, la combustión, flujos multifásicos.
Valor añadido del producto.	Tendencia a creerse los resultados sin la suficiente contrastación.

1.7 Fundamentación legal

La tecnología de fabricación de moldes para el proceso de moldeo por soplado de envases, están determinadas según las normas y reglamentos siguientes:

- Norma ISO 6983: Fabricación y simulación de mecanizados CNC.
- Norma EIA RS274: Programación automática de máquinas CNC.
- Norma NTC-ISO 2859-2: Calidad y Operación de Manufactura “Herramientas de Calidad y Materias Primas”.
- Norma NTC 4773: Botellas plásticas PET “Estándares y Especificaciones”.
- Norma NTC 1848: Rugosidad, requisitos metroológicos y técnicos generalidades.
- Norma NTC 2740: Industrias alimentarias “Bebidas no alcohólicas y Bebidas gaseosas”.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

2.1.1 Preforma

La preforma es una pieza inyectada, que sirve de estado de transición para obtener una botella biorientada. Es la principal materia prima para la elaboración de los envases, cuyas características técnicas y dimensiones están dadas por los fabricantes autorizados, en este caso una preforma PET de 19 gramos para producir envases de 500 ml que contendrá agua mineral tal como se muestra en la figura 2-1.



Figura 2-1 Preforma y envase PET.

La calidad de la botella es ampliamente dependiente de la calidad de la preforma.

2.1.2 Envase

Un envase es un producto que puede estar fabricado en una gran cantidad de materiales y que sirve para contener, proteger, manipular, distribuir y presentar mercancías en cualquier fase de su proceso productivo, de distribución o de venta. El diseño de un envase es una tarea compleja e interdisciplinaria, teniendo en cuenta los objetivos de marketing, las exigencias ambientales, los aspectos técnicos y económicos.

Los envases para contener bebidas generalmente están elaborados de PET el cual es un material termoplástico con estado amorfo y estructuras de biorientación y cristalinidad mostradas en la figura 2-2.

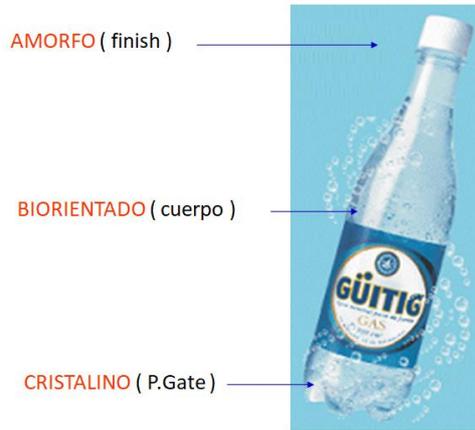


Figura 2-2 Estructuras en los envases PET.

2.1.3 Metales para la fabricación de moldes

En la fabricación de moldes para el soplado de envases es fundamental la adecuada selección de materiales los cuales se seleccionan en función a criterios y ponderaciones, los materiales más utilizados son los metales. Los criterios de ponderación para la selección alternativa de materiales adecuados en la fabricación de moldes se deberán analizar con las propiedades descritas en la siguiente tabla 2-1.

Tabla 2-1 Criterios y ponderaciones para las alternativas de materiales.

Material	Conductividad térmica	Densidad	Acabado superficial	Costo de material	Costo de fabricación	Mantenibilidad	Aplicación
Duraluminio	Excelente	Baja	Excelente	Elevado	Bajo	Baja	Cuerpo
Acero inoxidable	Baja	Alta	Excelente	Elevado	Elevado	Alta	Total
Acero al carbono	Baja	Alta	Regular	Bajo	Elevado	Alta	Total
Cobre berilio	Excelente	Alta	Bueno	Elevado	Elevado	Alta	Total
Aleaciones de zinc	Mala	Alta	Bueno	Bajo	Bajo	Alta	Cuerpo

Fuente: El autor

2.2 Metodología

En la presente investigación se utiliza el método bibliográfico a través de información de libros, investigaciones científicas, manuales de operación, fichas técnicas, planos, normas y especificaciones de procesos de soplado de envases; información que será fundamental para establecer los parámetros y lineamientos de la tecnología de fabricación de moldes.

El empleo de softwares CAD-CAM-CAE permitió diseñar y simular la tecnología de fabricación de los moldes utilizando métodos de fabricación moderna a través de la programación CNC del mecanizado; la correcta programación de códigos G y M de la máquina CNC proporcionó datos clave para establecer un informe tecnológico con parámetros de mecanizado reales, características de herramienta óptimas.

Para el diseño y simulación de la tecnología de fabricación de moldes se utilizó softwares CAD (Diseño Asistido por Computador), CAM (Manufactura Asistida por Computador) y CAE (Ingeniería Asistida por Computador) que combinados ayudaron a predecir posibles defectos y analizar diferentes parámetros obtenidos los cuales permitieron seleccionar los materiales, recubrimientos superficiales y el proceso de manufactura adecuados disponibles en el país.

Con el uso de herramientas de simulación CFD (Dinámica de Fluidos Computacional) se realizó la simulación del proceso de moldeo por soplado donde se verificó las propiedades mecánicas y térmicas del molde en un proceso de producción de envases, de esta manera se verificó que el molde diseñado se adaptó a la máquina sopladora con parámetros estandarizados lo que ayudó a optimizar el proceso de producción de envases y a reducir costos de fabricación de moldes.

Mediante el análisis de los datos obtenidos en el diseño de la tecnología de fabricación de moldes y simulación del proceso de moldeo por soplado se implementó un informe tecnológico cumpliendo especificaciones y normas establecidas en una planta embotelladora.

2.2.1 Operacionalización de variables

2.2.1.1 Variable independiente

“Tecnología de fabricación de moldes”.

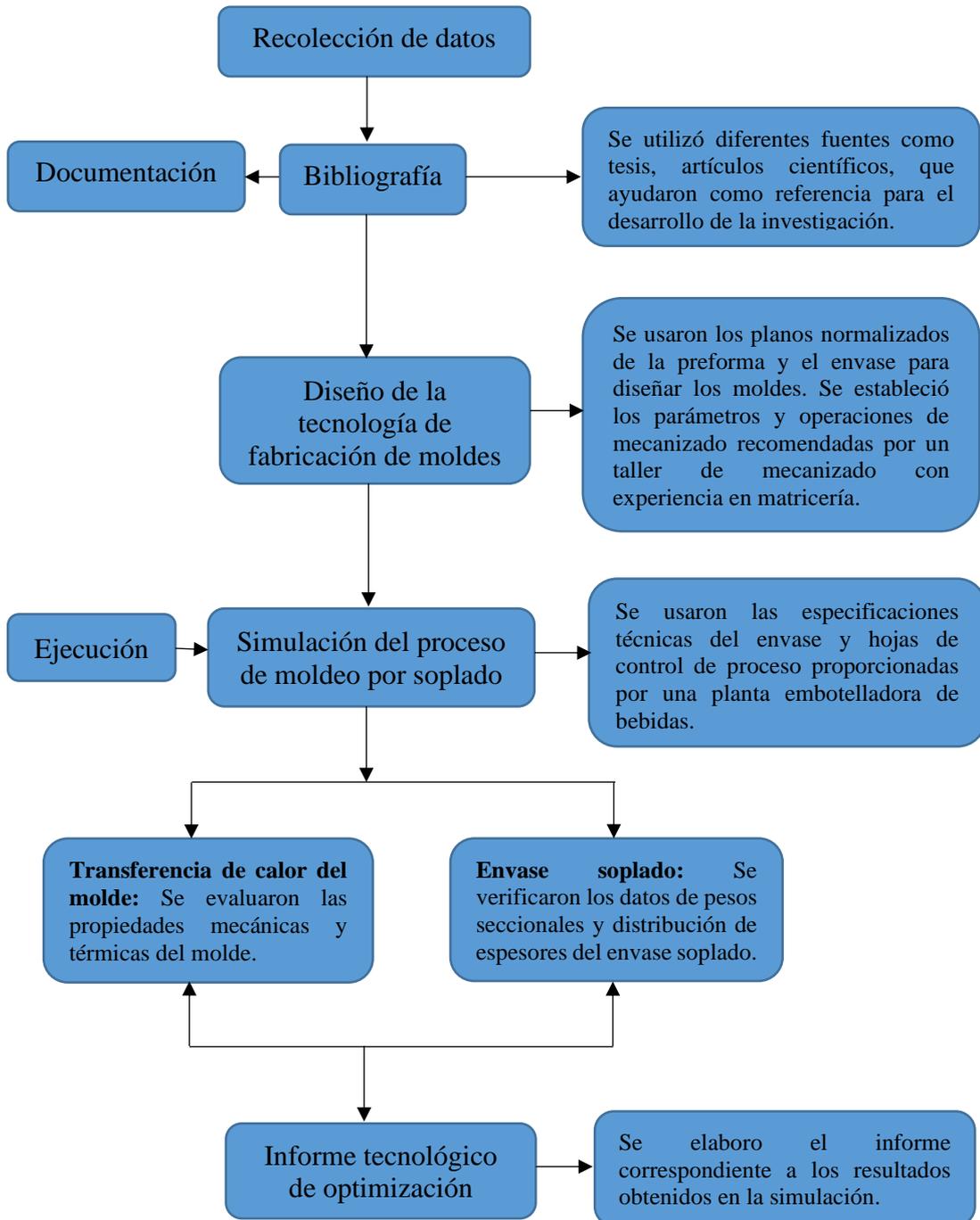
CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	INDICE	TECNICAS E INSTRUMENTOS
Es el conjunto de conocimientos en el cual se utiliza software de mecanizado CNC para establecer parámetros de fabricación de cada una de las partes que conforman los moldes a través del diseño asistido por computador aplicando técnicas y herramientas adecuadas.	Operaciones de torno	Hojas de proceso de torno	Parámetros de mecanizado Herramientas utilizadas Tiempos de fabricación Costos de fabricación	- Diseño y simulación asistidos por computador - Catálogos de herramientas - Cotizaciones de fabricación
	Operaciones de fresado	Hojas de proceso de fresado	Parámetros de mecanizado Herramientas utilizadas Tiempos de fabricación Costos de fabricación	- Diseño y simulación asistidos por computador - Catálogos de herramientas - Cotizaciones de fabricación

2.2.1.2 Variable dependiente

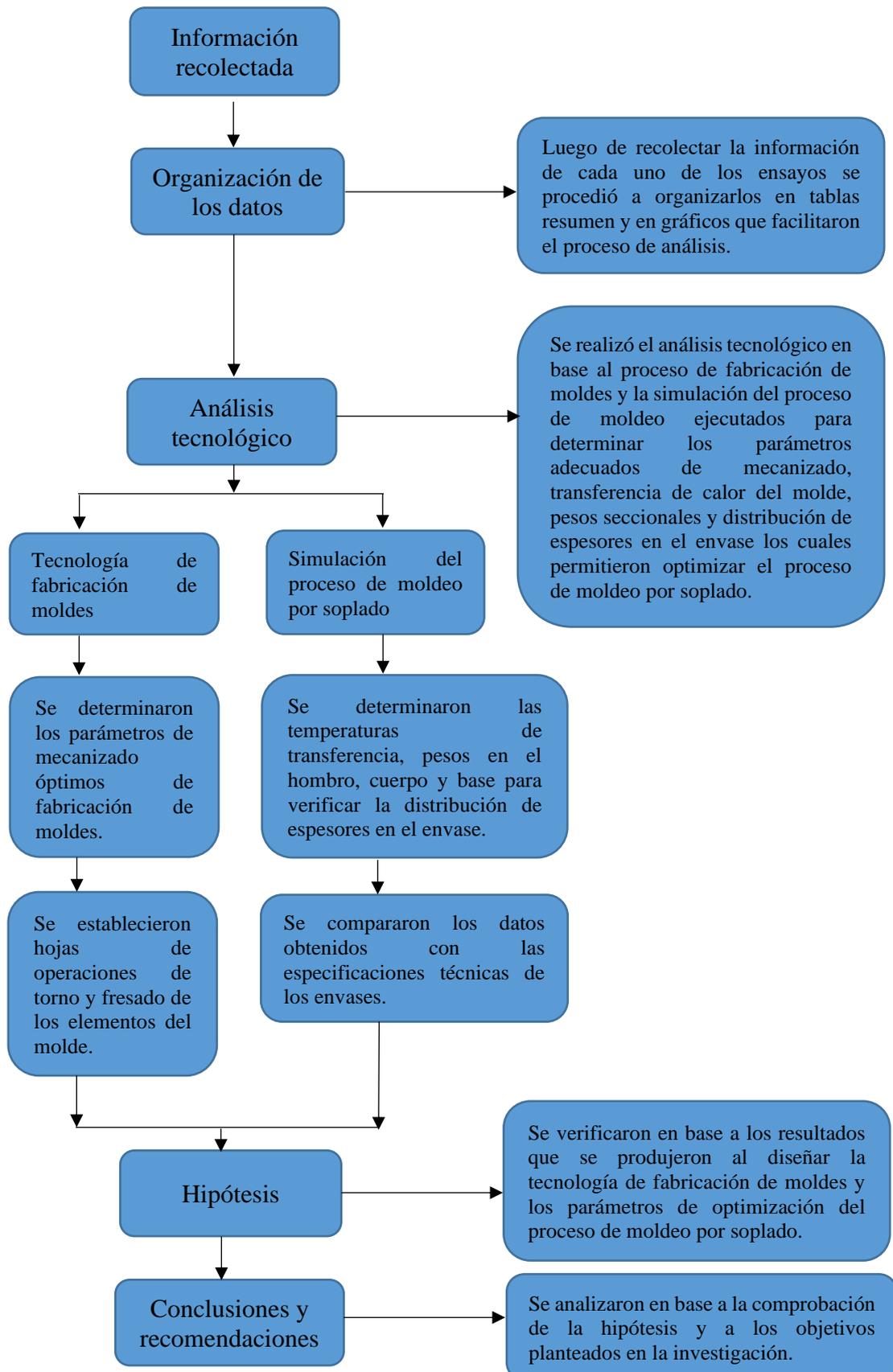
“Optimización del proceso de moldeo por soplado”.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	INDICE	TECNICAS E INSTRUMENTOS
Es la obtención de una adecuada transferencia de calor del molde para la producción de envases los cuales son evaluados a través de especificaciones de calidad en una planta embotelladora de bebidas.	Evaluación térmica y mecánica del molde	Tipo de fluido	Aplicación exacta (Aire, Agua)	- Simulación CFD
	Calidad del envase	Presión	Aplicación frecuente (3 - 40 Bar)	- Hoja de Control de proceso
Distribución de pesos seccionales		Temperatura	¿Cuál será el valor adecuado?	- Simulación CFD
		Flujo volumétrico	Aplicación exacta	
		Materiales	¿Cuáles serán los materiales adecuados?	
		Distribución de espesores	¿Cuál será el valor adecuado?	-Especificaciones técnicas del envase

2.2.2 Recolección de la información



2.2.3 Procesamiento y análisis

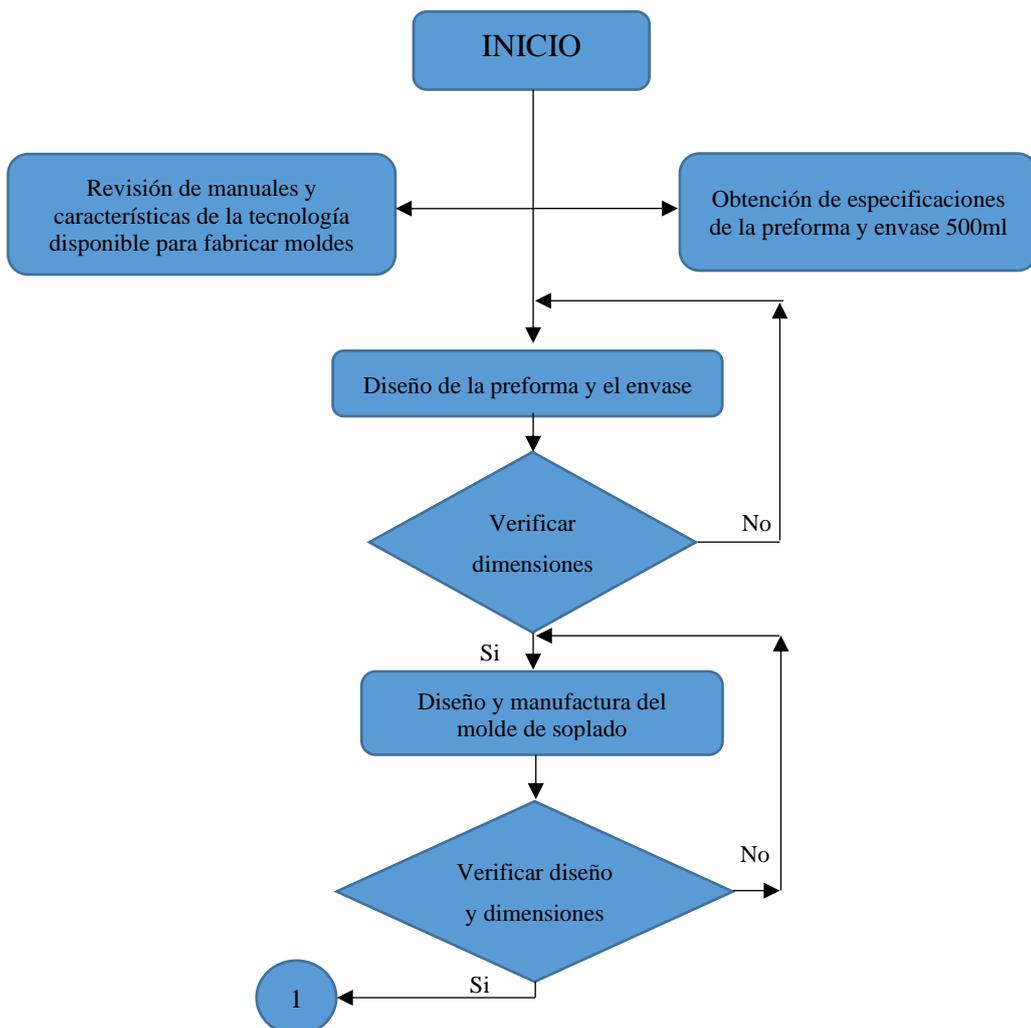


CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

El proyecto de investigación se ejecutó en base al diagrama de flujo de la figura 3-1 que permitió desarrollar la Tecnología de fabricación de moldes de soplado para optimizar el proceso de moldeo por Soplado de envases PET producidos en una planta embotelladora; el envase seleccionado es de 500 ml para contener agua mineral con gas basados en normas de fabricación en equipos CNC, normas y especificaciones internas de una planta embotelladora, etapas del proceso de elaboración de envases y hojas de control de proceso.



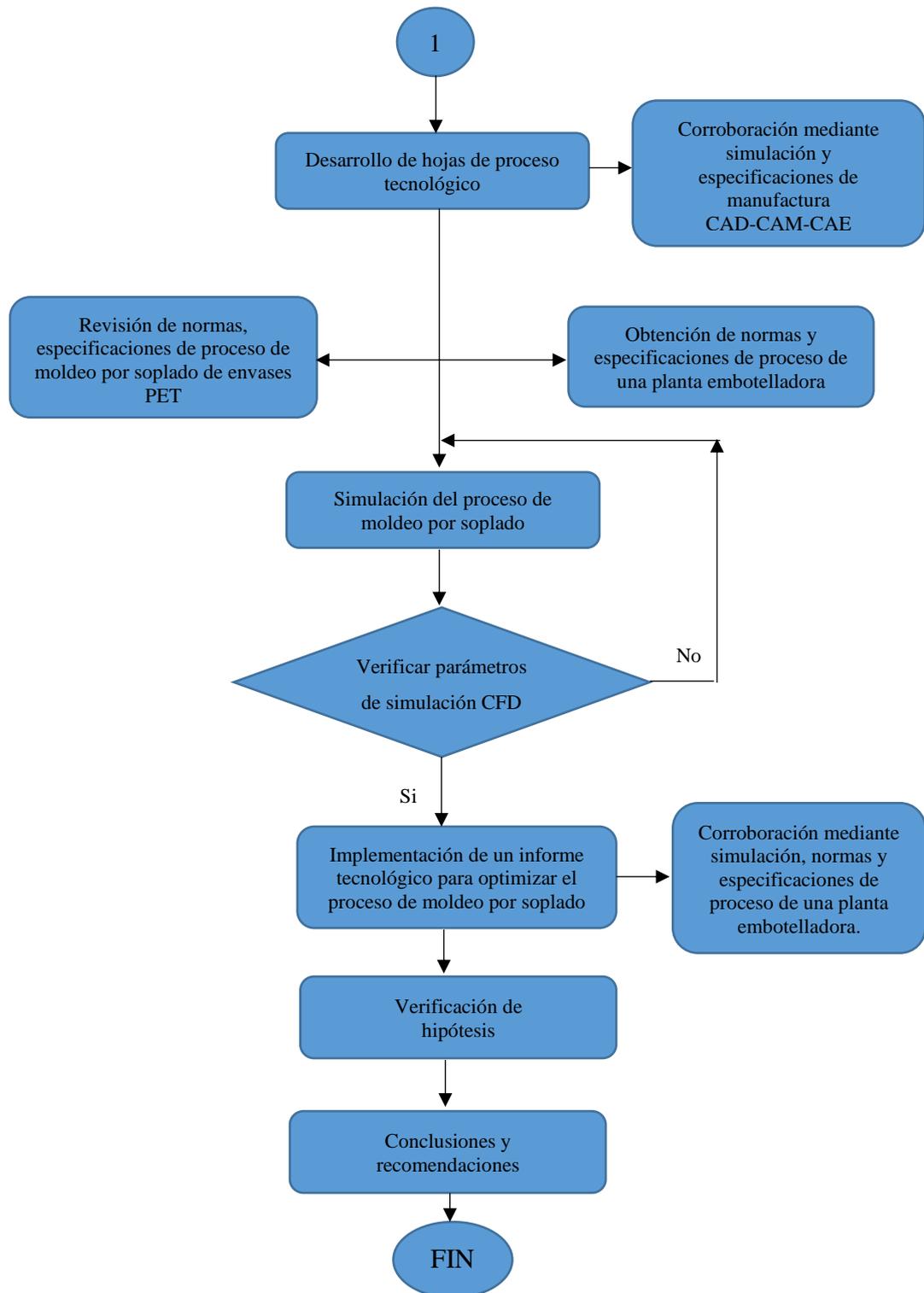


Figura 3-1 Diagrama de flujo del proceso de investigación.

3.1.1 Recopilación de datos preliminares

Para comenzar con el diseño de la tecnología de fabricación de moldes, se necesita primero obtener las especificaciones de la preforma y del envase a producir, siguiendo el procedimiento establecido, para comprobar sus dimensiones. Las especificaciones se obtuvieron por medio de las empresas San Miguel y The Tesalia Springs Company, cuyas especificaciones de calidad garantizan que las materias primas fueron fabricadas bajo las normas establecidas por la planta embotelladora de bebidas. (Anexo 1, Anexo 2, Anexo 3 y Anexo 4).

Las especificaciones técnicas de la preformas utilizada para la elaboración de envases de 500 ml se describe en la tabla 3-1.

Tabla 3-1 Especificaciones técnicas de la preforma [23].

Preforma 19g Cristal	
Material de resina	Tereftalato de polietileno
Viscosidad intrínseca	0,84 dl/g
Acetaldehído	4 – 6 ppm
Peso	19 g
Densidad	1,34 gr/cm ³
Temperatura de moldeo	95 °C
Temperatura de fusión	293 – 310 °C
Contracción	0,2 – 0,8 %
Porcentaje de reciclaje	25%
Marca de resina	RP SFX JADE #CZ-328A
Fabricante	Industrias San Miguel

La resina "JADE" marca "CZ-328A" son chips de poliéster de grado botella, se llama chips recalentados rápidos, que son adecuados para hacer botellas de embalaje para bebidas carbonatadas con características de absorción rápida del calor, reducción del consumo de energía, aumento de la producción y mejora la eficiencia [23].

Las especificaciones técnicas del envase de 500 ml se describen en la tabla 3-2.

Tabla 3-2 Especificaciones técnicas del envase [24].

Especificaciones: Envases de PET		
Parámetro	Especificación	Motivo / Comentarios
Cuello estrangulado	Cuello estrangulado es inaceptable	Llenado y CO2
Pétalos en forma de diamante	No debe haber deformación en el petaloide	CO2 y agrietamiento
Cuerda del acabado dañada	Daño en la cuerda es inaceptable	Bajo CO2
Pliegues en cuello y en base	Pliegues son inaceptables	CO2 y menor estabilidad
Líneas marcadas al desmoldar	Líneas son inaceptables	CO2
Punto de inyección descentrado	$\pm 3\text{mm}$ del centro máximo	Menor estabilidad
Altura de llenado	$211.8 \pm 0.1 \text{ mm}$	Llenado y CO2
Colada de preformas incompletas	No debe hacer coladas incompletas	CO2 y agrietamiento
Peso	$\leq 30 \text{ g} = \pm 0,3 \text{ g}$	Calidad y control de proceso
Altura	$\pm 0,3\%$ de dimensión nominal	Calidad y control de proceso
Diámetro	$\pm 0,5\%$ de dimensión nominal	Calidad y control de proceso
Espesor de pared	Hombro: (0,25 - 0,35) mm Cuerpo: (0,2 - 0,3) mm Base: (0,2 - 0,3) mm	Calidad y control de proceso
Pesos seccionales	Hombro: (10 - 11) g Cuerpo: (4 - 5) g Base: (3,3 - 4,3) g	Calidad y Control de proceso
Carga vertical	Ninguna botella $\leq 17 \text{ kg}$	Problemas de estabilidad
Perpendicularidad	$< 3,8 \text{ mm}$ (0,150")	Problemas de llenado
Estabilidad térmica	Promedio: $< 2,5\%$ de expansión Individual: $< 3\%$	Reducción de los relieves (flautas)
Explosión	$\geq 135 \text{ psi}$ sostenida en 13 seg	Seguridad del consumidor, agrietamiento

Posterior a la producción de envases estos tienen que ser validados por control de calidad con equipos que se describen en el Anexo 5.

Las características técnicas del centro de mecanizado disponible para implementar la tecnología de fabricación de moldes se describen en la tabla 3-3; estas características son importantes ya que nos ayudó a configurar el postprocesador CNC para ejecutar la simulación del mecanizado.

Tabla 3-3 Características del centro de mecanizado.

Fabricante	SUPERMAX	
Modelo	MAX-1 REBEL	
Año	2010	
Categoría	Centro de mecanizado vertical	
Recorrido longitudinal	800 mm (31,5 in)	
Recorrido transversal Y	510 mm (20,1 in)	
Recorrido vertical Z	500 mm (19,7 in)	
Controlador CNC	FANUC OM	
Longitud de la mesa	1000 mm (39,4 in)	
Ancho de la mesa	490 mm (19,3 in)	
Avance automático	2000 mm/min	
Número de herramientas	22	
Cono del husillo	BT 40	
Velocidad máxima del husillo	8050 rpm	
Potencia del motor del husillo	15 kw (20,1 HP)	

Fuente: El autor

Los parámetros del proceso de moldeo por soplado son tomados de las hojas de control de la planta embotelladora de bebidas (Anexo 11), los cuales están en función de las características técnicas de los equipos utilizados en la fabricación de envases, estos equipos se muestran en la tabla 3-4.

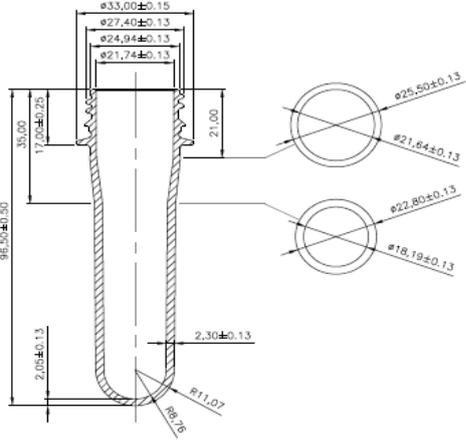
Tabla 3-4 Características técnicas de los equipos de soplado.

Equipo	Parámetros técnicos	Fotografía
Máquina sopladora SIAPI E.A 20	Tipo: Prensa horizontal Velocidad: 2000 botellas por hora Presión de aire baja: 15 Bar Presión de aire alta: 40 Bar	
Compresor alternativo SIAD WS3.580-C3	Fluido: Aire comprimido Capacidad: 600 m3/h Presión máxima: 42 Bar	
Chiller frigorífico EUROCHILLER GC A18	Fluido: Agua refrigerada Presión: 3 - 5 Bar Caudal: 80 lt/min Temperatura: 8 - 20 °C	

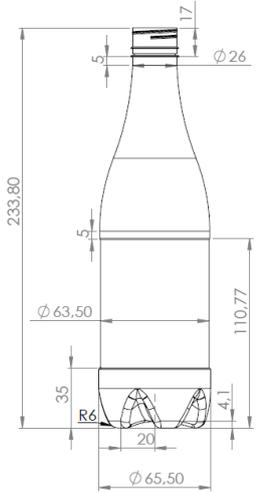
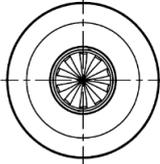
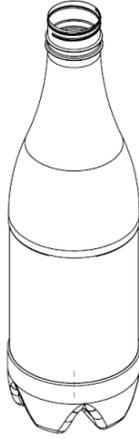
Fuente: El autor

3.1.2 Tabulación y presentación gráfica de los datos

3.1.2.1 Diseño de la preforma

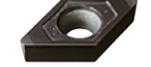
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
		MAESTRÍA: MECÁNICA MENCIÓN: MANUFACTURA					
TIPO DE ESTUDIO:		DISEÑO DE LA PREFORMA					
TIPO DE PRUEBA:		DISEÑO		Revisión: 01	Pag. 1 de 1		
INFORMACIÓN DEL MATERIAL							
IDENTIFICACIÓN EN BASE A ESPECIFICACIÓN:							
		SI	X	NO	ANEXO 1		
ESPECIFICACIÓN:		PREFORMA PET 19 GRAMOS CRISTAL					
FABRICANTE:		SAN MIGUEL INDUSTRIAS PET					
NORMA:		NTC-ISO 2859-2 ANEXO 3					
DESCRIPCIÓN:		Calidad y Operación de Manufactura "Herramientas de Calidad y Materias Primas".					
DIMENSIONES Y DISEÑO							
							
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS							
DIMENSIONES NOMINALES:		Altura	Diámetro manga	Espesor	Peso	Altura rosca	
		96.5±0,50 mm	25.5±0.13 mm	2.3±0.13 mm	19 gramos	17±0.25 mm	
MATERIAL:		TEREFTALATO DE POLIETILENO					
VISCOSIDAD INTRINSECA		0.84 dl/g					
ACETALDEHÍDO:		4 - 6 ppm					
DENSIDAD:		1.69 gr/cm ³					
TEMPERATURA:		MOLDEO:	95 °C	FUSIÓN:	293 – 310 °C		
CONTRACCIÓN		0.2 – 0.8%					
PORCENTAJE DE RECICLAJE:		25%					
DIMENSIONES DENTRO DE TOLERANCIAS:		SI	X	NO			
PROPIEDADES MECÁNICAS ACEPTABLES:		SI	X	NO			
COMPOSICIÓN QUÍMICA ACEPTABLE:		SI	X	NO			
OBSERVACIONES:							
SE UTILIZA EL SOFTWARE SOLIDWORKS PARA EL DISEÑO DE LA PREFORMA.							
REVISIÓN Y APROBACIÓN							
		Registrado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
Nombre:		Ing. Diego Yugsi		Ing. Diego Yugsi		Ing. Oscar Analuiza. Mg.	
Cargo:		Investigador		Investigador		Director de tesis	
Fecha:		30/10/2020		30/10/2020		30/10/2020	

3.1.2.2 Diseño del envase

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
	MAESTRÍA: MECÁNICA MENCIÓN: MANUFACTURA				
	TIPO DE ESTUDIO:	DISEÑO DEL ENVASE			
	TIPO DE PRUEBA:	DISEÑO	Revisión: 01	Pag. 2 de 2	
INFORMACIÓN DEL MATERIAL					
IDENTIFICACIÓN EN BASE A ESPECIFICACIÓN:		SI	X	NO	ANEXO 2
ESPECIFICACIÓN:	ENVASE PET 500 ml				
FABRICANTE:	THE TESALIA SPRINGS COMPANY				
NORMA:	NTC 4773 ANEXO 4				
DESCRIPCIÓN:	Botellas plásticas PET "Estándares y Especificaciones"				
DIMENSIONES Y DISEÑO					
   					
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS					
DIMENSIONES NOMINALES:	Altura	Diámetro base	Altura de llenado	Diámetro del cuello	
	233.8±0.1 mm	65.5±0.5 mm	211.8±0.1 mm	26.6±0.5 mm	
VOLUMEN DE LLENADO:	505±5 ml				
MATERIAL:	TEREFTALATO DE POLIETILENO				
PESOS SECCIONALES:	Hombro	Cuerpo	Base		
	10-11 g	4-5 g	3.3-4.3 g		
ESPORES:	0.25-0.35 mm	0.2-0.3 mm	0.2-0.3 mm		
DIÁMETROS:	65.5±0.5 mm	63.5±0.5 mm	65.5±0.5 mm		
DIMENSIONES DENTRO DE TOLERANCIAS:		SI	X	NO	
PROPIEDADES MECÁNICAS ACEPTABLES:		SI	X	NO	
PESOS, ESPORES Y DIÁMETROS ACEPTABLES:		SI	X	NO	
OBSERVACIONES:					
SE UTILIZA EL SOFTWARE SOLIDWORKS PARA EL DISEÑO DEL ENVASE.					
REVISIÓN Y APROBACIÓN					
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:		
Nombre:	Ing. Diego Yugsi	Ing. Diego Yugsi	Ing. Oscar Analuiza. Mg.		
Cargo:	Investigador	Investigador	Director de tesis		
Fecha:	30/10/2020	30/10/2020	30/10/2020		

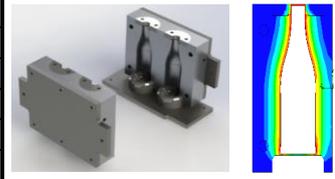
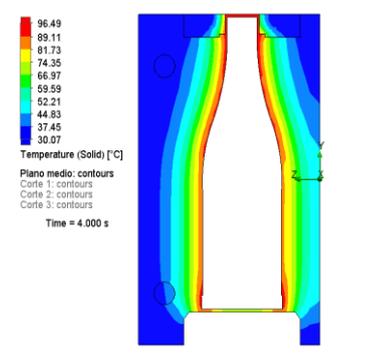
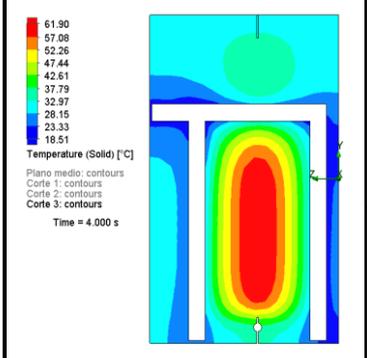
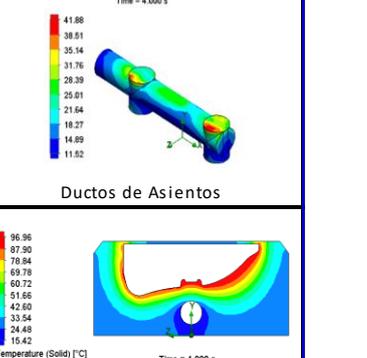
3.1.2.3 Diseño de la tecnología de fabricación de moldes

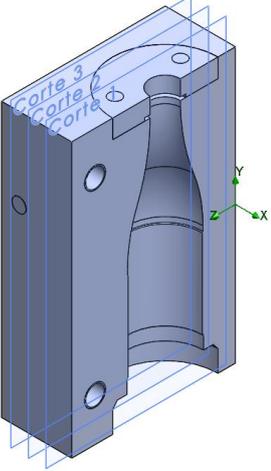
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA MAESTRÍA: MECÁNICA MENCIÓN: MANUFACTURA				
	DESCRIPCIÓN:	TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE MOLDES DE SOPLADO			
	TIPO DE PRUEBA:	SIMULACIÓN	Revisión: 01	Pag. 3 de 3	
	ESPECIFICACIONES GENERALES				
LUGAR DE EJECUCIÓN:	LATACUNGA				
NORMAS UTILIZADAS:	ISO 6983 - EIA RS274	TIPO DE SIMULACIÓN:	CAD-CAM		
SOFTWARE:	CAMWORKS 2019				
EQUIPO TORNO:	TORNO CNC				
EQUIPO FRESADORA:	CENTRO DE MECANIZADO VERTICAL 3 EJES				
CONTROLADOR / POSTPROCESADOR:	FANUC OM - CNC				
INSTRUMENTOS DE MEDIDA:	RELOJ PALPADOR, CALIBRADOR DIGITAL				
PARÁMETROS DE MECANIZADO					
ANEXO 10					
Material	Velocidad de corte Vc m/min		Avance por diente recomendado (fresas de alta velocidad)		
			Fresas de refrentado mm	Fresas frontales mm	Cortadores de formado de relieve mm
Acero Aleado	12 - 20	16	0,15	0,07	0,05
Aluminio	150 - 300	225	0,55	0,28	0,18
Acero Inoxidable	10 - 25	16	0,15	0,08	0,05
Herramienta		Velocidades de husillo N rpm	Velocidades de avance S mm/min		
Fresa plana HSS Φ 10mm		7162	8021		
Fresa plana HSS Φ 19mm		3770	2111		
Fresa frontal WC Φ 80mm		895	1969		
Fresa redonda HSS Φ 6mm		7937	4297		
Fresa redonda HSS Φ 12mm		5968	2149		
Plaquita rómbica WC 0.4x80°		1850	2500		
Plaquita rómbica WC 0.4x55°		1850	2500		
RESULTADOS OBTENIDOS - DISEÑO					
					
PARTE	CANTIDAD	MATERIAL	HOJA TÉCNICA MATERIAL	PLANO	TRATAMIENTO DEL MATERIAL
BUJE	4	ACERO AISI 4340	ANEXO 6	ANEXO 19	TEMPLADO - REVENIDO
GUÍA	4	ACERO AISI 4340		ANEXO 20	TEMPLADO - REVENIDO
CUELLO	4	ACERO INOX AISI 304	ANEXO 7	ANEXO 21	NINGUNO
ASIENTO	2	ACERO INOX AISI 304		ANEXO 22	NINGUNO
CAVIDAD	2	DURALUMINIO 7075	ANEXO 8	ANEXO 23	ANODIZADO
PLACA ASIENTO	1	ACERO AISI P20	ANEXO 9	ANEXO 24	TEMPLADO - REVENIDO
PLACA CAVIDAD	2	ACERO AISI P20		ANEXO 25	TEMPLADO - REVENIDO

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA MAESTRÍA: MECÁNICA MENCIÓN: MANUFACTURA				
DESCRIPCIÓN:		TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE MOLDES DE SOPLADO				
TIPO DE PRUEBA:		SIMULACIÓN		Revisión: 01	Pag. 4 de 4	
ESPECIFICACIONES GENERALES						
LUGAR DE EJECUCIÓN:		LATACUNGA				
NORMAS UTILIZADAS:		ISO 6983 - EIA RS274		TIPO DE SIMULACIÓN:	CAD-CAM	
SOFTWARE:		CAMWORKS 2019				
EQUIPO TORNO:		TORNO CNC				
EQUIPO FRESADORA:		CENTRO DE MECANIZADO VERTICAL 3 EJES				
CONTROLADOR / POSTPROCESADOR:		FANUC OM - CNC				
INSTRUMENTOS DE MEDIDA:		RELOJ PALPADOR, CALIBRADOR DIGITAL				
RESULTADOS OBTENIDOS - MECANIZADO						
PARTE	EQUIPO UTILIZADO	TIEMPO (min)	VELOCIDAD NOMINAL (RPM)	N° HERRAMIENTAS		
BUJE	TORNO CNC	26,36	2500	2		
GUÍA	TORNO CNC	41,88	2500	2		
CUELLO	FRESADORA CNC - 3 EJES	349,12	7162	3		
ASIENTO	FRESADORA CNC - 3 EJES	291,42	7937	3		
CAVIDAD	FRESADORA CNC - 3 EJES	474,44	7937	5		
PLACA ASIENTO	FRESADORA CNC - 3 EJES	151,7	3770	3		
PLACA CAVIDAD	FRESADORA CNC - 3 EJES	267,96	3770	3		
		TIEMPO TOTAL (minutos)	1602,88			
		TIEMPO TOTAL (horas)	26,71			
HERRAMIENTAS UTILIZADAS						
 Fresa plana HSS de $\Phi 10$ mm y número de dientes 4		 Fresa plana HSS de $\Phi 19$ mm y número de dientes 2		 Portaherramientas Cono BT 40		
 Fresa frontal WC de $\Phi 80$ mm y número de dientes 4		 Fresa redonda HSS de $\Phi 6$ mm y número de dientes 2		 Plaquita Rómbica WC 0.4x80°		
		 Fresa redonda HSS de $\Phi 12$ mm y número de dientes 2		 Plaquita Rómbica WC 0.4x55°		
OBSERVACIONES:						
El Ensamble completo de los moldes de soplado se pueden observar en el ANEXO 26 .						
Se utilizó insertos/plaquitas de Metal Duro (Carburo de Tungsteno - WC).						
REVISIÓN Y APROBACIÓN						
	Registrado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
Nombre:	Ing. Diego Yugsi		Ing. Diego Yugsi		Ing. Oscar Analuiza. Mg.	
Cargo:	Investigador		Investigador		Director de tesis	
Fecha:	30/10/2020		30/10/2020		30/10/2020	

3.1.2.4 Simulación del proceso de moldeo por soplado

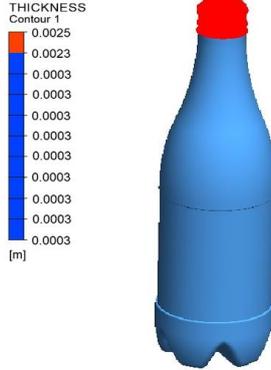
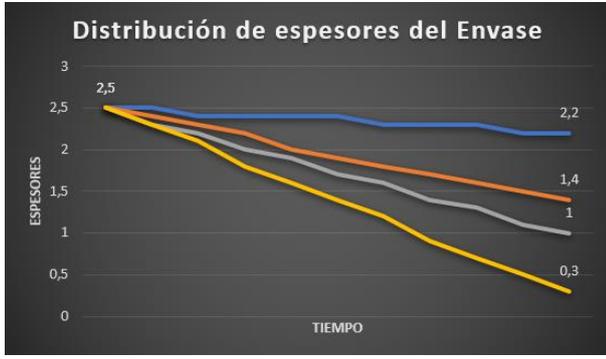
3.1.2.4.1 Evaluación térmica y mecánica del molde

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA MAESTRÍA: MECÁNICA MENCIÓN: MANUFACTURA																																																					
DESCRIPCIÓN:		EVALUACIÓN TERMOMECAÁNICA DEL MOLDE DE SOPLADO																																																					
TIPO DE PRUEBA:		CFD	Revisión: 01	Pag. 7 de 7																																																			
ESPECIFICACIONES GENERALES																																																							
LUGAR DE EJECUCIÓN:	LATACUNGA																																																						
NORMA UTILIZADA:	NTC 4773 ANEXO 4																																																						
BOTELLAS PLÁSTICAS PET "ESTÁNDARES Y ESPECIFICACIONES"																																																							
TIPO DE SIMULACIÓN:	DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL CFD																																																						
SOFTWARE:	SOLIDWORKS FLOW SIMULATION																																																						
TIPO DE PRUEBA:	TRANSFERENCIA DE CALOR																																																						
																																																							
PARÁMETROS DE SIMULACIÓN																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parámetro</th> <th>Especificación</th> <th>Real</th> <th>Optimización</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Temperatura de preforma</td> <td>90 – 105 °C</td> <td>97 °C</td> <td>95 °C</td> </tr> <tr> <td>Presión de presoplado</td> <td>10 – 15 Bar</td> <td>13,5 Bar</td> <td>12 Bar</td> </tr> <tr> <td>Presión de soplado</td> <td>30 – 40 Bar</td> <td>37 Bar</td> <td>32 Bar</td> </tr> <tr> <td>Caudal de aire</td> <td>60 m3/h</td> <td>55 m3/h</td> <td>60 m3/h</td> </tr> <tr> <td>Presión de agua</td> <td>3 – 5 Bar</td> <td>4,6 Bar</td> <td>4,6 Bar</td> </tr> <tr> <td>Temperatura entrada de agua</td> <td>8 – 15 °C</td> <td>10,7 °C</td> <td>11 °C</td> </tr> <tr> <td>Temperatura salida de agua</td> <td>ΔT 3 °C</td> <td>11,6 °C</td> <td>13 °C</td> </tr> </tbody> </table>		Parámetro	Especificación	Real	Optimización	Temperatura de preforma	90 – 105 °C	97 °C	95 °C	Presión de presoplado	10 – 15 Bar	13,5 Bar	12 Bar	Presión de soplado	30 – 40 Bar	37 Bar	32 Bar	Caudal de aire	60 m3/h	55 m3/h	60 m3/h	Presión de agua	3 – 5 Bar	4,6 Bar	4,6 Bar	Temperatura entrada de agua	8 – 15 °C	10,7 °C	11 °C	Temperatura salida de agua	ΔT 3 °C	11,6 °C	13 °C	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parte</th> <th>Material</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bujes</td> <td>Acero AISI 4340</td> </tr> <tr> <td>Guías</td> <td>Acero AISI 4340</td> </tr> <tr> <td>Cuellos</td> <td>Acero Inox AISI 304</td> </tr> <tr> <td>Asientos</td> <td>Acero Inox AISI 304</td> </tr> <tr> <td>Cavidades</td> <td>Duraluminio 7075</td> </tr> <tr> <td>Placa Asientos</td> <td>Acero AISI P20</td> </tr> <tr> <td>Placa Cavidades</td> <td>Acero AISI P20</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Molde de Soplado: 280x120x250 mm</td> </tr> </tbody> </table>				Parte	Material	Bujes	Acero AISI 4340	Guías	Acero AISI 4340	Cuellos	Acero Inox AISI 304	Asientos	Acero Inox AISI 304	Cavidades	Duraluminio 7075	Placa Asientos	Acero AISI P20	Placa Cavidades	Acero AISI P20	Molde de Soplado: 280x120x250 mm	
Parámetro	Especificación	Real	Optimización																																																				
Temperatura de preforma	90 – 105 °C	97 °C	95 °C																																																				
Presión de presoplado	10 – 15 Bar	13,5 Bar	12 Bar																																																				
Presión de soplado	30 – 40 Bar	37 Bar	32 Bar																																																				
Caudal de aire	60 m3/h	55 m3/h	60 m3/h																																																				
Presión de agua	3 – 5 Bar	4,6 Bar	4,6 Bar																																																				
Temperatura entrada de agua	8 – 15 °C	10,7 °C	11 °C																																																				
Temperatura salida de agua	ΔT 3 °C	11,6 °C	13 °C																																																				
Parte	Material																																																						
Bujes	Acero AISI 4340																																																						
Guías	Acero AISI 4340																																																						
Cuellos	Acero Inox AISI 304																																																						
Asientos	Acero Inox AISI 304																																																						
Cavidades	Duraluminio 7075																																																						
Placa Asientos	Acero AISI P20																																																						
Placa Cavidades	Acero AISI P20																																																						
Molde de Soplado: 280x120x250 mm																																																							
RESULTADOS OBTENIDOS																																																							
 <p>Temperatura (Solid) [°C] Plano medio: contours Corte 1: contours Corte 2: contours Corte 3: contours Time = 4.000 s</p> <p style="text-align: center;">Cavidades</p>		 <p>Temperatura (Solid) [°C] Plano medio: contours Corte 1: contours Corte 2: contours Corte 3: contours Time = 4.000 s</p> <p style="text-align: center;">Ductos de Cavidades</p>		 <p>Time = 4.000 s Temperatura (Solid) [°C] Cut Plot 1: contours Time = 4.000 s</p> <p style="text-align: center;">Ductos de Asientos</p> <p style="text-align: center;">Asientos</p>																																																			
OBSERVACIONES:																																																							
Los datos del proceso de moldeo por soplado fueron tomados como referencia del Registro de control mostrado en el ANEXO 11 .																																																							
Los materiales utilizados en la fabricación de los moldes presentan una excelente transferencia de calor.																																																							
REVISIÓN Y APROBACIÓN																																																							
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:																																																				
Nombre:	Ing. Diego Yugsi	Ing. Diego Yugsi	Ing. Oscar Analuiza. Mg.																																																				
Cargo:	Investigador	Investigador	Director de tesis																																																				
Fecha:	30/10/2020	30/10/2020	30/10/2020																																																				

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																																																																																																																		
	MAESTRÍA: MECÁNICA MENCIÓN: MANUFACTURA																																																																																																																		
	DESCRIPCIÓN:	EVALUACIÓN TERMOMECÁNICA DEL MOLDE DE SOPLADO																																																																																																																	
	TIPO DE PRUEBA:	CFD	Revisión: 01		Pag. 8 de 8																																																																																																														
ESPECIFICACIONES GENERALES																																																																																																																			
LUGAR DE EJECUCIÓN:	LATACUNGA																																																																																																																		
NORMA UTILIZADA:	NTC 4773																																																																																																																		
BOTELLAS PLÁSTICAS PET "ESTÁNDARES Y ESPECIFICACIONES"																																																																																																																			
TIPO DE SIMULACIÓN:	DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL CFD																																																																																																																		
SOFTWARE:	SOLIDWORKS FLOW SIMULATION																																																																																																																		
TIPO DE PRUEBA:	TRANSFERENCIA DE CALOR																																																																																																																		
RESULTADOS OBTENIDOS																																																																																																																			
																																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TIEMPO DE SIMULACIÓN</th> <th>0 seg</th> <th>1 seg</th> <th>2 seg</th> <th>3 seg</th> <th>4 seg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">PLANO MEDIO</td> <td>°C</td> <td>T. máx</td> <td>30</td> <td>96,13</td> <td>96,32</td> <td>96,43</td> <td>96,49</td> </tr> <tr> <td></td> <td>T. mín</td> <td>30</td> <td>29,99</td> <td>29,97</td> <td>30,01</td> <td>30,07</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">CORTE 1 PROFUNDIDAD= 15 mm</td> <td>°C</td> <td>T. máx</td> <td>30</td> <td>93,2</td> <td>93,98</td> <td>94,31</td> <td>94,5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>T. mín</td> <td>30</td> <td>29,86</td> <td>29,58</td> <td>29,47</td> <td>29,6</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">CORTE 2 PROFUNDIDAD= 30 mm</td> <td>°C</td> <td>T. máx</td> <td>30</td> <td>92,83</td> <td>93,76</td> <td>94,16</td> <td>94,41</td> </tr> <tr> <td></td> <td>T. mín</td> <td>30</td> <td>27,06</td> <td>29,89</td> <td>26,48</td> <td>26,25</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">CORTE 3 PROFUNDIDAD= 45 mm</td> <td>°C</td> <td>T. máx</td> <td>30</td> <td>43,89</td> <td>52,28</td> <td>57,72</td> <td>61,9</td> </tr> <tr> <td></td> <td>T. mín</td> <td>30</td> <td>19,16</td> <td>18,78</td> <td>18,65</td> <td>18,51</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">ASIENTOS</td> <td>°C</td> <td>T. máx</td> <td>30</td> <td>96,9</td> <td>96,94</td> <td>96,95</td> <td>96,96</td> </tr> <tr> <td></td> <td>T. mín</td> <td>30</td> <td>18,12</td> <td>16,74</td> <td>15,99</td> <td>15,42</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">DUCTOS CAVIDADES</td> <td>°C</td> <td>T. máx</td> <td>12,2</td> <td>12,2</td> <td>12,31</td> <td>12,46</td> <td>12,59</td> </tr> <tr> <td></td> <td>T. mín</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">DUCTOS ASIENTOS</td> <td>°C</td> <td>T. máx</td> <td>36,83</td> <td>36,83</td> <td>40,98</td> <td>41,88</td> <td>41,88</td> </tr> <tr> <td></td> <td>T. mín</td> <td>11</td> <td>11,73</td> <td>11,63</td> <td>11,52</td> <td>11,52</td> </tr> </tbody> </table>		TIEMPO DE SIMULACIÓN		0 seg	1 seg	2 seg	3 seg	4 seg	PLANO MEDIO	°C	T. máx	30	96,13	96,32	96,43	96,49		T. mín	30	29,99	29,97	30,01	30,07	CORTE 1 PROFUNDIDAD= 15 mm	°C	T. máx	30	93,2	93,98	94,31	94,5		T. mín	30	29,86	29,58	29,47	29,6	CORTE 2 PROFUNDIDAD= 30 mm	°C	T. máx	30	92,83	93,76	94,16	94,41		T. mín	30	27,06	29,89	26,48	26,25	CORTE 3 PROFUNDIDAD= 45 mm	°C	T. máx	30	43,89	52,28	57,72	61,9		T. mín	30	19,16	18,78	18,65	18,51	ASIENTOS	°C	T. máx	30	96,9	96,94	96,95	96,96		T. mín	30	18,12	16,74	15,99	15,42	DUCTOS CAVIDADES	°C	T. máx	12,2	12,2	12,31	12,46	12,59		T. mín	11	11	11	11	11	DUCTOS ASIENTOS	°C	T. máx	36,83	36,83	40,98	41,88	41,88		T. mín	11	11,73	11,63	11,52	11,52		
TIEMPO DE SIMULACIÓN		0 seg	1 seg	2 seg	3 seg	4 seg																																																																																																													
PLANO MEDIO	°C	T. máx	30	96,13	96,32	96,43	96,49																																																																																																												
		T. mín	30	29,99	29,97	30,01	30,07																																																																																																												
CORTE 1 PROFUNDIDAD= 15 mm	°C	T. máx	30	93,2	93,98	94,31	94,5																																																																																																												
		T. mín	30	29,86	29,58	29,47	29,6																																																																																																												
CORTE 2 PROFUNDIDAD= 30 mm	°C	T. máx	30	92,83	93,76	94,16	94,41																																																																																																												
		T. mín	30	27,06	29,89	26,48	26,25																																																																																																												
CORTE 3 PROFUNDIDAD= 45 mm	°C	T. máx	30	43,89	52,28	57,72	61,9																																																																																																												
		T. mín	30	19,16	18,78	18,65	18,51																																																																																																												
ASIENTOS	°C	T. máx	30	96,9	96,94	96,95	96,96																																																																																																												
		T. mín	30	18,12	16,74	15,99	15,42																																																																																																												
DUCTOS CAVIDADES	°C	T. máx	12,2	12,2	12,31	12,46	12,59																																																																																																												
		T. mín	11	11	11	11	11																																																																																																												
DUCTOS ASIENTOS	°C	T. máx	36,83	36,83	40,98	41,88	41,88																																																																																																												
		T. mín	11	11,73	11,63	11,52	11,52																																																																																																												
OBSERVACIONES:																																																																																																																			
Los datos del proceso de moldeo por soplado fueron tomados como referencia del Registro de control mostrado en el ANEXO 11 .																																																																																																																			
Los materiales utilizados en la fabricación de los moldes presentan una excelente transferencia de calor.																																																																																																																			
REVISIÓN Y APROBACIÓN																																																																																																																			
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:																																																																																																																
Nombre:	Ing. Diego Yugsi	Ing. Diego Yugsi	Ing. Oscar Analuiza. Mg.																																																																																																																
Cargo:	Investigador	Investigador	Director de tesis																																																																																																																
Fecha:	30/10/2020	30/10/2020	30/10/2020																																																																																																																

3.1.2.4.2 Distribución de espesores en el envase

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																							
	MAESTRÍA: MECÁNICA MENCIÓN: MANUFACTURA																							
	DESCRIPCIÓN:	SIMULACIÓN DEL PROCESO DE MOLDEO POR SOPLADO																						
	TIPO DE PRUEBA:	THICKNESS	Revisión: 01		Pag. 5 de 5																			
ESPECIFICACIONES GENERALES																								
LUGAR DE EJECUCIÓN:	LATA CUNGA																							
NORMA UTILIZADA:	NTC 4773																							
BOTELLAS PLÁSTICAS PET "ESTÁNDARES Y ESPECIFICACIONES"																								
TIPO DE SIMULACIÓN:	DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL CFD																							
SOFTWARE:	ANSYS POLYFLOW																							
TIPO DE PRUEBA:	DISTRIBUCIÓN DE MATERIAL POR ESPESORES																							
PARÁMETROS DE SIMULACIÓN																								
<table border="1"> <tr><td>Tipo de molde</td><td>Adiabático Molde de Soplado</td></tr> <tr><td>Tipo de movimiento</td><td>Molde Fijo</td></tr> <tr><td>Tipo de carcasa</td><td>Newtoniano Isotérmico 95 °C</td></tr> <tr><td>Presión de Soplado</td><td>32 Bar</td></tr> <tr><td>Tiempo de dependencia</td><td>Función Rampa</td></tr> <tr><td>Viscosidad intrínseca PET</td><td>0,84 dl/g</td></tr> <tr><td>Densidad PET</td><td>1,34 g/cm³</td></tr> <tr><td>Espesor inicial Preforma</td><td>2,5 mm</td></tr> <tr><td>Tiempo de ciclo Soplado</td><td>2,5 seg</td></tr> <tr><td>Velocidad de estiro</td><td>7,31 m/seg</td></tr> </table>		Tipo de molde	Adiabático Molde de Soplado	Tipo de movimiento	Molde Fijo	Tipo de carcasa	Newtoniano Isotérmico 95 °C	Presión de Soplado	32 Bar	Tiempo de dependencia	Función Rampa	Viscosidad intrínseca PET	0,84 dl/g	Densidad PET	1,34 g/cm ³	Espesor inicial Preforma	2,5 mm	Tiempo de ciclo Soplado	2,5 seg	Velocidad de estiro	7,31 m/seg			
Tipo de molde	Adiabático Molde de Soplado																							
Tipo de movimiento	Molde Fijo																							
Tipo de carcasa	Newtoniano Isotérmico 95 °C																							
Presión de Soplado	32 Bar																							
Tiempo de dependencia	Función Rampa																							
Viscosidad intrínseca PET	0,84 dl/g																							
Densidad PET	1,34 g/cm ³																							
Espesor inicial Preforma	2,5 mm																							
Tiempo de ciclo Soplado	2,5 seg																							
Velocidad de estiro	7,31 m/seg																							
RESULTADOS OBTENIDOS																								
<p>Espesor con t= 0,5 seg</p>	<p>Espesor con t= 1 seg</p>	<p>Espesor con t= 1,5 seg</p>	<p>Espesor con t= 2 seg</p>																					
OBSERVACIONES:																								
Los equipos utilizados para la validación de envases en un proceso real se describen en el ANEXO 5.																								
Los datos de espesor de pared de envases obtenidos en la simulación cumplen con las especificaciones de control de calidad.																								
REVISIÓN Y APROBACIÓN																								
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:																					
Nombre:	Ing. Diego Yugsi	Ing. Diego Yugsi	Ing. Oscar Analuiza. Mg.																					
Cargo:	Investigador	Investigador	Director de tesis																					
Fecha:	30/10/2020	30/10/2020	30/10/2020																					

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA MAESTRÍA: MECÁNICA MENCIÓN: MANUFACTURA					
	DESCRIPCIÓN:	SIMULACIÓN DEL PROCESO DE MOLDEO POR SOPLADO				
	TIPO DE PRUEBA:	THICKNESS	Revisión: 01		Pag. 6 de 6	
ESPECIFICACIONES GENERALES						
LUGAR DE EJECUCIÓN:	LATACUNGA					
NORMA UTILIZADA:	NTC 4773					
BOTELLAS PLÁSTICAS PET "ESTÁNDARES Y ESPECIFICACIONES"						
TIPO DE SIMULACIÓN:	DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL CFD					
SOFTWARE:	ANSYS POLYFLOW					
TIPO DE PRUEBA:	DISTRIBUCION DE MATERIAL POR ESPESORES					
RESULTADOS OBTENIDOS						
	Tiempo (seg)	t= 0,5	t= 1	t= 1,5	t= 2	t= 2,5
Espesor (mm)		2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
		2,5	2,4	2,3	2,3	2,3
		2,4	2,3	2,2	2,1	0,3
		2,4	2,2	2	1,8	0,3
		2,4	2	1,9	1,6	0,3
		2,4	1,9	1,7	1,4	0,3
		2,3	1,8	1,6	1,2	0,3
		2,3	1,7	1,4	0,9	0,3
		2,3	1,6	1,3	0,7	0,3
		2,2	1,5	1,1	0,5	0,3
	2,2	1,4	1	0,3	0,3	
						
						
		Espesor con t= 2,5 seg				
OBSERVACIONES:						
Los equipos utilizados para la validación de envases en un proceso real se describen en el ANEXO 5.						
Los datos de espesor de pared de envases obtenidos en la simulación cumplen con las especificaciones de control de calidad.						
REVISIÓN Y APROBACIÓN						
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:			
Nombre:	Ing. Diego Yugsi	Ing. Diego Yugsi	Ing. Oscar Analuiza. Mg.			
Cargo:	Investigador	Investigador	Director de tesis			
Fecha:	30/10/2020	30/10/2020	30/10/2020			

3.2 Verificación de hipótesis

Para poder verificar la hipótesis de la investigación se lo realizó en base a los resultados generados en la tecnología de fabricación de moldes y simulación de proceso de moldeo por soplado, en donde se verificó sus respectivos resultados. Como se puede observar en la tabla 3-5 los materiales adecuados para obtener un buen mecanizado de los moldes de soplado, así como su tratamiento térmico recomendado, cabe mencionar que estos materiales son de fácil adquisición y son comercializados a nivel nacional abaratando los costos de fabricación e importación.

Tabla 3-5 Materiales de construcción del molde de soplado.

PARTE	CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO DEL MATERIAL
BUJE	4	ACERO AISI 4340	TEMPLADO - REVENIDO
GUÍA	4	ACERO AISI 4340	TEMPLADO - REVENIDO
CUELLO	4	ACERO INOX AISI 304	NINGUNO
ASIENTO	2	ACERO INOX AISI 304	NINGUNO
CAVIDAD	2	DURALUMINIO 7075	ANODIZADO
PLACA ASIENTO	1	ACERO AISI P20	TEMPLADO - REVENIDO
PLACA CAVIDAD	2	ACERO AISI P20	TEMPLADO - REVENIDO

Fuente: El autor

La tabla 3-6 describe los parámetros de mecanizado para una adecuada manufactura de los moldes, cuyos valores se corroboraron mediante el software CAMWorks.

Tabla 3-6 Parámetros de mecanizado del molde de soplado.

PARTE	EQUIPO UTILIZADO	TIEMPO (min)	VELOCIDAD CORTE (m/min)	VELOCIDAD NOMINAL (RPM)	N° HERRAMIENTAS
BUJE	TORNO CNC	26,36	16	2500	2
GUÍA	TORNO CNC	41,88	16	2500	2
CUELLO	FRESADORA CNC - 3 EJES	349,12	16	7162	3
ASIENTO	FRESADORA CNC - 3 EJES	291,42	16	7937	3
CAVIDAD	FRESADORA CNC - 3 EJES	474,44	225	7937	5
PLACA ASIENTO	FRESADORA CNC - 3 EJES	151,7	16	3770	3
PLACA CAVIDAD	FRESADORA CNC - 3 EJES	267,96	16	3770	3
TIEMPO TOTAL (minutos)		1602,88			
TIEMPO TOTAL (horas)		26,71			

Fuente: El autor

Los valores mostrados en la tabla 3-6 se obtuvieron en base a las siguientes variables de mecanizado: una velocidad de corte de 225 m/min para el aluminio y 16 m/min para el acero aleado y el acero inoxidable a velocidades nominales del husillo que están dentro del rango de 8050 rpm. La tabla 3-7 muestra las principales herramientas utilizadas para efectuar el mecanizado de los componentes de los moldes.

Tabla 3-7 Herramientas utilizadas.

Herramienta	Velocidades de husillo N rpm	Velocidades de avance S mm/min
Fresa plana HSS Φ 10mm	7162	8021
Fresa plana HSS Φ 19mm	3770	2111
Fresa frontal HSS Φ 80mm	895	1969
Fresa redonda HSS Φ 6mm	7937	4297
Fresa redonda HSS Φ 12mm	5968	2149

Fuente: El autor

En la simulación del proceso de moldeo por soplado con los moldes diseñados previamente se obtuvieron resultados a través de la evaluación mecánica y térmica usando softwares de dinámica de fluidos computacional los cuales permitieron verificar los parámetros adecuados para optimizar el proceso. La tabla 3-8 muestra los parámetros reales y de optimización con software los cuales fueron utilizados en base a especificaciones de proceso y permitieron corroborar la óptima transferencia de calor en los materiales del molde.

Tabla 3-8 Parámetros de proceso de moldeo por soplado.

Parámetro	Especificación	Real	Optimización
Temperatura de preforma	90 – 105 °C	97 °C	95 °C
Presión de presoplado	10 – 15 Bar	13,5 Bar	12 Bar
Presión de soplado	30 – 40 Bar	37 Bar	32 Bar
Caudal de aire	60 m ³ /h	55 m ³ /h	60 m³/h
Presión de agua	3 – 5 Bar	4,6 Bar	4,6 Bar
Temperatura entrada de agua	8 – 15 °C	10,7 °C	11 °C
Temperatura salida de agua	ΔT 3 °C	11,6 °C	13 °C

Fuente: El autor

Con los valores de optimización se verifica el descenso de temperatura de acondicionamiento de la preforma (97 a 95 °C), el descenso de presión de soplado (37

a 32 Bar) y la óptima transferencia de calor durante el proceso (11 a 13 °C); estos valores ayudan a reducir costos de materia prima y ahorro energético sin alterar la calidad de los envases producidos.

En la tabla 3-9 se puede verificar las temperaturas a diferentes cortes de profundidad durante el proceso de moldeo por soplado en cada parte del molde, las temperaturas más relevantes son tomadas en un tiempo de 4 seg donde se evidencia la correcta transferencia de calor manteniendo un diferencial de temperatura óptimo, considerando la temperatura ambiente del molde de 30 °C.

Tabla 3-9 Evaluación mecánica y térmica del molde de soplado.

TIEMPO DE SIMULACIÓN		0 seg	1 seg	2 seg	3 seg	4 seg	
PLANO MEDIO	°C	T. máx	30	96,13	96,32	96,43	96,49
		T. mín	30	29,99	29,97	30,01	30,07
CORTE 1 PROFUNDIDAD= 15 mm	°C	T. máx	30	93,2	93,98	94,31	94,5
		T. mín	30	29,86	29,58	29,47	29,6
CORTE 2 PROFUNDIDAD= 30 mm	°C	T. máx	30	92,83	93,76	94,16	94,41
		T. mín	30	27,06	29,89	26,48	26,25
CORTE 3 PROFUNDIDAD= 45 mm	°C	T. máx	30	43,89	52,28	57,72	61,9
		T. mín	30	19,16	18,78	18,65	18,51
ASIENTOS	°C	T. máx	30	96,9	96,94	96,95	96,96
		T. mín	30	18,12	16,74	15,99	15,42
DUCTOS CAVIDADES	°C	T. máx	12,2	12,2	12,31	12,46	12,59
		T. mín	11	11	11	11	11
DUCTOS ASIENTOS	°C	T. máx	36,83	36,83	40,98	41,88	41,88
		T. mín	11	11,73	11,63	11,52	11,52

Fuente: El autor

Se verifica que el análisis a mayor corte de profundidad es más confiable ya que muestra temperaturas más bajas en comparación al plano medio superficial, por lo tanto, asegura la obtención de datos más reales; en el plano de corte a 45 mm en las cavidades se obtiene una temperatura mínima de 18.51 °C y una temperatura máxima de 61.9 °C lo cual asegura la estabilidad térmica en el hombro y cuerpo del envase, caso contrario surge en los asientos con una temperatura mínima de 15.42 °C y una máxima de 96,96 °C por tener menos volumen de material pero es compensada con el enfriamiento constante en los ductos lo cual hace que baje la temperatura a 41.88 °C; mientras que en los ductos de las cavidades se verifica la temperatura de ingreso de

agua a 11 °C la cual alcanza una temperatura de 12.59 °C a la salida y se comprueba que está dentro del diferencial de temperatura en el proceso el cual es 3 °C.

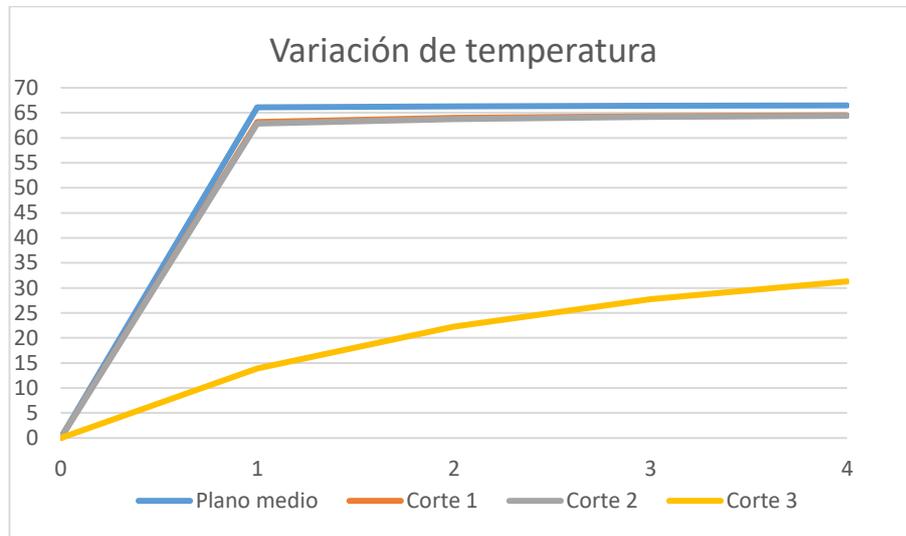


Figura 3-2 Variaciones de temperatura.

La figura 3-2 nos muestra las variaciones de temperatura en función del tiempo, nótese que el plano medio, corte 1 y corte 2 poseen la misma similitud en la forma de las curvas; sin embargo, la curva del corte 3 es diferente debido a que se presenta en los canales de enfriamiento del molde.

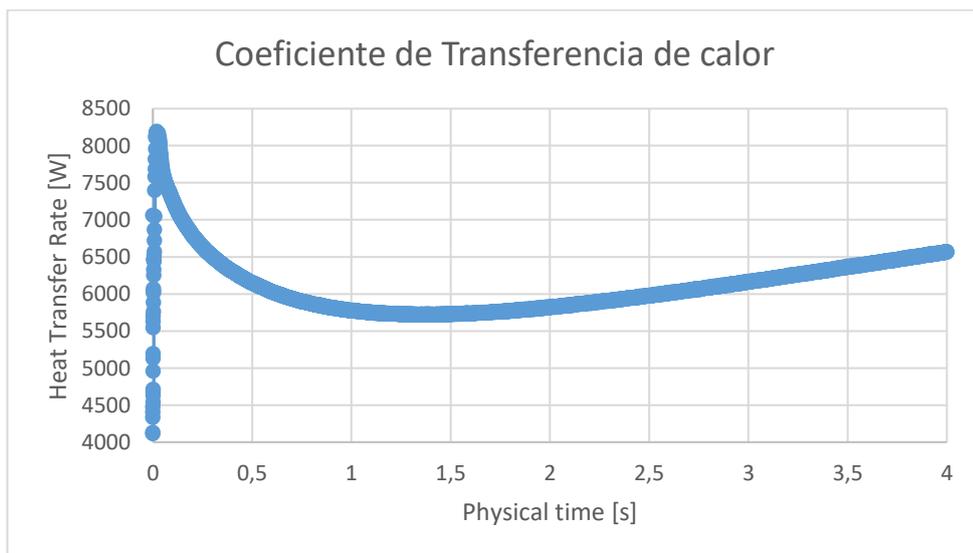


Figura 3-3 Coeficiente de Transferencia de Calor.

En la figura 3-3 se aprecia el coeficiente de transferencia de calor en función del tiempo, nótese que, en 0 segundos, alcanza el valor máximo 8167.2 W, se aprecia también que la curva se estabiliza conforme alcanza los 4 segundos, tiempo que se demora el proceso, alcanzando un coeficiente de 6569.3 W.

Los valores de optimización también nos posibilitaron verificar la correcta distribución de espesores (tabla 3-10) llegando a obtener un espesor de 0.3 mm en las paredes del envase en un tiempo de 2.5 segundos lo cual está dentro de especificaciones.

Tabla 3-10 Distribución de espesores en el envase.

Tiempo (seg)	t= 0,5	t= 1	t= 1,5	t= 2	t= 2,5
Espesor (mm)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	2,5	2,4	2,3	2,3	2,3
	2,4	2,3	2,2	2,1	0,3
	2,4	2,2	2	1,8	0,3
	2,4	2	1,9	1,6	0,3
	2,4	1,9	1,7	1,4	0,3
	2,3	1,8	1,6	1,2	0,3
	2,3	1,7	1,4	0,9	0,3
	2,3	1,6	1,3	0,7	0,3
	2,2	1,5	1,1	0,5	0,3
	2,2	1,4	1	0,3	0,3

Fuente: El autor

Mediante la simulación del proceso de moldeo por soplado se determinó que, la calidad de los envases depende de la correcta manufactura de los moldes y esta a su vez que el cambio de algunos parámetros de proceso tiene influencia sobre el resultado final de los envases elaborados.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE PROPUESTA

Desarrollo de la tecnología de fabricación de moldes para optimizar el proceso de moldeo por soplado de envases PET, en una planta embotelladora de bebidas.

4.1 Descripción

El proyecto de investigación se basa en la implementación de un proceso tecnológico para la fabricación de moldes, simulación CFD del proceso de moldeo por soplado cuyos parámetros permitirán establecer un informe tecnológico para optimizar el proceso de elaboración de envases PET en una Planta embotelladora de bebidas.

4.2 Objetivos

- Diseñar la tecnología de fabricación para la elaboración de moldes utilizando herramientas CAD/CAM/CAE.
- Simular el proceso de moldeo por soplado y evaluar las propiedades mecánicas y térmicas del molde utilizando herramientas CFD (Dinámica de fluidos computacional).
- Implementar un informe tecnológico para optimización del proceso de moldeo por soplado de envases PET.

4.3 Desarrollo

4.3.1 Diseño de la tecnología de fabricación de moldes

4.3.1.1 Modelado de la preforma y el envase

El modelo de la preforma y el envase se elaboró previamente con las especificaciones obtenidas, para ello se utiliza el software Solidworks. A través del croquizado de las 2 geometrías se ejecuta los comandos de revolución y vaciado para obtener el sólido

hueco, se muestra en las figuras 4-1 y 4-2 el modelado de la preforma y el envase respectivamente.

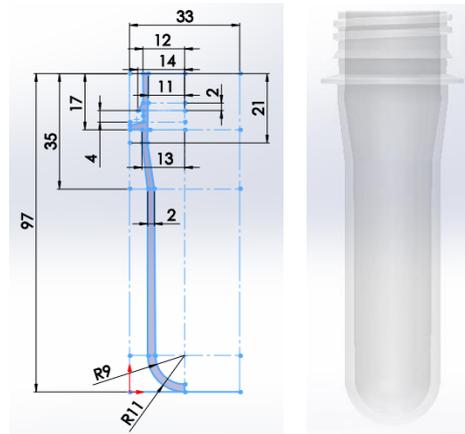


Figura 4-1 Modelado de la preforma.

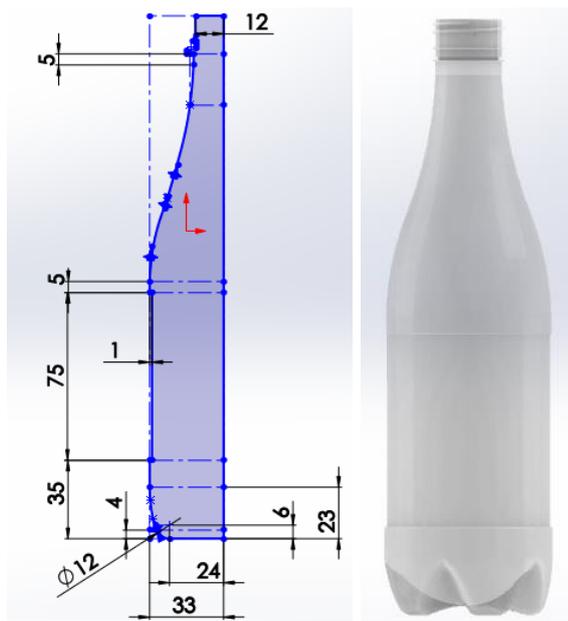


Figura 4-2 Modelado del envase.

El diseño de la preforma y el envase se lo realiza acorde a especificaciones, de los cuales se determina los pesos, densidad, dimensiones nominales y espesores de pared establecidos, cuyos valores se los puede observar en la tabla 3-5 y serán utilizados más adelante para el diseño de la tecnología de fabricación de moldes y simulación del proceso de moldeo por soplado.

Tabla 4-1 Resultados del diseño de la preforma y el envase.

Diseño	Peso	Densidad	Dimensiones Nominales	Espesor
Preforma	19,02 g	1,69 g/cm ³	Altura= 96,5 mm Diámetro= 25,5 mm	Cuerpo= 2,3 mm
Envase	Hombro = 10,7 g Cuerpo= 4,7 g Base= 3,6 g	1,42 g/cm ³	Altura= 233,8 mm Diámetro= 65,5 mm	Hombro = 0,28 mm Cuerpo= 0,24 mm Base= 0,24 mm

Fuente: El autor

Con los datos de diseño de la tabla 3-5 se verifica el volumen real del envase (figura 4-3), a una altura de llenado de agua de 211,8 mm dió como resultado un volumen de contención de 508 ml el cual se encuentra dentro del rango establecido por la planta embotelladora (505±5 ml), por lo tanto el envase diseñado es validado para desarrollar la tecnología de fabricación de los moldes ya que nos asegura el optimo mecanizado de los elementos que los constituyen.

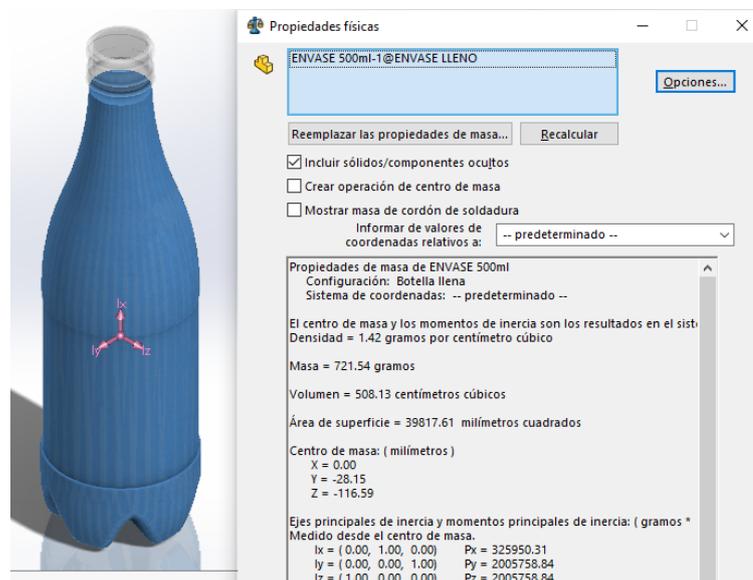


Figura 4-3 Volumen de llenado del envase.

4.3.1.2 Modelado de los componentes del molde

El molde está constituido de 3 partes principales los cuellos, las cavidades y los asientos, a partir de estas partes se modelan los demás aditamentos tales como bujes,

guías y placas de sujeción. Se utiliza la barra de herramientas de moldes (figura 4-4) la cual se activa desde la opción de complementos del software.

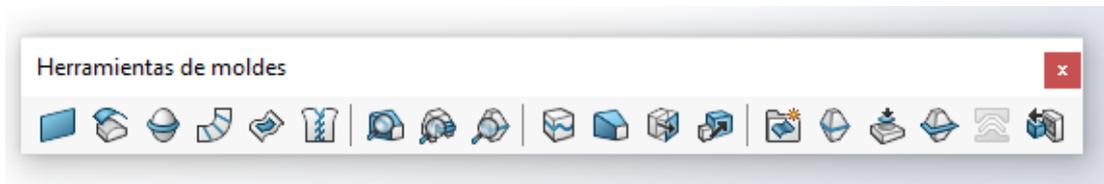


Figura 4-4 Barra de herramientas de moldes.

En el modelado de las cavidades y de los asientos se utiliza el comando extruir el cual nos va a generar los bloques para generar las matrices y mediante el comando núcleo y cavidad se conforman los elementos en función al envase diseñado. El modelado de los bujes, guías y placas se realiza de forma individual en modo pieza, para luego ensamblar el molde por completo, importando cada una de las partes y verificando las relaciones de posición, tal como se muestra en la figura 4-5.

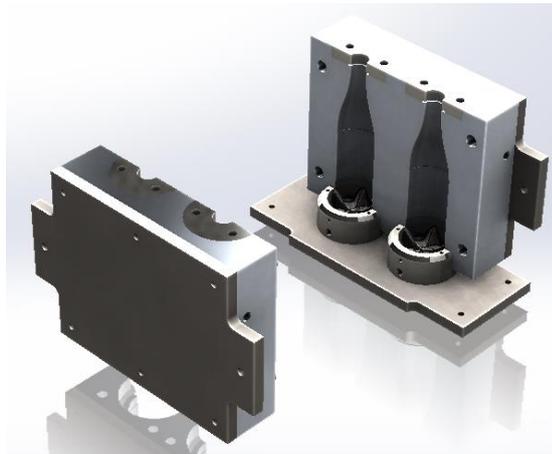


Figura 4-5 Ensamble final de los moldes de soplado.

Las operaciones de mecanizado de torno y fresadora las ejecuta el software CAM Works el cual es un complemento adicional de Solidworks, este software nos posibilita configurar los controladores de cualquier centro de mecanizado para simular la fabricación acorde a parámetros de control numérico computarizado (CNC); una vez que se tenga todas las partes del molde diseñadas, se importan una por una dándoles un rasgo de mecanizado según la geometría deseada. Es indispensable aplicar el

material adecuado para cada parte del molde, caso contrario no sería posible la simulación.

4.3.1.3 Cálculos preliminares de mecanizado

➤ Selección del material

Para las cavidades se escoge el aluminio por tratarse de un material fácil de mecanizar, tiene buena resistencia mecánica cuya densidad es ligera comparada con el acero y presenta excelentes propiedades de transferencia de calor en el proceso de moldeo por soplado. Se selecciona el acero inoxidable para los asientos componentes claves para el conformado de la base petaloide y la estabilidad vertical del envase; por último, se elige el acero para los bujes, guías y placas por considerarse elementos importantes en la vida útil de los moldes.

➤ Cálculo de las velocidades de corte

Del Anexo 10 se escoge las velocidades de corte para el material, tomando por seguridad el valor medio de la tabla en función a las herramientas disponibles en el taller de mecanizado:

La fórmula para el cálculo de velocidad de corte es:

$$N = \frac{V_c \times 1000}{\pi \cdot \emptyset} \quad (1)$$

Donde:

N= Velocidad de giro de la fresa [rpm].

V_c= Velocidad de corte [m/min].

∅= Diámetro de la fresa [mm]

Se calcula las velocidades de corte para cada herramienta disponible en el taller de mecanizado.

Datos:

Herramienta= Fresa plana HSS Ø10 mm

$V_c = 225 \text{ m/min}$

$\varnothing = 10 \text{ mm}$

Cálculo:

$$N = \frac{V_c \times 1000}{\pi \cdot \varnothing}$$

$$N = \frac{225 \times 1000}{\pi \cdot 10}$$

$$N = 7162 \text{ rpm}$$

Datos:

Herramienta= Fresa plana HSS $\varnothing 19 \text{ mm}$

$V_c = 225 \text{ m/min}$

$\varnothing = 19 \text{ mm}$

Cálculo:

$$N = \frac{V_c \times 1000}{\pi \cdot \varnothing}$$

$$N = \frac{225 \times 1000}{\pi \cdot 19}$$

$$N = 3770 \text{ rpm}$$

Datos:

Herramienta= Fresa frontal HSS $\varnothing 80 \text{ mm}$

$V_c = 225 \text{ m/min}$

$\varnothing = 80 \text{ mm}$

Cálculo:

$$N = \frac{V_c \times 1000}{\pi \cdot \phi}$$

$$N = \frac{225 \times 1000}{\pi \cdot 80}$$

$$N = 895 \text{ rpm}$$

Datos:

Herramienta= Fresa redonda HSS ϕ 6 mm

$V_c = 225 \text{ m/min}$

$\phi = 6 \text{ mm}$

Cálculo:

$$N = \frac{V_c \times 1000}{\pi \cdot \phi}$$

$$N = \frac{225 \times 1000}{\pi \cdot 6}$$

$$N = 7937 \text{ rpm}$$

Datos:

Herramienta= Fresa redonda HSS ϕ 12 mm

$V_c = 225 \text{ m/min}$

$\phi = 12 \text{ mm}$

Cálculo:

$$N = \frac{V_c \times 1000}{\pi \cdot \phi}$$

$$N = \frac{225 \times 1000}{\pi \cdot 12}$$

$$N = 5968 \text{ rpm}$$

➤ **Cálculo de las velocidades de avance**

Del Anexo 10 se escogió el avance por diente recomendado para fresas de alta velocidad y fresas de carburo cementado en función a las herramientas disponibles en el taller de mecanizado:

La fórmula para el cálculo de velocidad de avance es:

$$\text{Avance} = f \times a \times N \quad (2)$$

Donde:

f= Numero de dientes de la fresa.

a= Viruta o avance por diente [mm].

N= Velocidad de giro de la fresa [rpm].

Se calcula las velocidades de avance para cada herramienta disponible en el taller de mecanizado.

Datos:

Herramienta= Fresa plana HSS de Ø10 mm y número de dientes 4

N= 7162 rpm (valor encontrado anteriormente)

f= 4

a= 0,28 mm (obtenido Anexo 10)

Cálculo:

$$\text{Avance} = f \times a \times N$$

$$\text{Avance} = 4 \times 0,28 \times 7162$$

$$\text{Avance} = 8021 \text{ mm/min}$$

Datos:

Herramienta= Fresa plana HSS de Ø19 mm y número de dientes 2

N= 3770 rpm (valor encontrado anteriormente)

f= 2

a= 0,28 mm (obtenido Anexo 10)

Cálculo:

$$\text{Avance} = f \times a \times N$$

$$\text{Avance} = 2 \times 0,28 \times 3770$$

$$\text{Avance} = 2111 \text{ mm/min}$$

Datos:

Herramienta= Fresa frontal HSS de Ø80 mm y número de dientes 4

N= 895 rpm (valor encontrado anteriormente)

f= 4

a= 0,55 mm (obtenido Anexo 10)

Cálculo:

$$\text{Avance} = f \times a \times N$$

$$\text{Avance} = 4 \times 0,55 \times 895$$

$$\text{Avance} = 1969 \text{ mm/min}$$

Datos:

Herramienta= Fresa redonda HSS de Ø6 mm y número de dientes 2

N= 7937 rpm (valor encontrado anteriormente)

$$f= 2$$

$$a= 0,18 \text{ mm (obtenido Anexo 10)}$$

Cálculo:

$$\text{Avance} = f \times a \times N$$

$$\text{Avance} = 2 \times 0,18 \times 7937$$

$$\text{Avance} = 4297 \text{ mm/min}$$

Datos:

Herramienta= Fresa redonda HSS de $\varnothing 12$ mm y número de dientes 2

N= 5968 rpm (valor encontrado anteriormente)

$$f= 2$$

$$a= 0,18 \text{ mm (obtenido Anexo 10)}$$

Cálculo:

$$\text{Avance} = f \times a \times N$$

$$\text{Avance} = 2 \times 0,18 \times 5968$$

$$\text{Avance} = 2149 \text{ mm/min}$$

➤ **Profundidad de corte**

Se realizó cortes de desbaste profundos con avances grandes según nos permita la maquina y la pieza, lo recomendable es realizarlos con fresas helicoidales con menos dientes ya que estas nos posibilitan más arranque de viruta por su resistencia y holgura en comparación de las fresas que tienen más dientes. Los cortes de acabado se ejecutaron con avances más finos con una profundidad por lo menos de 1/64 pulgada (0,4 mm) con la finalidad de conservar la vida útil de las herramientas al tener un control en la velocidad de corte.

4.3.1.4 Simulación de operaciones de torno

Seleccionamos y definimos la máquina para configuración de controlador torno (Turn Single Turret – Metric). Desde Solidworks se activa el complemento CAMWORKS para habilitar las funciones de la máquina y control de simulación. La configuración y operaciones de mecanizado se las ejecuta desde las opciones árbol de rasgos (figura 4-6), árbol de operaciones (figura 4-7) y árbol de herramientas (figura 4-8).

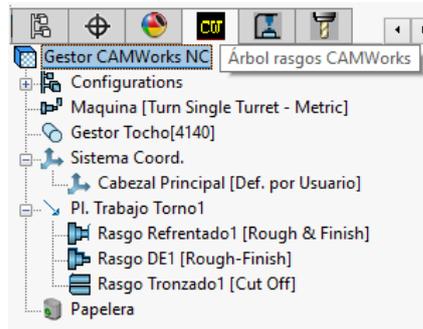


Figura 4-6 Árbol de rasgos de mecanizado.

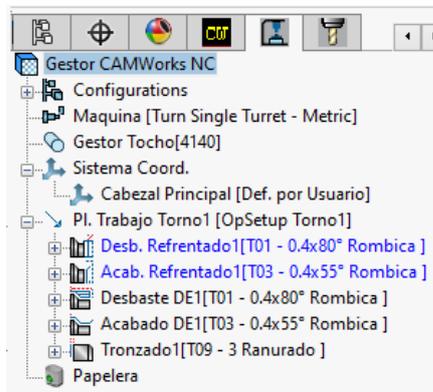


Figura 4-7 Árbol de operaciones.

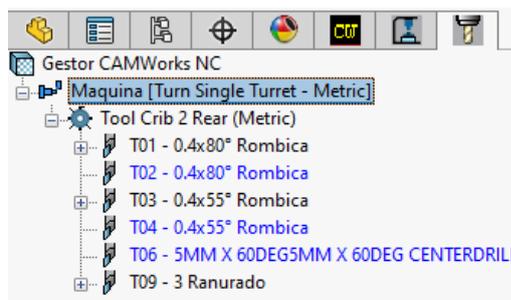


Figura 4-8 Árbol de herramientas.

En la opción de árbol de herramientas se configura las herramientas que se van utilizar en el mecanizado como las plaquitas (figura 4-9) y el portaherramientas (figura 4-10) en función a catálogos disponibles.

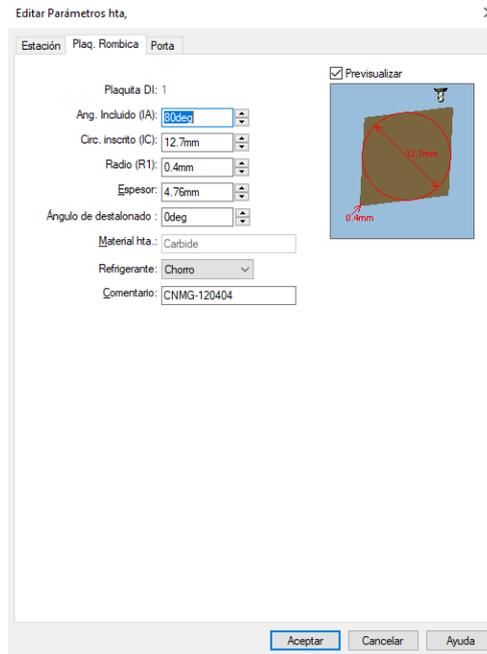


Figura 4-9 Configuración de herramientas - plaquita.

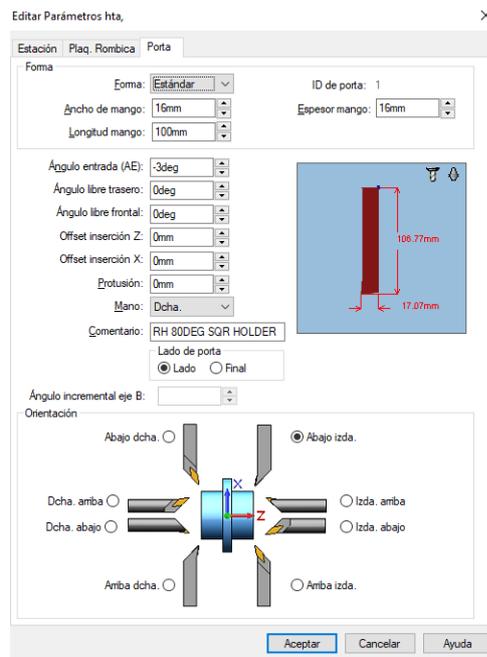


Figura 4-10 Configuración de portaherramientas.

Seleccionamos un torno de torreta simple en el sistema métrico, las características del torno se muestran en la figura 4-11.

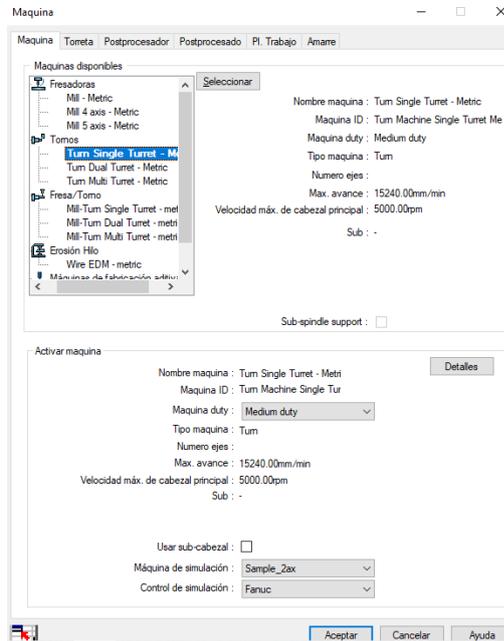


Figura 4-11 Características del torno CNC.

Cargamos las herramientas de mecanizado para el torno las cuales van estar alojadas en la torreta principal (figura 4-12), se activa la torreta “Tool Crib 2 Pear Metric”.

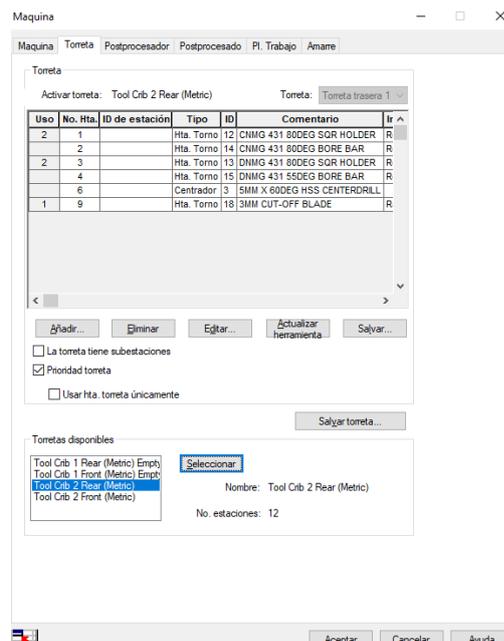


Figura 4-12 Selección de la torreta de herramientas - torno.

Seleccionamos el postprocesador con el cual el torno trabaja para la sincronización de funciones, herramientas y operaciones de mecanizado a través de un Control de simulación “FANUC T2AXIS”, tal como se muestra en la figura 4-13.

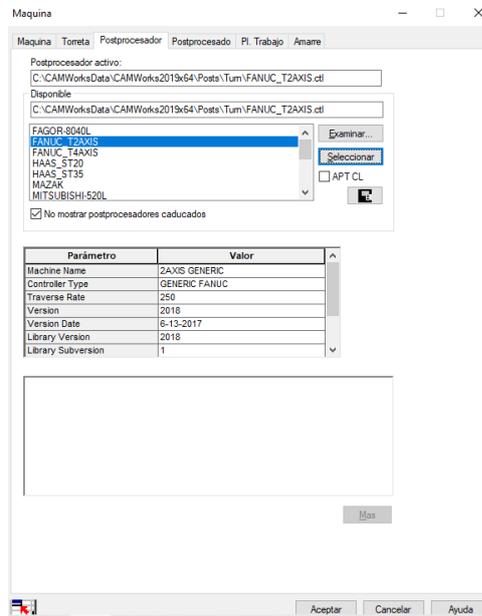


Figura 4-13 Importación y selección del postprocesador.

Seleccionamos el tipo de sujeción a través del cabezal principal del torno “cabezal de 200 mm de diámetro”, tal como se muestra en la figura 4-14.

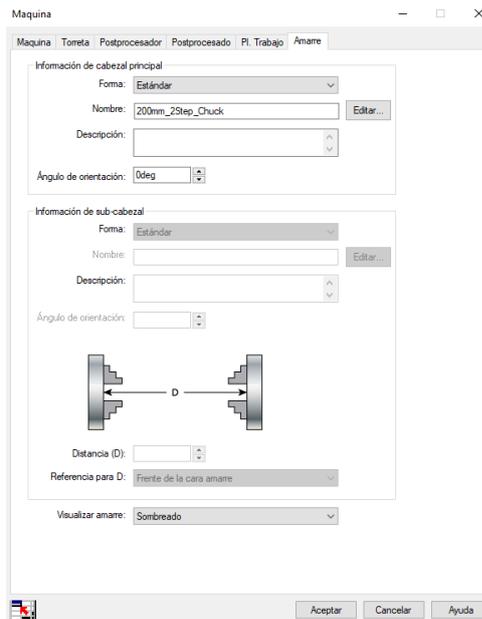


Figura 4-14 Selección de cabezal principal.

En la opción de gestor de tocho (figura 4-15) se configura las dimensiones del material en bruto para el mecanizado de los elementos del molde en forma cilíndrica (bujes y guías), se tiene varias opciones de asignación de tocho en este caso se elige la opción predeterminada un tocho que abarque y se ajuste a la geometría de la pieza.

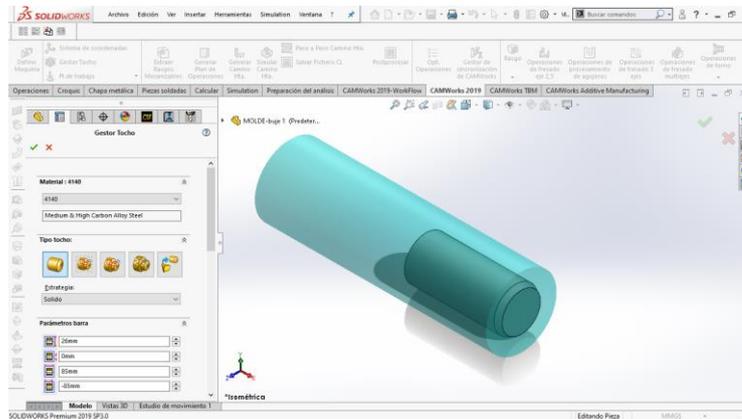


Figura 4-15 Configuración del tocho.

Establecemos el sistema de coordenadas (figura 4-16) del cabezal principal para inicio de operaciones de mecanizado, en el caso de un torno las coordenadas se originan por defecto con las coordenadas del diseño de la pieza en los ejes X - Z.

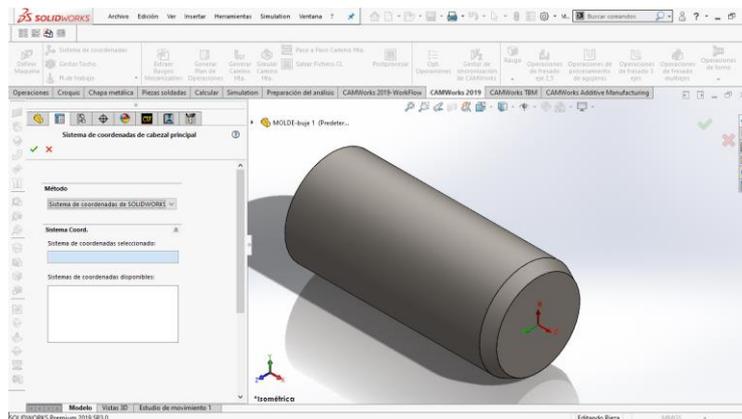


Figura 4-16 Designación de sistema de coordenadas.

Asignamos los rasgos de mecanizado para la pieza, ejecutamos la opción y automáticamente se genera los rasgos de mecanizado (figura 4-17).

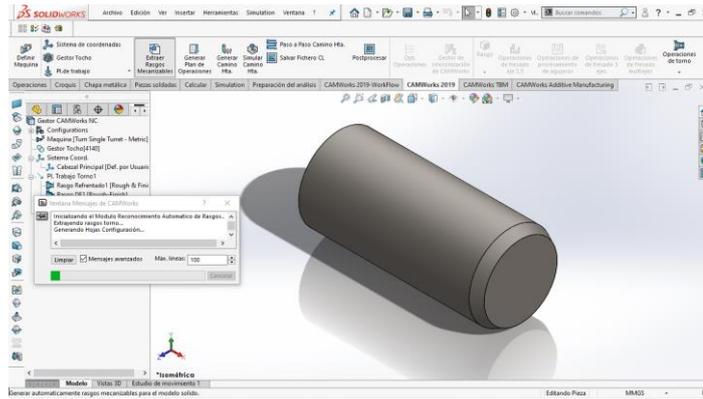


Figura 4-17 Extracción de rasgos mecanizables.

Generamos el plan de operaciones para la detección del trabajo que va estar realizando la herramienta (figura 4-18).

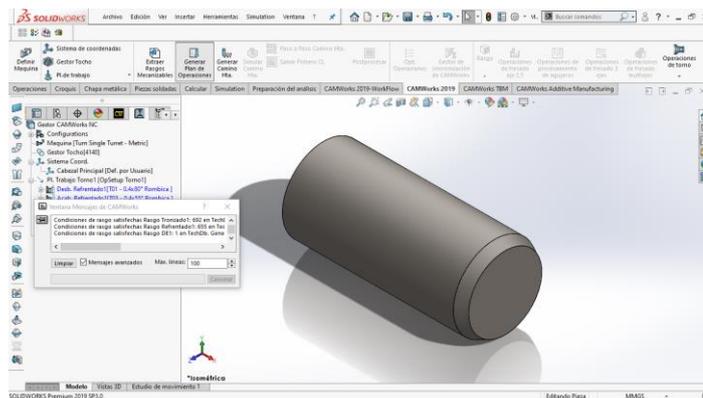


Figura 4-18 Generacion de plan de operaciones.

Generamos la trayectoria de herramientas para la pieza a mecanizar (figura 4-19).

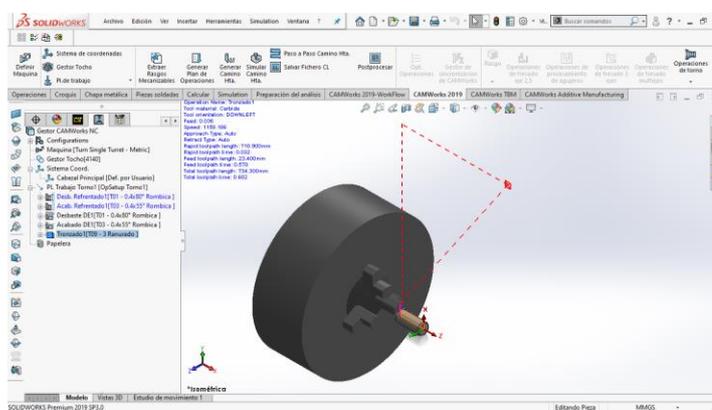


Figura 4-19 Generación de camino de herramientas.

Procedemos a simular el camino de las herramientas controlando la velocidad de simulación para verificar la disposición del tocho (figura 4-20), simulación del mecanizado (figura 4-21) y mecanizado final.

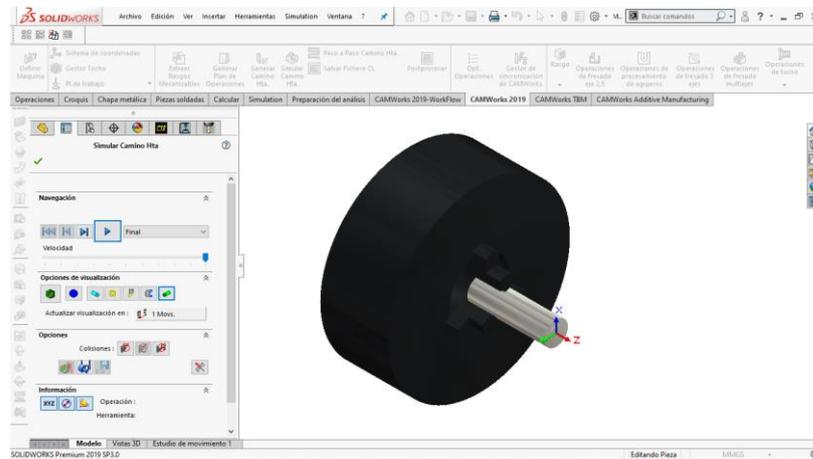


Figura 4-20 Disposición de tocho en el cabezal.

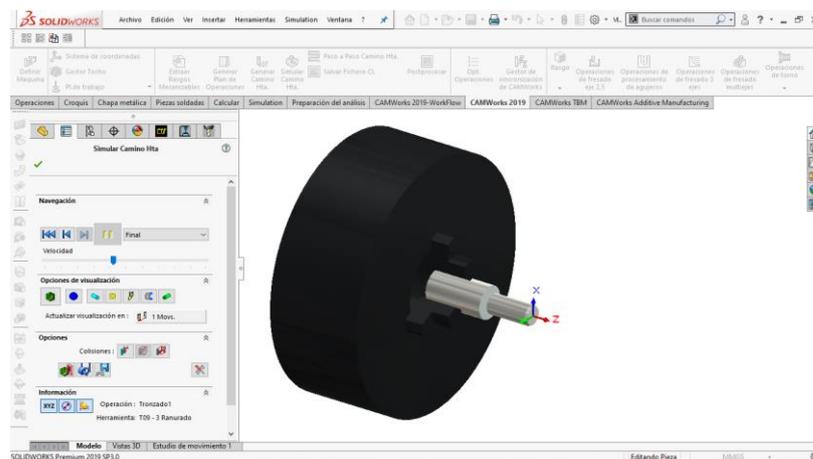


Figura 4-21 Simulación del mecanizado.

Durante la simulación del mecanizado se puede verificar la trayectoria y cambio de herramienta paso a paso; operaciones tales como refrentado y desbaste (figura 4-22), acabado (figura 4-23) y tronzado del material (figura 4-24).

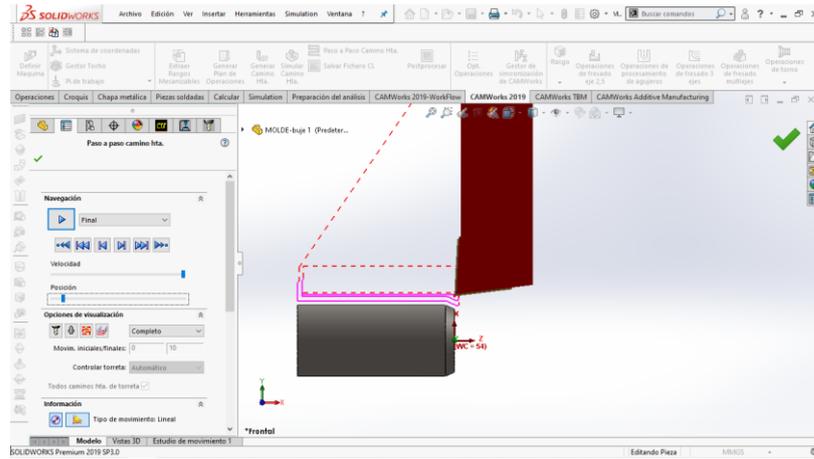


Figura 4-22 Operación de refrentado y desbaste.

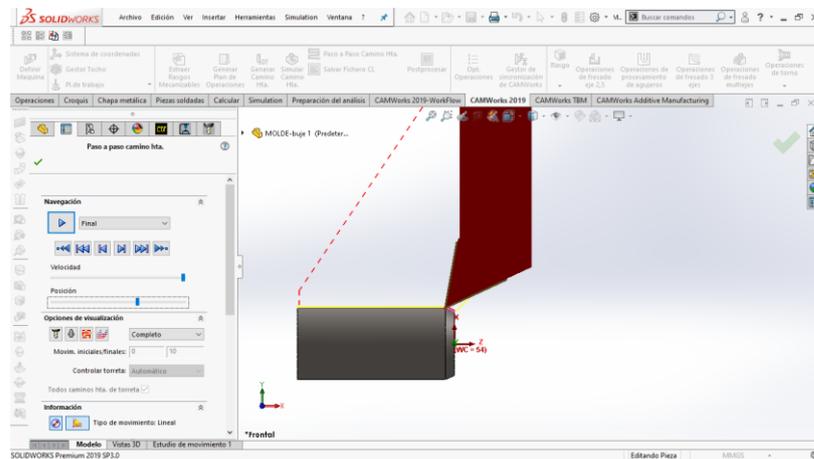


Figura 4-23 Operación de acabado.

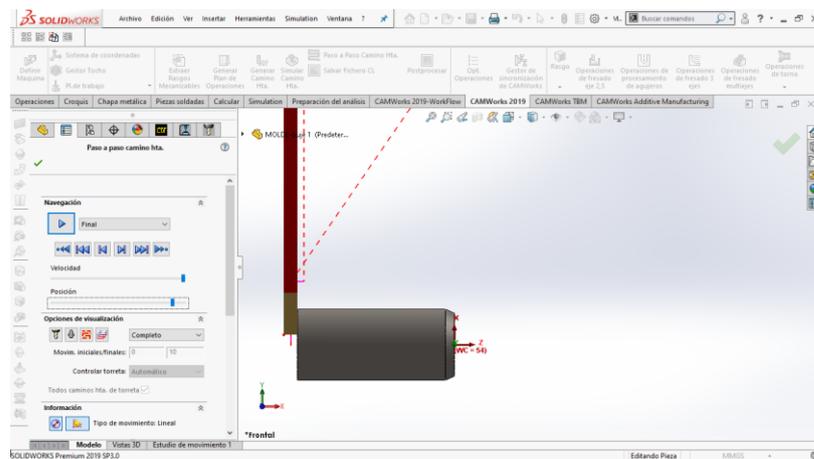


Figura 4-24 Operación de tronzado.

Al final de la simulación verificamos el acabado final (color verde claro) y mediante una barra de colores se comprueba la existencia de material sobrante (color azul), en este caso se muestra el material sobrante de la barra del tocho para demostrar el material sobrante (figura 4-25).

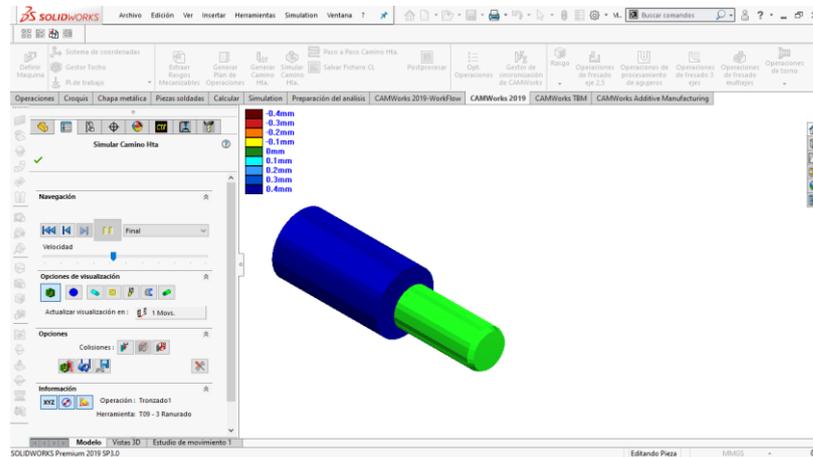


Figura 4-25 Verificación del mecanizado final y material sobrante.

En el caso de haber material sobrante se procede a crear un nuevo rasgo de mecanizado hasta obtener el mecanizado final requerido (figura 4-26).

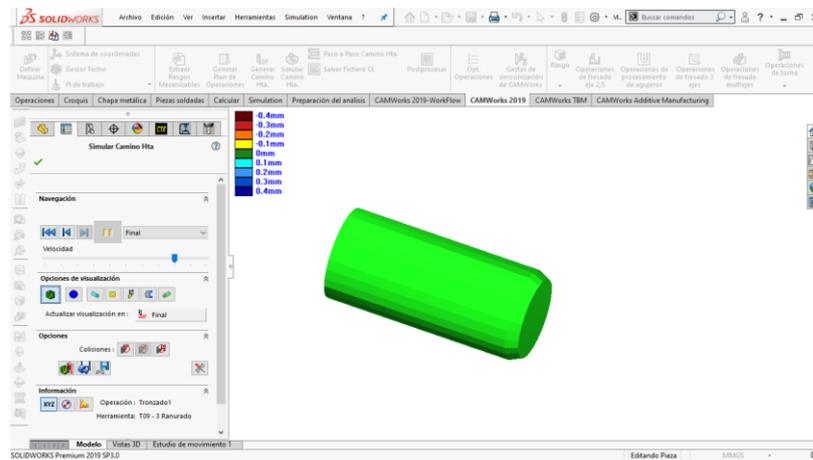


Figura 4-26 Mecanizado final

Para la transferencia del código de mecanizado a una máquina real compatible con el controlador utilizado generamos los códigos G a través del postprocesador (figura 4-27) y lo guardamos en un editor normalizado los más utilizados son Bloc de notas y editor CNC (figura 4-28).

A continuación, se muestra la simulación de operaciones (figuras 4-30) y trayectoria de las herramientas de torno en la máquina virtual de CAMWORKS (figuras 4-31).

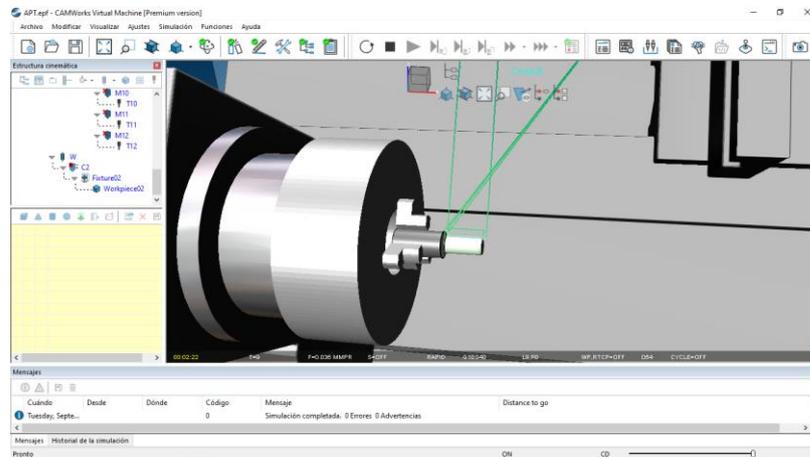


Figura 4-30 Simulación en máquina virtual.

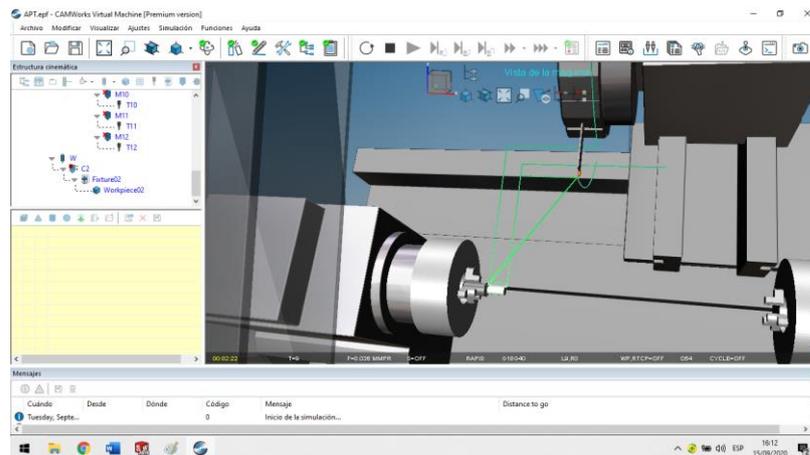


Figura 4-31 Recorrido de la herramienta.

Para que el software nos genere las operaciones de torno en un informe detallado activamos la opción “Hoja de Configuración” la cual está ubicada en el Gestor CAMWorks NC, una vez activada escogemos “Operaciones de torno” y aceptamos; en el informe se detalla el material, las dimensiones del tocho, el tiempo total de mecanizado, las operaciones de mecanizado, el tipo de herramientas utilizadas y las velocidades nominales de corte, cuyos resultados serán analizados en Hojas de Proceso. El mismo procedimiento se establece para generar un informe de “Operaciones de fresado”.

4.3.1.5 Simulación de operaciones de fresado

Seleccionamos y definimos la máquina para configuración de controlador fresadora (Mill – Metric). Desde Solidworks se activa el complemento CAMWORKS para habilitar las funciones de la máquina y control de simulación. La configuración y operaciones de mecanizado se las ejecuta desde las opciones árbol de rasgos (figura 4-32), árbol de operaciones (figura 4-33) y árbol de herramientas (figura 4-34).

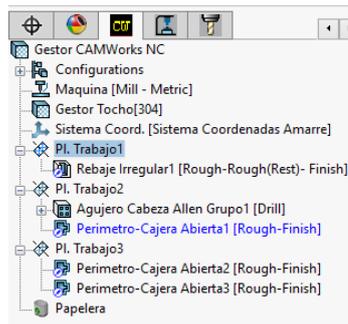


Figura 4-32 Árbol de rasgos de mecanizado.

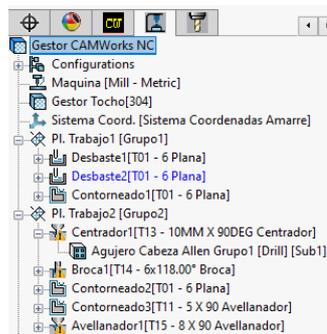


Figura 4-33 Árbol de operaciones.

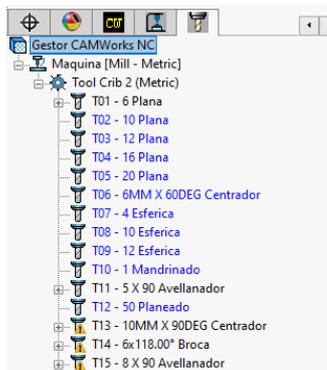


Figura 4-34 Árbol de herramientas.

En la opción de árbol de herramientas se configura las herramientas que se van utilizar en el mecanizado como las fresas (figura 4-35) y el portafresas (figura 4-36) en función a catálogos disponibles.

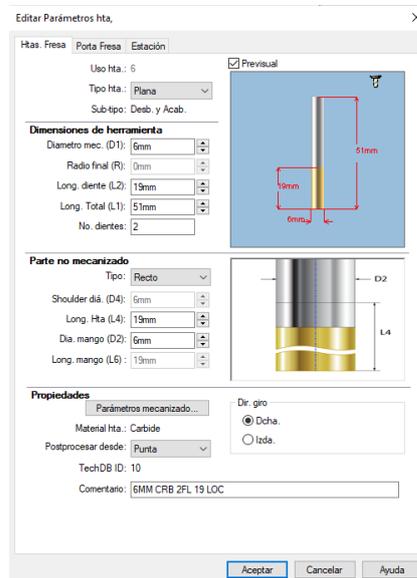


Figura 4-35 Configuración de herramientas - fresas.

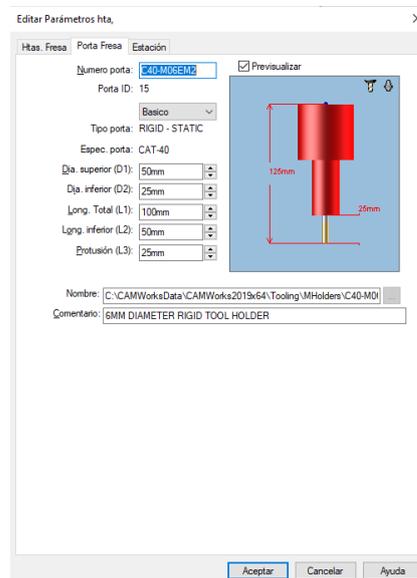


Figura 4-36 Configuración de portaherramientas.

Seleccionamos un centro de mecanizado fresadora en el sistema métrico, las características de la fresadora muestran en la figura 4-37.

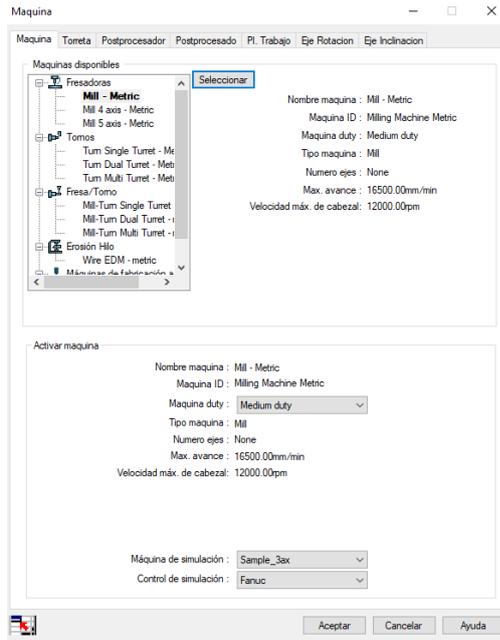


Figura 4-37 Características de la fresadora CNC.

Cargamos las herramientas de mecanizado para la fresadora las cuales van estar alojadas en la torreta principal (figura 4-38), se activa la torreta “Tool Crib 2 Pear Metric”.

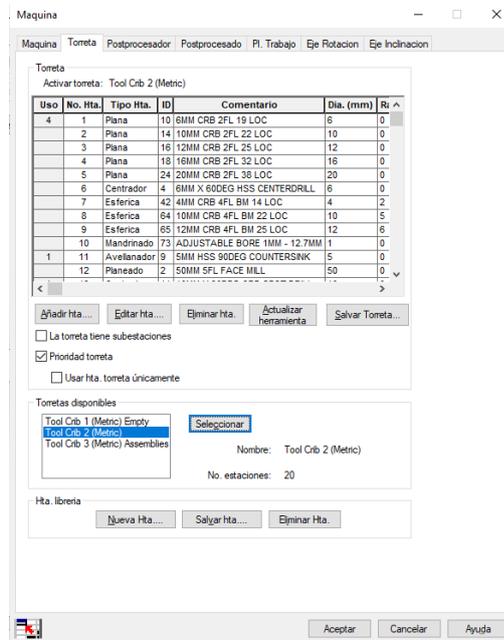


Figura 4-38 Selección de la torreta de herramientas - fresadora.

Seleccionamos el postprocesador con el cual la fresadora trabaja para la sincronización de funciones, herramientas y operaciones de mecanizado a través de un control de simulación “FANUC OM”, tal como se muestra en la figura 4-39.

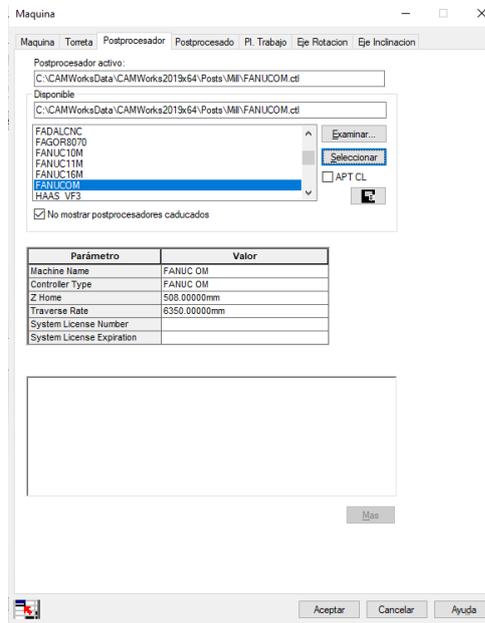


Figura 4-39 Importación y selección del postprocesador.

En la opción de gestor de tocho (figura 4-40) se configura las dimensiones del material en bruto para el mecanizado de los elementos del molde en forma rectangular (cuellos, cavidades, asientos y placas), se tiene varias opciones de asignación de tocho en este caso se elige la opción predeterminada un tocho que abarque y se ajuste a la geometría de la pieza.

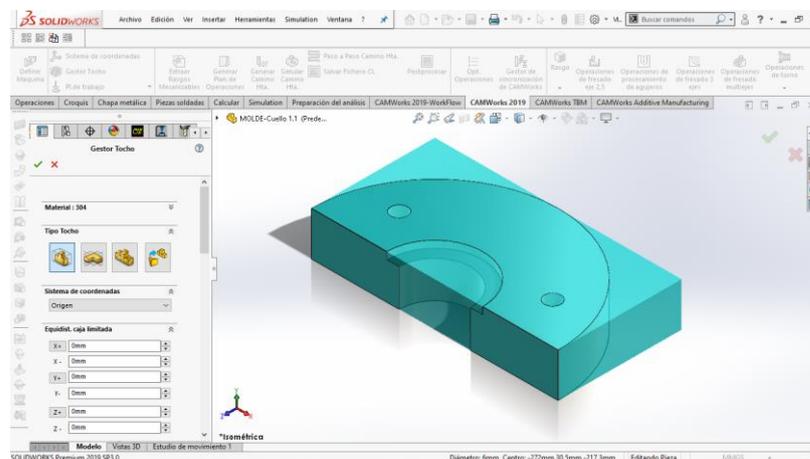


Figura 4-40 Configuración del tocho.

Establecemos el sistema de coordenadas para el eje de rotación y eje de inclinación del husillo principal para inicio de operaciones de mecanizado en los ejes X, Y, Z; al seleccionar la cara por donde va iniciar el mecanizado automáticamente se generan los ejes de trabajo (figura 4-41).

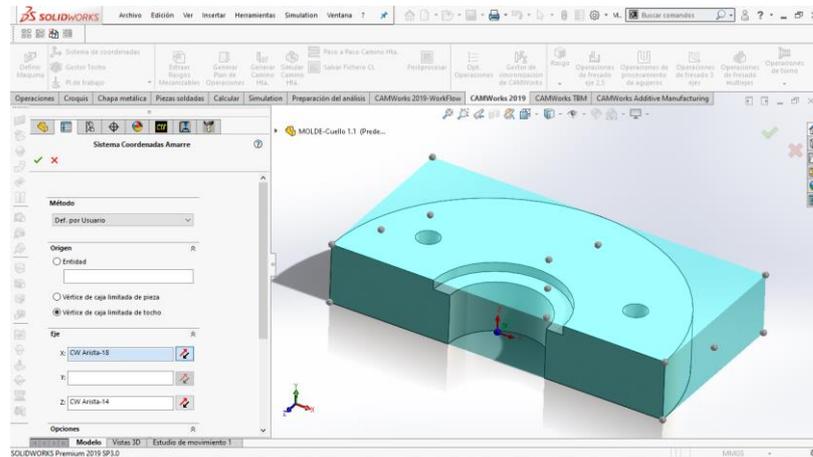


Figura 4-41 Designación de sistema de coordenadas.

Asignamos los rasgos de mecanizado para la pieza, ejecutamos la opción y automáticamente se genera los rasgos de mecanizado (figura 4-42).

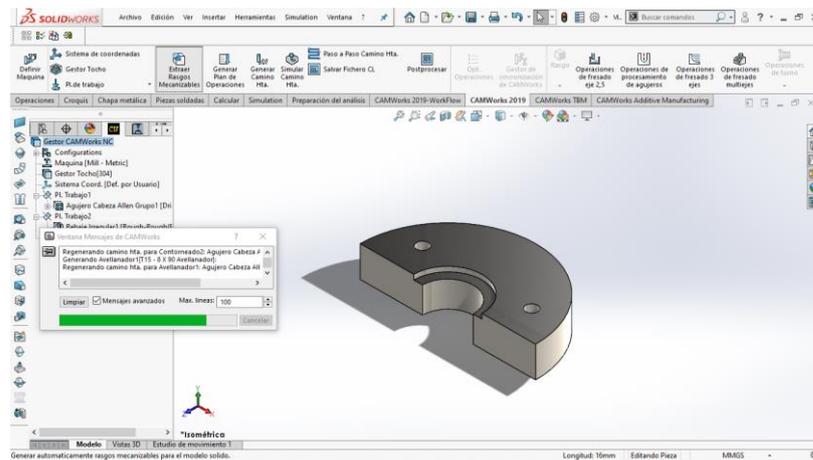


Figura 4-42 Extracción de rasgos mecanizables.

Generamos el plan de operaciones para la detección del trabajo que va estar realizando la herramienta (figura 4-43).

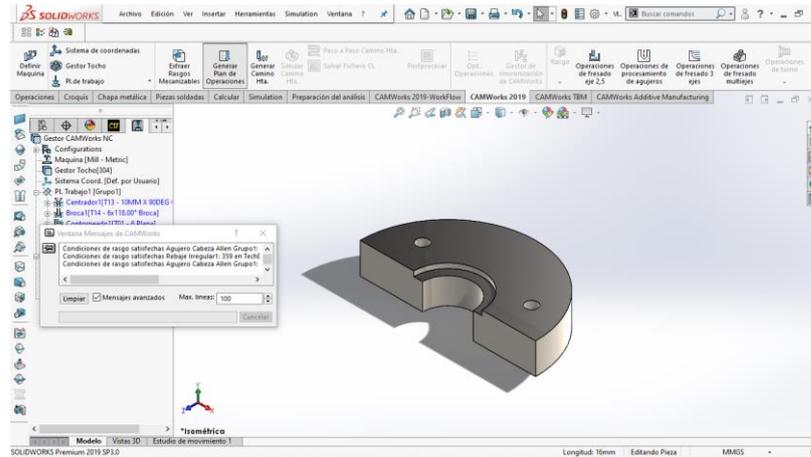


Figura 4-43 Generacion de plan de operaciones.

Generamos la trayectoria de herramientas para la pieza a mecanizar (figura 4-44).

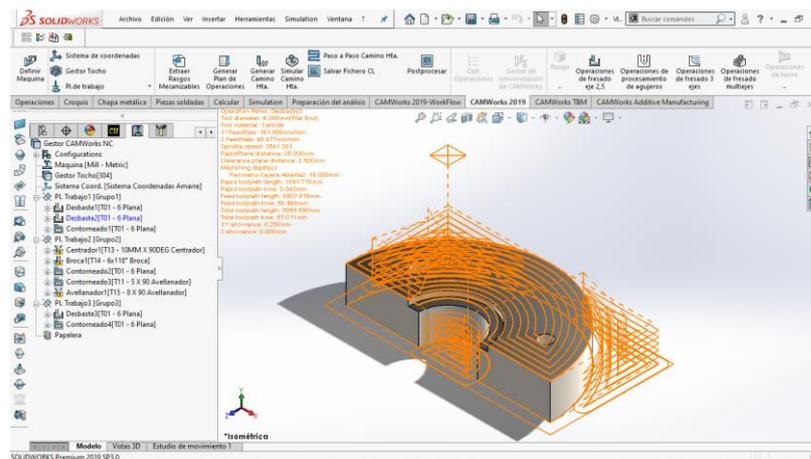


Figura 4-44 Generacion de camino de herramientas.

Procedemos a simular el camino de las herramientas controlando la velocidad de simulación para verificar la disposición del tocho (figura 4-45), simulación del mecanizado (figura 4-46) y mecanizado final.

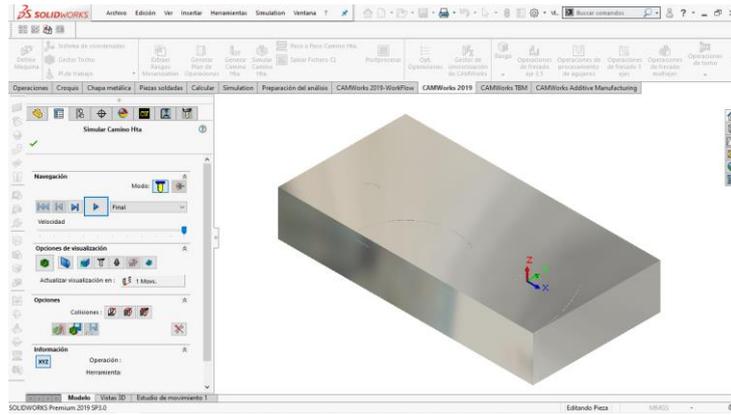


Figura 4-45 Disposición de tocho en la mesa.

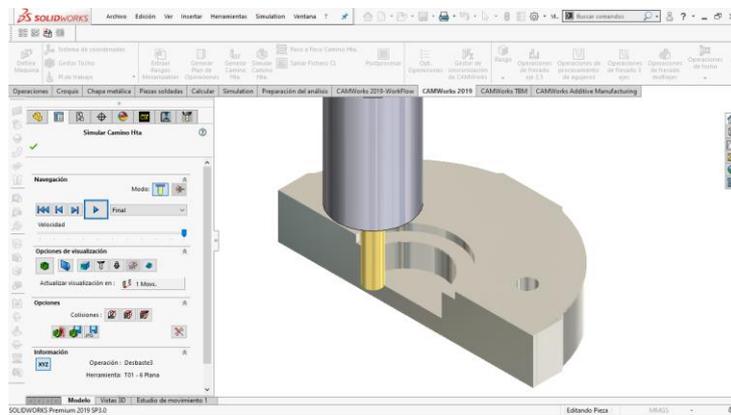


Figura 4-46 Simulación del mecanizado.

Durante la simulación del mecanizado se puede verificar la trayectoria y cambio de herramienta paso a paso; operaciones tales como taladrado (figura 4-47), desbaste (figura 4-48) y contorneado (figura 4-49).

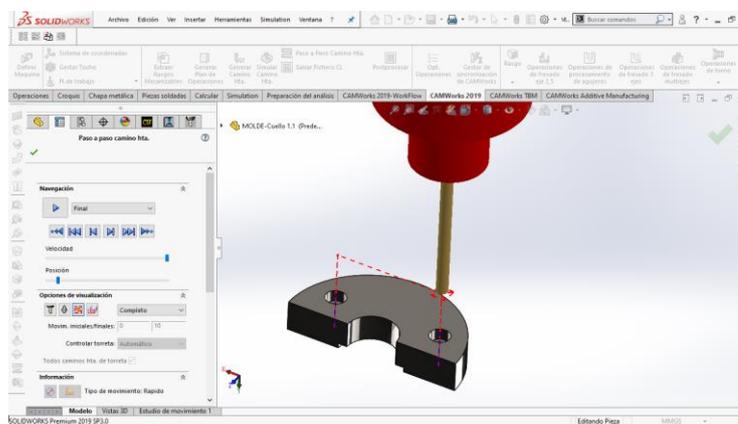


Figura 4-47 Operación de taladrado.

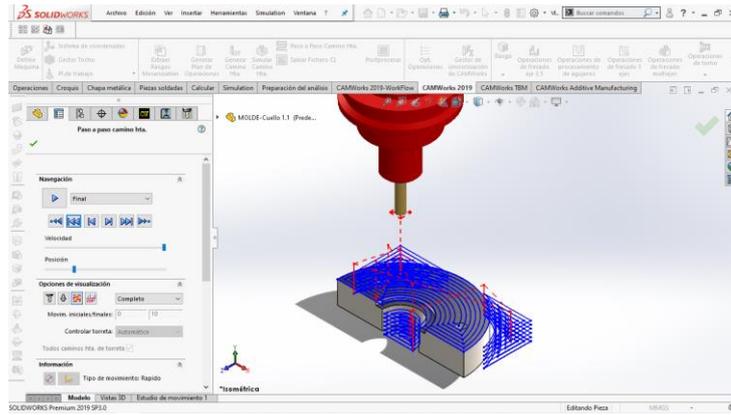


Figura 4-48 Operación de desbaste.

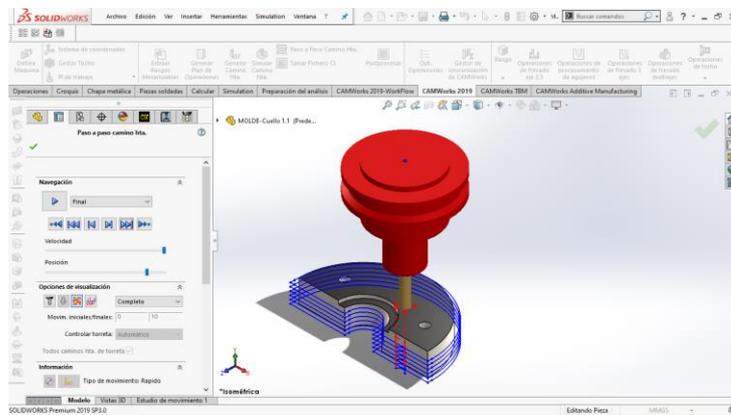


Figura 4-49 Operación de contorneado.

Al final de la simulación verificamos el acabado final (color verde claro) y mediante una barra de colores se comprueba la existencia de material sobrante (color azul), en este caso se muestra el mecanizado de la pieza sin material sobrante (figura 4-50).

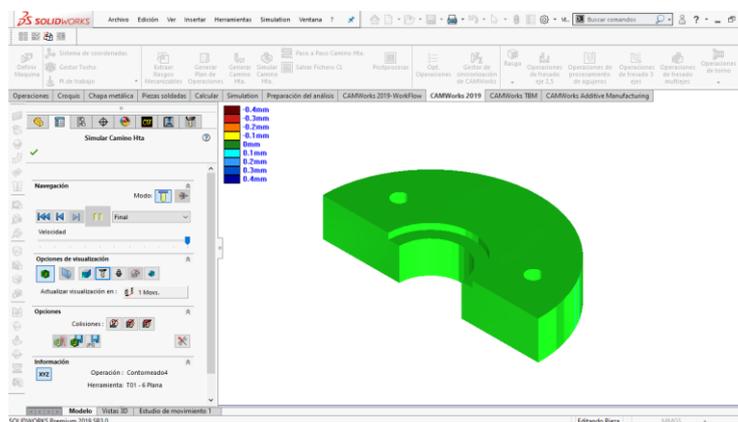


Figura 4-50 Verificación del mecanizado final.

En el caso de haber material sobrante se procede a crear un nuevo rasgo de mecanizado hasta obtener el mecanizado final requerido. Para la transferencia del código de mecanizado a una máquina real compatible con el controlador utilizado generamos los códigos G a través del postprocesador (figura 4-51) y lo guardamos en un editor normalizado los más utilizados son bloc de notas y editor CNC (figura 4-52).

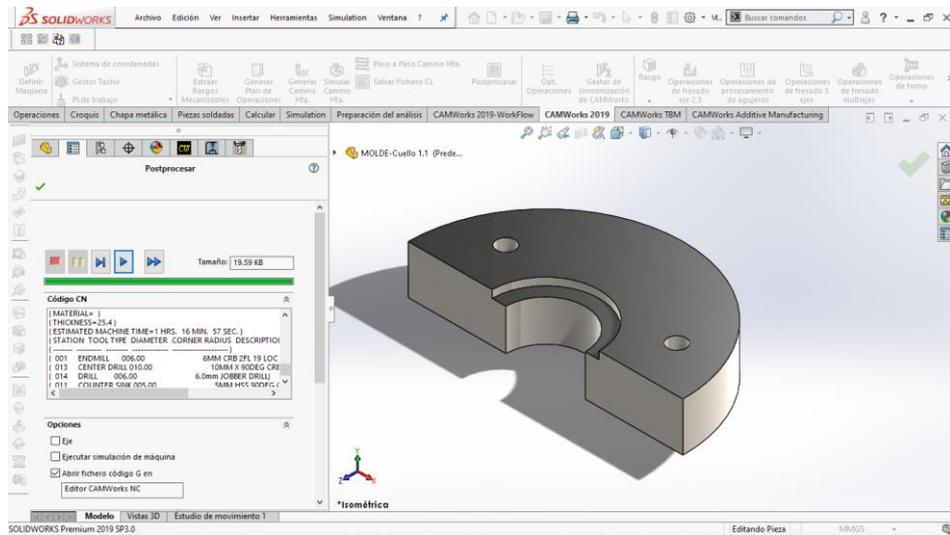


Figura 4-51 Postprocesado de códigos G.

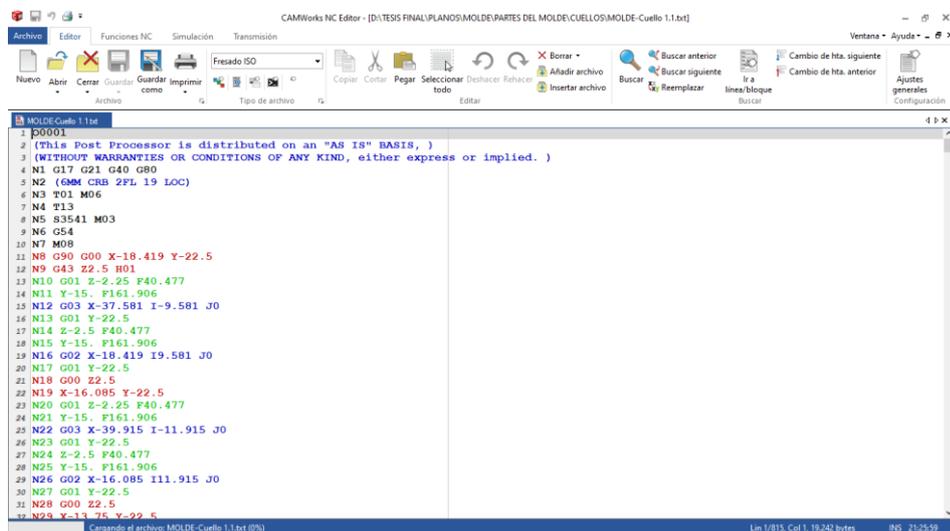


Figura 4-52 Editor de códigos G.

Para la simulación en la máquina virtual se requiere establecer el origen (figura 4-53) y desplazamiento del husillo principal (figura 4-54) a través de los ejes X, Y, Z.

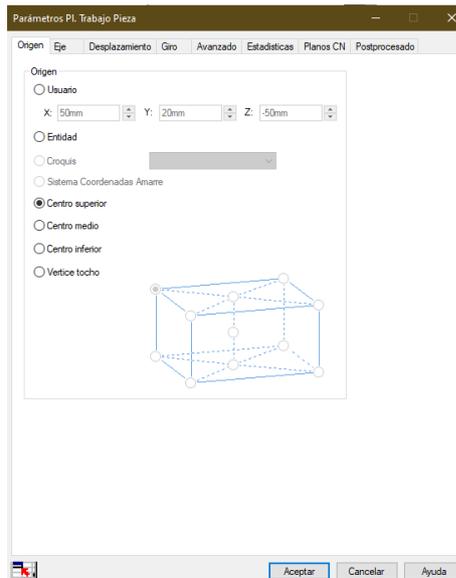


Figura 4-53 Origen del plan de trabajo.

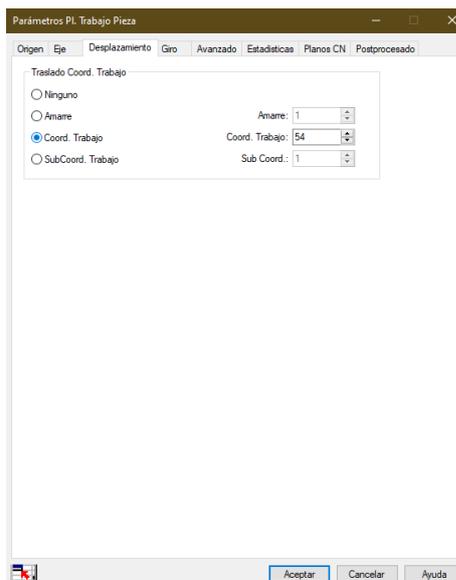


Figura 4-54 Desplazamiento de las herramientas.

CAMWORKS nos ofrece un complemento de simulación a través de la máquina virtual (figura 4-55) en la cual se puede verificar la trayectoria y cambio de la herramienta (figuras 4-56 y 4-57), esta opción nos posibilita la simulación en un ambiente real.

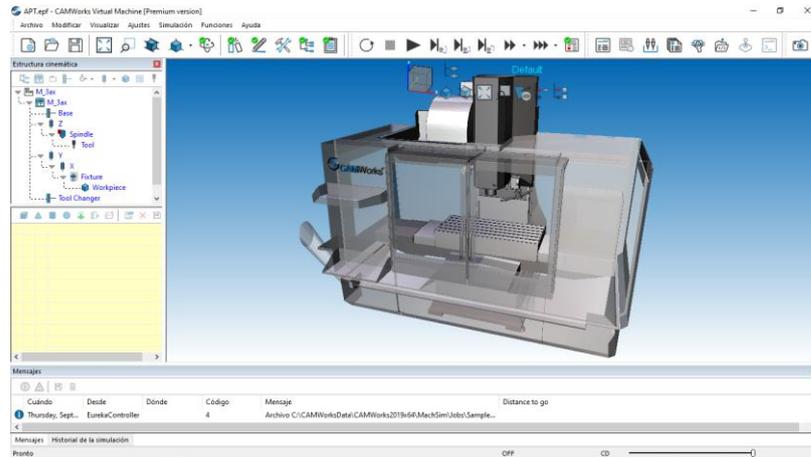


Figura 4-55 Máquina virtual - fresadora.

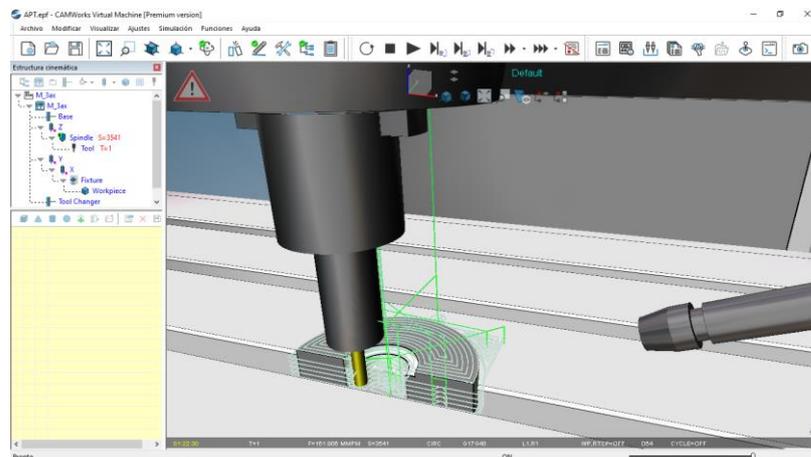


Figura 4-56 Simulación en máquina virtual.

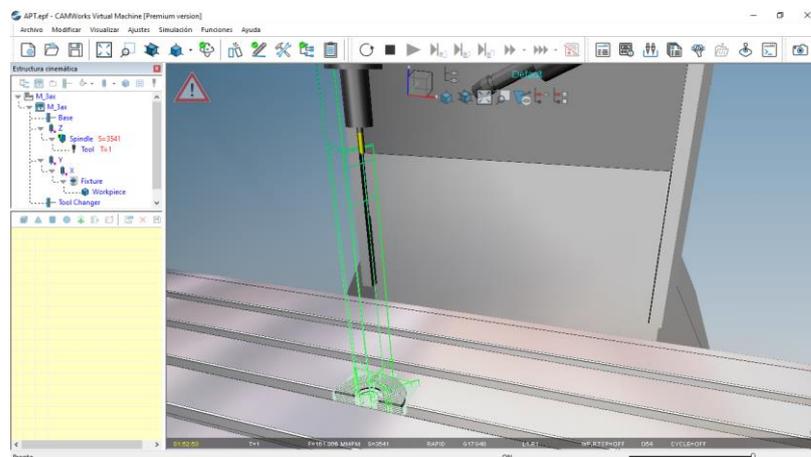


Figura 4-57 Recorrido de la herramienta.

Para el diseño de la tecnología se utilizó el software de mecanizado CAMWORKS, complemento auxiliar de Solidworks y a través de una máquina virtual CNC (figura 4-58) se simuló la fabricación de todos los elementos que constituyen los moldes de soplado configurando en primera instancia el controlador del centro de mecanizado en este caso se trata de un controlador FANUC O-M.

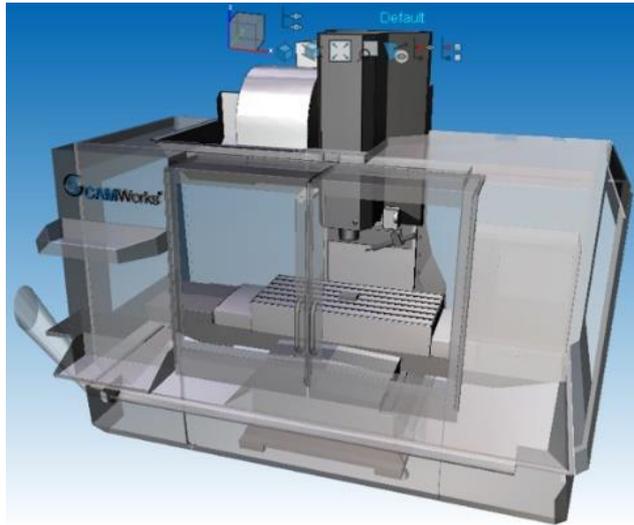
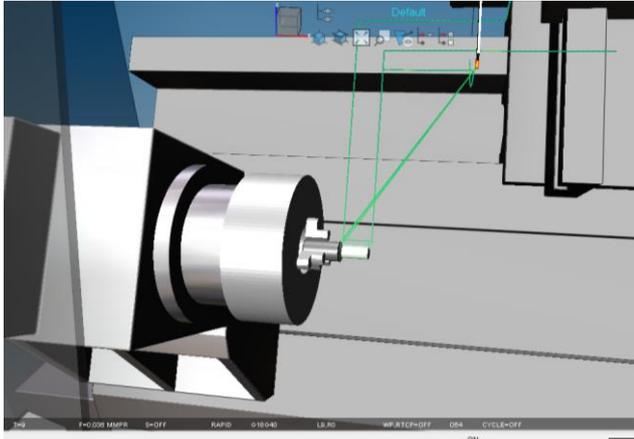
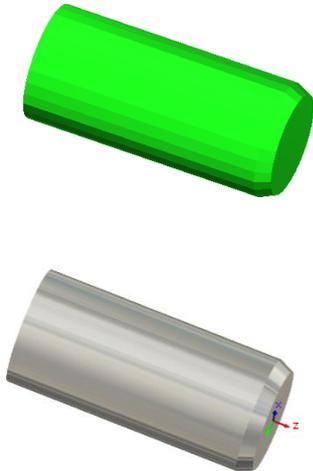
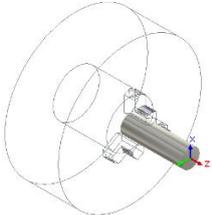
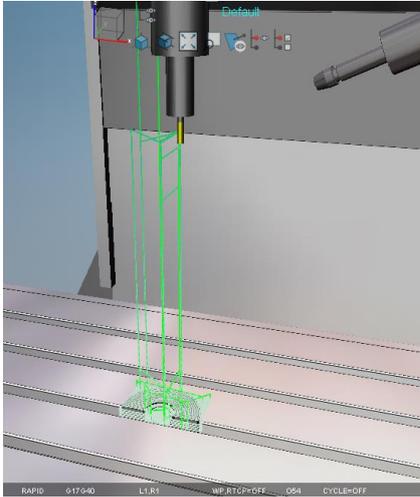
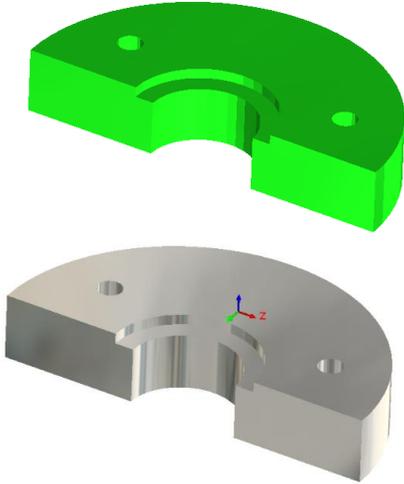
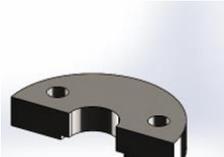
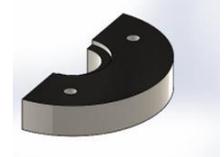


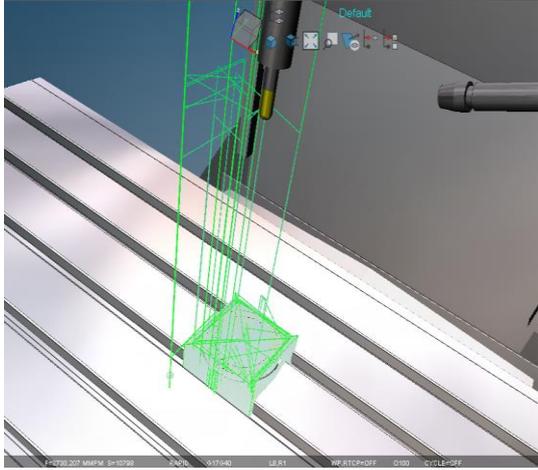
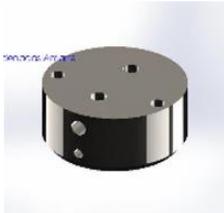
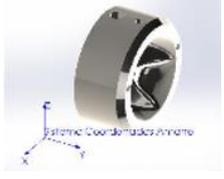
Figura 4-58 Máquina virtual CNC

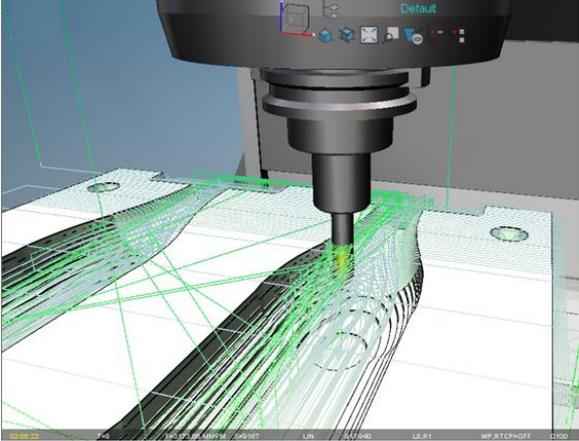
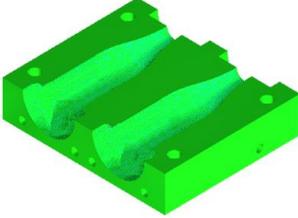
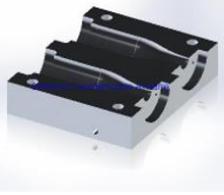
4.3.1.6 Hojas de proceso

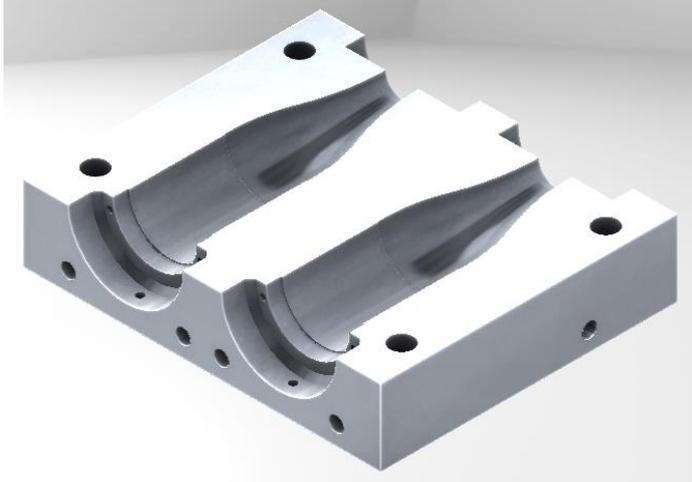
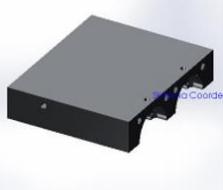
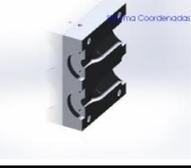
Para realizar el análisis e interpretación de los resultados se utilizó hojas de proceso en las que se describen las especificaciones técnicas de mecanizado, operaciones, materiales y herramientas que se utilizaron para fabricar cada uno de los elementos que conforman los moldes de soplado; la información es clara y legible para cualquier persona que conozca o no del tema, de esta manera se logra optimizar tiempos y materia prima en las posteriores fabricaciones.

HOJA DE PROCESO				NOMBRE DE LA PIEZA: BUJE				
ESCALA:	MATERIAL:	DIMENSIONES EN BRUTO:	CANTIDAD:	N° DE PLANO:				
1:2	ACERO AISI 4340 BHOLER V155	(Φ30 X 200) mm	4 UNIDADES	UTA.FICM.01				
								
FASE	SUBFA.	OPER.	DESIGNACIÓN	CROQUIS	N R.P.M	ÚTILES		TIEMPO
						TRAB.	CONTR.	MINUTOS
TORNEADO CNC	10	11	Sujetar y centrar pieza		0		RP	5
		12	Desbaste		1850	T01	CD	0,44
		13	Acabado		2500	T03	CD	0,15
		14	Tronzado		850	T09	CD	1
								6,59
OBSERVACIONES: T01= 0.4x80° Plaquita Rómbica T03= 0.4x55° Plaquita Rómbica T09= 3 Ranurado RP= Reloj palpador CD= Calibrador digital					TIEMPO TOTAL		26,36	
					MOLDE DE SOPLADO			
					MAESTRÍA EN MECANICA MENCIÓN MANUFACTURA			
					UTA			
TRATAMIENTO TÉRMICO:			Templado - Revenido					

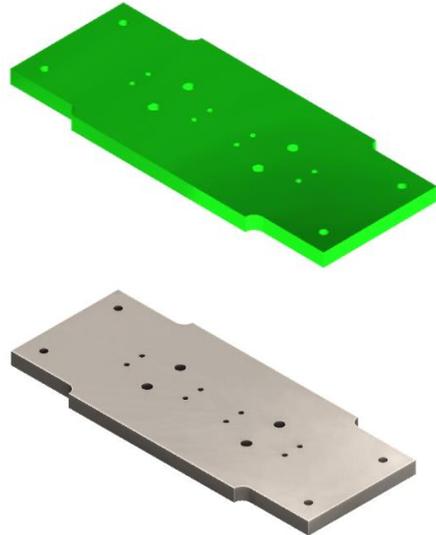
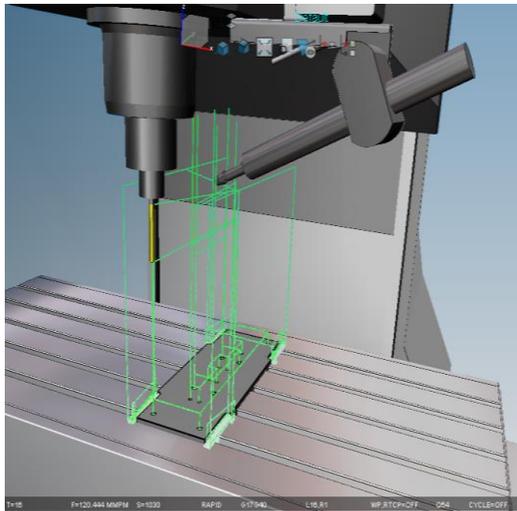
HOJA DE PROCESO					NOMBRE DE LA PIEZA: CUELLO				
ESCALA:	MATERIAL:	DIMENSIONES EN BRUTO:	CANTIDAD:	N° DE PLANO:					
1:2	ACERO AISI 304 BHOLER A 604	(Φ90 X 100) mm	4 UNIDADES	UTA.FICM.03					
 									
FASE	SUBFA.	OPER.	DESIGNACIÓN	CROQUIS	N R.P.M	ÚTILES		TIEMPO	
						TRAB.	CONTR.	MINUTOS	
FRESADO CNC	10	11	Sujetar y centrar pieza		0		PE	5	
		12	Desbaste		7162	T01	CD	37,07	
		13	Contorneado		7162	T01	CD	0,48	
									42,55
	20	21	Sujetar y centrar pieza		0		PE	5	
		22	Centrador		1834	T13	CD	0,15	
		23	Broca		2021	T14	CD	5,21	
		24	Contorneado		7162	T01	CD	1,54	
		25	Contorneado		1397	T11	CD	1,22	
		26	Avellanador		2292	T15	CD	3,15	
									16,27
	30	31	Sujetar y centrar pieza		0		PE	5	
		32	Desbaste		7162	T01	CD	10,01	
		33	Contorneado		7162	T01	CD	5,22	
		34	Desbaste		7162	T01	CD	5,01	
35		Contorneado	7162		T01	CD	3,22		
								28,46	
OBSERVACIONES:					TIEMPO TOTAL		349,12		
T01= 10 Plana					MOLDE DE SOPLADO				
T11= 5x90 Avellanador					MAESTRÍA EN MECANICA				
T13= 10x90° Centrador					MENCION MANUFACTURA				
T14= 6x118° Broca					UTA				
T15= 8x90 Avellanador									
PE= Palpador Electrónico									
CD= Calibrador digital									
TRATAMIENTO TÉRMICO:			Ninguno						

HOJA DE PROCESO						NOMBRE DE LA PIEZA: ASIENTO		
ESCALA:	MATERIAL:	DIMENSIONES EN BRUTO:	CANTIDAD:	N° DE PLANO:				
1:2	ACERO AISI 304 BHOLER A 604	(Φ90 X 100) mm	2 UNIDADES	UTA.FICM.04				
								
FASE	SUBFA.	OPER.	DESIGNACIÓN	CROQUIS	N R.P.M	ÚTILES		TIEMPO MINUTOS
						TRAB.	CONTR.	
FRESADO CNC	10	11	Sujetar y centrar pieza		0		PE	5
		12	Centrador		1834	T13	CD	0,15
		13	Broca		2021	T14	CD	6,5
		14	Broca		2021	T15	CD	6,5
		15	Contorneado		7162	T01	CD	5,32
		16	Contorneado		1397	T11	CD	3,12
		17	Avellanador		1828	T16	CD	3,45
	30,04							
	20	21	Sujetar y centrar pieza		0		PE	5
		22	Desbaste		7162	T01	CD	4,5
		23	Contorneado		7162	T01	CD	2
		24	Centrador		1834	T13	CD	0,15
		25	Broca		2021	T14	CD	6,5
	18,15							
	30	31	Sujetar y centrar pieza		0		PE	5
		32	Desbaste		3770	T04	CD	41,61
		33	Desbaste		7937	T08	CD	30,39
34		Desbaste	7937		T08	CD	20,52	
97,52								
OBSERVACIONES:					TIEMPO TOTAL		291,42	
T01= 10 Plana					UTA			
T04= 19 Plana								
T08= 6 Esférica								
T11= 5x90 Avellanador								
T13= 10x90° Centrador								
T14= 10x118° Broca								
T15= 5x118° Broca								
T16= 8x90 Avellanador								
PE= Palpador Electrónico								
CD= Calibrador digital								
TRATAMIENTO TÉRMICO:					Ninguno			
						MOLDE DE SOPLADO		
						MAESTRÍA EN MECANICA		
						MENCIÓN MANUFACTURA		

HOJA DE PROCESO					NOMBRE DE LA PIEZA: CAVIDAD				
ESCALA:	MATERIAL:	DIMENSIONES EN BRUTO:	CANTIDAD:	N° DE PLANO:					
1:2	DURALUMINIO 7075 ALUMOLD T651	(280 X 233 X 60) mm	2 UNIDADES	UTA.FICM.05					
  									
FASE	SUBFA.	OPER.	DESIGNACIÓN	CROQUIS	N R.P.M	ÚTILES		TIEMPO	
						TRAB.	CONTR.	MINUTOS	
FRESADO CNC	10	11	Sujetar y centrar pieza		0		PE	10	
		12	Planeado		895	T12	CD	2,02	
		13	Contorneado		3770	T03	CD	16,95	
		14	Desbaste		5968	T05	CD	103,21	
		15	Proyección		7937	T08	CD	11,1	
		16	Centrador		3250	T06	CD	0,3	
		17	Broca		5000	T14	CD	1,6	
									145,18
	20	21	Sujetar y centrar pieza		0		PE	5	
		22	Centrador		3250	T06	CD	0,3	
		23	Broca		5000	T16	CD	1,6	
		24	Centrador		3250	T06	CD	0,3	
		25	Broca		5000	T17	CD	1,6	
									8,8
	30	31	Sujetar y centrar pieza		0		PE	5	
32		Desbaste	7162		T01	CD	1,5		
33		Contorneado	7162		T01	CD	11,22		
34		Centrador	3250		T06	CD	0,3		
35		Broca	5000		T16	CD	1,6		
								19,62	
OBSERVACIONES:					TIEMPO		173,6		
T01= 10 Plana					MOLDE DE SOPLADO				
T03= 19 Plana					MAESTRÍA EN MECANICA				
T05= 12 Esférica					MENCION MANUFACTURA				
T06= 6x60° Centrador					UTA				
T08= 6 Esférica									
T11= 5x90 Avellanador									
PE= Palpador Electrónico									
CD= Calibrador digital									
TRATAMIENTO TÉRMICO:			Anodizado						

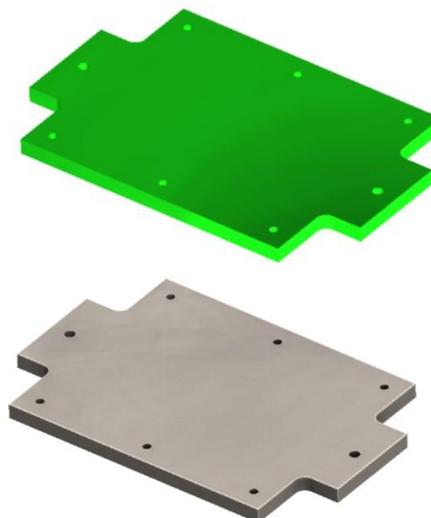
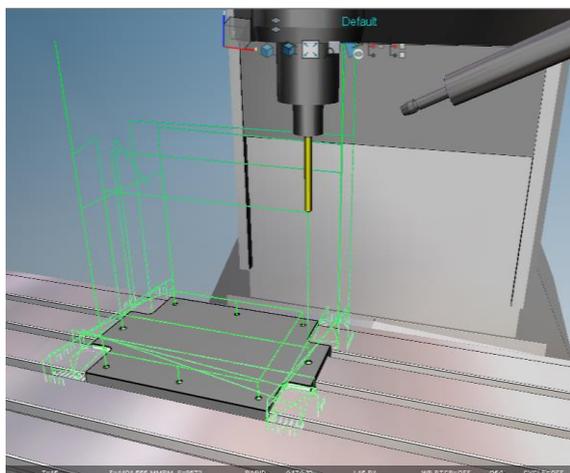
HOJA DE PROCESO					NOMBRE DE LA PIEZA: CAVIDAD			
ESCALA:	MATERIAL:	DIMENSIONES EN BRUTO:	CANTIDAD:	N° DE PLANO:				
1:2	DURALUMINIO 7075 ALUMOLD T651	(280 X 233 X 60) mm	2 UNIDADES	UTA.FICM.05				
								
FASE	SUBFA.	OPER.	DESIGNACIÓN	CROQUIS	N R.P.M	ÚTILES		TIEMPO
						TRAB.	CONTR	MINUTOS
FRESADO CNC	40	41	Sujetar y centrar pieza		0		PE	5
		42	Centrador		3250	T06	CD	0,3
		43	Broca		5000	T19	CD	1,6
		44	Contorneado		7162	T01	CD	11,22
		45	Planeado		895	T12	CD	3
		46	Avellanador		5000	T20	CD	2,5
	23,62							
	50	51	Sujetar y centrar pieza		0		PE	5
		52	Desbaste		5000	T13	CD	15,2
		53	Contorneado		6557	T14	CD	3,5
		54	Centrador		3250	T06	CD	0,3
		55	Broca		5000	T11	CD	1,6
	25,6							
	60	61	Sujetar y centrar pieza		0		PE	5
		62	Desbaste		7162	T01	CD	3,4
		63	Contorneado		7162	T01	CD	2,5
		64	Centrador		3250	T06	CD	0,3
		65	Broca		5000	T16	CD	3,2
14,4								
OBSERVACIONES:					TIEMPO TOTAL		474,44	
T12= 80 Frontal Planeado					MOLDE DE SOPLADO			
T14= 18x118° Broca					MAESTRÍA EN MECANICA			
T16= 12x118° Broca					MENCION MANUFACTURA			
T17= 5x118° Broca					UTA			
T19= 6x118° Broca								
T20= 8x90 Avellanador								
PE= Palpador Electrónico								
CD= Calibrador digital								
TRATAMIENTO TÉRMICO:			Anodizado					

HOJA DE PROCESO				NOMBRE DE LA PIEZA: PLACA ASIENTO	
ESCALA: 1:2	MATERIAL: ACERO AISI P20 BOHLER M238	DIMENSIONES EN BRUTO: (360 X 130 X 25) mm	CANTIDAD: 1 UNIDAD	N° DE PLANO: UTA.FICM.06	



FASE	SUBFA.	OPER.	DESIGNACIÓN	CROQUIS	N R.P.M	ÚTILES		TIEMPO	
						TRAB.	CONTR.	MINUTOS	
FRESADO CNC	10	11	Sujetar y centrar pieza		0		PE	10	
		12	Desbaste		3770	T02	CD	90,2	
		13	Contorneado		895	T04	CD	20,3	
		14	Centrador		2134	T13	CD	4,4	
		15	Broca		1572	T14	CD	8,5	
		16	Broca		1572	T15	CD	6,1	
		17	Broca		1572	T16	CD	12,2	
								151,7	
								0	
								0	
	OBSERVACIONES:						TIEMPO TOTAL		151,7
	T02= 19 Plana						MOLDE DE SOPLADO		
	T04= 80 Frontal Planeado						MAESTRÍA EN MECANICA		
	T13= 10x90° Centrador						MENCION MANUFACTURA		
	T14= 5x118° Broca						UTA		
	T15= 10x118° Broca								
	T16= 8x118° Broca								
PE= Palpador Electrónico									
CD= Calibrador digital									
TRATAMIENTO TÉRMICO:				Templado - Revenido					

HOJA DE PROCESO				NOMBRE DE LA PIEZA: PLACA CAVIDAD
ESCALA: 1:2	MATERIAL: ACERO AISI P20 BOHLER M238	DIMENSIONES EN BRUTO: (360 X 240 X 25) mm	CANTIDAD: 2 UNIDADES	Nº DE PLANO: UTA.FICM.07



FASE	SUBFA.	OPER.	DESIGNACIÓN	CROQUIS	N R.P.M	ÚTILES		TIEMPO MINUTOS
						TRAB.	CONTR.	
FRESADO CNC	10	11	Sujetar y centrar pieza		0		PE	10
		12	Desbaste		3770	T02	CD	85,3
		13	Contorneado		895	T04	CD	0,48
		14	Centrador		2134	T13	CD	3,5
		15	Broca		1572	T14	CD	24,2
		16	Broca		1572	T15	CD	10,5
								0
								0
OBSERVACIONES:						TIEMPO TOTAL		267,96
T02= 19 Plana						MOLDE DE SOPLADO		
T04= 80 Frontal Planeado						MAESTRÍA EN MECANICA		
T13= 10x90° Centrador						MENCION MANUFACTURA		
T14= 8x118° Broca						UTA		
T15= 10x118° Broca								
PE= Palpador Electrónico								
CD= Calibrador digital								
TRATAMIENTO TÉRMICO:				Templado - Revenido				

La tecnología de fabricación de moldes de soplado establece el uso de materiales óptimos para el mecanizado como son el acero aleado 4340 en los bujes y guías, el acero inoxidable AISI 304 en los cuellos y asientos, el duraluminio 7075 en las cavidades y por último el acero AISI P20 en las placas base; debido a que las características de los materiales varían en su estructura, maquinabilidad y dureza, se utilizan diferentes velocidades de corte considerando algunos factores de gran importancia que son:

- La rigidez de la máquina y el montaje de la pieza.
- El diámetro y material de la fresa.
- El acabado superficial requerido.
- La profundidad de corte seleccionada.
- El tipo de material del trabajo.

El material óptimo para las cavidades se seleccionó el duraluminio por tratarse de un material ligero, buena soldabilidad y fácil mecanizado.

Del Anexo 10 se obtuvo las velocidades de corte de la máquina para una herramienta HSS y el tipo de material a mecanizar, por tal razón se determinó: para el acero aleado y acero inoxidable una velocidad de 16 m/min y para el duraluminio una velocidad de 225 m/min, datos importantes para configurar el controlador CNC y obtener resultados óptimos de mecanizado.

La simulación del mecanizado a través del software CAMWORKS nos permitió estimar el tiempo de fabricación de 27 horas en un taller de mecanizado trabajando dentro del rango de velocidades nominales y utilizando las herramientas adecuadas. Los elementos que más tiempo conlleva su fabricación son cuellos, cavidades y asientos, por tratarse de elementos críticos en el conformado de los envases.

Los bujes, guías y placas base requieren un tratamiento térmico de templado y revenido a una temperatura de 850 °C para beneficiar el alivio de tensiones durante el cierre y apertura de la prensa de soplado, mientras que las cavidades requieren un tratamiento termoquímico de anodizado el cual otorga características de protección contra el desgaste por abrasión y resistencia mecánica al impacto.

Tomando en cuenta los tiempos de mecanizado, rectificado, pulido y tratamiento térmico del material se determinó un tiempo total de 50 horas.

4.3.2 Simulación del proceso de moldeo por soplado

Se utiliza los softwares Solidworks Flow Simulation y ANSYS Polyflow para ejecutar la simulación del proceso de moldeo por soplado, estos softwares permiten ingresar datos de fluidos con sus parámetros técnicos en función a un proceso real, estos parámetros fueron tomados del registro de control de proceso de una planta embotelladora (Anexo 17); se toman como referencia los parámetros normalizados para elaboración de envases PET de 500ml según especificaciones por considerarse los más óptimos y recomendados por los fabricantes de las máquinas sopladoras rotativas SIAPI EA 20.

4.3.2.1 Condiciones de borde

De lo anterior expuesto, es necesario establecer las condiciones de borde a la cual se realizará la simulación, tales como: características del material, fluidos a emplearse, temperatura, flujo volumétrico y presión de entrada y de salida. El modelo a emplearse se observa en la figura 4-59.

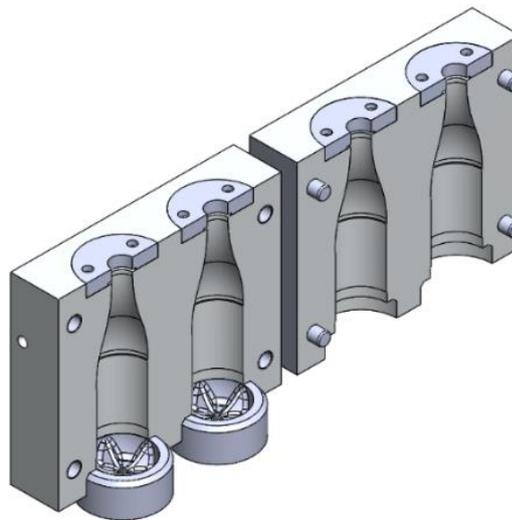


Figura 4-59 Vista isométrica del molde.

La figura 4-60, detalla los materiales empleados en el molde, y que deben considerarse en la simulación. Estos se encuentran numerados del 1 al 3, y corresponden a duraluminio, acero inoxidable y acero templado respectivamente.

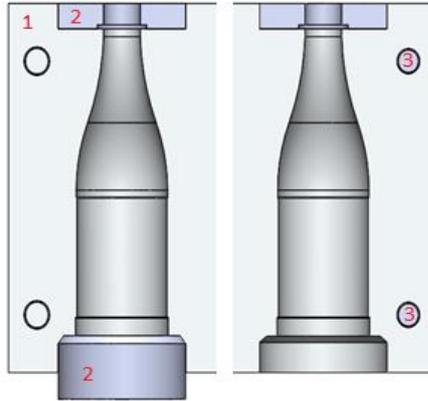


Figura 4-60 Listado de materiales.

Como se observó en las figuras 4-59 y 4-60 respectivamente, el molde se encuentra separado, por lo que se procede a unirlo, de manera que represente el proceso en su totalidad, esto se observa en la figura 4-61.

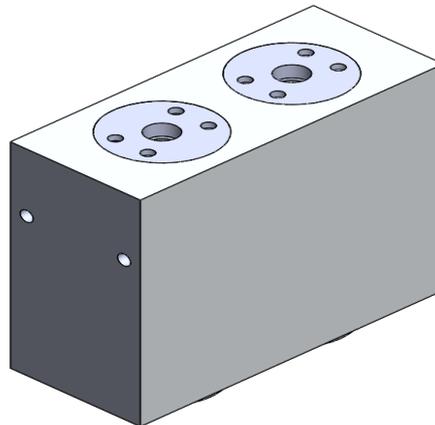


Figura 4-61 Molde unido.

4.3.2.2 Velocidades de flujo, presiones y temperatura

Los fluidos que entran en el molde son: aire, para el proceso de soplado, y agua, para el enfriamiento del molde; los mismos presentan las características mostradas en la tabla 4-1.

Tabla 4-2 Descripción de los fluidos.

Fluido	Aire	Agua
Presión	12 Bar (Presoplado) 32 Bar (Soplado)	4,6 Bar
Temperatura	3 °C	11 °C
Caudal	60 m ³ /h	4,8 m ³ /h

Fuente: El autor

4.3.2.3 Preparación del modelo

Para la simulación, es necesario la creación de tapas en extremos huecos por donde pasen los fluidos, esto debido a que debe ser un recipiente cerrado, esto resulta en el siguiente modelo que se observa en la figura 4-62.

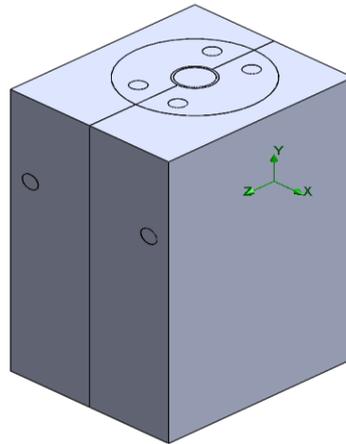


Figura 4-62 Molde modificado para simulación.

Como se observa en la figura 4-62, se decide trabajar con la mitad del molde, esto debido a que es simétrico, reduciendo en gran medida el gasto computacional que la simulación genera. Hecho esto, se procede a los parámetros de simulación, como se observa en la figura 4-63.

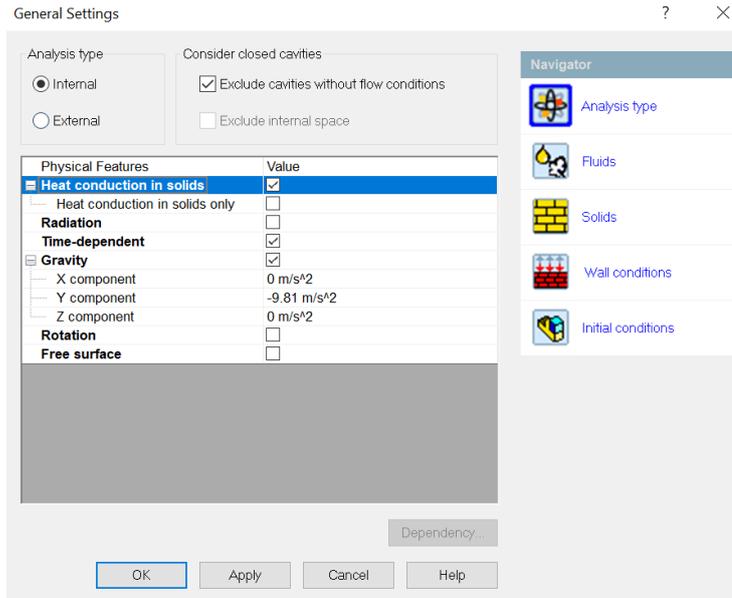


Figura 4-63 Parámetros de configuración.

Asimismo, seleccionamos los fluidos que vamos a emplear (agua y aire) como se muestra en la figura 4-64.

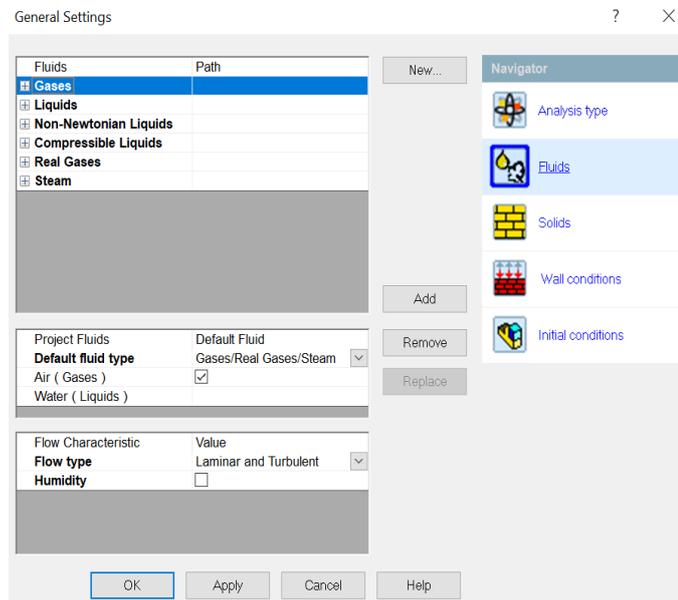


Figura 4-64 Selección de fluidos.

De igual manera, seleccionamos los materiales a emplear (Figura 4-65), en este caso, se debe aplicar todos y configurarlos de manera manual en el modelo. Los materiales

establecidos son los proporcionados en la tecnología de fabricación de moldes, el acero aleado, el aluminio y el acero inoxidable.

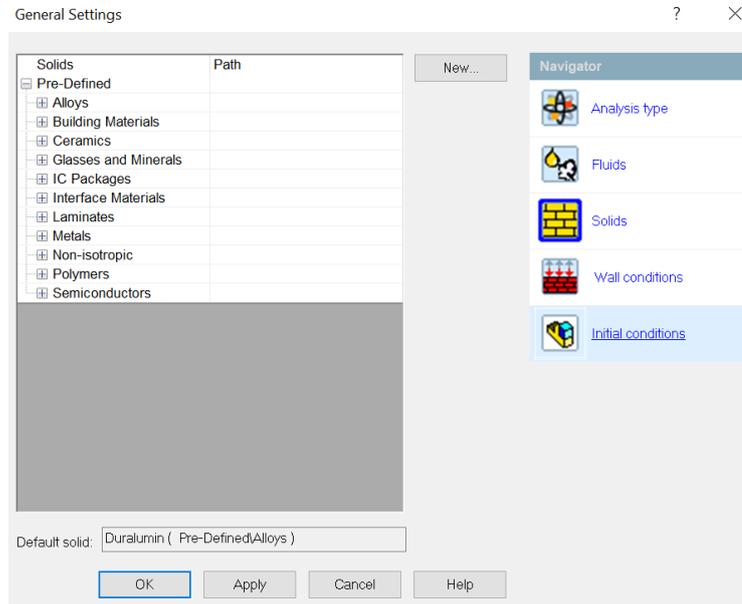


Figura 4-65 Selección de materiales.

Asimismo, en las condiciones de pared, seleccionamos “adiabático”, procedemos con las condiciones iniciales, como se observa en la figura 4-66.

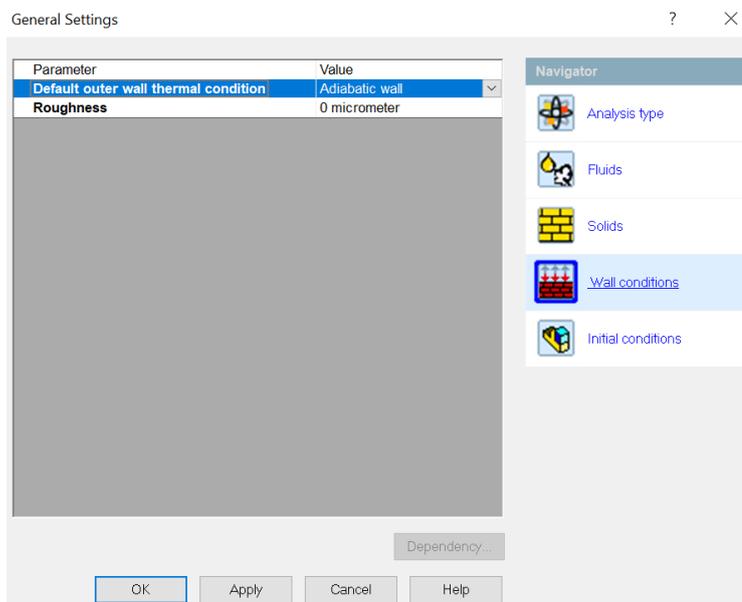


Figura 4-66 Condiciones de pared.

Como observamos en la figura 4-67, colocamos las características del fluido, en este caso del aire, dejando pendiente el fluido del agua, para su modificación pertinente. Asimismo, colocamos la temperatura a la cual se encuentra el material del molde, la cual es de 11°C.

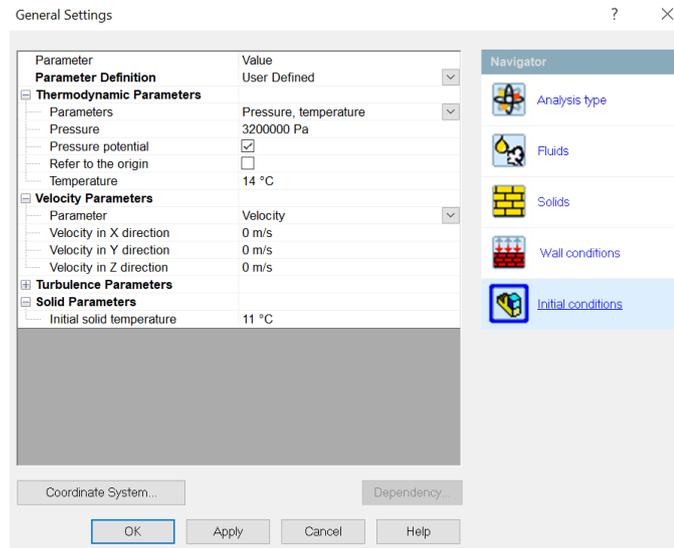


Figura 4-67 Condiciones iniciales.

Establecidos los parámetros del modelo, seleccionamos “Fluid Subdomains”, y ubicamos las entradas de los fluidos a emplearse (aire y agua), verificando sus respectivas características de temperatura y presión. Esto se observa en las figuras 4-68 y 4-69.

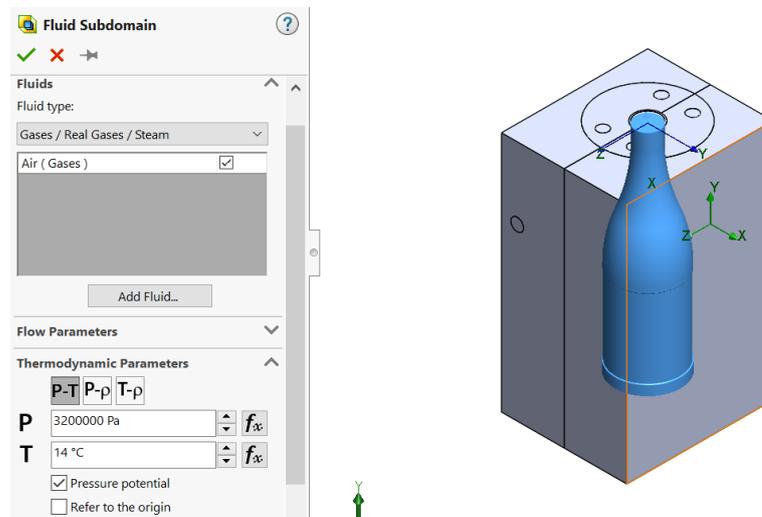


Figura 4-68 Configuración de entrada de aire.

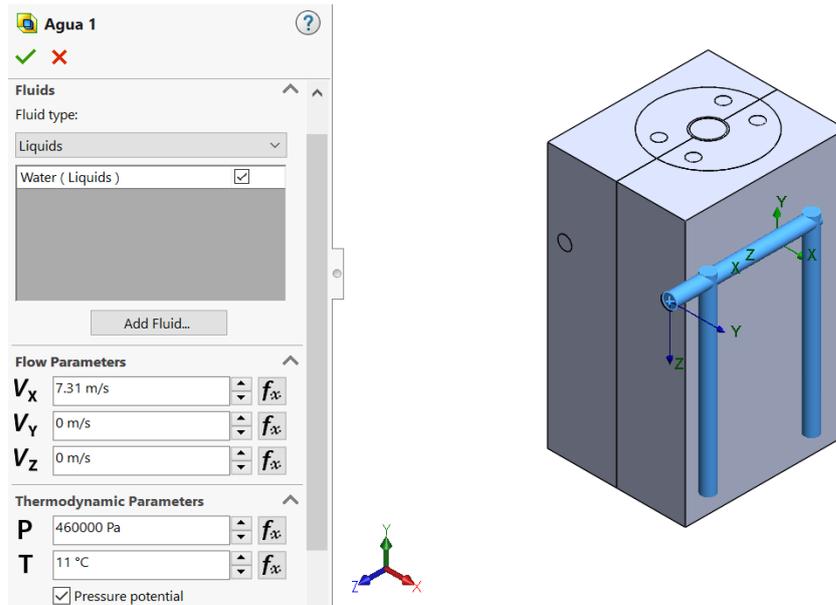


Figura 4-69 Configuración de entrada de agua.

Seleccionada las entradas de los fluidos, procedemos a la configuración de los materiales, como son el duraluminio, acero inoxidable y acero templado, ubicando cada uno en su posición respectiva. Esto se observa en las figuras 4-70, 4-71, 4-72 y 4-73.

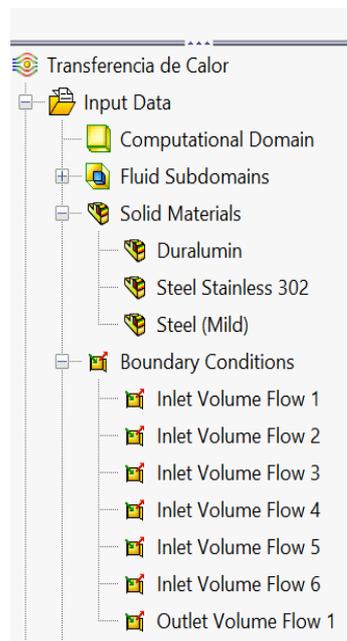


Figura 4-70 Configuración de los materiales.

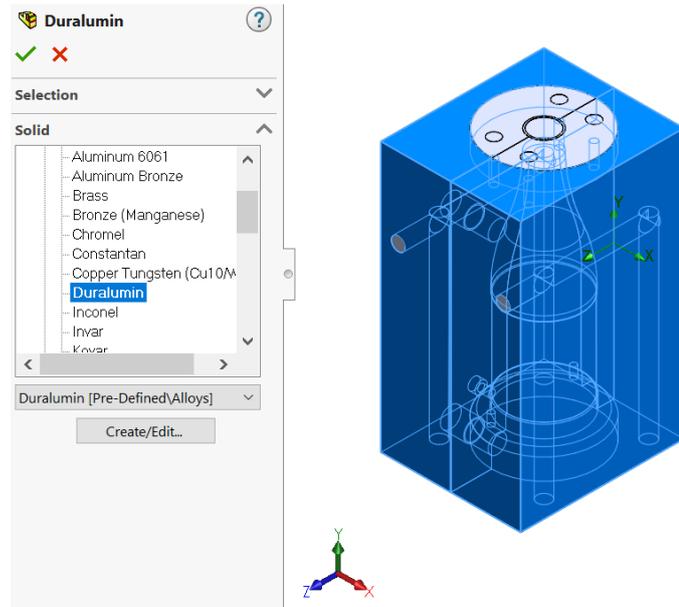


Figura 4-71 Posición de material duraluminio.

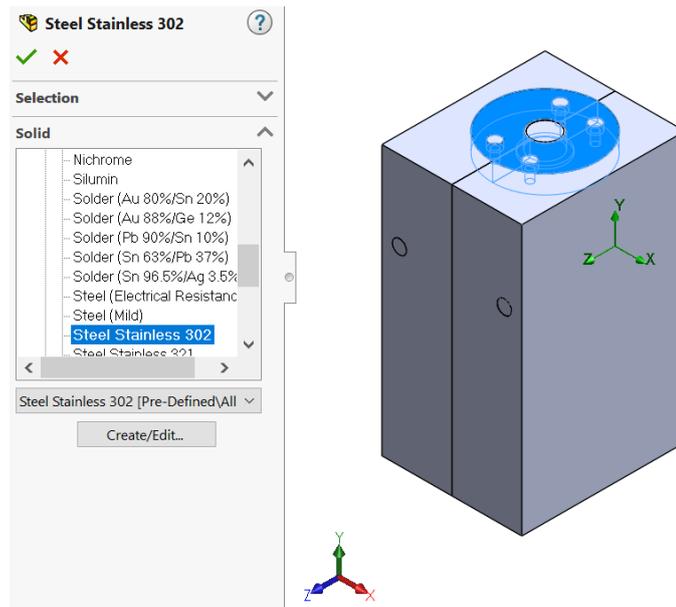


Figura 4-72 Posición de material acero inoxidable.

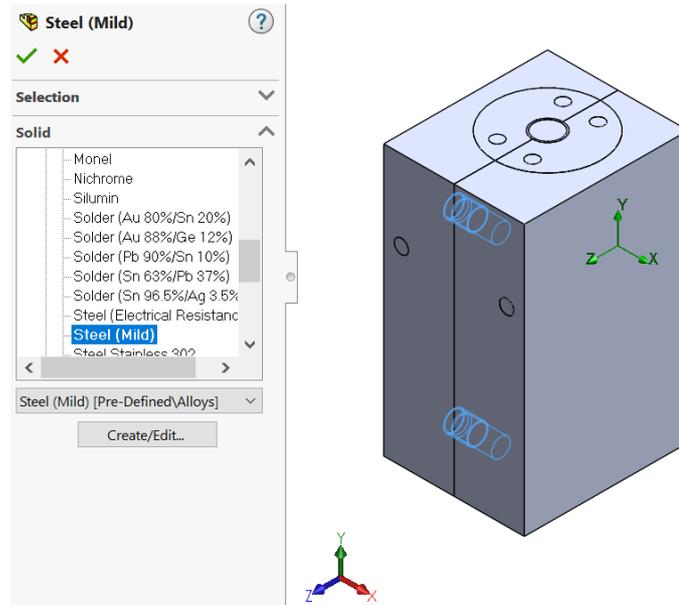


Figura 4-73 Posición de material acero templado.

Terminadas las ubicaciones de los materiales, procedemos a colocar las velocidades de entrada de los fluidos. Esto se conoce como “Condiciones de frontera” y se observa en la figura 4-74 y 4-75.

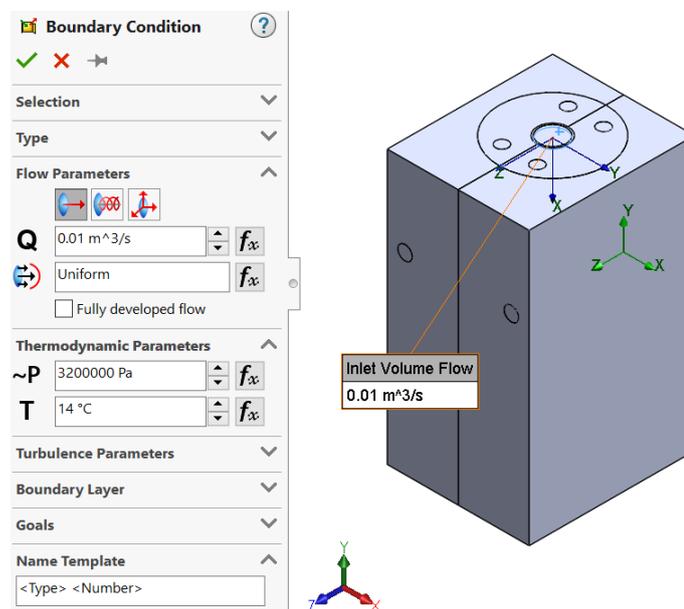


Figura 4-74 Velocidad de entrada del aire.

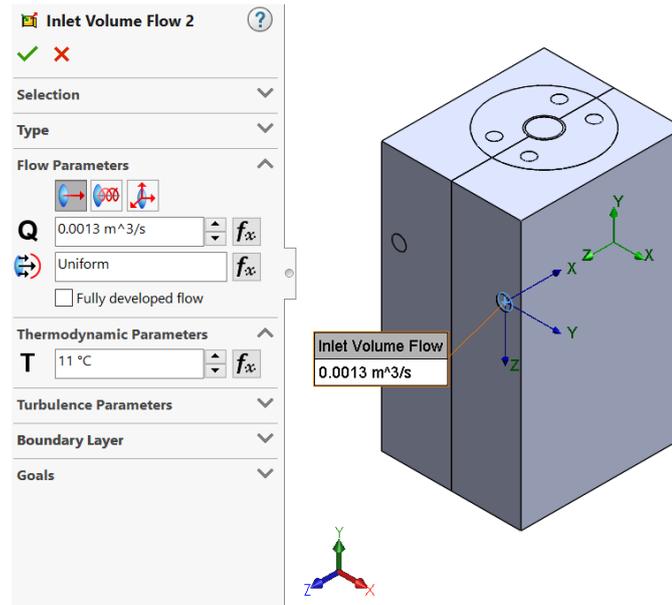


Figura 4-75 Velocidad de entrada del agua.

4.3.2.4 Criterio de mado

Los criterios para el mado en un modelo de refrigeración de un molde están en función de los valores máximos y mínimos correspondientes a la relación de aspecto los cuales debe encontrarse entre 30 y 50 caso contrario se presenta dificultados en la convergencia. En este caso se modifica los valores de longitud de los elementos del mado con un valor mínimo de 0.32 mm y un valor máximo de 12.06 mm con relación de aspecto de 37.68, cuyos valores se encuentran dentro del rango de relación de aspecto y configurados tal como se muestra en la figura 4-76. Con los valores de dimensionamiento del mado, se selecciona un refinamiento de la malla en la superficie correspondiente a la parte solida liquida parte en la cual se produce la transferencia de calor a partir del molde hacia el agua de refrigerada.

La malla empleada en el análisis de transferencia de calor fue mixta pues se emplearon elementos con un tamaño de 2 mm y 0.5 mm, los elementos más pequeños fueron utilizados principalmente en las zonas donde existe redondeos menores a 1 mm, esto con el fin de prevenir errores durante la simulación, disminuir la carga computacional y los resultados sean más próximos hacia la realidad.

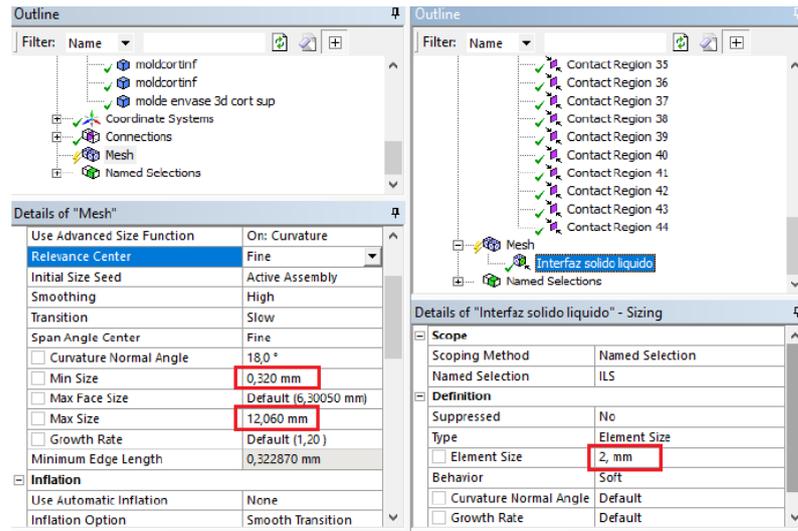


Figura 4-76 Cofiguración del mallado en el molde.

Otro criterio de mallado para convergencia es la calidad de los elementos de la malla, el cual establece que el valor mínimo debe ser mayor a 0.2 mm y el valor promedio mayor a 0.8 mm, en lo posible, son admisibles los elementos de mala calidad de áreas donde no se considere el análisis de resultados. La siguiente figura 4-77 muestra la calidad de los elementos.

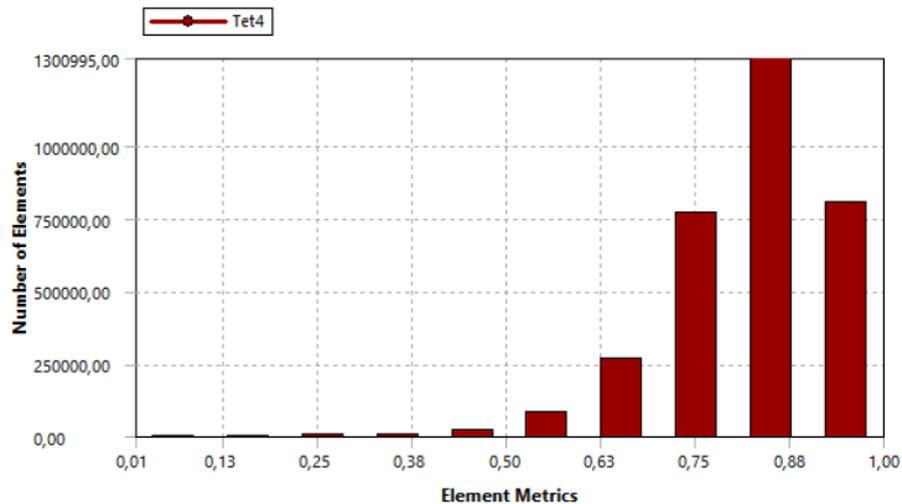


Figura 4-77 Calidad de los elementos de mallado.

El resultado de la aplicación de los métodos de mallado en el molde de soplado a analizar, se observa en la siguiente figura 4-78:

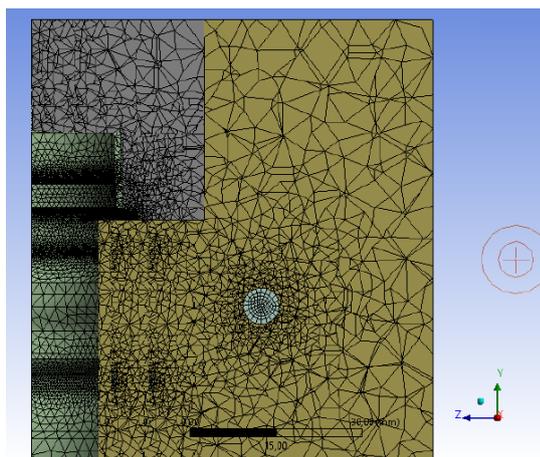


Figura 4-78 Mallado de elementos.

Finalizado los parámetros del proceso, se ejecuta la simulación y posterior evaluación de las propiedades mecánicas y térmicas del molde durante el proceso de moldeo por soplado.

4.3.2.5 Distribucion de espesores en el envase

A partir de una simulación de CFD se comprobó la expansión del envase PET 500 ml diseñado y se verificó el espesor final obtenido el cual debe estar dentro de las especificaciones del proceso, por lo tanto, con ayuda del complemento Fluid Flow – Blow Molding (Polyflow) del Software ANSYS se desarrolló la simulación siguiendo en forma ordenada el árbol de secuencia tal como se muestra en la figura 4-79.



Figura 4-79 Árbol de secuencia de simulación ANSYS.

Importamos la geometría de la preforma de 19 gramos y el envase de 500 ml diseñados con referencia al eje “Y” (figura 4-80).

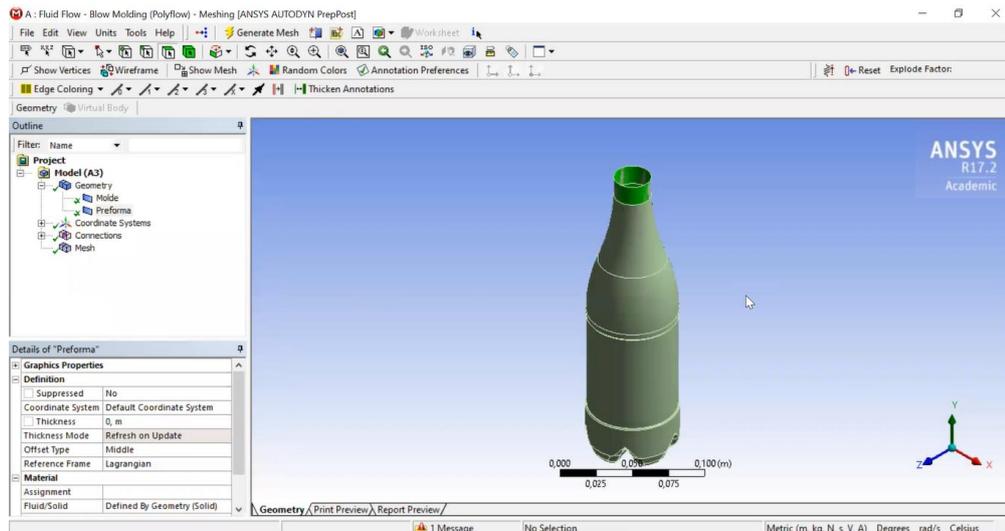


Figura 4-80 Importación de la preforma y envase.

Configuramos el perfil de mallado (MESH) para la preforma y el envase, seleccionamos un tamaño de malla medio esto ayudó a que la simulación se agilice y muestre los resultados deseados.

Al seleccionar el tamaño de los elementos de la malla y con la finalidad de disminuir el esfuerzo computacional se dimensionan los elementos con menor tamaño según la sección geométrica del molde. La malla empleada en el análisis fue mixta pues se emplearon elementos con un tamaño de 2 mm y 0.5 mm, los elementos más pequeños fueron empleados principalmente en las zonas donde existe redondeos menores a 1 mm, esto con el fin de prevenir errores durante la simulación y los resultados sean más próximos hacia la realidad.

Es importante que la preforma tenga una malla simétrica con elementos rectangulares esto se obtiene con las funciones sizing y mappig del módulo ANSYS meshing posterior a la etapa de creación de geometría en Workbench. En las figuras 4-81 y 4-82 se muestran los elementos del mallado generado en la preforma y el envase respectivamente.

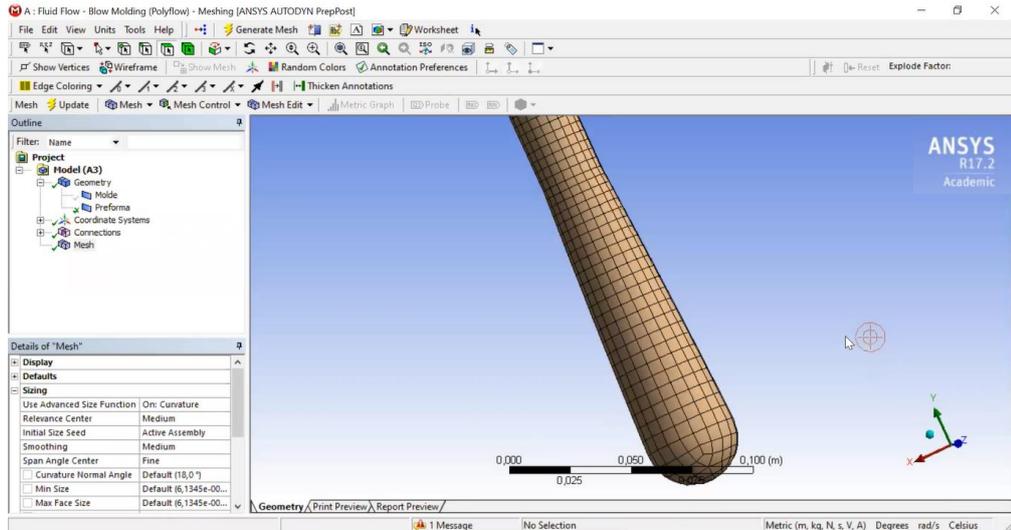


Figura 4-81 Mallado de la preforma.

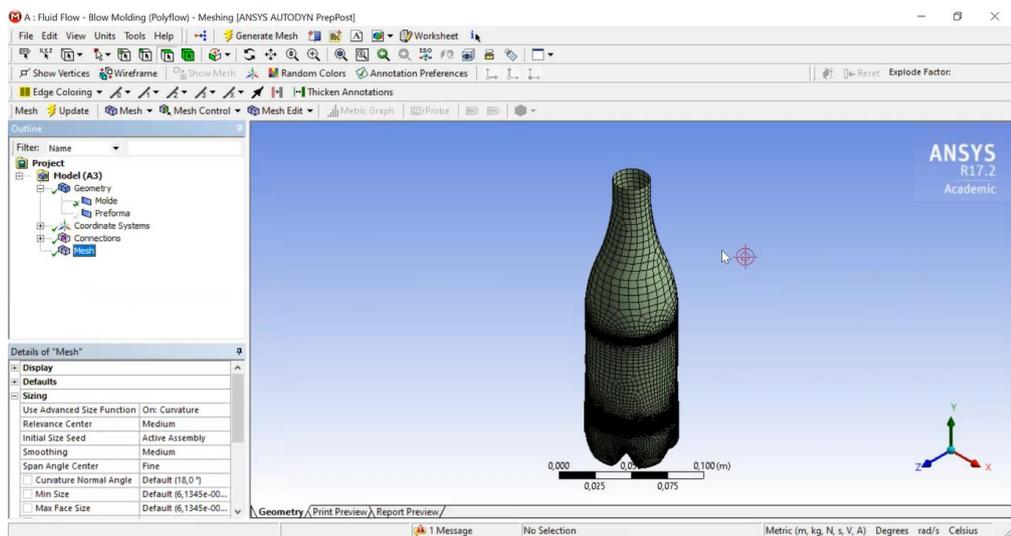


Figura 4-82 Mallado del envase.

Verificamos el tamaño del mallado en el hombro, cuerpo y asiento del envase tal como se muestra en las figuras 4-83 y 4-84 respectivamente.

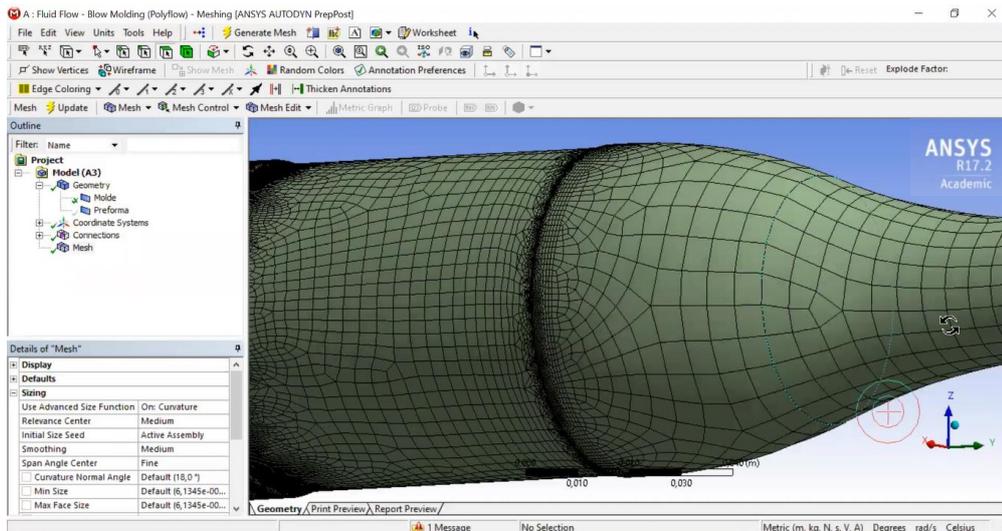


Figura 4-83 Mallado del hombro y cuerpo del envase.

El mallado en la base es fino, configurado con base a proximidad y curvatura, de forma que la malla se pegue a la curvatura del envase y los redondeos que la misma representa tal como se muestra en la figura 4-84.

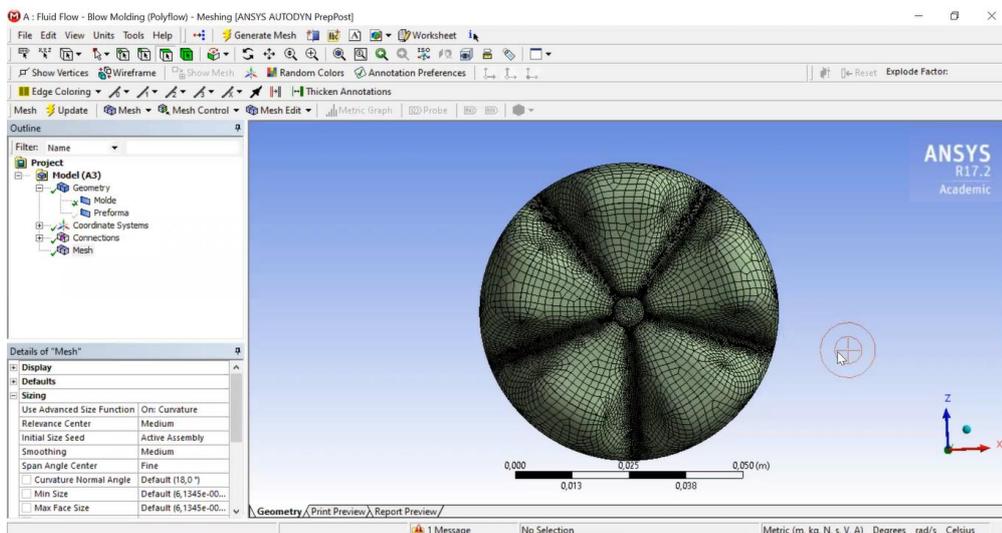


Figura 4-84 Mallado en el asiento del envase.

Cuando se obtenga una malla Shell molding determinamos las condiciones de procesamiento en el módulo de Polydata, para este caso en los problemas de moldeo por soplado se debe definir los dominios correspondientes al molde y la preforma.

Configuramos los parámetros de simulación (SETUP), dentro de esta opción se ejecuta la ventana principal del Polydata (figura 4-85) y luego seguimos la secuencia de pasos para la simulación.

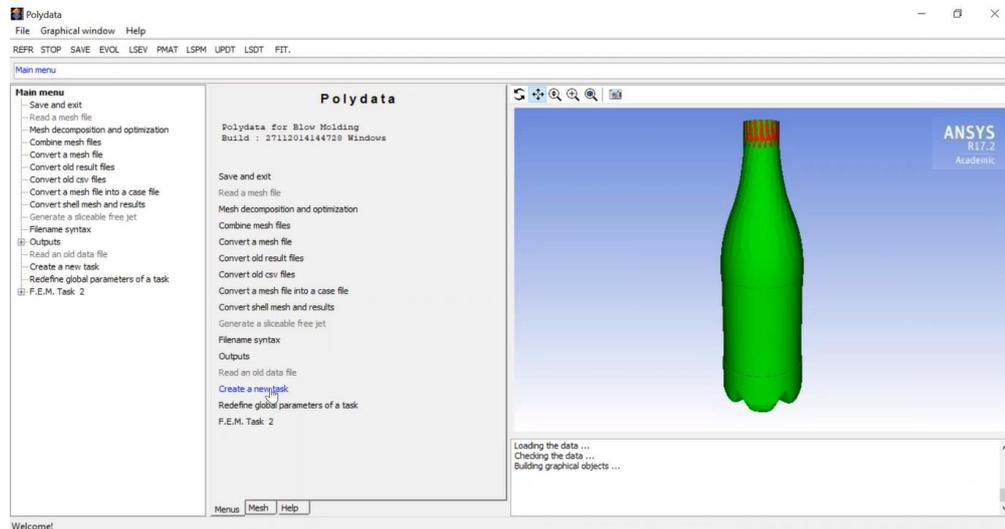


Figura 4-85 Ventana principal Polydata – ANSYS.

En la ventana principal del Polydata se configura los parámetros del envase, para esto se sigue los siguientes pasos:

- a) Crear una nueva tarea.
- b) Seleccionar la geometría de carcasa 2D.
- c) Aceptar la configuración actual.
- d) Definir el molde.
- e) Crear un nuevo molde.
 - Seleccionar un molde adiabático.
 - Añadir el dominio del molde: seleccionar el envase.
 - Modificar las condiciones de contactos (envase).
 - Seleccionar el contacto (envase).
- f) Configurar movimiento del molde.
 - Modificar el tipo de movimiento: molde fijo.
 - Seleccionar la opción 0: molde Fijo (sin velocidad, sin fuerza impuesta).

- g) Crear una Sub-tarea F.E.M (Método de Elementos Finitos). En este parámetro se relaciona el tiempo en función de la presión de aire.
- Seleccionar el tipo de carcasa: Newtoniano Isotérmico.
 - Establecer el dominio de la sub-tarea.
 - Añadir el dominio de la subtarea: seleccionar la preforma.
 - Establecer las condiciones de límite de flujo (preforma)
 - Seleccionar el plano de simetría ($f_s = 0$, $v_n = 0$): Dirección Normal a lo largo del eje Y.
 - Añadir la presión de soplado: -34 Bar (figura 4-86).
 - Verificar que las líneas de presión sigan una trayectoria hacia afuera, por lo tanto, se pone una presión negativa.
 - Establecer el tiempo de dependencia de presión de soplado: seleccionar la opción $f(x)$ = función rampa.
 - Modificar las variables de dependencia del tiempo para la presión de soplado: $a = 0.05$, $b = 0.5$, $c = 0.1$ y $d = 1$ (figura 4-87).
 - Definir los contactos.
 - Crear un nuevo problema de contactos: seleccionar el envase (figura 4-88).
 - Verificar la dirección de los contactos y activamos la opción EVOL (figura 4-89).
 - Verificar la dirección de los dardos hacia afuera para que la presión de aire se direcciona hacia el cuerpo del molde: Los dardos apuntan hacia la cavidad del molde (figura 4-90).
 - Definir las capas: crear una nueva capa para la preforma.
 - Definir los datos del material de la preforma: viscosidad intrínseca, densidad (figuras 4-91 y 4-92).
 - Activar la opción para tomar en cuenta la inercia de la preforma.
 - Establecer el espesor inicial para la simulación, tomar en cuenta que los datos deben estar en el sistema MKS (figura 4-93).
 - Establecer los parámetros numéricos: modificar el estudio transitorio para la simulación y añadir los parámetros de transiente iterativa de la simulación (figura 4-94).

- h) En el menú principal del Polydata se verifica las unidades de medida para los resultados (figura 4-95).
- i) En la ventana de gestión de campo: aceptar y continuar.
- j) Actualizar la opción de solución y esperar a que se genere la simulación con los resultados (figura 4-96).

A continuación, se muestran las imágenes correspondientes al procedimiento descrito anteriormente para comprender de mejor manera la aplicación de parámetros. Se declaran las funciones de evolución del problema que posibilita crear un ciclo de cerrado del molde y posterior soplado del envase, este procedimiento se observa desde la figura 4-86 hasta la 4-90.

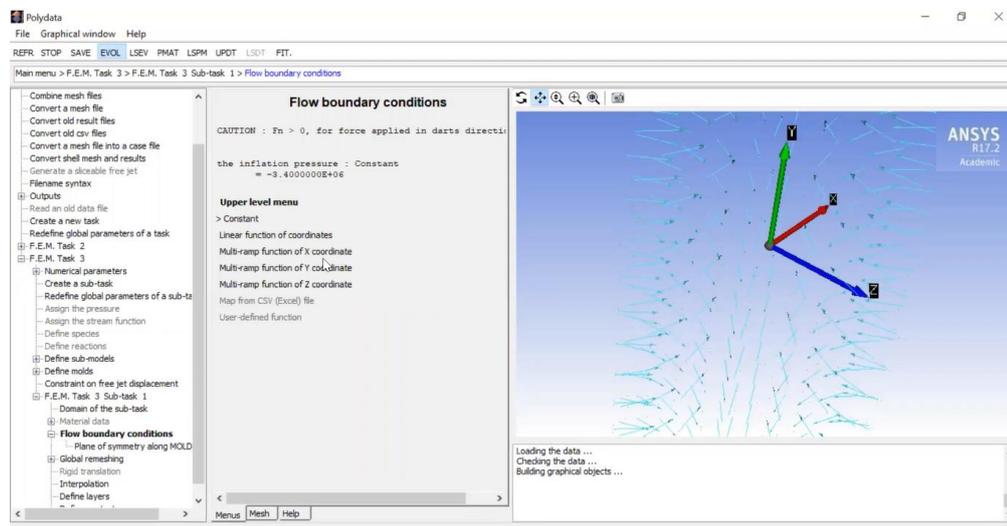


Figura 4-86 Presión de soplado.

Los procesos o características del problema pueden variar a lo largo del tiempo a través de la definición de funciones de evolución por lo tanto aplicamos una función tipo rampa la misma que tiene 4 parámetros, las funciones a y c son los límites sobre el tiempo y las funciones b y d son escalares multiplicadores para este caso es la velocidad en el molde y presión para el soplado, ingresamos los datos en la opción de dependencia del tiempo para la presión de soplado como se muestra en la figura 4-87.

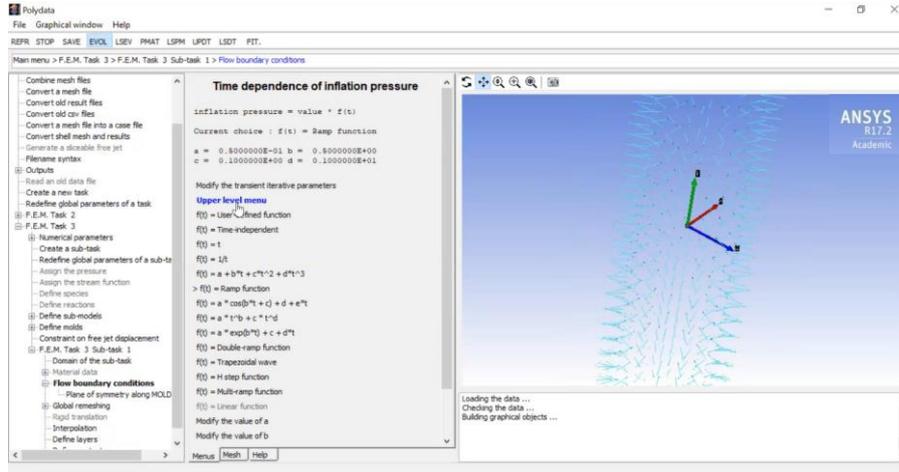


Figura 4-87 Variables de dependencia del tiempo.

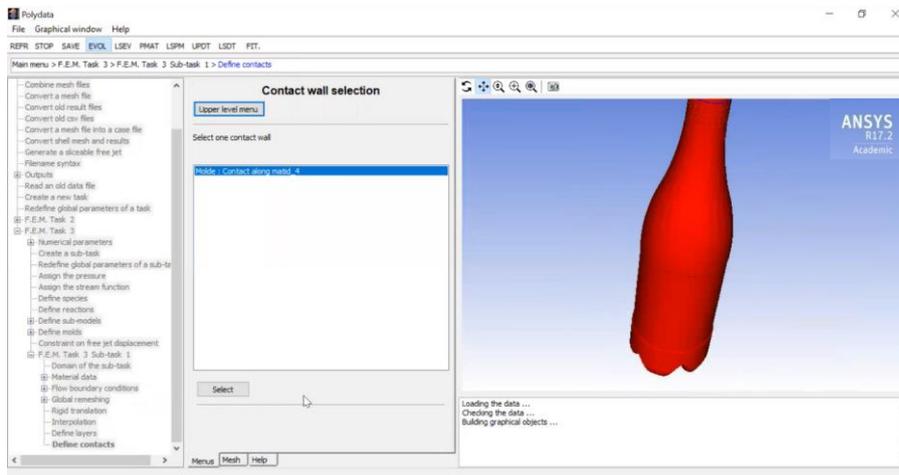


Figura 4-88 Problema de contacto en el molde del envase.

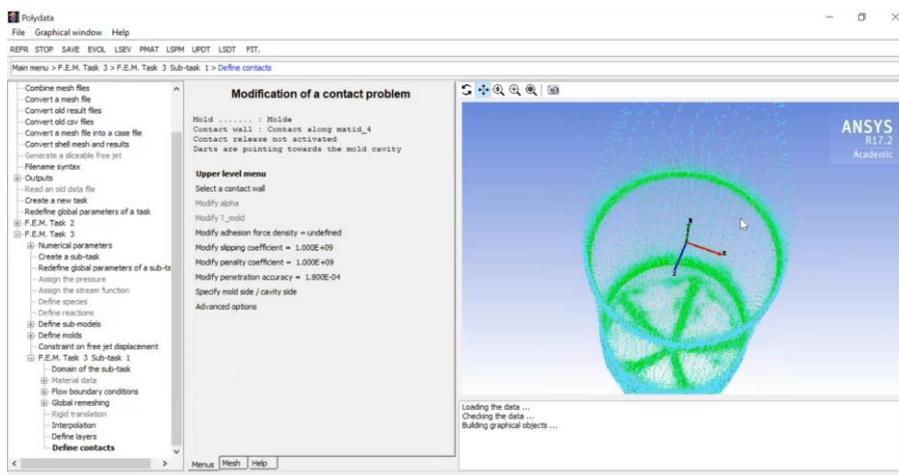


Figura 4-89 Regiones de contactos del envase.

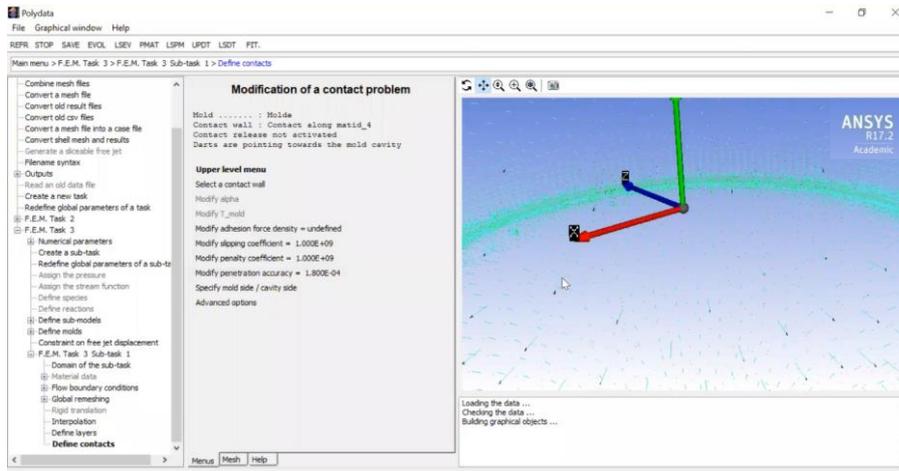


Figura 4-90 Dirección de la presión de soplado.

Las figuras 4-91 y 4-92 muestran la definición de las características del material polimérico en este caso el plástico PET, características tales como el modelo viscoelástico y la densidad, al igual que las condiciones de simetría y condiciones térmicas de frontera.

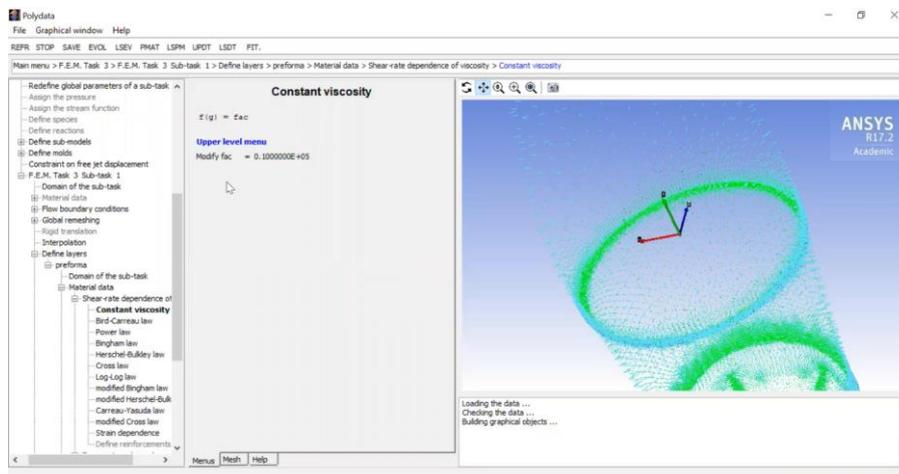


Figura 4-91 Viscosidad intrínseca de la preforma.

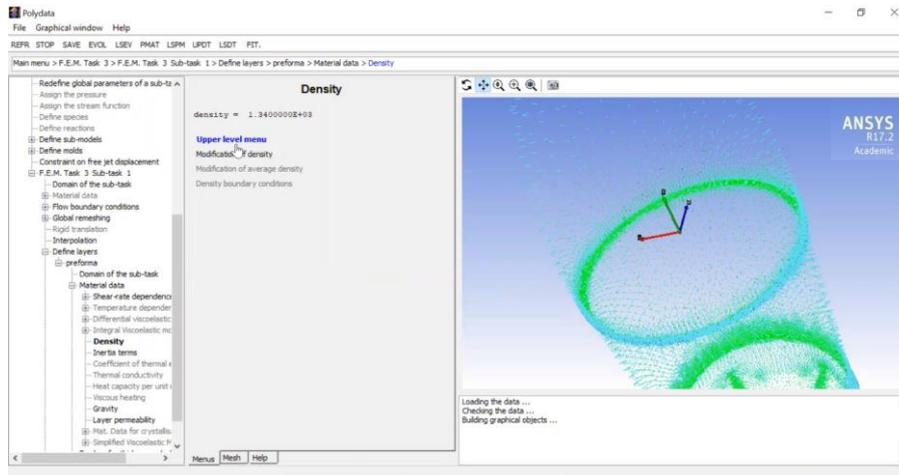


Figura 4-92 Densidad de la preforma.

Se define el espesor inicial para el proceso de moldeo por soplado por lo tanto se toma como referencia el espesor de pared de la preforma con un valor de 2.5 mm (figura 4-93).

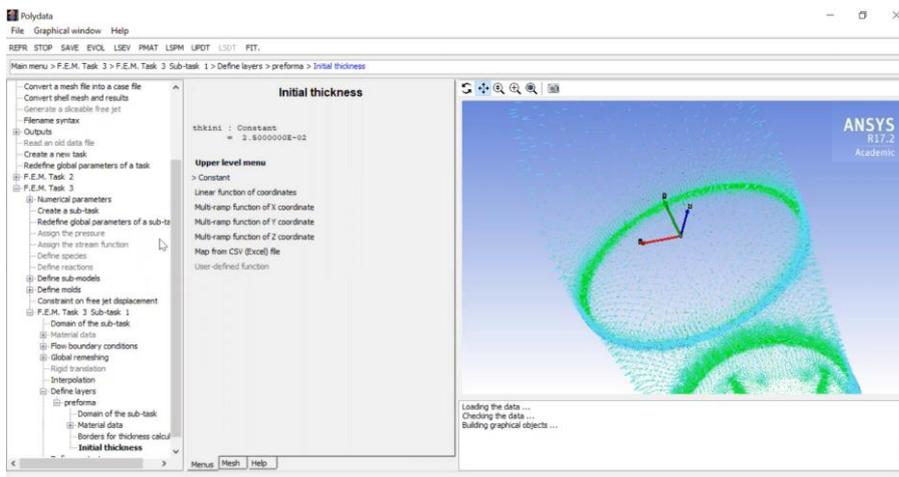


Figura 4-93 Espesor inicial para la simulación.

Para la simulación CFD utilizamos un modelo integral K-BKZ en condiciones isotérmicas y sin función de amortiguamiento tomado en cuenta los espectros correspondientes a datos de tiempo de relajación-viscosidad parcial para caracterizar la deformación y el estado de los esfuerzos del material polimérico PET durante el cierre del molde y soplado del envase. Seleccionamos un espectro por Debbaut por disponer de un dominio considerable de tiempos de relajación con 6 módulos con el

objetivo de disminuir el esfuerzo computacional y la estabilidad de los resultados, la configuración se determina en los parámetros transiente iterativa (figura 4-94).

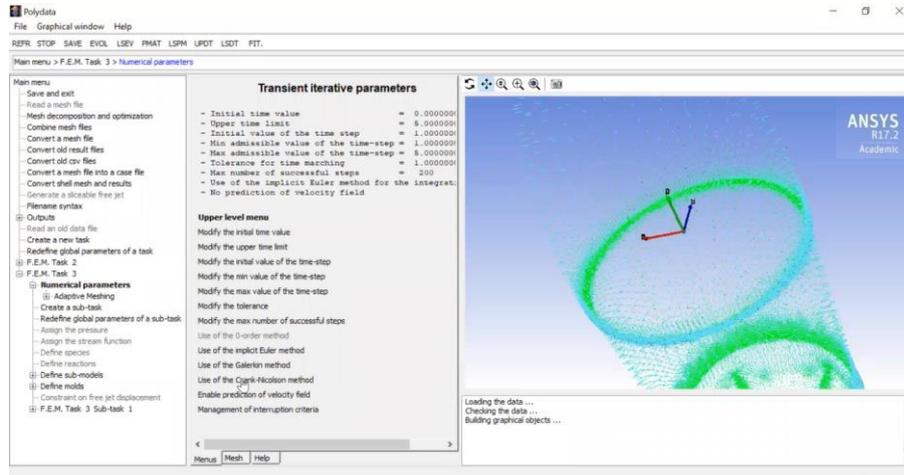


Figura 4-94 Parámetros de transiente iterativa.

Nos aseguramos que el sistema de unidades en el cual estamos trabajando sea el correcto para los resultados requeridos, en este caso el sistema MKS (metro, kilogramo, segundo) tal como se muestra en la figura 4-95.

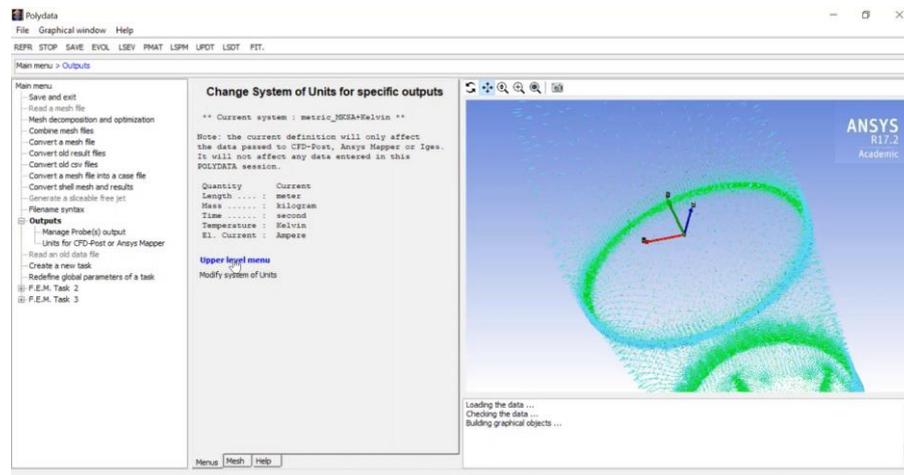


Figura 4-95 Unidades de medida para la simulación.

En la opción de Solución procedemos a actualizar los datos para generar los resultados (figura 4-96).

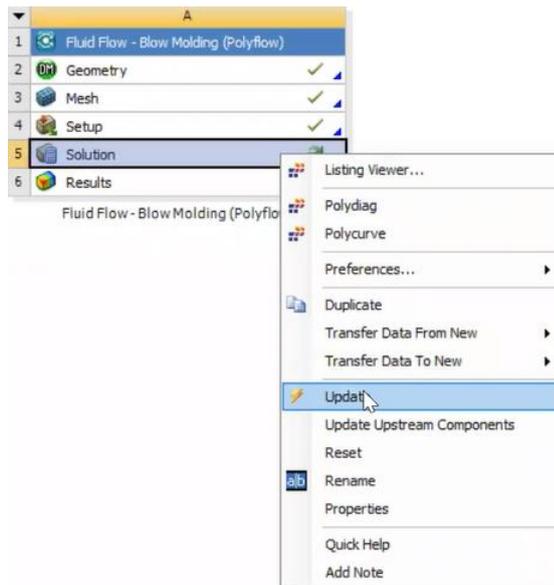


Figura 4-96 Actualización de solución.

Una vez que se genere los resultados evaluamos los espesores obtenidos durante el proceso de moldeo por soplado en tiempos de ciclo de 0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5 segundos.

4.3.3 Evaluación mecánica y térmica del molde

Con los resultados generados en la simulación del proceso de moldeo por soplado se evaluó las propiedades mecánicas y térmicas que provee los materiales del molde durante el proceso de soplado del envase a través de un análisis de transferencia de calor del molde y distribución de espesores en el envase, por lo tanto, se evalúa de la siguiente manera:

Como se observa en la figura 4-97, el molde en su totalidad posee una temperatura inicial de 30°C en un tiempo de 0 segundos. Nótese que cada uno de los cortes realizados para la examinación de resultados, posee distintas formas, siendo en el plano medio más apreciable la forma de la botella, y el corte 3, la botella totalmente desvanecida.

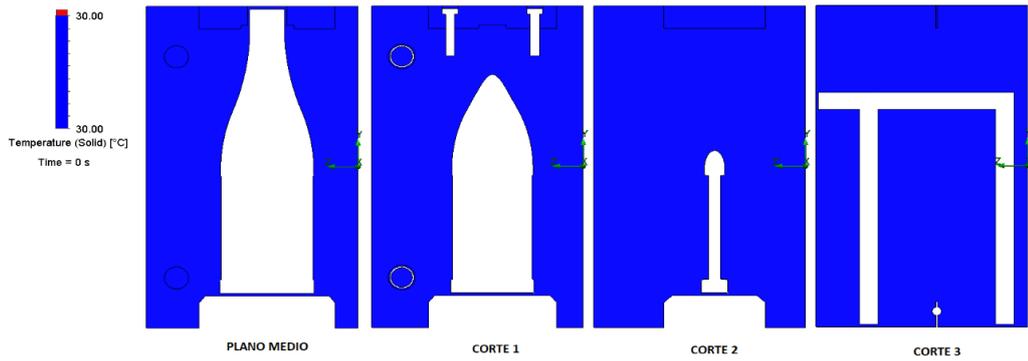


Figura 4-97 Temperatura inicial en distintas profundidades.

Cada uno de los cortes realizados son a las profundidades de 15, 30 y 45 mm respectivamente; tomando el plano medio como punto de origen.

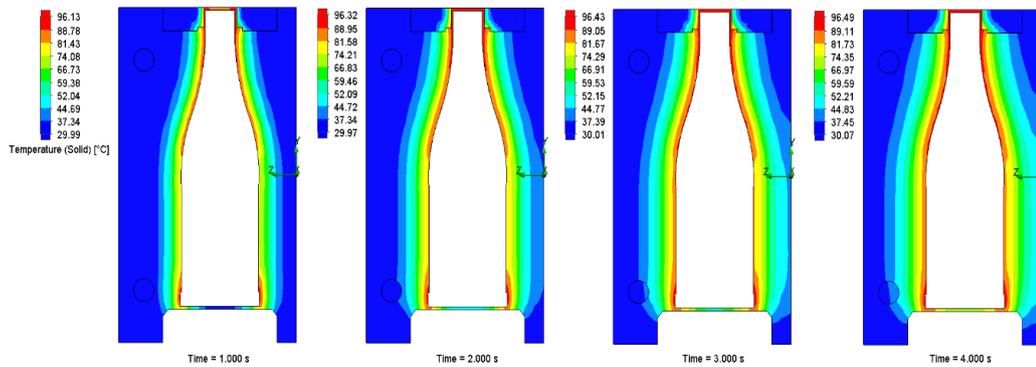


Figura 4-98 Análisis de temperatura en plano medio.

En la figura 4-98, se observa que la temperatura máxima alcanzada es de 96.49°C, a un tiempo de 4 segundos, y que la misma se concentra en las paredes de contacto entre el molde y la botella. Sin embargo, la temperatura predominante es de 30°C.

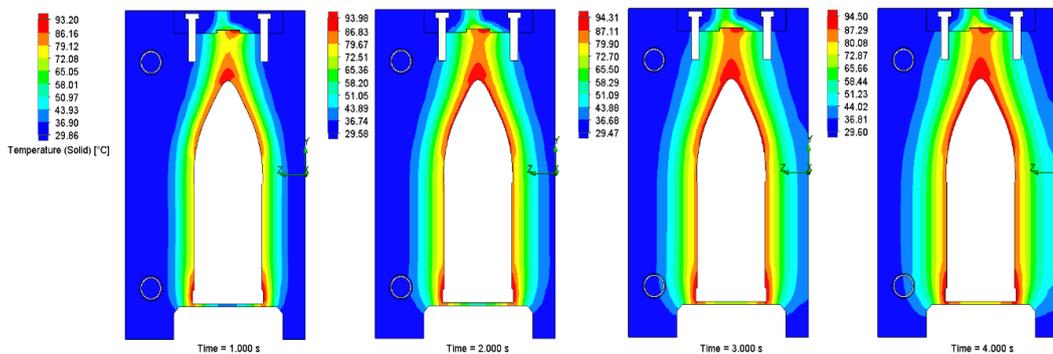


Figura 4-99 Análisis de temperatura en corte 1 (Profundidad= 15 mm).

En la figura 4-99, se observa que la temperatura máxima es de 94.5°C, es decir, 2°C de diferencia con respecto al plano medio. Nótese que el incremento de temperatura es mayor, pues en el tiempo de 1 segundo es de 93.20 °C, y al cabo de 2 segundos, es de 93.98°C; esto se debe a que existe un mayor contacto entre el cuello de la botella y las paredes del molde. Asimismo, como en el análisis del plano medio, la temperatura de 30°C predomina sobre las demás.

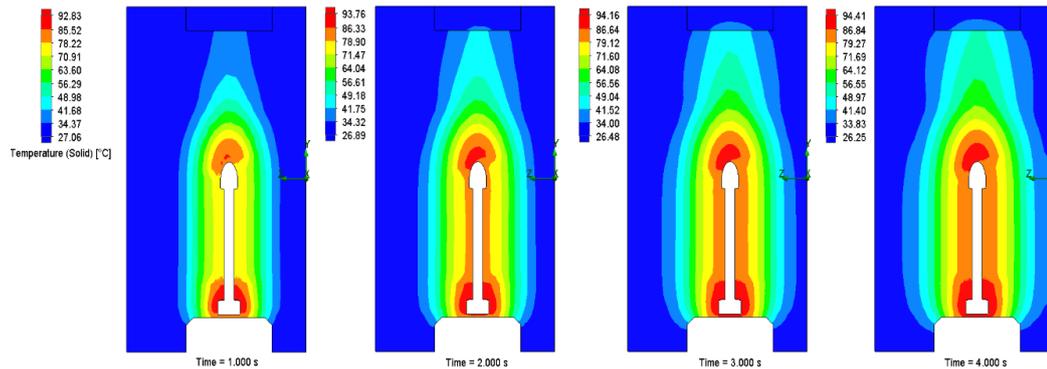


Figura 4-100 Análisis de temperatura en corte 2 (Profundidad= 30 mm).

La figura 4-100 podemos observar que la temperatura máxima alcanzada es de 94.41°C a un tiempo de 4 segundos; nótese que la misma se asemeja al valor alcanzado en la figura 4-96. Asimismo, la concentración de la máxima se presenta en el estómago de la botella debido al contacto con las paredes del molde. La temperatura mínima es de 26.25°C, presentando una diferencia de 4°C con respecto a la figura 4-98, esto se debe a la proximidad hacia los canales de enfriamiento.

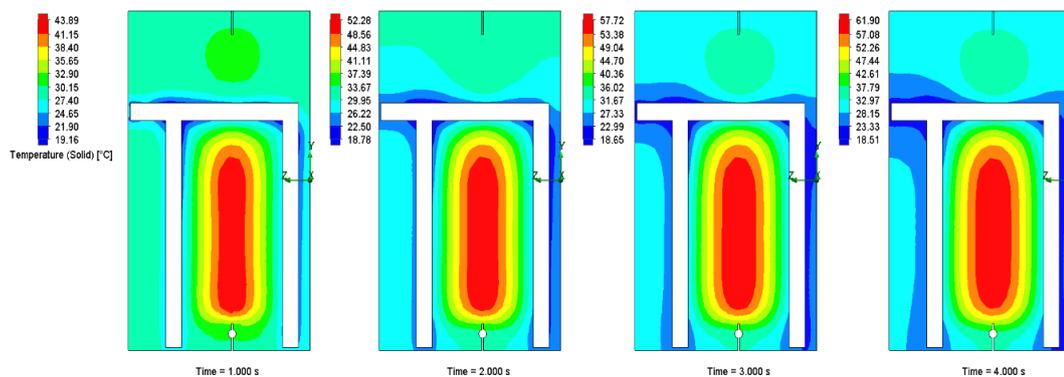


Figura 4-101 Análisis de temperatura en corte 3 (Profundidad= 45 mm).

En la figura 4-101 observamos que la temperatura máxima y mínima alcanzadas son de 61.90°C y 18.51°C, respectivamente; esto se debe a que el análisis se presenta en los canales de enfriamiento del molde. Nótese que en la parte central del mismo se concentra la máxima temperatura y sus variaciones, debiéndose principalmente al fluido de enfriamiento.

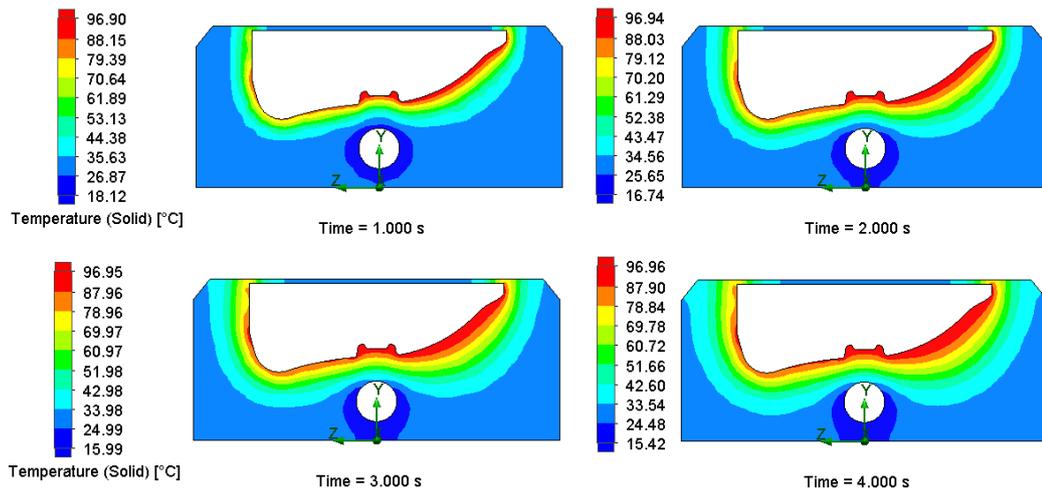


Figura 4-102 Análisis de temperatura en el asiento.

En la figura 4-102 observamos el cambio de temperatura en el asiento; nótese que la máxima temperatura es de 96.96°C localizada principalmente en las paredes de contacto de la botella y el asiento. Asimismo, la temperatura mínima es de 15.42°C, localizada en los canales de enfriamiento.

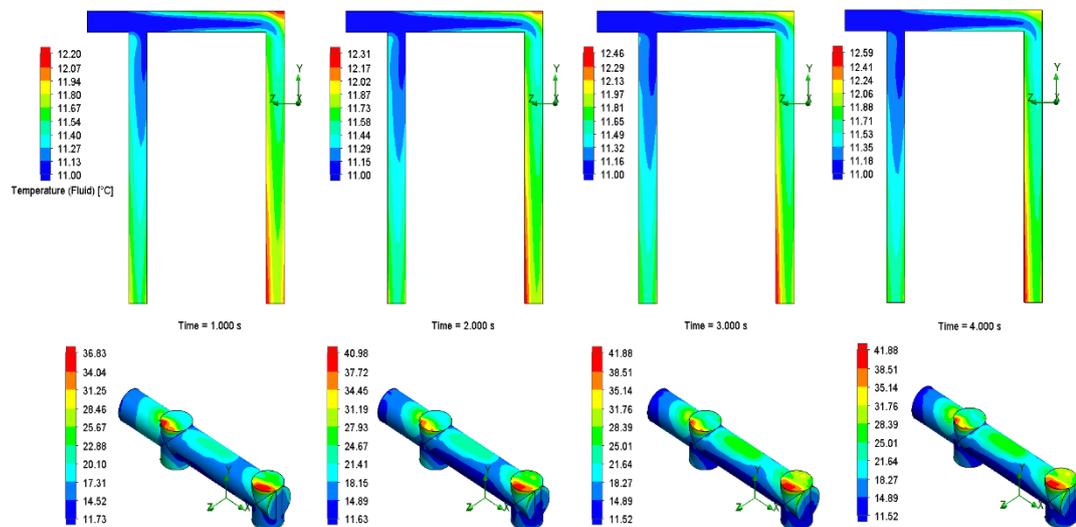


Figura 4-103 Análisis de temperatura en los ductos.

En la figura 4-103 se observa el comportamiento del fluido de enfriamiento tanto en los ductos del molde como en el asiento. En los ductos del molde, el fluido alcanza una temperatura máxima de 12.59°C y una mínima de 11°C; mientras que el fluido en el asiento alcanza una temperatura máxima de 41.88°C y una mínima de 11.52°C, esto se debe a que el canal de enfriamiento está más próximo a la zona de contacto de la botella y el asiento. Este comportamiento también se lo observa en la figura 4-102.

Se verifica que la temperatura del agua de refrigeración está dentro del diferencial de temperatura recomendado ($\Delta 3$ °C) en el proceso, la temperatura de ingreso es de 11 °C y la temperatura de salida es de 13 °C por lo tanto los moldes de soplado aseguran la estabilidad térmica y transferencia de calor adecuada y evitan que el material PET sufra estrés térmico por contracción, parámetro fundamental en el control de calidad del envase. De lo anterior expuesto, se deduce que el proceso es repetible debido a que la temperatura máxima alcanzada en cada uno de los cortes de análisis, no afecta por completo al molde, siendo los 30°C, la temperatura predominante de la simulación; por consiguiente se valida el uso del duraluminio para las cavidades y el acero inoxidable para los cuellos y los asientos de los moldes de soplado ya que ofrecen buenas propiedades de transferencia de calor evitando así defectos en los envases elaborados.

Nuevamente se garantiza la estabilidad del proceso con los parámetros normalizados los cuales son recomendados por los fabricantes de las máquinas sopladoras sin dejar de lado la tecnología de fabricación de moldes diseñada la cual permitió el desarrollo del proyecto de investigación.

Mediante la correcta configuración de parámetros de proceso en el software de simulación se obtiene resultados de espesores en diferentes tiempos, para esto se establece el ciclo de elaboración de los envases que comprende tiempos de 0.5, 1, 1.5, 2, y 2.5 segundos con resultados de 2.2, 1.4, 1 y 0.3 mm de espesor final del envase lo cual asegura una correcta distribución del material en 2.5 segundos tiempo de duración del proceso de moldeo por soplado tal como se muestra en la figura 4-104.

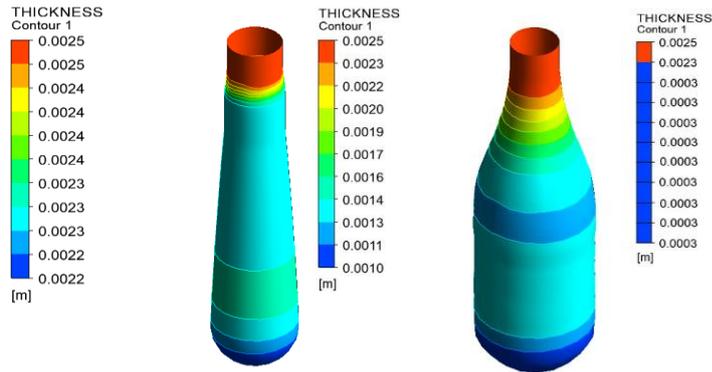


Figura 4-104 Distribución de espesores en el envase.

La presión de 32 Bar y la velocidad de estirado de 7,31 m/seg son los parámetros óptimos para el conformado de los envases ya que provee la fuerza suficiente para estirar el material acondicionado a una temperatura de 95 °C en un tiempo de 2.5 segundos obteniendo un espesor de pared de envase de 0.3 mm el cual está dentro del parámetro de especificaciones de calidad (tabla 4-3). A medida que el tiempo de soplado aumenta el espesor inicial de 2.5 mm de la preforma disminuye con una velocidad de estiro constante y la presión de aire distribuye el material uniformemente por todo el espacio de la cavidad del molde hasta el punto de inyección ubicado a una altura de 230 mm en dirección vertical descendente.

Este procedimiento de simulación establece los parámetros óptimos de proceso en acorde a especificaciones de calidad de la planta embotelladora sin necesidad de ejecutar la validación de los envases a pie de máquina con moldes prototipo construidos.

4.3.4 Informe tecnológico de optimización del proceso.

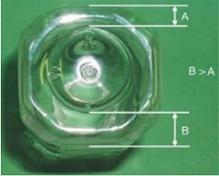
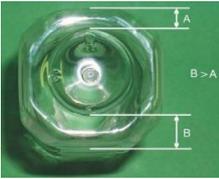
Con la información y los resultados obtenidos en la evaluación de las propiedades termomecánicas del molde y distribución de espesores en el envase se ejecuta un informe tecnológico de optimización el cual asocia los defectos de los envases con los parámetros establecidos mediante la simulación CFD mostrados en la tabla 4-3.

Tabla 4-3 Parámetros de optimización del proceso.

Parámetro	Especificación	Real	Optimización	Ahorro	Equipo
Temperatura de preforma	90 – 105 °C	97 °C	95 °C	E.E / M.P	Hornos eléctricos Sopladora
Presión de presoplado	10 – 15 Bar	13,5 Bar	12 Bar	A.C / E.E	Compresor
Presión de soplado	30 – 40 Bar	37 Bar	32 Bar	A.C / E.E	Compresor
Caudal de aire	60 m3/h	55 m3/h	60 m3/h	A.C / E.E	Compresor
Presión de agua	3 – 5 Bar	4,6 Bar	4,6 Bar	E.E	Chiller Frigorífico
Temperatura entrada de agua	8 – 15 °C	10,7 °C	11 °C	M.P	Chiller Frigorífico
Temperatura salida de agua	ΔT 3 °C	11,6 °C	13 °C	M.P	Chiller Frigorífico
Tiempo de presoplado	1 – 5 seg	2 seg	1,5 seg	M.P	Máquina Sopladora
Tiempo de soplado	1 – 5 seg	3 seg	2,5 seg	M.P	Máquina Sopladora
Velocidad de estiro	4 – 10 m/seg	6,14 m/seg	7,31 m/seg	M.P	Máquina Sopladora
E.E= Energía Eléctrica. A.C= Aire Comprimido. M.P= Materia Prima.					

Fuente: El autor

A continuación, se enumeran los defectos que aparecen con más frecuencia en los envases con sus respectivas causas y soluciones las cuales están en función de sugerencias sobre el ajuste y la configuración de los parámetros de proceso establecidos en la simulación para optimizar el conformado de envases PET 500 ml en una planta embotelladora de bebidas.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
	MAESTRÍA: MECÁNICA MENCIÓN: MANUFACTURA		
	INFORME DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MOLDEO POR SOPLADO DE ENVASES PET		
DEFECTOS	CAUSAS	SOLUCIONES	
 Perforada	C25 C1 C5 C17 C8	S1 S18, S2 S3 S5, S6, S14 S9, S18	
 Cristalizado en todo el cuerpo	C42 C6 C3	S30 S4, S13 S12	
 Con cráteres	C2 C4 C8 C3	S13 S4 S18 S12, S18	
 No centrada en el asiento	C9 C8 C12 C3 C13 C17	S24, S17 S9, S17, S24 S16, S22 S4, S13 S14 S5, S14	
 No centrada en el asiento	C9 C8 C12 C3 C13 C17	S24, S17 S9, S17, S24 S16, S22 S4, S13 S14 S5, S14	
 Asiento con pétalos no formados	C23 C15 C30 C1 C3	S11, S17, S16, S35 S19, S33 S21 S2 S12B	
REVISIÓN Y APROBACIÓN			
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Nombre:	Ing. Diego Yugsi	Ing. Diego Yugsi	Ing. Oscar Analuiza. Mg.
Cargo:	Investigador	Investigador	Director de tesis
Fecha:	30/10/2020	30/10/2020	30/10/2020

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
	MAESTRÍA: MECÁNICA MENCIÓN: MANUFACTURA		
	INFORME DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MOLDEO POR SOPLADO DE ENVASES PET		
<i>DEFECTOS</i>	<i>CAUSAS</i>	<i>SOLUCIONES</i>	
 Asiento con pétalos opacos	C26 C17 C2 C8 C6 C23	S1 S24, S25 S13, S4 S17 S31 S16, S22, S5	
 Aperlada	C1 C4 C33	S2 S4, S2, S23, S25, S18 S18, S7, S22, S16, S4	
 Con anillos hacia adentro	C6 C11 C8	S31 S29, S27, S16, S6 S17, S35	
 Exceso de material en el cuello	C9, C12 C4 C3 C8	S24, S28, S25, S17 S31 S4 S17	
 Exceso de material en el asiento	C8 C10 C11 C7 C2 C42	S18 S11 S6, S28, S29 S16, S18 S11, S6, S14, S18, S4 S30	
 Exceso de material en el hombro	C4 C9 C8	S31 S24, S22 S17	
REVISIÓN Y APROBACIÓN			
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Nombre:	Ing. Diego Yugsi	Ing. Diego Yugsi	Ing. Oscar Analuiza. Mg.
Cargo:	Investigador	Investigador	Director de tesis
Fecha:	30/10/2020	30/10/2020	30/10/2020

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
	MAESTRÍA: MECÁNICA MENCIÓN: MANUFACTURA		
	INFORME DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MOLDEO POR SOPLADO DE ENVASES PET		
<i>DEFECTOS</i>	<i>CAUSAS</i>	<i>SOLUCIONES</i>	
 Exceso de material en el cuello	C32 C12	S31, S17, S24 S16	
 No perpendicular respecto al plano	C20 C30 C17 C14 C15	S32 S21 S35, S28 S20 S33	
 Espesores no conformes	C4 C20 C9, C12	S4 S32, S36 S7, S25, S28, S24	
 Deformado en el cuello	C10 C37	S11 S16	
 Deformado en todo el cuerpo	C37 C38 C15	S16 S19 S33	
 Deformado hacia adentro	C40 C41 C19 C30 C11 C1	S40 S41 S32 S21 S29 S2	
REVISIÓN Y APROBACIÓN			
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Nombre:	Ing. Diego Yugsi	Ing. Diego Yugsi	Ing. Oscar Analuiza. Mg.
Cargo:	Investigador	Investigador	Director de tesis
Fecha:	30/10/2020	30/10/2020	30/10/2020

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
	MAESTRÍA: MECÁNICA MENCIÓN: MANUFACTURA		
	INFORME DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MOLDEO POR SOPLADO DE ENVASES PET		
CÓDIGO	CAUSAS		
C1	TEMPERATURA DE LA PREFORMA DEMASIADO BAJA PARA EL SOPLADO		
C2	TEMPERATURA DE LA PREFORMA DEMASIADO ALTA PARA EL SOPLADO		
C3	BASE DE LA PREFORMA NO CALENTADA CORRECTAMENTE		
C4	PERFIL TÉRMICO DE LA PREFORMA NO ADECUADO		
C5	HUMEDAD PRESENTE EN LA CAVIDAD		
C6	TEMPERATURA DE LOS HORNOS DE CALENTAMIENTO NO CORRECTA		
C7	INSUFICIENTE PRESIÓN DE AIRE PRIMARIO EN LA FASE DE ESTIRADO		
C8	VELOCIDAD DE ESTIRO NO AJUSTADA CORRECTAMENTE		
C9	AIRE PRIMARIO CON DEMASIADA ANTELACIÓN		
C10	AIRE PRIMARIO CON DEMASIADO RETRASO		
C11	PRESIÓN DE AIRE PRIMARIO INSUFICIENTE		
C12	PRESIÓN DE AIRE PRIMARIO EXCESIVA		
C13	AIRE SECUNDARIO CON DEMASIADA ANTELACIÓN		
C14	AIRE SECUNDARIO CON DEMASIADO RETRASO		
C15	PRESIÓN DE AIRE SECUNDARIO INSUFICIENTE		
C16	PRESIÓN DE AIRE SECUNDARIO EXCESIVA		
C17	DISTRIBUCIÓN IRREGULAR DEL MATERIAL		
C18	PRESIÓN DE CIERRE DE PRENSA DEL MOLDE DE SOPLADO INSUFICIENTE		
C19	MOLDE DE SOPLADO DEMASIADO CALIENTE		
C20	MOLDE DE SOPLADO DEMASIADO FRÍO		
C21	FONDO DE LA BOTELLA NO CORRECTAMENTE BI-ORIENTADO		
C22	DEFECTOS EN EL PUNTO DE INYECCIÓN		
C23	ESPESOR DE LA BASE NO CORRECTO		
C24	PARTE EXTERIOR DEL CUELLO OPACA O CON RASGUÑOS		
C25	PREFORMAS DE BAJA CALIDAD		
C26	VISCOSIDAD DEL PET DEMASIADO BAJA		
C27	CALENTAMIENTO IRREGULAR DE LA PREFORMA		
C28	DISEÑO DE LA PREFORMA EQUIVOCADO		
C29	MOLDE DE SOPLADO DEMASIADO CALIENTE		
C30	DESCARGAS DE AGUA EN EL ASIENTO OBSTRUIDAS		
C31	MOLDE DE SOPLADO SUCIO		
C32	TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO NO CORRECTA		
C33	EXCESIVA VELOCIDAD DE ESTIRO		
C34	CONTAMINACIÓN DENTRO DEL ENVASE		
C35	PREFORMAS RECALENTADAS		
C36	INSUFICIENTE PRESIÓN DE CIERRE DE MOLDE DE SOPLADO		
C37	TIEMPO Y CAUDAL DE AIRE PRIMARIO INSUFICIENTES		
C38	TIEMPO DE SOPLADO DE AIRE SECUNDARIO INSUFICIENTE		
C39	ASIENTOS Y/O CAVIDADES DAÑADOS		
C40	CAUDAL DE AIRE DEMASIADO ELEVADO		
C41	DESCOMPRESIÓN INSUFICIENTE		
C42	TEMPERATURA DE LA PREFORMA DEMASIADA ALTA		
C43	CRISTALIZACIÓN		
REVISIÓN Y APROBACIÓN			
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Nombre:	Ing. Diego Yugsi	Ing. Diego Yugsi	Ing. Oscar Analuiza. Mg.
Cargo:	Investigador	Investigador	Director de tesis
Fecha:	30/10/2020	30/10/2020	30/10/2020

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
	MAESTRÍA: MECÁNICA MENCIÓN: MANUFACTURA		
	INFORME DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MOLDEO POR SOPLADO DE ENVASES PET		
CÓDIGO	SOLUCIONES		
S1	VERIFICAR EL PESO DE LAS PREFORMAS (PESO= 19 g, DENSIDAD= 1.34 g/cm3, VISCOSIDAD= 0.84 dl/g)		
S2	REGULAR LA TEMPERATURA DE LA PREFORMA A 95 °C Y EL TIEMPO SOPLADO A 2.5 SEGUNDOS		
S3	CONTROLAR LA TEMPERATURA DE INGRESO DE AGUA A 11 °C, REPARAR LAS PÉRDIDAS DE AGUA		
S4	REGULAR LA TEMPERATURA DE LA PREFORMA A 95 °C		
S5	AJUSTAR LA PRESIÓN DE AIRE PRIMARIO A 12 BAR		
S6	REGULAR EL CAUDAL DE AIRE A 60 m3/h		
S7	CALIBRAR EL TIEMPO DE AIRE PRIMARIO A 1.5 SEGUNDOS		
S8	CONTROLAR / RESTAURAR LA ROTACIÓN DE LA PREFORMA		
S9	REGULAR LA VELOCIDAD DE ESTIRO A 7.31 m/seg Y LA ALTURA EN 2.5 - 3.0 mm		
S10	VERIFICAR EL ACONDICIONAMIENTO DE LA PREFORMA EN 95 °C		
S11	CALIBRAR EL TIEMPO DE AIRE PRIMARIO A 1.5 SEGUNDOS		
S12	VERIFICAR LA TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA EN LOS ASIENTOS A 13 °C		
S13	CALIBRAR EL TIEMPO DE AIRE SECUNDARIO A 2.5 SEGUNDOS		
S14	RETRASAR EL AIRE SECUNDARIO A 2.5 SEGUNDOS		
S15	CALIBRAR LAS ALTURAS DE ESTIRO Y REGULAR LA VELOCIDAD A 7.31 m/seg		
S16	AJUSTAR LA PRESIÓN DE AIRE PRIMARIO A 12 BAR Y CAUDAL DE 60 m3/h		
S17	AUMENTAR LA VELOCIDAD DE DESCENSO DE LAS ASTAS DE ESTIRO (SI ES POSIBLE)		
S18	DISMINUIR LA VELOCIDAD DE DESCENSO DE LAS ASTAS DE ESTIRO (SI ES POSIBLE)		
S19	AJUSTAR LA PRESIÓN DE AIRE SECUNDARIO A 32 BAR Y EL TIEMPO DE SOPLADO A 2.5 SEGUNDOS		
S20	ANTICIPAR EL AIRE SECUNDARIO		
S21	LIMPIAR LOS AGUJEROS DE DESCARGA DEL AIRE DEL MOLDE		
S22	AJUSTAR EL CAUDAL DE AIRE A 60 m3/h		
S23	AUMENTAR LA TEMPERATURA DE LA PREFORMA HASTA LOS 95 °C		
S24	RETRASAR EL AIRE PRIMARIO A 2.5 SEGUNDOS		
S25	AJUSTAR LOS REGULADORES DE CAUDAL A 60 m3/h		
S26	REVISAR / LIMPIAR EL MOLDE DE SOPLADO		
S27	VERIFICAR / RESTAURAR LA ENTRADA DE AIRE PRIMARIO A 12 BAR		
S28	VERIFICAR / RESTAURAR LA ENTRADA DE AIRE PRIMARIO A 12 BAR SIN AIRE SECUNDARIO A 32 BAR		
S29	AUMENTAR LA PRESIÓN DEL AIRE PRIMARIO A 12 BAR		
S30	DISMINUIR LA TEMPERATURA DE LA PREFORMA A 95 °C		
S31	AUMENTAR LA TEMPERATURA DE LA PREFORMA HASTA LOS 95 °C		
S32	AJUSTAR LA TEMPERATURA DEL MOLDE DE SOPLADO EN 30 °C		
S33	AUMENTAR LA PRESIÓN DEL AIRE SECUNDARIO A 32 BAR		
S34	CONTROLAR EL CAUDAL DE AIRE A 60 m3/h		
S35	CONTROLAR EL CIERRE DE LAS VÁLVULAS DE AIRE EN 2.5 SEGUNDOS		
S36	CONTROLAR LAS TEMPERATURAS DE INGRESO DE AGUA A 11 °C Y SALIDA A 13 °C, CAUDAL 4.6 BAR		
S37	AJUSTAR EL CIERRE DE LA PRENSA (ALTURA, COMPENSACIÓN, PARALELISMO)		
S38	REPARAR Y/O SUSTITUIR EL ASIENTO Y/O CAVIDAD		
S39	REVISAR Y/O SUSTITUIR EL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE PREFORMAS		
S40	AJUSTAR EL CAUDAL DE AGUA EN 4.6 BAR		
S41	AUMENTAR LA DESGASIFICACIÓN		
REVISIÓN Y APROBACIÓN			
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Nombre:	Ing. Diego Yugsi	Ing. Diego Yugsi	Ing. Oscar Analuiza . Mg.
Cargo:	Investigador	Investigador	Director de tesis
Fecha:	30/10/2020	30/10/2020	30/10/2020

Para poder seleccionar correctamente los parámetros de proceso de moldeo por soplado se propone las siguientes alternativas de mejora en los equipos los cuales se muestran en la tabla 4-4.

Tabla 4-4 Alternativas de mejora de proceso.

Equipo	Alternativas de mejora	Efecto
Hornos eléctricos Sopladora	Cambio de termorreguladores y uso de lámparas de menor potencia en los hornos eléctricos. Anexo 12	Se utilizará menos potencia en las lámparas infrarrojas para el calentamiento de las preformas y contribuirá en la reducción de consumo eléctrico, además permitirá el aligeramiento de peso en las preformas.
Compresor	Cambio de presostatos y manorreductores (reguladores de caudal de aire). Anexo 13 - Anexo 14	Se utilizará menor presión de soplado lo cual permitirá la reducción del consumo eléctrico durante la operación del compresor manteniendo una presión y caudal de aire constantes.
Chiller Frigorífico	Mantenimiento rutinario de bomba hidráulica y limpieza de moldes de soplado. Anexo 15	Permitirá la correcta circulación de agua en los circuitos de enfriamiento de los moldes ya que los ductos estarán libres de obstrucciones que pudieran causar recalentamiento y posibles defectos en los envases.
	Cambio de termostato y regulador de flujo de agua. Anexo 16 - Anexo 17	Mantendrá constante la temperatura y flujo de agua de enfriamiento en los moldes y evitará los defectos en los envases.
Máquina Sopladora	Cambio de electroválvulas de soplado con accionamientos más rápidos tanto para válvulas como cilindros neumáticos de estiro. Anexo 18	Permitirá el ahorro de materia prima y por lo tanto un aumento de producción de envases sin merma de rechazo por defectos de calidad.

Fuente: El autor

Con las alternativas de mejora propuestas se podrá llevar un control de los parámetros de optimización establecidos en este proyecto de investigación, cada alternativa de mejora esta anexada con los componentes que se deben cambiar en los equipos correspondientes.

4.4 Análisis de resultados

4.4.1 Análisis técnico.

Tecnológicamente es factible la optimización del proceso de moldeo por soplado de envases en una planta embotelladora de bebidas, ya que se estableció los parámetros de proceso óptimos a través de software, cuyos valores fueron verificados según especificaciones técnicas de normas de calidad en los envases a partir de un correcto diseño de la tecnología de fabricación de moldes de soplado.

4.4.2 Análisis económico

Se realizó el análisis económico para el desarrollo de la tecnología de fabricación de moldes, para lo cual se tendrá en consideración los costos que implica la construcción de los moldes prototipo y la gran ventaja que ofrece los softwares en los procesos de manufactura.

4.4.2.1 Costos de materia prima

La tabla 4-5 presenta los costos de la materia prima en el cual se describe las dimensiones y el tipo de material utilizado para la construcción de los moldes de soplado.

Tabla 4-5 Costos de materia prima.

Denominación	Material	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)	Costo \$/kg	Total (USD)
BUJE	BHOLER V155	4	Φ30 X 200	2,56	4	10,24
GUÍA	BHOLER V155	4	Φ30 X 200	2,56	4	10,24
CUELLO	BHOLER A 604	4	Φ90 X 100	5,97	6	35,82
ASIENTO	BHOLER A 604	2	Φ90 X 100	5,97	6	35,82
CAVIDAD	ALUMOLD T651	2	280 X 233 X 60	25,59	5	127,95
PLACA ASIENTO	BOHLER M238	1	360 X 130 X 25	14,45	8	115,6
PLACA CAVIDAD	BOHLER M238	2	360 X 240 X 25	46,36	8	370,88
Total						706,55

Fuente: El autor

4.4.2.2 Costos de elementos normalizados

La tabla 4-6 muestra costos de los pernos Allen que son elementos normalizados y de libre comercialización, necesarios para la sujeción de los moldes de soplado.

Tabla 4-6 Costos de elementos normalizados.

Elementos normalizados	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Pernos allen M8X25 mm	4	0,3	1,2
Pernos allen M10X25 mm	4	0,3	1,2
Pernos allen M5X25 mm	8	0,4	3,2
Pernos allen M10X35 mm	8	0,3	2,4
Pernos allen M6X25 mm	8	0,3	2,4
Pernos allen M8X35 mm	8	0,3	2,4
		Total	12,8

Fuente: El autor

4.4.2.3 Costos de mano de obra

Para los costos de mano de obra (tabla 4-7) se debe tomar en cuenta las horas hombre máquina empleadas en la manufactura de los elementos que conforman los moldes de soplado.

Tabla 4-7 Costos de mecanizado.

PIEZAS	CANTIDAD	PULIDO		RECTIFICADORA		MAQUINADO CNC		TOTAL (USD)
		20 USD/Hora		20 USD/Hora		50 USD/Hora		
		Horas	Costo	Horas	Costo	Horas	Costo	
BUJE	4	1	20			1	45	65
GUÍA	4	1	20			1	45	65
CUELLO	4	1	20	2	40	6	300	360
ASIENTO	2	1	20	2	40	5	250	310
CAVIDAD	2	2	40	3	60	8	400	500
PLACA ASIENTO	1	1	20	3	60	3	150	230
PLACA CAVIDAD	2	1	20	3	60	5	250	330
							TOTAL	1860

Fuente: El autor

4.4.2.4 Costos de tratamientos térmicos

El tratamiento termoquímico de anodizado se realizó en las cavidades mientras que el tratamiento térmico de temple y revenido se realizó a los bujes, guías y placas para obtener una dureza de aproximadamente 54 HRC y los costos se muestran a en la tabla 4-8.

Tabla 4-8 Costos de tratamientos térmicos.

Denominación	Material	Cantidad	Peso (kg)	Costo \$/kg	Total (USD)
BUJE	BHOLER V155	4	2,56	3,58	9,1648
GUÍA	BHOLER V155	4	2,56	3,58	9,1648
CUELLO	BHOLER A 604	4			
ASIENTO	BHOLER A 604	2			
CAVIDAD	ALUMOLD T651	2	25,59	4,4	112,6
PLACA ASIENTO	BOHLER M238	1	14,45	3,58	51,731
PLACA CAVIDAD	BOHLER M238	2	46,36	3,58	165,97
Total					348,63

Fuente: El autor

4.4.2.5 Costos de diseño

En el rubro de costos de diseño (tabla 4-9) se considera el tiempo invertido en el diseño de los moldes de soplado aplicando un software con licencia lo cual viene a ser los honorarios, también se toma en cuenta los materiales e impresiones que se han hecho durante el periodo de diseño.

Tabla 4-9 Costos de diseño.

Rubros	Costo (USD)
Materiales de oficina	20
Impresiones y Plotters	25
Honorarios	250
Total	295

Fuente: El autor

4.4.2.6 Costo total del proyecto

La tabla 4-10 presenta la suma de todos los rubros antes mencionados para la construcción local de los moldes de soplado.

Tabla 4-10 Costo total del proyecto

Rubros	Subtotal (USD)
Costo de materia prima	705,55
Costo de elementos normalizados	12,8
Costo de mano de obra	1860
Costo de tratamientos térmicos	348,63
Costos de diseño	295
Varios	100
Total	3321,98

Fuente: El autor

El costo total de la fabricación de moldes de soplado para envases PET 500 ml se estima en 3321,98 dólares americanos por prototipo, considerando la utilización de materiales y equipos tecnológicos disponibles localmente. A diferencia del costo de moldes importados los cuales bordean los 6000 USD, la tecnología de fabricación local garantiza el ahorro de costos y tiempos de fabricación con materiales disponibles en el país.

Como parte de este proyecto de investigación se analiza los costos de diseño y simulación a través de software como alternativa de optimización en los costos que implica la construcción de moldes prototipo los cuales deben ser validados en función de los parámetros de proceso de la planta embotelladora; los costos se describen en la tabla 4-11.

Tabla 4-11 Costos de diseño y simulación.

CANTIDAD	CONCEPTO	TOTAL (USD)
1	Diseño y simulación de moldes de soplado mediante Software CAD-CAM acorde a especificaciones.	200
1	Informe técnico del proceso de manufactura CNC de los moldes de soplado.	50
1	Preprocesado de geometrías, Set up, solución y resultados para un proceso de moldeo por soplado mediante Software CFD.	430
1	Asesoramiento técnico en el análisis y métodos empleados para realizar la simulación del proceso y los resultados obtenidos.	30
TOTAL (USD)		710

Fuente: El autor

El costo de diseño y simulación de la tecnología de fabricación de moldes es de 710 dólares americanos, esta alternativa es viable ya que trabaja con parámetros de proceso de la planta embotelladora los cuales nos va ayudar a verificar si los moldes de soplado son capaces de producir envases acordes a las especificaciones técnicas, garantizando su funcionalidad en un proceso real y evitando los costos que implica la construcción de prototipos fuera de norma.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La tecnología de fabricación de moldes de soplado fue diseñada según las especificaciones técnicas de la preforma y del envase, las cuales están dentro de las normas de calidad NTC-ISO 2859-2 y NTC 4763 de la planta embotelladora de bebidas, información indispensable para el diseñador.
- Los materiales más apropiados para la construcción de moldes son el acero AISI 4340 (bujes y guías), el acero inoxidable AISI 304 (asientos y cuellos), el duraluminio 7075 (cavidades) y el acero AISI P20 (placas de soporte), mecanizados a velocidades de corte de 225 m/min en el aluminio y 225 m/min en el acero; estos materiales presentaron excelentes características de maquinabilidad, transferencia térmica, compatibilidad a tratamientos protectores y resistencia al desgaste.
- Mediante el diseño y la manufactura asistida por computador se pudo establecer los parámetros óptimos de mecanizado de moldes en base a informes de simulación CNC para torno y fresadora. Obteniendo velocidades de corte, velocidades de avance, velocidad nominal, herramientas utilizadas, operaciones y tiempos de mecanizado según el tipo de material.
- Se pudo evaluar las propiedades mecánicas y térmicas del molde con la simulación del proceso de moldeo por soplado estableciendo la variación de temperatura en los cuellos, cavidades, asientos y ductos a través del circuito de agua de enfriamiento, lo que corroboró la óptima transferencia de calor en los materiales del molde llegando a la estabilidad térmica con 6569.3 Watts en un tiempo de 4 segundos a partir de 8167.2 Watts.

- Los parámetros adecuados para obtener una buena calidad en los envases de 500 ml en base a valores de especificaciones referente a la norma NTC 4773 para botellas plásticas PET, son: presión de soplado 32 Bar, presión de presoplado 12 Bar, temperatura de la preforma 95 °C, diferencial de temperatura de agua 3 °C y velocidad de estiro de 7,31 m/seg los cuales fueron verificados mediante simulación.
- A través de la simulación de distribución de espesores se pudo corroborar que los parámetros de optimización permiten el conformado de envases apropiado con un espesor final de 0.3 mm en un tiempo de 2.5 segundos, esto comprueba que a mayor velocidad de estiro se transfiere más material hacia la región inferior del molde, lo que da como resultado un envase más uniforme permitiendo mayores tasas de deformación radial.
- Se realizó un informe de optimización en base a la simulación de transferencia de calor y distribución de espesores, donde se presenta alternativas de mejora en el proceso de moldeo por soplado evitando los defectos en los envases los cuales dependen de una correcta parametrización de variables tales como presión, temperatura y caudal.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda diseñar los moldes de soplado en función de las especificaciones técnicas de la preforma y del envase proporcionadas por la planta embotelladora.
- Es necesario realizar una correcta configuración del controlador CNC en el software de mecanizado para que genere resultados confiables, ya que de esto depende la simulación de las operaciones y cambio de herramientas.
- En base a la presente investigación se debería difundir su aplicación en otras áreas de estudio ya que el diseño y manufactura asistido por computador es compatible con otras tecnologías tales como la impresión 3D y la manufactura aditiva.
- Se debe incrementar el uso softwares de dinámica de fluidos computacional para el análisis de procesos industriales ya que ofrece diversas alternativas de optimización evitando pérdidas de tiempo en el desarrollo de productos.
- Se deberían realizar estudios de factibilidad económica para la implementación de laboratorios de investigación por software, basado en el beneficio que tiene en minimizar los tiempos de fabricación y optimización de procesos complejos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. Carrillo, C. Nuila y J. Laínez, Prototipado rápido en la fabricación de moldes impresos en 3D para soplado de plástico, El Salvador, 2020.
- [2] L. Grandguillaumea, S. Lavernhea, Y. Quinsata y C. Tournier, Optimización de la fabricación de moldes: un enfoque global de los procesos de fresado y pulido., Paris, 2015.
- [3] Z. Bouaziz y J. B. Younes, Metodología de evaluación de costes de mecanizado para fabricación de moldes y matrices, Túnez, 2004.
- [4] A. E. Haritz, Diseño y fabricación de un molde de inyección de plásticos mediante sistemas CAD-CAM, Pamplona, 2015.
- [5] A. Lontos y A. Gregoriou, El efecto de la tasa de deformación en el grosor de la pared de una botella de PET de 1.5LT durante el proceso ISBM (Moldeo por Inyección Estirado Soplado), Chipre, 2019.
- [6] S. Yan, G. Menary y J. Nixon, Una metodología novedosa para caracterizar el comportamiento constitutivo del tereftalato de polietileno para el proceso de estirado-soplado, Irlanda , 2017.
- [7] S. Gupta, V. Uday, A. Singh, S. Chowkshey, S. N. Das y S. Suresh, Simulación de moldeo por soplado con Ansys Polyflow, India, 2013.
- [8] D. Iguasnia y C. Torres, Aplicación de la tecnología CNC en la modelación de una matriz de soplado de plástico para la producción de botellas de 500ml como un aporte a la implementación del laboratorio de CAD-CAM de la escuela de ingeniería industrial, Riobamba, 2016.
- [9] E. O. Faletti, Tecnología de Fabricación, 2012. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/edfaletti/tecnologa-d-la-fabricacin>.

- [10] J. Linares, Comparativa de impresión 3D y mecanizado CNC, 29 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://sicnova3d.com/blog/comparativa-de-impresion-3d-y-mecanizado-cnc/>.
- [11] I. Sandoval, Fabricación aditiva aplicada a moldes prototipo de extrusión y soplado, 17 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.interempresas.net/Fabricacion-aditiva/Articulos/265960-Fabricacion-aditiva-aplicada-a-moldes-prototipo-de-extrusion-soplado.html>.
- [12] S. Sánchez, FDM o modelado por deposición fundida, 10 Octubre 2017. [En línea] Available: 3dnatives.com/es/modelado-por-deposición-fundida29072015.
- [13] F. López, E. Mendizábal y P. Ortega, Introducción a la ciencia de los polímeros, Guadalajara, 2015.
- [14] F. Díaz del Castillo, Conformado de materiales plásticos, Cuautitlán , 2012.
- [15] G. Water, Planta embotelladora, 5 Junio 2015. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Planta_embotelladora.
- [16] L. Fernandez, Nuestra historia TESALIA CBC, 2015. [En línea]. Available: <https://tesaliacbc.com/nuestra-historia/>.
- [17] S. P. P. System, “Manual de entrenamiento Sopladora SFR, Italia , 2013.
- [18] SIDEL, Manual de Uso y Mantenimiento de Sopladora SBO 12, Francia, 2010.
- [19] SIAPI, Manual de Operación y Mantenimiento EA20, Italia, 2010.
- [20] G. Mennig y K. Stoeckert, Mold-Making Handbook, Munich , 2012.
- [21] S. Belcher, Moldeo por soplado de polímeros, Cincinnati, 2015.
- [22] J. M. Fernández, Técnicas numéricas en ingeniería de fluidos, Barcelona : Reverté, S.A., 2012.

ANEXOS

ANEXO 1. Especificación técnica de la preforma 19 gramos

	ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	SMI-AC-R-048
	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE PRODUCTO	Versión: 01
	PREFORMA	Página : 1 de 4

DESCRIPCION:	PREFORMA 19 gr. CRISTAL
CODIGO SAP:	00190009300

I. DESCRIPCIÓN GENERAL:

Preforma de 19 gr. Color Cristal
 Producida con Resina PET, bajo estricto control de proceso.
 Tiene como acabado de finish el modelo PCO 1881.

II. CARACTERÍSTICAS GENERALES:

TIPO DE MATERIAL: Tereftalato de polietileno.

TIPO DE FINISH: PCO 1881

III. CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES:

	UNIDAD	VALOR	RANGO
ALTURAS			
Altura de Preforma	mm	96,50	± 0.50
(D) Altura de Boca al Aro de Enganche (F)	mm	11,20	± 0.20
(X) Altura del Aro de Soporte (J)	mm	17,00	± 0.25
DIÁMETROS			
(C) Diámetro Interno Superf. de Sellado (I)	mm	21,74	± 0.13
(F) Diámetro Externo Superf. Sellado (E)	mm	24,94	± 0.13
(T) Diámetro Externo de Rosca (T)	mm	27,40	± 0.13
(A) Diámetro Aro de Enganche (L)	mm	28,00	± 0.15
(Z) Diámetro Aro Soporte (M)	mm	33,00	± 0.15
(B) Diámetro Bajo Aro de Enganche (N)	mm	25,71	± 0.15
ESPEORES			
Cuerpo (Medido a 2 cm de fondo)	mm	2,30	± 0.13
Fondo (Medido a 1 mm punto iny)	mm	2,05	± 0.13
PESO	g	19,00	± 0.50

APROBACIONES	
JEFE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD	GERENCIA PRODUCCIÓN
Ing. J. Pilco	Ing. J. Arenas

	ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	SMI-AC-R-048
	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE PRODUCTO	Versión: 01
	PREFORMA	Página : 2 de 4

DESCRIPCION:	PREFORMA 19 gr. CRISTAL
CODIGO SAP:	00190009300

IV. CARACTERÍSTICAS DE APARIENCIA:

Forma libre de Imperfecciones de acuerdo al diseño del plano vigente.
 No presenta partículas extrañas, burbujas, marcas, manchas y suciedad.
 Cumple con los criterios de aceptabilidad definidos (AQL)
 No presentan opalescencia, ni periescencia ni nubosidad.
 Presentan marcas de identificación legibles.

V. EMPAQUE:

Sistema de embalaje de preformas sobre parhuelas de madera y cajas de cartón corrugado y/o metálica, sujetas con zunchos y cubiertas con stretch film de tal manera que protegen el envase contra el polvo y la humedad.

VI. ROTULADO:

De acuerdo al modelo de rotulado adjunto en el Anexo I

VII. ALMACENAMIENTO:

Los Cajas de Preformas PET son almacenados bajo techo, sin incidencia de los rayos solares, protegidos de la humedad y el polvo.
 Almacenamiento como máximo hasta 35°C a temperatura no constante con circulación de aire.

VIII. TRANSPORTE:

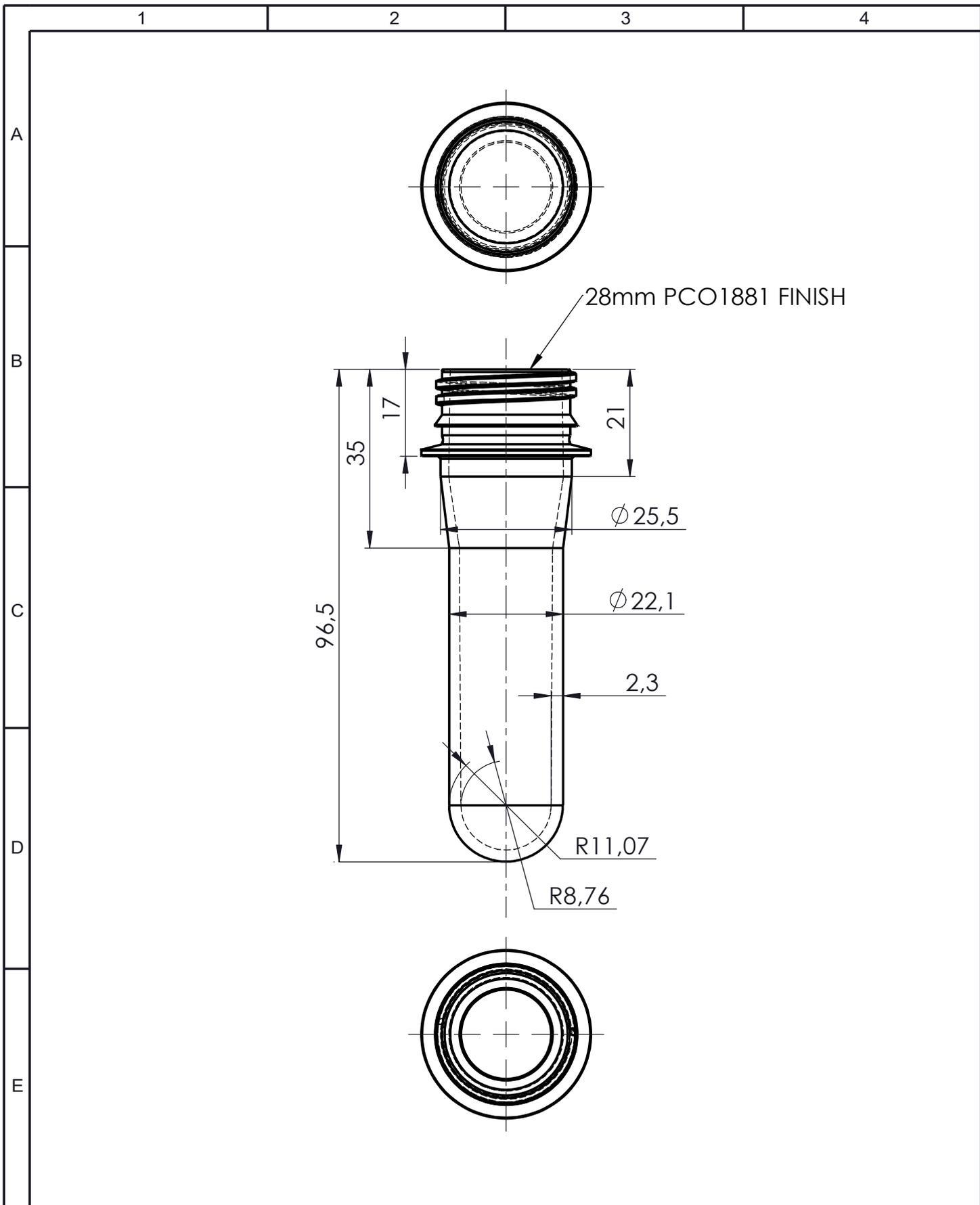
Las Cajas son acomodadas en las plataformas de camiones cerrados y ventilados adecuadamente con cuidado de no desgarrar el stretch film. El despacho se realizara evitando la incidencia de los rayos solares a las cajas de cartón corrugado.

IX. OTRAS CARACTERÍSTICAS:

TIEMPO DE VIDA DE LA PREFORMA:

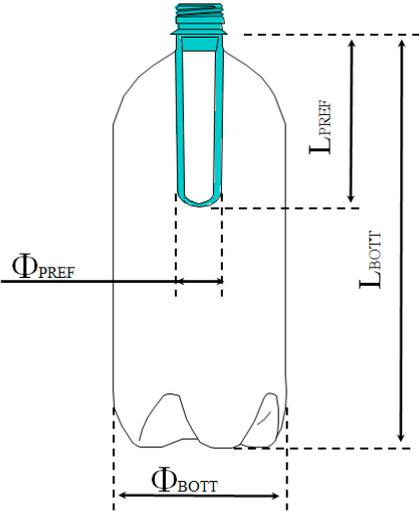
Hasta 6 meses a temperaturas no constantes y como máximo hasta 35°C. Para tiempos mayores, sujeto a pruebas de validación.

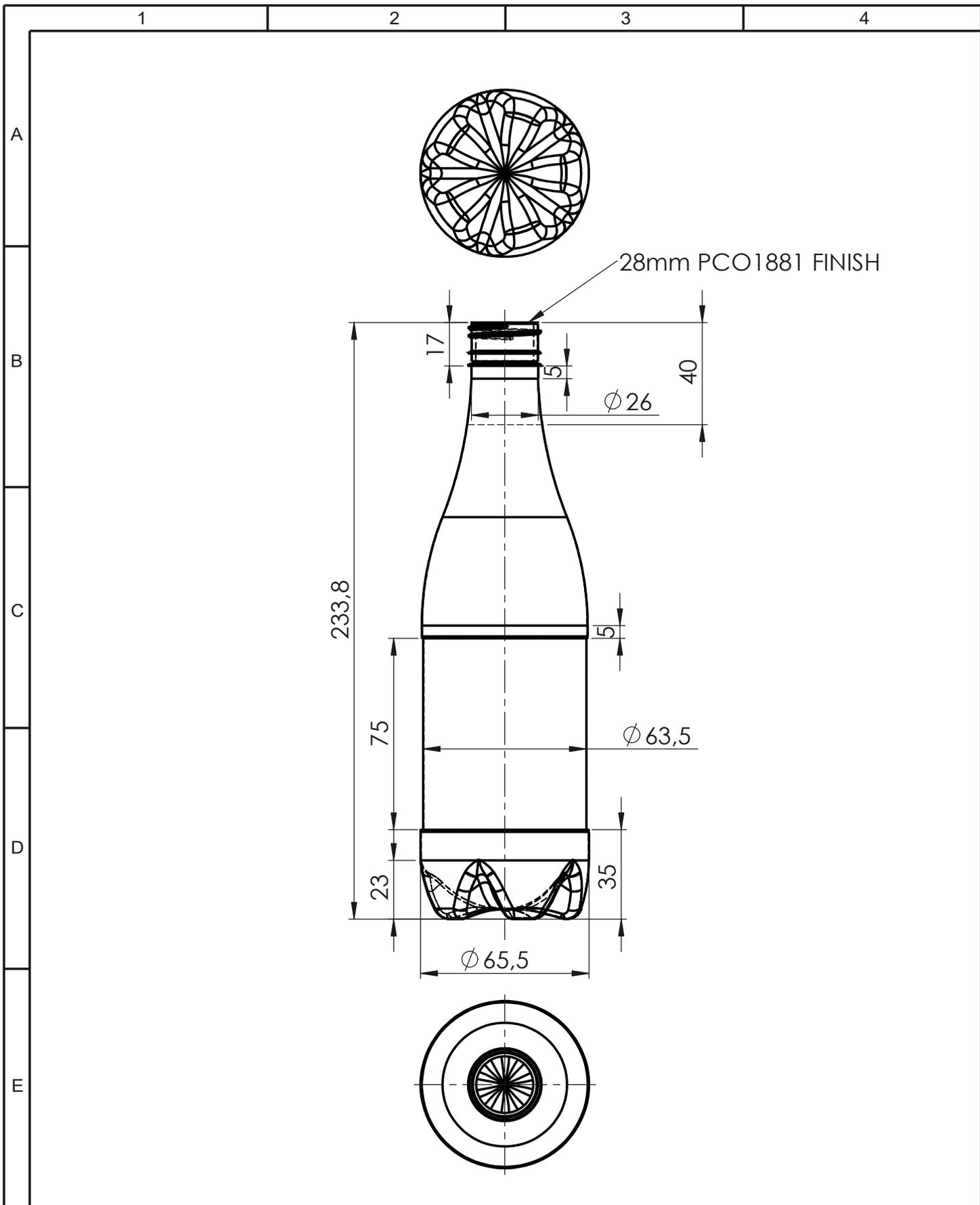
XI. ANEXO: Rotulado de Cajas



				TOLERANCIAS	PESO	MATERIAL:	
				± 0.13	19 g	PLÁSTICO PET (TEREFTALATO DE POLIETILENO)	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	Escala
				Dib. Nov-2020	Ing. Diego Yugsi	PREFORMA CRISTAL	1:1
				Rev. Nov-2020	Ing. Oscar Analuiza		
				Apro. Nov-2020	Ing. Oscar Analuiza		
				U.T.A MAESTRÍA EN MECÁNICA		N° DE LÁMINA:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			1 DE 2	

ANEXO 2. Especificación Técnica del Envase PET

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA - ENVASE PET 500 ml  THE TESALIA SPRINGS CO.		NOMBRE DEL PRODUCTO				DIÁMETRO FINISH (mm)				PUNTO DE LLENADO
		Agua mineral carbonatada 500 ml				EXTERNO		CUERDA		ml
		TIPO DE EMPAQUE				Máx	Mín	Máx	Mín	ml
		Envases PET 500ml				27,5	26,5	25,5	24,5	500
		PESOS SECCIONALES (g)				PORCENTAJE DE EXPANSIÓN				
ESQUEMA	RAZÓN DE ESTIRADO-SOPLADO	HOMBRO		CUERPO		BASE		135 psi CARB. 25 psi no CARB. x 13 seg		
	PREFORMA	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín			
	LONGITUD (mm)	DIÁMETRO (mm)	ESPESOR (mm)		HOMBRO		CUERPO		BASE	
	96,50±0,50 mm	27,40±0,13 mm	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín		
	ENVASE		0,35	0,25	0,3	0,2	0,3	0,2		
	LONGITUD (mm)	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (mm)		HOMBRO		CUERPO		BASE	
	233,80±1 mm	65,50±0,50 mm	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín		
			66	65	64	62,95	66	65		
	RAZON DE ESTIRO		ALTURA TOTAL H (mm)		PRESIÓN INTERNA psig		IMPACTO DE CAÍDA			
	λax	2,4 - 3,5	Máx	Mín	Máx	Mín	m			
	λrad	3 - 5	235	232,5	200	135	1.80			
λtot	7 - 15									
FORMATO RF-GCC-54										



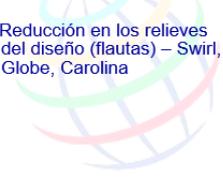
				TOLERANCIAS ± 0.5	PESO 19 g	MATERIAL: PLÁSTICO PET (TEREFTALATO DE POLIETILENO)	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: ENVASE 500 ml	Escala 1:2
			Dib.	Nov-2020	Ing. Diego Yugsi		
			Rev.	Nov-2020	Ing. Oscar Analuiza		
				Apro.	Nov-2020	Ing. Oscar Analuiza	
				U.T.A MAESTRÍA EN MECÁNICA		N° DE LÁMINA: 2 DE 2	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:	

ANEXO 3. Planta Embotelladora Norma NTC ISO 2859 – 2

	TEMA: PUNTOS DE CONTROL DEL PROCESOS		PÁGINA: 10
	LIBRO: MANUAL DE CALIDAD PI	SECCIÓN: INTRODUCCIÓN	FECHA DE VIGENCIA: Julio 30, 2005 REVISIÓN:

Empaque Primario Entrante

Tipo de empaque	Procedimiento	Punto de muestreo	Frecuencia
Todos los empaques	Comparar recepción con etiqueta del proveedor y orden de compra	Recepción	Cada lote
Botellas nuevas: - Vidrio - PET - PRB	Apariencia Peso Dimensiones Capacidad	Recepción	Cada lote, o muestreo reducido si está garantizado
Latas y tapas de lata	Apariencia Dimensiones Calificación del esmalte (y sulfato de cobre, si fuera necesario)	Recepción	Cada lote, o muestreo reducido si está garantizado
Coronas y tapas	Apariencia Dimensiones	Recepción	Cada lote, o muestreo reducido si está garantizado
Botellas PET y tapas	Estudio de retención de CO ₂	Sólo si es necesario	<ul style="list-style-type: none"> Cada proveedor Cualquier cambio de botella Para cada combinación de botella y tapa
Preformas PET	Peso Apariencia Dimensiones	Recepción	Cada lote, o muestreo reducido si está garantizado
Todos los empaques	Otros procedimientos, según sea necesario	Según sea necesario	Según la necesidad y desempeño pasado del empaque y proveedor

Cat.	Parámetro	Especificación	Razón/ Comentarios
A	Carga axial (No-Venteadas)	Ninguna botella < 17 kgs	Problemas de estabilidad
A	Estabilidad térmica	<p>Botellas con Contorno :</p> <p>1) Areas de Contacto, Alta y Baja Promedio: < 2.0% expansión sin lecturas individuales > 2.5%</p> <p>2) Cuerpo medio de la botella la expansión tiene que ser < 3.0% sin valores individuales > 3.5%</p> <p>Botellas de Pared Recta:</p> <p>1) Zona Alta, Media y Baja del cuerpo la expansión debe ser < 3.0% sin lecturas individuales > 3.5%</p> <p>Altura total:</p> <p>Incremento Total < 2.75% sin valores individuales > 3.0%</p>	 <p>Reducción en los relieves del diseño (flautas) – Swirl, Globe, Carolina</p>
A	Explosión	≥ 135 psi sostenida durante 13 seg	Agrietamiento
A	Agrietamiento por esfuerzos residuales	<p>≥ 1 L = ≥ 10 min</p> <p>< 1 L = ≥ 15 min</p> <p>en 0.2% NaOH sin fugas o fracturas en la base</p>	Problemas de seguridad
A*	Olor	Sin detección de olores extraños	Sensorial

*** Las Plantas Embotelladoras deben realizar estas pruebas determinar si los defectos mencionados arriba están presentes.**

[Slide 2](#)

Cat.	Parámetro	Especificación	Razón/ Comentarios.
A	Pérdida de CO ₂ (≤ 0.8 CO ₂ vols a 22°C)	<p>≥ 2.0 L = 12 semanas</p> <p>≥ 1.25 L to < 2.0 L = 10 semanas</p> <p>≥ 1.0 L to < 1.25 L = 9 semanas</p> <p>≥ 600ml to < 1.0 L = 7.5 semanas</p> <p>≥ 500mls to < 600 ml = 7 semanas</p> <p>* < 500 mls = 12 semanas</p> <p>(* = Autorización específica de franquicia)</p>	 <p>Impacto sensorial</p>
A	Perpendicularidad	< 3.8 mm (0.150")	Problemas de llenado
A*	Cuello estrangulado	Cuello estrangulado es inaceptable	Problemas de llenado y CO ₂
A*	Cuerda del acabado dañada	Daño en la cuerda es inaceptable	Problemas de CO ₂
A*	Pliegues en Cuello y Base	Pliegues son inaceptables	Problemas de CO ₂ y estabilidad
A*	Lineas marcadas al desmoldar	Lineas son inaceptables	Problemas de CO ₂
A*	Punto de inyección descentrado	+/- 3mm del centro max.	Problemas de estabilidad
A*	Coladas de preforma incompleta	No debe haber coladas incompletas	CO ₂ y agrietamiento

*** Las Plantas Embotelladoras deben realizar estas pruebas determinar si los defectos mencionados arriba están presentes.**

[Return](#)

ANEXO 4. Planta Embotelladora Norma NTC 4773

	TÍTULO: ESPECIFICACIONES PARA BOTELLAS	PÁGINA: 6-3
	MANUAL: ESTANDARES & ESPECIFICACIONES	SECCIÓN: EMPAQUE PRIMARIO

Especificaciones de Botellas (Vidrio, PET, PRB)

	Target / Rango de Aceptación	Test de Referencia
Apariencia	Apariencia uniforme y cumple los límites de defectos visuales	Inspección visual de Vidrio /PET/PRB TM404.009
Dimensiones	Según plano y tolerancias aprobados	Dimensiones de Empaque
Peso	Según plano y tolerancias aprobados	NA
Capacidad	Según plano y tolerancias aprobados	Capacidad a Altura de llenado

(Vea el Manual de Industria de Vidrio y PET ("Glass and PET Industry Handbook") para especificaciones y métodos de análisis adicionales)

Especificaciones de Botellas de Pet



Especificaciones de PI: Botellas de Pet

Tipo	Parámetro	Especificación	Motivo/ Comentarios
A*	Cuello estrangulado	Ninguno	Llenado y CO ₂
A*	Pétalos en forma de diamante	Ninguno	CO ₂ y agrietamiento
A*	Cuerda del acabado dañada	Ninguno	Bajo CO ₂
A*	Pliegues en cuello y en base	Ninguno	CO ₂ y menor estabilidad
A*	Lineas en la superficie de sellado	Ninguno	CO ₂
A*	Punto de inyección descentrado	+/- 3mm del centro	Menor estabilidad
A*	Pared cristalizada	Ninguno	Llenado y CO ₂
A*	Colada de preformas incompleta	Ninguno	CO ₂ & agrietamiento

*** La Embotelladora debe inspeccionar apariencia y determinar si hay defectos presentes.**

Especificaciones de Botellas de Pet



Especificaciones de PI: Botellas de Pet

Rank	Parameter	Specification	Rationale/Comments																																												
B*	Peso	$\leq 30 \text{ g} = \pm 0.3\text{g}$ $> 30 \text{ g a } \leq 50 \text{ g} = \pm 0.4\text{g}$ $> 50 \text{ g} = \pm 1\%$	Calidad y control de proceso																																												
B*	Capacidad a punto de llenado	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamaño:</th> <th>Tol. Indiv.</th> <th>Botella:</th> <th>Promedio de Tol.:</th> </tr> <tr> <td></td> <td>(+)</td> <td>(-)</td> <td>(+)</td> <td>(-)</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 500 ml</td> <td>8</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>$\geq 500 \text{ ml} < 600 \text{ ml}$</td> <td>8</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>$\geq 600 \text{ ml} < 1.0 \text{ L}$</td> <td>8</td> <td>6</td> <td>10</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>$\geq 1.0 \text{ L} < 1.25 \text{ L}$</td> <td>11</td> <td>6</td> <td>12</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>$\geq 1.25 \text{ L} < 1.5 \text{ L}$</td> <td>13</td> <td>7</td> <td>13</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>$\geq 1.5 \text{ L} < 2.0 \text{ L}$</td> <td>17</td> <td>9</td> <td>18</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>$\geq 2.0 \text{ L} \leq 2.25 \text{ L}$</td> <td>20</td> <td>11</td> <td>20</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Tamaño:	Tol. Indiv.	Botella:	Promedio de Tol.:		(+)	(-)	(+)	(-)	< 500 ml	8	6	7	0	$\geq 500 \text{ ml} < 600 \text{ ml}$	8	6	8	0	$\geq 600 \text{ ml} < 1.0 \text{ L}$	8	6	10	0	$\geq 1.0 \text{ L} < 1.25 \text{ L}$	11	6	12	0	$\geq 1.25 \text{ L} < 1.5 \text{ L}$	13	7	13	0	$\geq 1.5 \text{ L} < 2.0 \text{ L}$	17	9	18	0	$\geq 2.0 \text{ L} \leq 2.25 \text{ L}$	20	11	20	0	Calidad y control de proceso
Tamaño:	Tol. Indiv.	Botella:	Promedio de Tol.:																																												
	(+)	(-)	(+)	(-)																																											
< 500 ml	8	6	7	0																																											
$\geq 500 \text{ ml} < 600 \text{ ml}$	8	6	8	0																																											
$\geq 600 \text{ ml} < 1.0 \text{ L}$	8	6	10	0																																											
$\geq 1.0 \text{ L} < 1.25 \text{ L}$	11	6	12	0																																											
$\geq 1.25 \text{ L} < 1.5 \text{ L}$	13	7	13	0																																											
$\geq 1.5 \text{ L} < 2.0 \text{ L}$	17	9	18	0																																											
$\geq 2.0 \text{ L} \leq 2.25 \text{ L}$	20	11	20	0																																											
B*	Altura	$\pm 0.3\%$ de dimensión nominal	Calidad y control de proceso																																												
B*	Diámetro	$\pm 0.5\%$ de dimensión nominal	Calidad y control de proceso																																												
B	Espesor de pared	Indicado en el dibujo aprobado por PI	Calidad y control de proceso																																												
B	Pesos seccionales	Indicado en el dibujo aprobado por PI	Calidad y control de proceso																																												

Entrenamiento en Calidad al Embotellador: Julio 30, 2005

REVISADO: 30/Jul/05

Módulo 8, Pág. 16

Especificaciones de Botellas de Pet



Especificaciones de PI: Botellas de Pet

Tipo	Parámetro	Especificación	Motivo/ Comentarios
A	Carga vertical	Individual: $\geq 17 \text{ kg}$	Menor estabilidad
A	Estabilidad térmica	Promedio : $< 2.5\%$ de expansión Individual: reading $< 3.0\%$	Reducción de los relieves (flautas)
A	Explosión	$\geq 135 \text{ lb/plg}^2$ sostenido 13 seg	Seguridad del consumidor, agrietamiento
B	Impacto por caída	Botellas llenas almacenadas 24 h. a $5^\circ\text{C}/ 41^\circ\text{F}$ sin romperse al caer de 1.8 m/ 6 ft	Seguridad del consumidor
B	Caída del nivel de llenado	$\geq 1.5 \text{ L} < 34.0 \text{ mm}$ $1.0 \text{ L y } 1.25 \text{ L} < 25.0 \text{ mm}$ $< 1.0 \text{ L} < 20.0 \text{ mm}$	Control de proceso, calidad, imagen

Entrenamiento en Calidad al Embotellador: Julio 30, 2005

REVISADO: 30/Jul/05

Módulo 8, Pág. 17

ANEXO 5. Equipos para el Control de Calidad de Envases

Nº	EQUIPO	FOTOGRAFÍA	Nº	EQUIPO	FOTOGRAFÍA
1	Medidor de CO2 Mitutoyo		7	Equipo de Medición Espesor de pared de Envases OLYMPUS Magna-Mike 8600	
2	Balanza Electrónica Digital Boeco Germany		8	Cortador de Secciones Envases	
3	Medidor de Torque de Tapas Mitutoyo		9	Calibrador de Alturas Mitutoyo	
4	Medidor de Ozono Boeco Germany		10	Calibrador Pie de Rey Mitutoyo	
5	Equipo de Ensayo Presión Interna CIDMI LCS-25T-002 MPST				
6	Equipo de Ensayo Carga Vertical CIDMI				

ANEXO 6. Acero Bonificado Bohler V 155

BÖHLER V 155

Tipo de aleación: C 0.34 Si 0.30 Mn 0.50 Cr 1.50 Mo 0.20 Ni 1.50 %

Color de identificación: Blanco - verde
 Estado de suministro: Bonificado 800 - 1300 N/mm² (240 - 380 HB)
 Acabado: Laminado en caliente

Equivalencia	AISI: - 4340
	DIN: 34CrNiMo6
	No. Mat. 1.6582

PROPIEDADES:

Acero especial bonificado aleado al cromo - níquel - molibdeno especialmente apto para altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes, como tracción, torsión y flexión. Gracias a su contenido de molibdeno es insensible a la fragilidad del revenido. Su estado de suministro permite en la mayoría de los casos su aplicación sin necesidad de un tratamiento térmico adicional.

EMPLEO:

Para la fabricación de partes y piezas de mayores dimensiones como: aviones, maquinaria pesada, ejes para hélices, cigüeñales, barras de torsión, ejes de leva, ejes de bombas, pernos y tuercas de alta tensión, rodillos para transportadoras, vástagos y pines, brazos de dirección, ciertos engranajes sometidos a grandes esfuerzos, discos de embrague.

TRATAMIENTO TÉRMICO:

Forjado:	1050 - 850 °C
Recocido:	650 - 700 °C
enfriamiento lento en el horno (248 HB máx.)	
Normalizado:	850 - 880 °C
Distensionado:	500 °C
Temple:	830 - 860 °C
enfriamiento al aceite, baño de sal (180 - 220 °C)	
Dureza obtenible:	54 - 56 HRC
Revenido: ver en el diagrama de revenido las durezas obtenibles	540 - 680 °C
Nitruración: en baño de sal (tenifer)	580 °C

PROPIEDADES MECÁNICAS

Diámetro mm	Limite de fluencia N/mm ² min	Resistencia a la tracción N/mm ²	Elongación N/mm ² min.			Reducción de área N/mm ²			Resistencia al impacto (ISO-V) J min.		
			L	Q	T	L	Q	T	L	Q	T
≤ 16	1000	1200 - 1400	9	--	--	40	--	--	35	--	--
≤ 16 ≤ 40	900	1100 - 1300	10	--	--	45	--	--	45	--	--
≤ 40 ≤ 100	800	1000 - 1200	11	--	--	50	--	--	45	--	--
≤ 100 ≤ 160	700	900 - 1100	12	--	--	55	--	--	45	--	--
≤ 160 ≤ 250	600	800 - 950	13	--	--	55	--	--	45	--	--

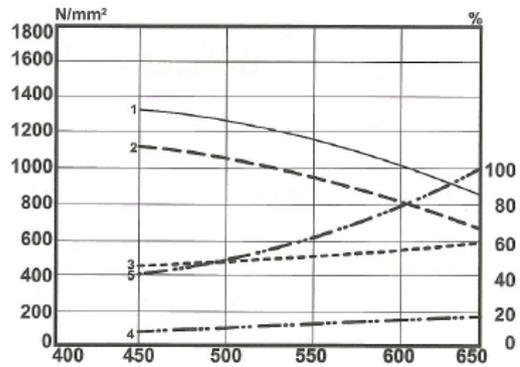
L: longitudinal
 Q: transversal
 T: tangencial

Los valores para otras dimensiones pueden ser establecidos por relación.

DIAGRAMA DE BONIFICACIÓN

- 1.- Resistencia a la tracción
- 2.- Límite de fluencia
- 3.- Reducción de área
- 4.- Elongación
- 5.- Resistencia al impacto

Temperatura de temple: 840°C
Sección: ø60 mm



SOLDADURA DE REPARACIÓN

Electrodo recomendado: UTP 6020 ó UTP 63

Precauciones:

Con UTP 6020

Pre calentamiento a 250 °C: después de soldar dejar enfriar uniforme y lentamente.
Si es necesario realizar un post-tratamiento térmico, este deberá realizarse a una temperatura de 550-600 °C.

Con UTP63

Ninguna

PRESENTACIÓN:*

REDONDO 	Desde:	Diámetro	19,05	mm
	Hasta:	Diámetro	500,00	mm

*: depende de disponibilidad

ANEXO 7. Acero Bohler A 604

BÖHLER A 604

Tipo de aleación: C 0.05 máx. Si 0.50 Mn 1.40 Cr 19.00 Ni 10.0 %

Color de identificación: Azul
 Estado de suministro: Apagado
 Acabado: Pulido H9

Equivalencia	AISI: 304
	DIN: X5CrNi18-10
	No. Mat. 1.4301

PROPIEDADES:

Acero inoxidable austenítico al cromo - níquel con bajo contenido de carbono. Resistente a la corrosión intercrystalina hasta 300 °C. Resiste al efecto corrosivo del medio ambiente, vapor, agua y ácidos, así como de soluciones alcalinas si se emplea con la superficie pulida espejo. Muy apropiado para embutir. Fácil mecanizado.

EMPLEO:

En las industrias alimenticias tales como la cervecera, lechera, azucarera, camaronera, donde las normas exigen el uso de acero inoxidable. Fábricas de jabones, ceras y grasas comestibles. Utensilios domésticos y de hotelería. Industria farmacéutica.

TRATAMIENTO TÉRMICO:

Forjado:	1050 – 750 °C
Apagar: al agua, espesor > 2 mm al aire.	1040 – 1100 °C

Los aceros austeníticos son susceptibles a endurecer durante el maquinado y presentar magnetismo. Por ello, las herramientas deberán estar perfectamente afiladas y firmemente sujetas. La profundidad de corte no debe ser muy pequeña.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Producto	Dimensiones mm	Límite de fluencia N/mm ²	Resistencia a la tracción N/mm ²
Barras	≥ 160	220	520
	> 160 ≤ 250		

SOLDADURA DE UNIÓN

Electrodo recomendado: UTP 308 L - 16, utilizar electrodos secos.

PRESENTACIÓN:*

REDONDO 	Desde:	Diámetro	6,4	mm
	Hasta:	Diámetro	250,00	mm

ANEXO 8. Duraluminio 7075



DURALUMINIO 7075

COMPOSICION QUIMICA			
Análisis típico en %	Zn	Mg	Cu
	6.0	2.4	1.6

PROPIEDADES

PROPIEDADES MECANICAS	ESPESOR EN MM	Valores mínimos			Valores típicos			
		Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	HBS
Los valores indicados en la tabla se han medido a ¼ de espesor	25<A≤76.2	560	510	5	590	540	10	190
	76.2<A≤127	550	500	4	580	530	6	185
	127<A≤152.4	540	490	2.5	570	520	4	185
	152.4<A≤203.2	525	480	1	555	510	2	180
	203.2<A≤254	505	460	1	535	490	1.5	180
	254<A≤305	470	435	0.5	510	470	1.5	175

*Nota: los valores indicados en la tabla se han medido de ¼ de espesor

PROPIEDADES FISICAS

PROPIEDADES FISICAS	
Peso específico kg/dm ³	2.83
Dilatación térmica entre (0-100°C)	23.7 10 ⁻⁶ /°C
Conductividad térmica (0-100°C)	153 (W/m °C)
Calor específico(0-100°C)	857 J/kg °C
Módulo de elasticidad	73.000 MPa
Módulo de compresión	73.000 MPa
Coefficiente de "Poisson"	0.33
Intervalo de fusión	475 – 630 °C

PROPIEDADES DE UTILIZACION		
Soldadura	Ajuste (MIG o TIG) Recarga(TIG)	Evitar Bueno
Mecanizado	Fragmentación de viruta Brillo superficial	Bueno Muy bueno
Anodización	De protección De brillo De dureza	Aceptable Evitar Muy bueno

APLICACIONES

Moldes para inyección y soplado de termoplásticos, porta-utillaje de corte, conjuntos mecánicos. Aplicaciones en termoformado. Fabricación de moldes para suelas de zapatos. Fabricación de repuestos mecánicos tales como poleas y piñones. Aplicaciones diversas en la industria aeronáutica.

TRATAMIENTO TERMICO

Los productos se entregarán después de completar su tratamiento térmico y dimensionado. Por tanto no es recomendado realizar nuevos tratamientos térmicos.

ANEXO 9. Acero Bholer M 238

BÖHLER M 238

Tipo de aleación: C 0.38 Si 0.30 Mn 1.50 Cr 2.00 Mo 0.20 Ni 1.10 %

Color de identificación: Azul - Verde - Blanco
 Estado de suministro: Bonificado 950 - 1100 N/mm² (280 - 320 HB)
 Acabado: IBO ECOMAX

Equivalencia	AISI: - P20 (mejorado)
	DIN: 40CrMnNiMo8-6-4
	No. Mat. 1.2738

PROPIEDADES:

Acero para moldes plásticos suministrado en estado bonificado (300 HB) el cual no disminuye la dureza del núcleo respecto a la superficie en espesores superiores a 400 mm debido a su aleación de níquel. Su tecnología de fundición ofrece una buena maquinabilidad y excelente pulido, ideal para ser nitrurado lo que mejora su resistencia al desgaste.

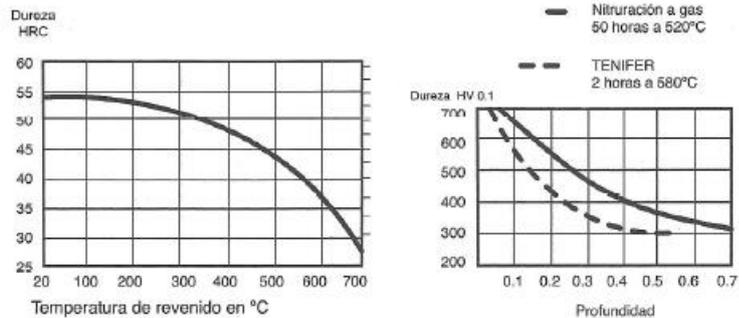
EMPLEO:

Para la fabricación de grandes moldes plásticos de espesores superiores a los 400 mm y almazones de moldes plásticos. Herramientas, componentes de maquinaria y repuestos en general.

TRATAMIENTO TÉRMICO:

Forjado:	1050 - 850 °C
Recocido:	720 - 740 °C
enfriamiento lento en el horno	
Distensionado:	aprox. 600 °C
Temple:	840 - 860 °C
enfriamiento en: aceite, baño de sales (180 - 200 °C).	
Dureza obtenible:	52 - 54 HRC
Revenido: ver en el diagrama de revenido las durezas obtenibles después del temple.	
Nitruración: ver en el diagrama de nitruración las profundidades obtenibles tanto en procesos con gases como en procesos con sales (Tenifer).	

Esquema de tratamiento térmico



SOLDADURA DE REPARACIÓN

Existe una tendencia general en los aceros de herramientas de fisurarse luego de procesos de soldadura. En caso de ser necesario puede utilizar:

Electrodos recomendables: UTP 65 - UTP 63

Pre calentamiento: 200 ° - 250°C

No es recomendable interrumpir la aplicación de soldadura una vez precalentada la pieza. El enfriamiento debe ser lento y uniforme

PRESENTACIÓN:*

 REDONDO	Desde:	Diámetro	25,50	mm
	Hasta:	Diámetro	302,50	mm

 LAMINA	Desde:	Espesor	25	mm
	Hasta:	Espesor	100	mm

ANEXO 10. Velocidades de Mecanizado para Fresadora

Velocidades de corte de la máquina fresadora

Material	Fresa de acero de alta velocidad (HSS)		Fresa de carburo	
	pie/min	m/min	pie/min	m/min
Acero Aleado	40-70	12-20	150-250	45-75
Aluminio	500-1000	150-300	1000-2000	300-600
Bronce	65-120	20-35	200-400	60-120
Hierro Fundido	50-80	15-25	125-200	40-60
Acero de Maquinado Libre	100-150	30-45	400-600	120-180
Acero para Maquinaria	70-100	21-30	150-250	45-75
Acero Inoxidable	30-80	10-25	100-300	30-90
Acero para Herramienta	60-70	18-20	125-200	40-60

Fuente: (KRAR, y otros, 2002)

Avance por diente recomendado (fresas de alta velocidad)

Material	Fresas de careado o refrentar		Fresas helicoidales		Fresas de ranurado y de corte lateral		Fresas frontales		Cortadores de formado de relieve		Sierras circulares	
	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm
Acero Aleado	.006	0,15	.005	0,12	.004	0,10	.003	0,07	.002	0,05	.002	0,05
Aluminio	.022	0,55	.018	0,45	.013	0,33	.011	0,28	.007	0,18	.005	0,13
Latón y Bronce (medio)	.014	0,35	.011	0,28	.008	0,20	.007	0,18	.004	0,10	.003	0,08
Hierro Fundido (medio)	.013	0,33	.010	0,25	.007	0,18	.007	0,18	.004	0,10	.003	0,08
Acero de maquinado libre	.012	0,30	.010	0,25	.007	0,17	.006	0,15	.004	0,10	.003	0,07
Acero para maquinaria	.012	0,30	.010	0,25	.007	0,18	.006	0,15	.004	0,10	.003	0,08
Acero inoxidable	.006	0,15	.005	0,13	.004	0,10	.003	0,08	.002	0,05	.002	0,05
Acero para herramienta (medio)	.010	0,25	.008	0,20	.006	0,15	.005	0,13	.003	0,08	.003	0,08

Fuente: (KRAR, y otros, 2002)

Avance recomendado por diente (fresas de carburo cementado)

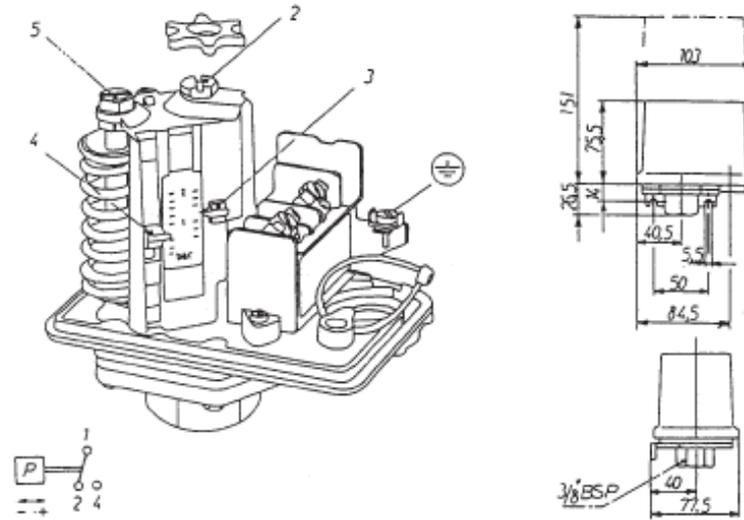
Avance recomendado por diente (fresas de carburo cementado)												
Material	Fresas de refrentar		Fresas helicoidales		Fresas de ranurado y de corte lateral		Fresas frontales		Cortadores de formado de relieves		Sierras circulares	
	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm
Aluminio	.020	0,50	.016	0,40	.012	0,30	.010	0,25	.006	0,15	.005	0,13
Latón y bronce (medio)	.012	0,30	.010	0,25	.007	0,18	.006	0,15	.004	0,10	.003	0,08
Hierro fundido (medio)	.016	0,40	.013	0,33	.010	0,25	.008	0,20	.005	0,13	.004	0,10
Acero para maquinaria	.016	0,40	.013	0,33	.009	0,23	.008	0,20	.005	0,13	.004	0,10
Acero inoxidable	.010	0,25	.008	0,20	.006	0,15	.005	0,13	.003	0,08	.003	0,08
Acero para herramienta (medio)	.014	0,35	.011	0,28	.008	0,20	.007	0,18	.004	0,10	.004	0,10

Fuente: (KRAR, y otros, 2002)

ANEXO 11. Registro de control del proceso de moldeo por soplado

CONTROL DE PROCESO DE SOPLADO													
Producto / Presentación	Agua Mineral con gas 500ml					Equipo			Sopladora SIAPI 20				
Preforma	19 gr Cristal San Miguel					Fecha							
Hora Inicio	7:00:00 A.M					Operador Turno 1							
Hora Final	7:00:00 A.M					Operador Turno 2							
PANEL DE CONTROL.	7:00	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	21:00	23:00	1:00	3:00	5:00	
Cadencia (bph)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	
Ventilación (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
Ventiladores (rpm)	1341	1341	1341	1341	1341	1341	1341	1341	1341	1341	1341	1341	
Temperatura de referencia homo (°C)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
Temperatura de homo (°C)	83,8	83,9	84,1	80,7	82,3	81,9	88,2	76,9	76,9	72,8	72,9	76,9	
Temperatura de preforma (90 - 105 °C)	97	97	97	97	97	97	97,4	97,8	97,4	97,8	97,8	97,8	
Corrección automática Δ %	-6	-10	-7	-4	-9	-6	3	2	3	2	3	2	
% Homo	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	
% Ventiladores	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Punto 0	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	
Punto 10	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	
Tiempo de presoplado (s)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,30	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
Tiempo de desgasificación (s)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Presión aire primario (10 - 15 Bar)	13,1	13,7	13,3	13,2	13,9	13,5	13,4	13,4	13,6	13,8	13,7	13,7	
Presión aire secundario (30 - 40 Bar)	37,1	37,8	37,1	36,7	37,9	36,8	37,8	37,6	36,4	37,6	37,4	37,7	
Caudalómetro (m3/h)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	
CHILLER FRIMEC MK60													
Temperatura ingreso de agua (8 - 15 °C)	10,7	10,8	10,7	10,6	10,4	10,6	10,9	10,8	10,8	10,6	10,8	10,8	
Temperatura Real (ΔT 3 °C)	11,5	11,3	11,9	11,7	11,8	11,1	11,6	11,7	11,9	11,9	11,4	11,6	
Presion Bomba H2O (3 - 5 Bar)	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,8	4,8	4,8	4,7	4,6	4,8	
CALIBRACIÓN													
			Formato adecuado		Correcto								
			Sincronismo pinzas		Correcto								
			Varilla de estiro		Correcto								
LIMPIEZA													
			Formatos		Correcto								
			Area de trabajo		Correcto								
PRODUCCION 1 TURNO				Unidades		22800		MERMA 1 TURNO					
A PRODUCIR				Unidades		22800							
PRODUCCION 2 TURNO				Unidades		22800		MERMA 2 TURNO					
A PRODUCIR				Unidades		22800							
OBSERVACIONES:													
Se valida el proceso de moldeo por soplado de envases PET 500ml con los datos tomados durante 24 horas de producción normal cada 2 horas.													

ANEXO 13. Presostato tipo "FF4"



Ajuste de la presión superior de disparo "Tomillo 2"
 Ajuste de la presión inferior de disparo "Tornillo 5"
 Taladro Pg13 con contratuerca para entrada de cables eléctricos

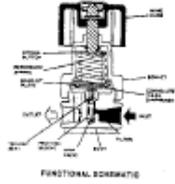
CAPACIDAD DE CONEXION

Tipo	FF4-2	FF4-4	FF4-8	FF4-16	FF4-32
Código	464010	464011	464013	464015	464017
Rango de la presión de conmutación superior :	0,11..2	0,22..4	0,5..8	1..16	2..32
Diferencial mínimo de presión de conmutación:	0,07	0,15	0,3	0,6	1,2
Presión de conmutación inferior más baja :	0,04	0,07	0,2	0,4	0,8
Presión de servicio admisible :	20	24	30	36	53
Intensidad nominal	AC1		16 A.		
	AC11 220 V		6 A.		
	AC12 380 V		4 A.		
	DC11 12 V		6 A.		
Clase de protección:			IP-65		
Temperatura ambiente			-20°C ... +70°C		
Temperatura del agente en el racor de presión:			máx. +70°C.		

AJUSTE DE LA PRESION DE DISPARO

Ajustar primero la presión de conmutación superior, mediante el tornillo de ajuste 2. Indicación por medio de aguja 3. Entonces ajustar la presión de conmutación inferior mediante el tornillo de ajuste 5, quedando sin cambiar la presión de conmutación superior.
 Indicación por medio de aguja. 4. Ajuste más preciso por comparación manométrica.

ANEXO 14. Manorreductor tipo “TESCOM”



Código	469704
Tipo	44-2214-241
Rango (bar)	238
Entrada (bar)	42
Salida regulable (bar)	0,2-35

FUNCIONAMIENTO

Girando la empuñadura en sentido horario se incrementa la presión de salida del Manorreductor. Análogamente, la rotación antihoraria unida a un venteo del aire contenido aguas abajo del Manorreductor, permite conseguir valores más reducidos de presión a la salida del Manorreductor.

PRECAUCION

Aunque el Manorreductor va provisto de un filtro interno, es muy recomendable un filtro aguas arriba, para proteger al Manorreductor de posible suciedad que pueda traer el aire, así como de la humedad, que puede provocar hielo en el Manorreductor.

PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Problema: La presión de regulación sigue aumentando a pesar de haber fijado una presión en la empuñadura del Manorreductor.

Solución: Sustituir el asiento de la válvula.

Problema: Fuga a través o alrededor de la esquina de la tapa.

Solución: La causa puede ser un insuficiente par de apriete de la tapa. Volver a apretar hasta aproximadamente 1 kgxm. Si persiste la fuga, desmontar el Manorreductor e inspeccionar si tiene marcas en el radio en el que el diafragma asienta sobre el cuerpo. Si está marcado, sustituir el cuerpo, sustituir el diafragma, y volver a montar el Manorreductor.

Problema: La presión de regulación cae bruscamente incluso cuando el flujo está dentro del rango del Manorreductor.

Solución: La causa puede ser una saturación del filtro de entrada. Sacar este filtro con un instrumento afilado e introducir uno nuevo a mano con un instrumento romo.

ANEXO 15. Procedimiento para la limpieza de los moldes de soplado

PROPOSITO

Realizar la limpieza programada de los moldes y garantizar la funcionalidad de sus partes mecánicas al realizar el montaje en la Sopladora.

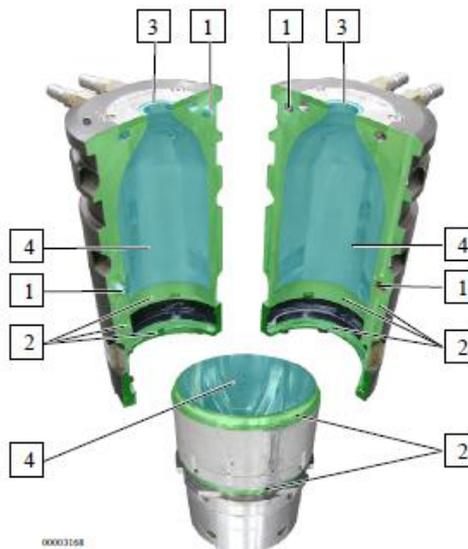
ALCANCE

Es aplicado a todas los moldes almacenados en planta Tesalia Machachi.

RESPONSABILIDADES

JEFE DE MANTENIMIENTO	Gestionar las actividades necesarias para realizar un adecuado mantenimiento de los moldes.
COORDINADORES DE MANTENIMIENTO	Verificar que todos los involucrados cumplan con la correcta limpieza, lubricación y cambio de partes desgastadas de los moldes.
TÉCNICOS DE MANTENIMIENTO	Ejecutar las actividades necesarias para garantizar el correcto funcionamiento de los moldes.

- Engrasar los peones, agujeros de centrado (1), los planos de junta (2) de los medios moldes y fondo de molde.



DESCRIPCIÓN

Antes de proceder a realizar el mantenimiento de los moldes se deben utilizar implementos de seguridad y herramientas necesarias para realizar un buen trabajo. Además se debe documentarse de información planos mecánicos, catálogos, para lograr un desarme lógico y concienzudo evitando roturas o métodos complicados de desmontaje.

Pasos:

- Alistar recipiente con líquido desengrasante, trapo no abrasivo limpio y seco, papel toalla, brasso y grasa blanca grado alimenticio.
- Limpiar los peones y agujeros de centrado (1) con un trapo no abrasivo previamente remojado con desengrasante.
- Limpiar los planos de junta (2) de los medios moldes y fondos de molde por medio de un trapo no abrasivo previamente remojado con desengrasante.
- Limpiar el anillo de centrado de preforma (3) por medio de un trapo no abrasivo previamente remojado con desengrasante s de la.
- Limpiar la cavidad (4) de los medios moldes y del fondo de molde por medio de un trapo no abrasivo previamente remojado con desengrasante
- Colocar una capa de brasso en las caras del molde y fondo de molde (4).
- Pulir con la ayuda de papel toalla las caras del molde y fondo de molde (4) hasta obtener una superficie pulida y brillante.

- Armar el molde, colocar la correa velcro y colocar en la respectiva percha.

ANEXO 16. Termostato serie A19



Master Catalog 125
 Temperature Controls Section A
 Product Bulletin A19
 Issue Date 0818

A19 Series Temperature Controls For Refrigeration With NEMA 1 Enclosure

Application

These controls are designed to cover a broad range of general purpose operating temperature control applications in the refrigeration, air conditioning and heating field with a minimum number of models. Typical applications are: frozen food cases, display cases, beverage coolers, milk coolers, walk-in boxes, water chillers, etc.

Various control ranges are available to cover working temperatures from -30 to 225°F (-35 to 105°C). Closed tank fittings and bulb wells are available for immersion applications.

Single-stage controls less enclosure and two-stage controls with or without enclosure also are available. Contact the nearest Johnson Controls office or contact

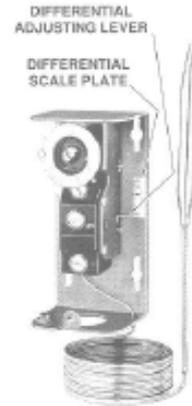


Fig. 1: Interior of an A19 with differential adjustment. Differential adjustment is concealed when cover is on control.

Specifications

Case Material	.062" (1.6mm) Cold Rolled Steel	
Conduit Opening	7/8" Diameter Hole for 1/2" Conduit	
Contact Unit	Snap-Acting Contacts in Dusttight Enclosure	
Cover Material	.025" (0.6mm) Cold Rolled Steel	
Finish	Gray Baked Enamel	
Shipping	Individual Pack	1 lb (0.45 kg)
Weight	Overpack of 50	55 lb (25 kg)
Terminal Screws	No. 6-32 x 1/4" Binder Head with Cup Washers	

Customer Service.

Range and Differential Specifications

Range F °C	Differential °C			Bulb Size In. mm	Max. Ambient °F (1) °C
	Adjustable	Standard (Fixed)	Close (Fixed)		
-30 to 50	5 to 20	5	2.5	.375 x 4	140
-35 to 10	2.8 to 11.1	2.8	1.4	9.5 x 102	60
-30 to 100	3 to 12	3	1.5	.375 x 4	140
-35 to 40	1.7 to 6.7	1.7	0.8	9.5 x 102	60
-20 to 60	5 to 20	5	2.5	.375 x 4	140
-6 to 15	2.8 to 11.2	2.8	1.4	9.4 x 102	60
20 to 80	3.5 to 14	3.5	1.75	.375 x 5	140
-5 to 28	1.9 to 7.8	1.9	0.97	9.5 x 127	60
25 to 225	7 to 28	7	3.5	.375 x 3	275
-3 to 105	3.9 to 15.6	3.9	1.9	9.5 x 76	135
30 to 50	4 to 16	4	2	.375 x 2.625	190
0 to 10	2.2 to 8.9	2.2	1.1	9.5 x 67	88
30 to 110	3.5 to 14	3.5	1.75	.375 x 5	140
0 to 43	1.9 to 7.8	1.9	0.97	9.5 x 127	60
40 to 90	3.5 to 14	3.5	1.75	.375 x 6	140
5 to 32	1.9 to 7.8	1.9	0.97	9.5 x 152	60
50 to 130	3.5 to 14	3.5	1.75	.375 x 5	170
10 to 55	1.9 to 7.8	1.9	0.97	9.5 x 127	77

(1) Maximum bulb temperature which the element can withstand at infrequent intervals during life of control, such as shipping conditions. This is not the temperature which the control can withstand on repeat cycles. Maximum ambient temperature around control case is 140°F (60°C).

All Series A19 temperature controls are designed for use only as operating controls. Where an operating control failure would result in personal injury and/or loss of property, it is the responsibility of the installer to add devices (safety, limit controls) or systems (alarm, supervisory systems) that protect against, or warn of, control failure.

⚠ WARNING

This product is made of a copper alloy, which contains lead. The product is therefore not to be used on drinking water.

ANEXO 17. Regulador de Flujo FQS DANFOSS



New perspectives with Danfoss Saginomiya FQS Flow Switches

APPLICATION, BENEFITS AND MAIN FEATURES

The FQS flow switches are of the paddle type for general fluid line applications.

The SPDT contact mechanism makes or breaks an electric circuit when flow starts or stops. The FQS flow switch can be used for any fluid compatible with copper alloy materials, which are the parts of the switch which come into contact with the fluid.

The electrical contact block is completely sealed from the fluid.

The paddle consists of three segments that can be removed or trimmed and fixed to the switch for use in pipes from 1" to 6" in diameter. The standard paddles are made of copper alloy. Stainless steel paddles are also available.



Reliable Flow Control

STANDARD MODELS

Code number	Type number	Approvals	Paddle size	Usable line size	Contact type	Max. fluid pressure MPa (bar)	Connection	IP value
061H4000	FQS-U30G	CE, UL	consists of 1", 2" & 3" paddles ⁽¹⁾	1" - 6"	SPDT	0.98 (10)	1" MPT (R1)	20
061H4005	FQS-W30G	CE						42

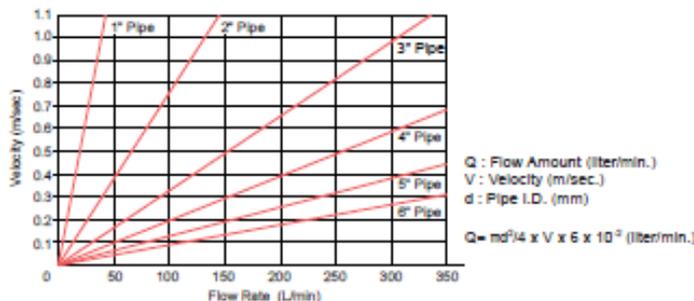
Model	Standard	
	125V AC	250V AC
Current (A)	3.5	2.5
Full Load Amp.	21	15
Locked Rotor Amp.	15	15

Ambient temperature: -25°C to 80°C
 Fluid temperature: 5 to 80°C
 Ambient humidity: FQS-U30G - 80%RH
 FQS-W30G - 95%RH
⁽¹⁾ 6" paddle (material: stainless steel) is available upon request

BENEFITS

- simple mounting and wiring
- fast and easy to adjust to different pipe sizes
- water-proof version available if required
- installation in vertical or horizontal position possible
- CE and UL approval
- SPDT contact system

FLOW AMOUNT - FLOW VELOCITY CHARACTERISTICS



REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING

APPLICATIONS

- chilled water applications for air-conditioning systems
- water flow control for heat pumps
- hot-water supply systems
- fire-sprinkler systems

ANEXO 18. Electroválvula TECHNOPLAN



Válvula de Presoplado (P1), Soplado (P2) y Recuperación (REC) para SIDEL Serie 2

1. Descripción

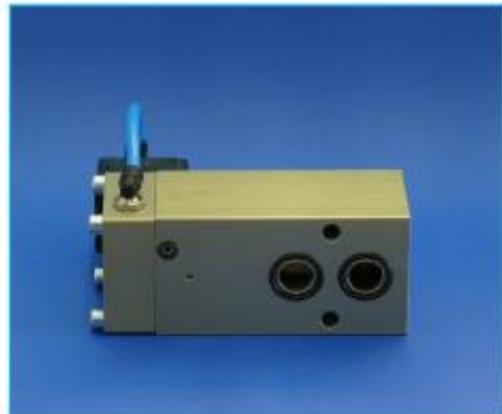
Esta robusta válvula está equipada con la última tecnología, y ha sido diseñada para reemplazar la válvula original de soplado Sidel Serie 2. Interfaces idénticas de los sistemas neumáticos y eléctricos permiten un montaje fácil y rápido sobre la base existente en la sopladora.

Reemplazo directo para las partes Sidel n° 00000114583/A.

2. Ventajas

- + Excelente repetibilidad: preciso y constante tiempo de respuesta, a lo largo de toda su vida útil.
- + Bajas pérdidas: menos de 20 NI/h (las válvulas de Sidel presentan pérdidas de más de 200 NI/h).
- + Larga vida útil (25 millones ciclos), con necesidades de mantenimiento considerablemente reducidas.

3. Imágenes

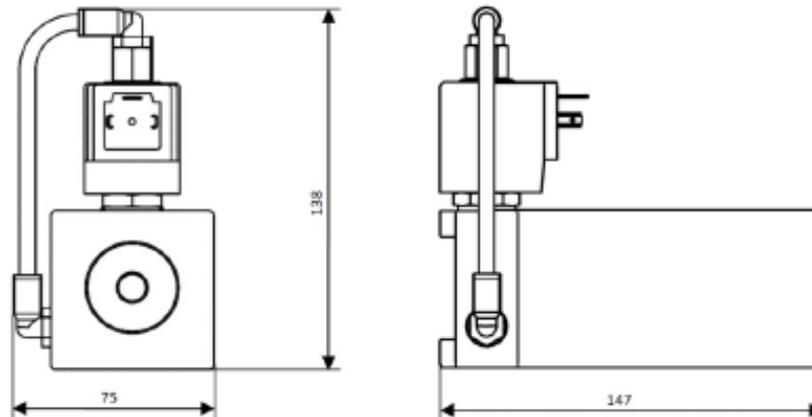


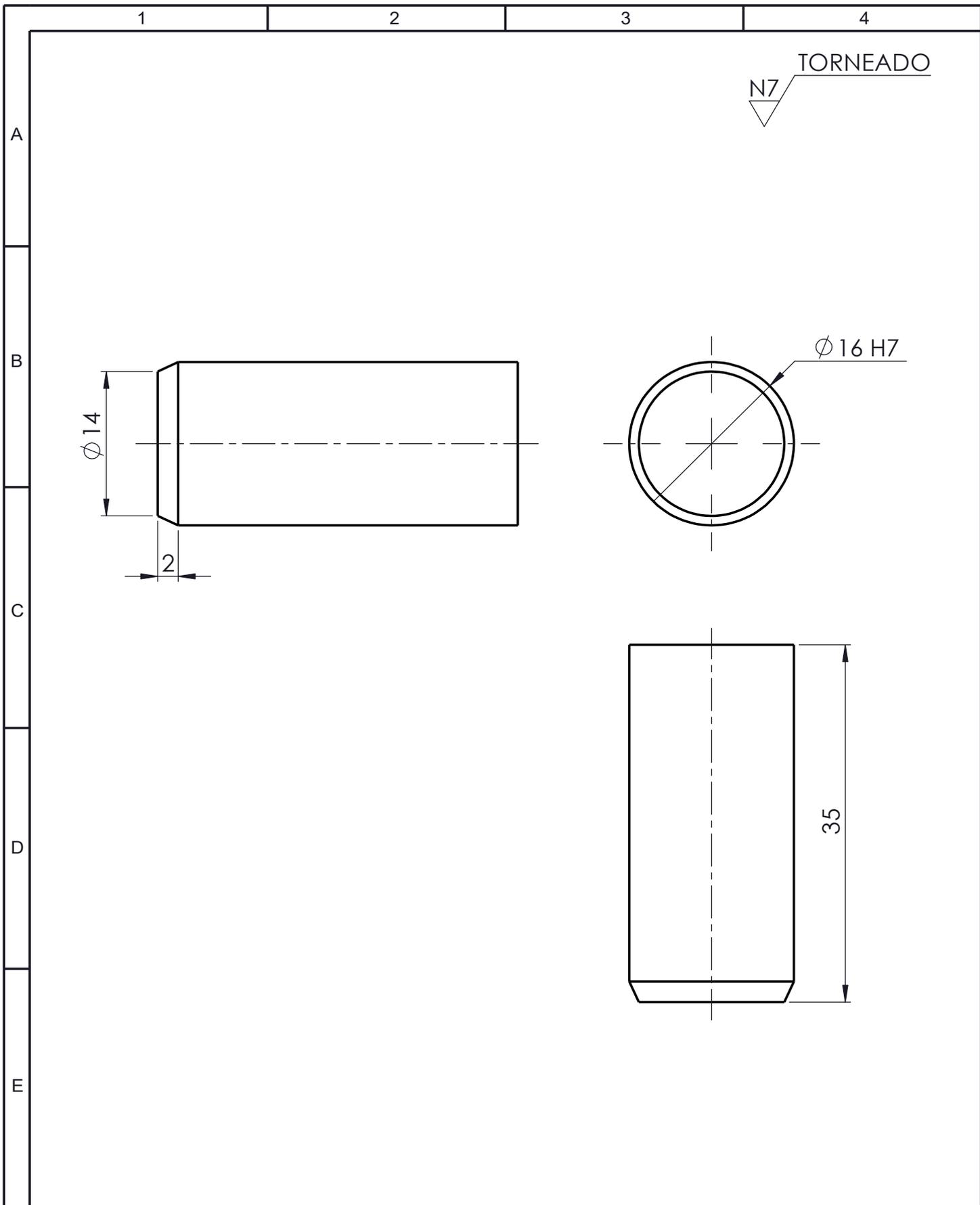
Technoplan Engineering SA - Chemin des Aux 16 - 1228 Plan-les-Ouates - Geneva - SWITZERLAND
info@technoplan.info - Tel. : +41 22 794 00 84 - Fax : +41 22 794 84 30 - www.technoplan.info

4. Información técnica

Referencia	V2VS2BVA
Función	2/2-way NC, (normalmente cerrada) con válvula de retención integrada
Presión de operación	4 - 40 bar
Presión piloto	6.2 bar \pm 0.2 bar
Diámetro del orificio	16 mm
Materiales	Cuerpo de la válvula: Aluminio recubierto Pistones: Plástico, con aprobaciones FDA Lubricante: aprobado por la FDA
Temperatura ambiente	+5° C - +55° C
Válvula piloto	24V DC, 9.7W, IP65
Medio	Aire comprimido según ISO 8573.1
Peso neto	1.7 kg
Kit de mantenimiento	Ver referencias en las instrucciones de mantenimiento

5. Dimensiones (mm)





				TOLERANCIAS	PESO	MATERIAL:	
				± 0.05	0.5 Kg	ACERO AISI 4340	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO: ANEXO 19. PLANO DE LOS BUJES
				Dib.	Nov-2020	Ing. Diego Yugsi	
				Rev.	Nov-2020	Ing. Oscar Analuiza	
				Apro.	Nov-2020	Ing. Oscar Analuiza	Escala 2:1
				U.T.A MAESTRÍA EN MECÁNICA		N° DE LÁMINA:	
						1 DE 8	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	SUSTITUCIÓN:			

1

2

3

4

N7 TORNEADO

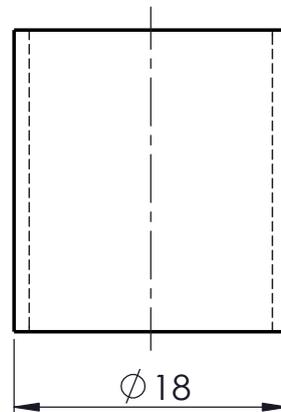
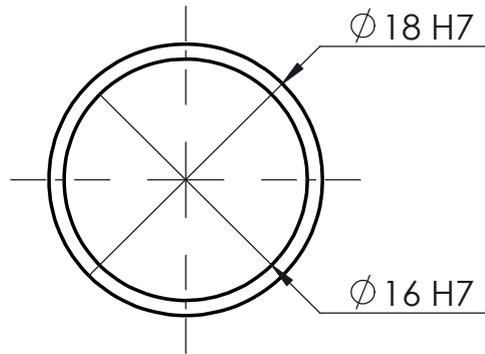
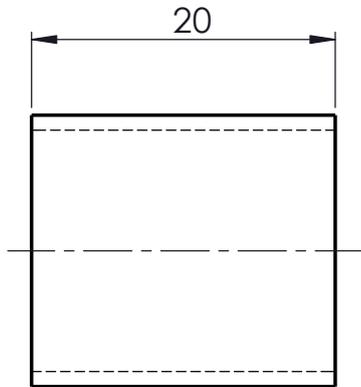
A

B

C

D

E



				TOLERANCIAS	PESO	MATERIAL:		
				± 0.05	0.5 Kg	ACERO AISI 4340		
						TÍTULO:	Escala 2:1	
				FECHA	NOMBRE			ANEXO 20. PLANO DE LAS GUÍAS
				Dib. Nov-2020	Ing. Diego Yugsi			
				Rev. Nov-2020	Ing. Oscar Analuiza			
				Apro. Nov-2020	Ing. Oscar Analuiza			
				U.T.A MAESTRÍA EN MECÁNICA		N° DE LÁMINA:		
						2 DE 8		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	SUSTITUCIÓN:				

1

2

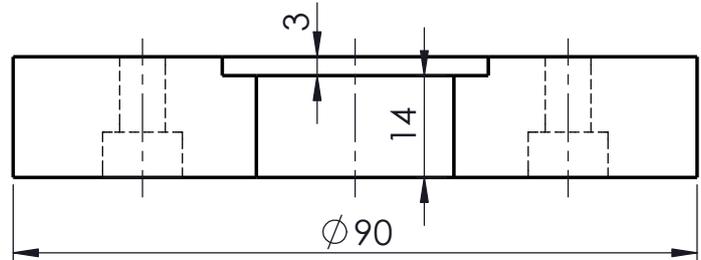
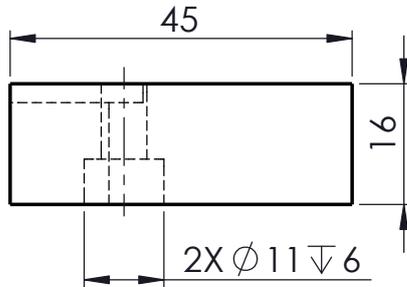
3

4

RECTIFICADO
N5

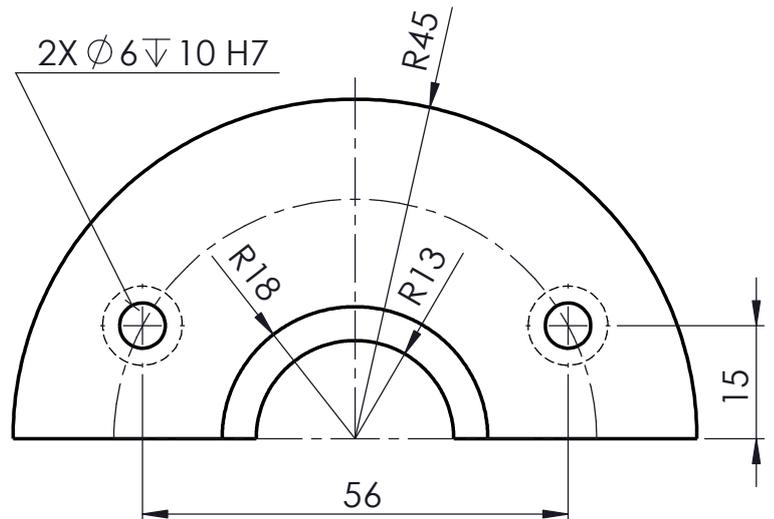
A

B



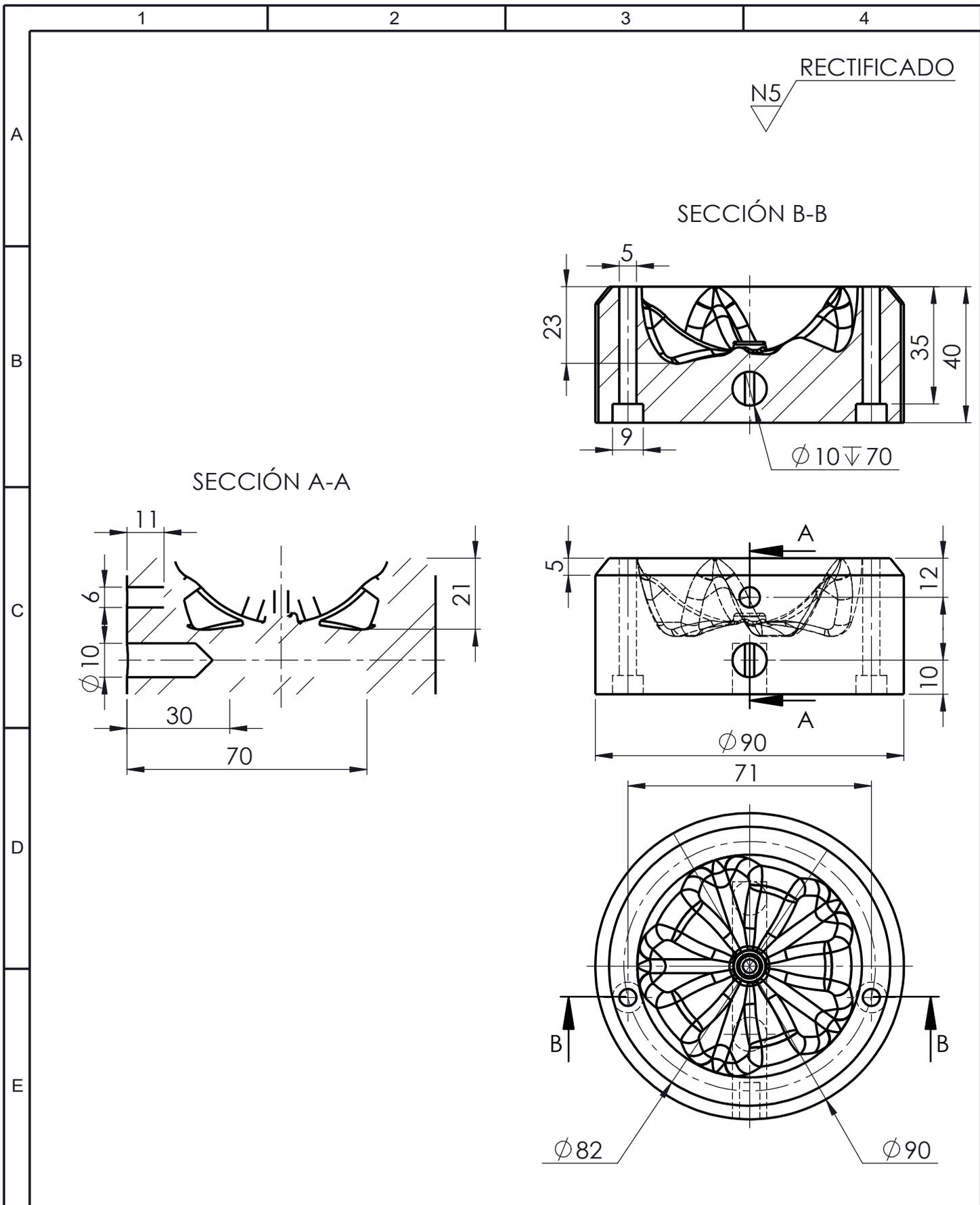
C

D

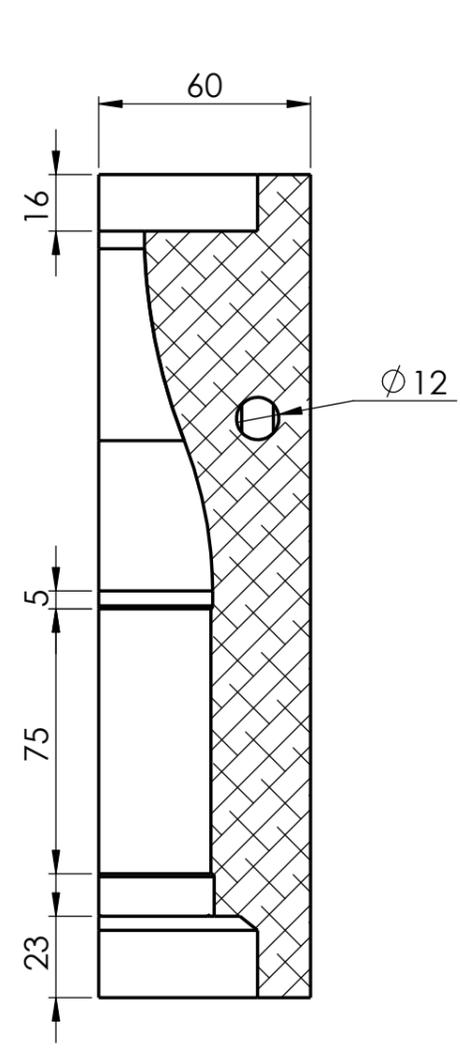
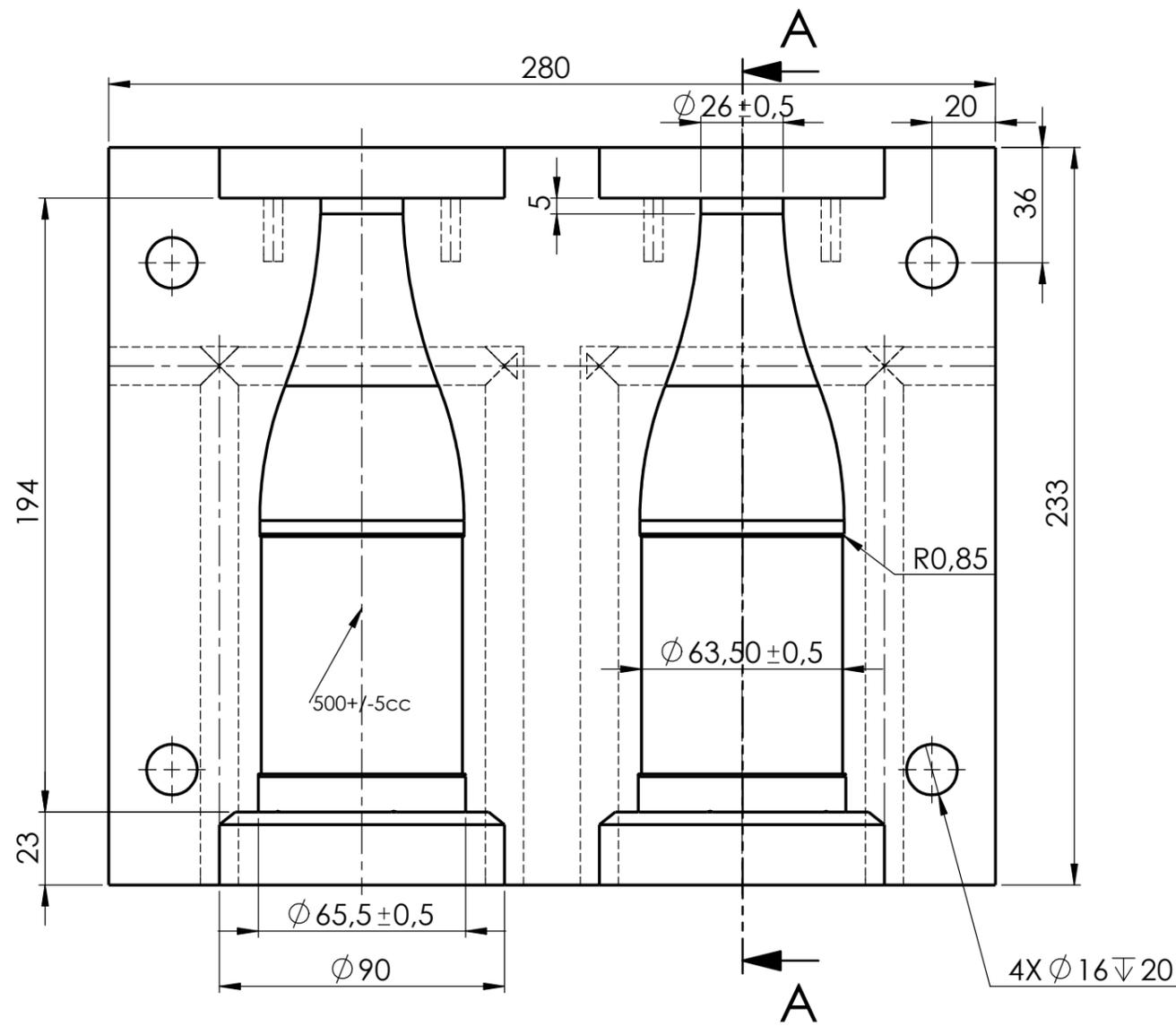


E

				TOLERANCIAS	PESO	MATERIAL:	
				± 0.05	1.5 Kg	ACERO AISI 304	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				Dib. Nov-2020	Ing. Diego Yugsi	ANEXO 21. PLANO DE LOS CUELLOS	
				Rev. Nov-2020	Ing. Oscar Analuiza		
				Apro. Nov-2020	Ing. Oscar Analuiza		
				U.T.A MAESTRÍA EN MECÁNICA		N° DE LÁMINA:	
						3 DE 8	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	SUSTITUCIÓN:		Escala 1:1	

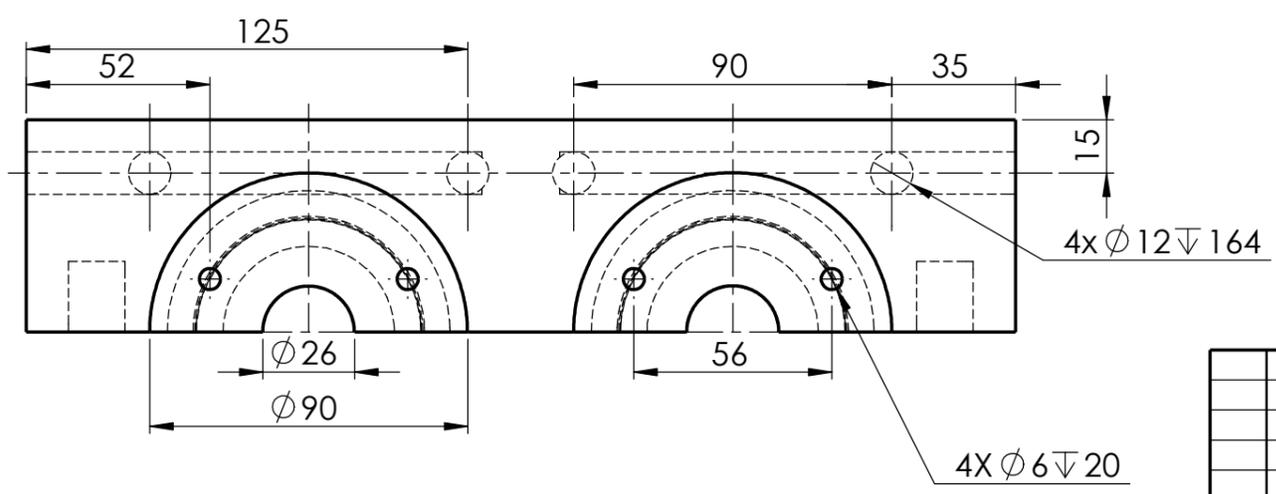


				TOLERANCIAS ± 0.05	PESO 2.9 Kg	MATERIAL: ACERO AISI 304	
						TÍTULO: ANEXO 22. PLANO DE LOS ASIENTOS	Escala 1:2
				FECHA	NOMBRE		
				Dib. Nov-2020	Ing. Diego Yugsi		
				Rev. Nov-2020	Ing. Oscar Analuiza		
				Apro. Nov-2020	Ing. Oscar Analuiza		
				U.T.A MAESTRÍA EN MECÁNICA		N° DE LÁMINA: 4 DE 8	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:	



RECTIFICADO
N5

SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2



TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
$\pm 0,05\text{mm}$		12.7 Kg		DURALUMINIO 7075	
FECHA:		NOMBRE:		TÍTULO:	
DIBUJÓ: NOV-2020		Ing. Diego Yugsi		ANEXO 23. PLANO DE LAS CAVIDADES	
REVISÓ: NOV-2020		Ing. Oscar Analuiza		ESCALA:	
APROBÓ: NOV-2020		Ing. Oscar Analuiza		1:2	
U.T.A.				N.º DE LÁMINA:	
MAESTRÍA EN MECÁNICA				5 DE 8	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	REGISTRO:	

1

2

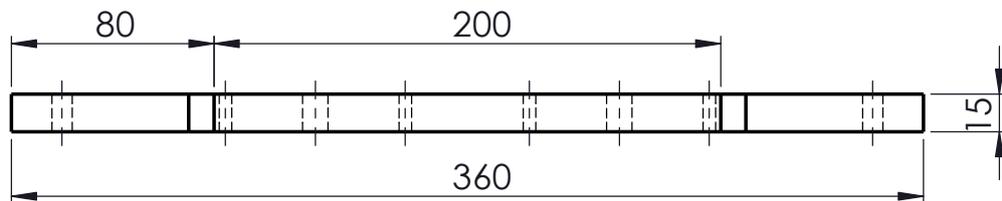
3

4

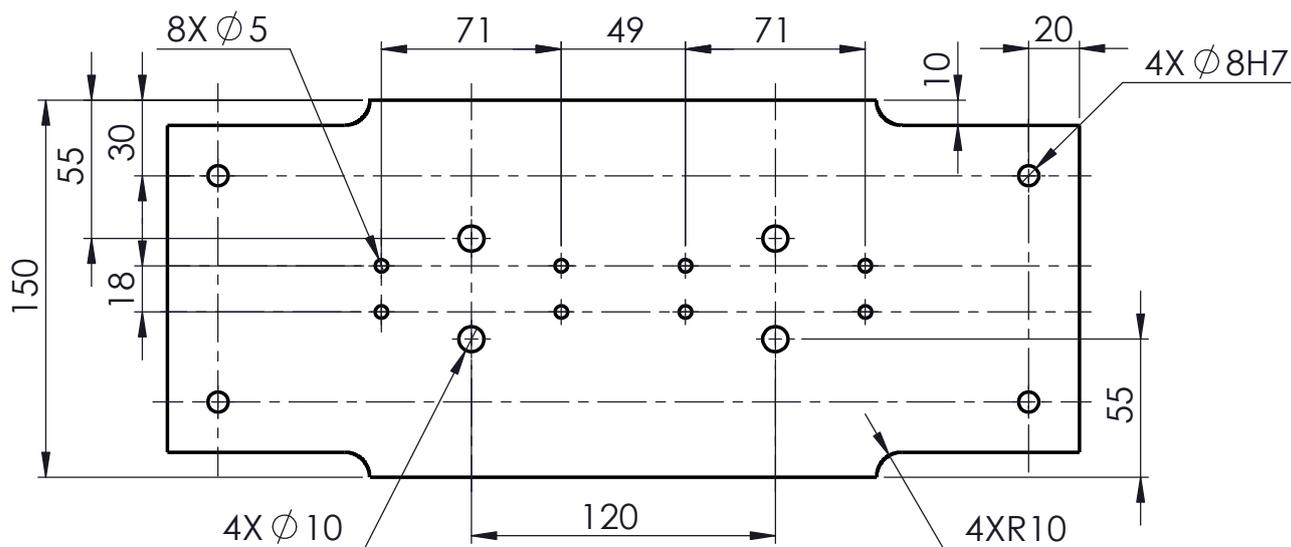
RECTIFICADO
N5

A

B



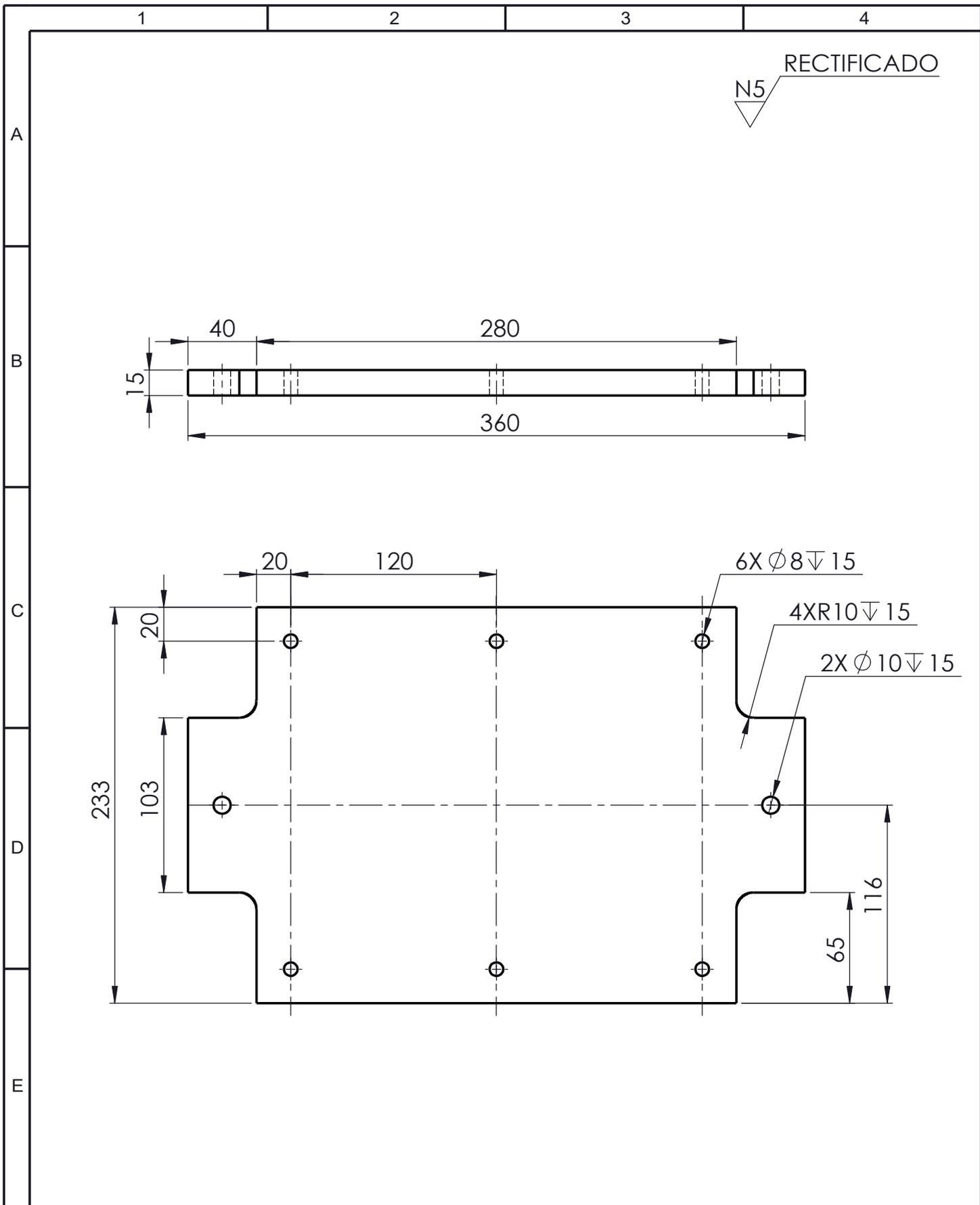
C



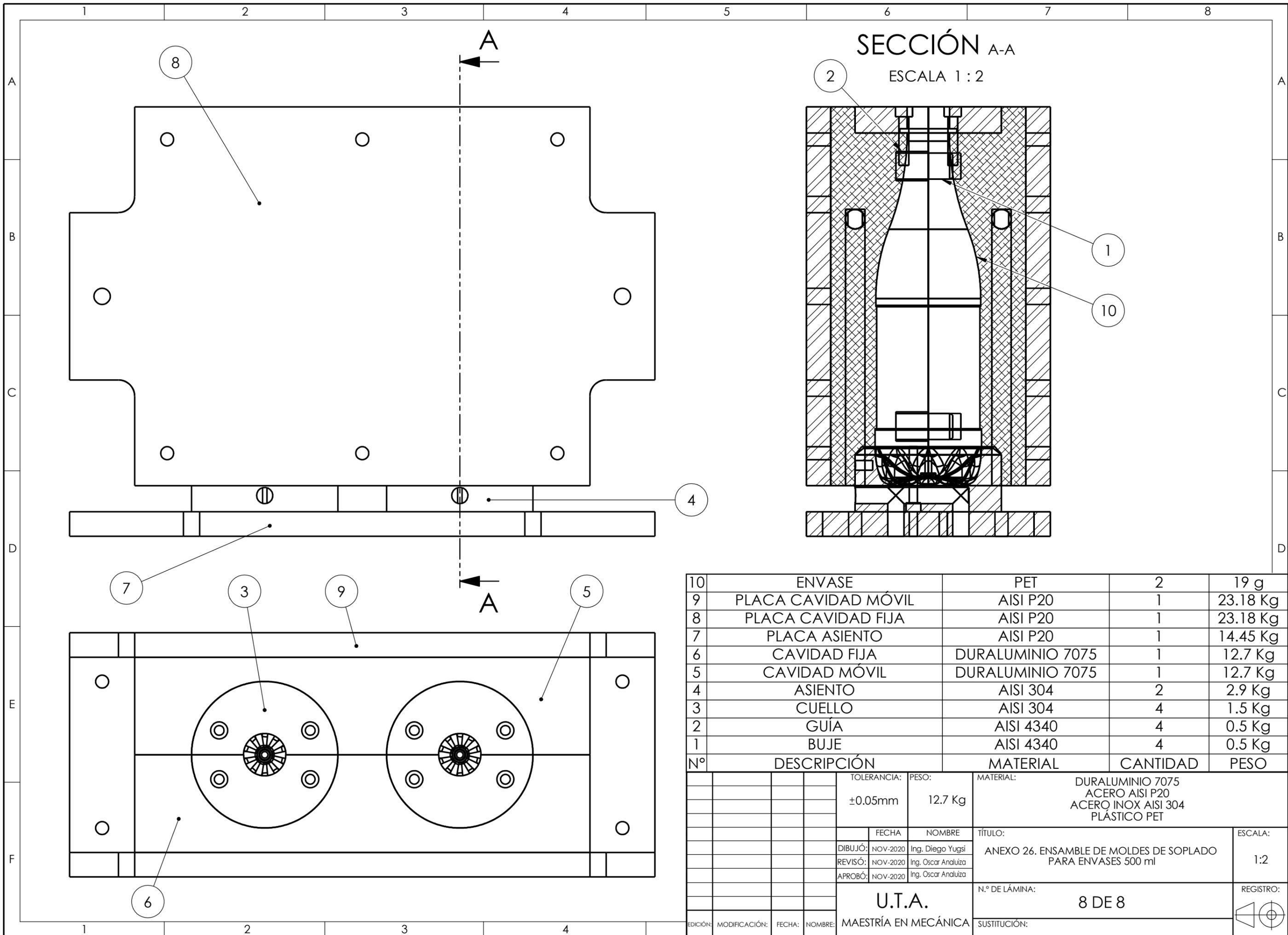
D

E

				TOLERANCIAS ± 0.05	PESO 14.45 Kg	MATERIAL: ACERO AISI P20	
						TÍTULO: ANEXO 24. PLANO DE LA PLACA PARA LOS ASIENTOS	Escala 1:2
				FECHA	NOMBRE		
				Dib. Nov-2020	Ing. Diego Yugsi		
				Rev. Nov-2020	Ing. Oscar Analuiza		
				Apro. Nov-2020	Ing. Oscar Analuiza		
				U.T.A MAESTRÍA EN MECÁNICA		N° DE LÁMINA: 6 DE 8	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:	



				TOLERANCIAS	PESO	MATERIAL:			
				± 0.05	23.18 Kg	ACERO AISI P20			
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	Escala		
				Dib. Nov-2020	Ing. Diego Yugsi			ANEXO 25. PLANO DE LA PLACA PARA LAS CAVIDADES	1:2
				Rev. Nov-2020	Ing. Oscar Analuiza				
				Apro. Nov-2020	Ing. Oscar Analuiza				
				U.T.A MAESTRÍA EN MECÁNICA		N° DE LÁMINA:			
						7 DE 8			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	SUSTITUCIÓN:					



SECCIÓN A-A

ESCALA 1 : 2

10	ENVASE	PET	2	19 g
9	PLACA CAVIDAD MÓVIL	ACERO AISI P20	1	23.18 Kg
8	PLACA CAVIDAD FIJA	ACERO AISI P20	1	23.18 Kg
7	PLACA ASIENTO	ACERO AISI P20	1	14.45 Kg
6	CAVIDAD FIJA	DURALUMINIO 7075	1	12.7 Kg
5	CAVIDAD MÓVIL	DURALUMINIO 7075	1	12.7 Kg
4	ASIENTO	ACERO AISI 304	2	2.9 Kg
3	CUELLO	ACERO AISI 304	4	1.5 Kg
2	GUÍA	ACERO AISI 4340	4	0.5 Kg
1	BUJE	ACERO AISI 4340	4	0.5 Kg
Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	PESO

TOLERANCIA: ±0.05mm		PESO: 12.7 Kg		MATERIAL: DURALUMINIO 7075 ACERO AISI P20 ACERO INOX AISI 304 PLÁSTICO PET	
FECHA: NOV-2020		NOMBRE: Ing. Diego Yugsi		TÍTULO: ANEXO 26. ENSAMBLE DE MOLDES DE SOPLADO PARA ENVASES 500 ml	
DIBUJÓ: NOV-2020		Ing. Oscar Analuiza		ESCALA: 1:2	
REVISÓ: NOV-2020		Ing. Oscar Analuiza		REGISTRO:	
APROBÓ: NOV-2020		Ing. Oscar Analuiza		N.º DE LÁMINA: 8 DE 8	
EDICIÓN:		MODIFICACIÓN:		FECHA:	
NOMBRE:		U.T.A.		SUSTITUCIÓN:	
		MAESTRÍA EN MECÁNICA			