

**SOPORTE COMPUTACIONAL PARA EL DISEÑO DE MOLDES
PARA INYECCIÓN DE PLÁSTICO**

TESIS



**MAESTRIA EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS DE MANUFACTURA**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY**

POR

FERNANDO PACHECO MUÑOZ

DICIEMBRE 1999

**SOPORTE COMPUTACIONAL PARA EL DISEÑO DE MOLDES
PARA INYECCIÓN DE PLÁSTICO**

POR

FERNANDO PACHECO MUÑOZ

TESIS

**Presentada a la División de Graduados e Investigación
Este trabajo es Requisito Parcial
Para obtener el Título de
Maestro en Ciencias**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE
MONTERREY**

DICIEMBRE 1995

DEDICATORIA

A mi esposa Aracely

A mis hijas Melisa y Michelle

A mis padres

A mis suegros

A mis amigos

RECONOCIMIENTOS

Gracias... a todas aquellas personas que me brindaron su amistad durante el tiempo de los estudios.

Gracias... a los verdaderos amigos que me acompañaron en las buenas, en las malas y las no tan malas.

Gracias... al Dr. Ahmed por su confianza incondicional.

Gracias... al Dr. Noel por la amistad, el apoyo, las oportunidades y enseñanzas que me brindó a lo largo de estos tres años.

Gracias... a Raimond Roca por su amistad y enseñanzas. Siendo en gran medida la inspiración para esta tesis.

Gracias... a Ernesto Tornel por su confianza y las oportunidades de desarrollo.

Gracias... a mis padres y a mis suegros por su apoyo y comprensión.

Gracias... a mi esposa Aracely por soportarme durante este tiempo, ayudarme y apoyarme enormemente brindándome su amor y su comprensión.

Gracias... a mis hijas por el simple hecho de estar ahí.

A todas las personas que creen en mí ¡ MIL gracias !

RESUMEN

La competencia en la industria de la transformación tanto nacional como internacional, obliga a las empresas a reducir sus tiempos de operación para lograr ser más competitivos y así permanecer en el mercado. La estrategia a seguir es procurar un alto estándar de calidad en todos sus procesos, tanto en la forma de administrar la empresa como mediante el uso sistemático de técnicas y herramientas que apoyen la toma de decisiones.

Al utilizar herramientas computacionales y establecer interfaces electrónicas durante las etapas importantes del diseño de un molde para inyección de plástico, se obtendrán diseños de mayor calidad, con una mejor planeación y logística. Dichas interfaces deben contener tanto conocimiento científico como empírico y convertirse en la base electrónica que permita que el proceso de diseño se torne más eficiente.

Se identificó la falta de estructuras de diseño para moldes de inyección de plástico, la falta de un soporte computacional que considere la automatización de los cálculos de los elementos clave. Se determinó que es necesario poner más énfasis en las estructuras de trabajo, así como hacer uso de las herramientas computacionales para obtener mayores beneficios en lo que respecta al área del diseño y que es necesario tener al alcance más y mejores herramientas que faciliten y reduzcan los tiempos de diseño. Se obtuvieron siete formatos electrónicos y una rutina de autolisp que integran y documentan el conocimiento sobre los elementos claves en el diseño de moldes para inyección de plástico.

CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
RECONOCIMIENTOS	v
RESUMEN	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE FIGURAS DE SIMULACIONES	xii
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Hipótesis	2
1.3 Objetivo	2
1.4 Metodología	3
Capítulo 2. Consideraciones iniciales	4
2.1 Modelación tridimensional	6
2.2 Materiales plásticos	7
2.3 Determinación de parámetros de procesado	13
2.4 Simulación inicial	14
2.5 Simulación #1	18
2.6 Simulación #2	27

Capítulo 3. Formatos electrónicos para diseño.	37
3.1 Cálculo del número de cavidades.	38
3.2 Cálculo del área general alrededor de la cavidad.	40
3.3 Sistema de alimentación.	46
3.4 Sistema de acondicionamiento de temperatura.	50
3.5 Sistema de expulsión.	55
3.6 Costeo de un molde.	59
Capítulo 4. Simulación de la cavidad.	66
4.1 Simulación Integral.	66
4.2 Simulación #3	68
4.3 Simulación #4.	73
4.4 Simulación #5.	80
4.5 Simulación #6.	86
4.6 La contracción como parte del diseño.	91
4.7 Moldes paramétricos.	102
Capítulo 5. Conclusiones.	106
BIBLIOGRAFÍA.	107
DIRECTORIO SOFTWARE.	111
VITA.	113

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de materiales cristalinos y amorfos.	8
Tabla 2. Identificación de materiales plásticos.	10
Tabla 3. Especificaciones para materiales plásticos.	11
Tabla 4. Relaciones para el cálculo del número de cavidades.	38
Tabla 5. Relaciones para el cálculo de la dimensión mínima para el molde.	43
Tabla 6. Cálculo de las dimensiones de las compuertas.	48
Tabla 7. Formulación del número de Reynolds.	51
Tabla 8. Relaciones para determinar la distancia mínima del sistema de temperatura.	52
Tabla 9. Parámetros de operación de resinas comerciales.	53
Tabla 10. Parámetros para el cálculo del número de expulsores.	55
Tabla 11. Relaciones para el cálculo del número de expulsores.	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Flecha y moldura.	3
Figura 2. Diagrama de flujo para el diseño de un molde para inyección de plástico.	5
Figura 3. Cubierta para flecha.	6
Figura 4. Cuadro de diálogo para la identificación de polímeros.	12
Figura 5. Disposición de puntos de inyección.	15
Figura 6. Cubierta de flecha con un punto de inyección.	16
Figura 7. Selección de resina y condiciones de procesado.	16
Figura 8. Formato electrónico para el cálculo del número de cavidades. . .	39
Figura 9. Factor de corrección.	40
Figura 10. Círculo de área equivalente.	41
Figura 11. Formato electrónico para el cálculo de la dimensión mínima de la cavidad.	44
Figura 12. Distribución de dos cavidades para cubierta de flecha.	45
Figura 13. Diagrama general de la posición del sistema de alimentación. .	46
Figura 14. Diseño de compuertas	47
Figura 15. Formato electrónico para el cálculo de corredores y compuertas.	49
Figura 16. Formato electrónico para el cálculo del acondicionamiento de temperatura.	54
Figura 17. Sistemas de expulsión	57
Figura 18. Formato electrónico para el cálculo de elementos de expulsión.	58
Figura 19. Costeo del molde.	60
Figura 20. Características físicas del molde y costo de maquinado.	62
Figura 21. Material para la construcción de un molde.	63
Figura 22. Análisis financiero de la pieza BINECH.	64
Figura 23. Estimación de costo por pieza	65
Figura 24. Geometría básica	67
Figura 25. Análisis de contracción utilizando redes neuronales.	92
Figura 26. Cambios dimensionales en función del tiempo	93

Figura 27. Magnitud de la contracción dependiendo de la dirección del flujo	94
Figura 28. Curvas PVT para polímeros amorfos y cristalinos.	95
Figura 29. Parámetros de procesado que afectan la contracción de piezas	96
Figura 30. Contracción diferencial para materiales cargados y sin carga	98
Figura 31. Modelo creado con Mechanical Desktop.	99
Figura 32. Análisis de proporción y posición de contracción.	100
Figura 33. Imagen de muestras moldeadas con tres materiales diferentes.	101
Figura 34. Placa fija portamolde DME.	103
Figura 35. Placa móvil portamolde DME.	104
Figura 36. Ensamble de un portamolde comercial DME.	104
Figura 37. Imágenes del molde de la flecha.	105

LISTA DE FIGURAS DE SIMULACIONES.

Figura S1-1. Frente de mezcla.	20
Figura S1-2. Presión.	21
Figura S1-3. Temperatura.	22
Figura S1-4. Enfriamiento.	23
Figura S1-5. Orientación de fibras.	24
Figura S1-6. Líneas de soldadura.	25
Figura S1-7. Puntos de venteo.	26
Figura S2-1. Frente de mezcla.	29
Figura S2-2. Presión.	30
Figura S2-3. Temperatura.	31
Figura S2-4. Enfriamiento.	32
Figura S2-5. Orientación de fibras.	33
Figura S2-6. Líneas de soldadura.	34
Figura S2-7. Puntos de venteo.	35
Figura S3-1. Enfriamiento.	70
Figura S3-2. Presión.	70
Figura S3-3. Temperatura.	71
Figura S3-4. Líneas de soldadura.	71
Figura S3-5. Orientación de fibras.	72
Figura S3-6. Puntos de venteo.	72
Figura S4-1. Frente de mezcla.	75
Figura S4-2. Presión.	75
Figura S4-3. Temperatura.	76
Figura S4-4. Enfriamiento.	76
Figura S4-5. Orientación de fibras.	77
Figura S4-6. Líneas de soldadura.	77
Figura S4-7. Puntos de venteo.	78

Figura S5-1. Frente de mezcla.	82
Figura S5-2. Presión.	82
Figura S5-3. Temperatura.	83
Figura S5-4. Enfriamiento.	83
Figura S5-5. Orientación de fibras.	84
Figura S5-6. Líneas de soldadura.	84
Figura S5-7. Puntos de venteo.	85
Figura S6-1. Frente de mezcla.	88
Figura S6-2 Temperatura.	88
Figura S6-3. Presión.	89
Figura S6-4. Orientación de fibras.	89
Figura S6-5. Líneas de soldadura.	90
Figura S6-6. Puntos de venteo.	90

Capítulo 1. Introducción.

1.1 ANTECEDENTES

Hoy en día la férrea competencia en la industria de la transformación tanto nacional como internacional, obliga a las empresas a reducir sus tiempos de operación para lograr ser más competitivos y así permanecer en el mercado [ED87]. La estrategia que han seguido las organizaciones importantes y que ha probado ser la solución, es procurar un alto estándar de calidad en todos sus procesos, tanto en la forma de administrar la empresa como mediante el uso sistemático de técnicas y herramientas que apoyen la toma de decisiones [ITP 89].

La globalización de los medios productivos es cada día más inminente, por lo que México ya no se debe conformar con ser proveedor de mano de obra barata y limitarse a ser una industria manufacturera (maquiladora) sino pasar a la siguiente fase que es el diseño de los productos y sus herramientas de producción. Por eso México debe adoptar nuevas tecnologías y estar al tanto de los desarrollos emergentes, que le permitan posicionarse en los mercados internacionales. Entre las industrias que más prometen, desde el punto de vista comercial y tecnológico, está la del plástico; pues ha estado en una constante revolución durante la última década, de manera que nadie tiene la antigüedad suficiente que normalmente reclama el monopolio del mercado.

La industria del plástico debe formarse una visión más globalizada tanto del proceso de diseño como de la manufactura y detectar e identificar las áreas que intervienen en el proceso productivo, para así eficientizarlo de manera adecuada. Ya que el diseño y la fabricación de un molde para inyección de plástico implican numerosos factores y del correcto control de estos, depende la calidad del producto final; por lo que es necesario un manejo adecuado de los diferentes condicionantes; creando un compromiso ventajoso entre calidad, tiempo de entrega y precio [On-time], obteniendo como resultado una mayor agilidad al poner nuevos productos plásticos en el mercado.

1.2 HIPOTESIS

Al utilizar herramientas computacionales y establecer interfaces electrónicas con la finalidad de simplificar el trabajo de los diseñadores, durante las etapas importantes del diseño de un molde para inyección de plástico, se obtendrán diseños de mayor calidad, con una mejor planeación y logística. Dichas interfaces deben contener tanto conocimiento científico como empírico y convertirse en la base electrónica que permita que el proceso de diseño se torne más eficiente.

1.3 OBJETIVOS

- I. Establecer la secuencia lógica del proceso y el flujo de información que afectan el diseño de un molde; buscando una correcta logística del proyecto en su totalidad.
- II. Crear una estructura electrónica como soporte computacional para determinar los elementos clave en el diseño de un molde para inyección de plástico, tales como: número de cavidades, dimensión mínima de soporte del molde, sistemas de alimentación, expulsión, enfriamiento y costeo.
- III. Establecer una relación entre sistemas CAD/CAE y herramientas de administración de información electrónica, propias y comerciales, al utilizarlos eficientemente para recopilar, calcular y obtener los parámetros necesarios para el diseño eficiente de moldes; permitiendo así agilizar el colocar nuevos productos plásticos en el mercado.

1.4 METODOLOGIA

Identificar las fases importantes durante el diseño y aquellas en las que se requiera un soporte computacional para hacer más eficiente dicha actividad.

Desarrollar formatos electrónicos como soporte computacional.

Validar los cálculos mediante la simulación del proceso de inyección.

Para ilustrar cada una de las diferentes etapas del diseño, se utilizan dos piezas plásticas: una cubierta para la flecha motriz de una lavadora y una moldura o vista para un archivero figura 1.

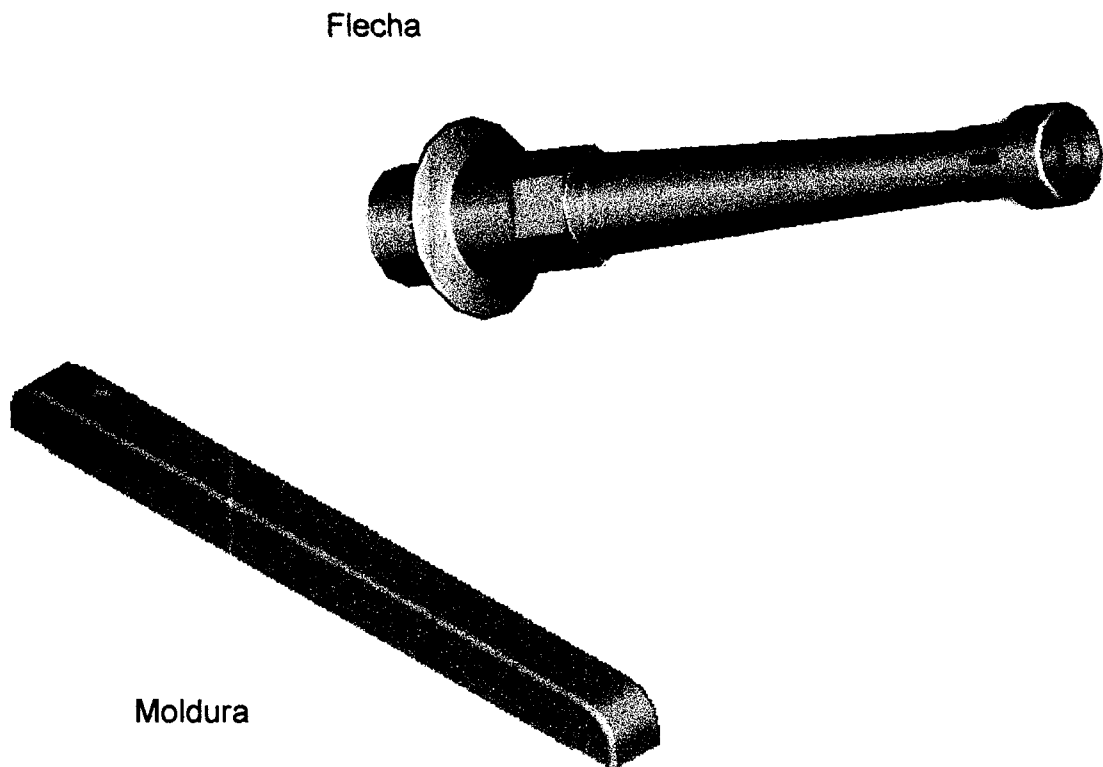


Figura 1. Flecha y Moldura.

Capítulo 2. Consideraciones Iniciales.

Las herramientas computacionales como el CAD/CAE proporcionan a los ingenieros la posibilidad de manejar casi cualquier proceso productivo; obteniendo cuantiosos beneficios en la productividad, la calidad, la reducción de tiempos y costos. El CAD/CAE es utilizado para el diseño de piezas y moldes, así como para la simulación de un proceso determinado, incluyendo el de inyección de plástico bajo condiciones de operación específicas.

En la industria plástica es necesario reconocer cómo se comporta el polímero seleccionado al momento en que se está procesando para identificar características tales como: patrones de llenado, líneas de soldadura, burbujas de aire atrapadas, orientación de las fibras y otros elementos utilizados para determinar su procesado óptimo [C-mold 97].

Las herramientas computacionales de diseño, que incluyen la facilidad de simulación, permiten visualizar lo que está ocurriendo durante el proceso y generan conocimiento tanto experimental como técnico que confirma si los parámetros elegidos son los adecuados y así proceder a su posterior aplicación. Mediante el uso de herramientas computacionales podemos optimizar el procesado, reducir los costos de operación y lo más importante, incrementar la calidad de los productos que se estén manufacturando. Con la vinculación del CAD y el CAE aumenta el beneficio esperado.

En la figura 2 se muestra el diagrama que representa la secuencia lógica de las fases durante el diseño de un molde. En esta secuencia se identifican las áreas más relevantes durante el proceso de diseño. Esta no es una secuencia lineal, sino mas bien acumulativa e iterativa, lo que significa que independientemente de la etapa en que se encuentre, existe la posibilidad de detectar elementos que sugieran un reproceso o cambio a los parámetros de fases anteriores, teniendo así una serie de subprocesos que se retroalimentan hasta que el sistema se estabiliza.

Se parte del supuesto de que se tiene el diseño para moldeo de una pieza, tanto desde el punto de vista estructural como de su manufactura, tal como se describe en la literatura [AA94] [JT98] [DS99]. Siendo esta la información de entrada que se requiere en la primera fase de la estructura. La modelación tridimensional de la pieza, la selección del polímero a utilizar es información inherente a la función de la parte plástica y los parámetros de procesado se determinan según el equipo de que se disponga para la inyección. A continuación se describe la importancia de cada una de estas áreas.

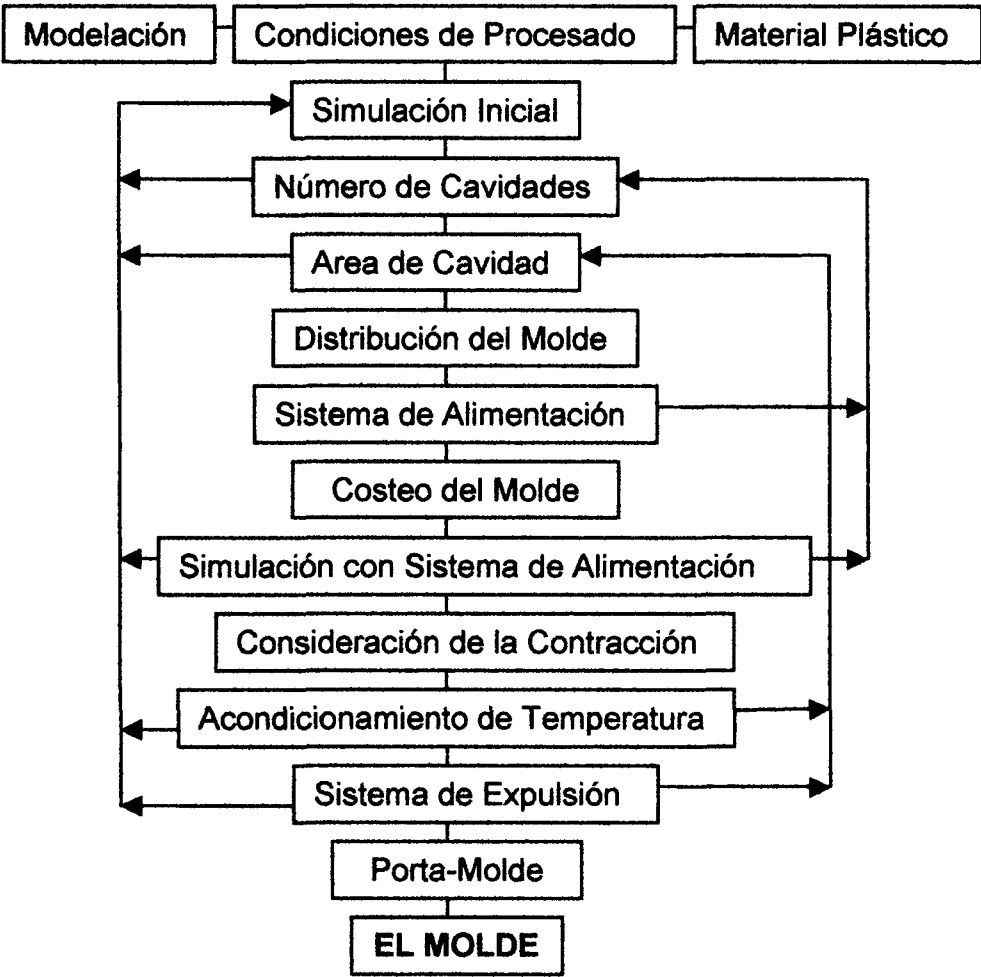


Figura 2. Diagrama de flujo para el diseño de un molde para inyección de plástico.

2.1 Modelación tridimensional.

Es necesario contar con un modelo electrónico CAD de la pieza para la que se desea diseñar el molde; dicho modelo debe ser el resultado de un análisis completo de moldeabilidad de la pieza (análisis que no se discute en este documento). Los modelos que se presentan a lo largo del documento fueron creados con Auto-CAD Mechanical Desktop.

En esta primera etapa se debe considerar al detalle la pieza incluyendo las dimensiones definitivas que el producto debe presentar.

En la figura 3 se muestra un ejemplo de modelación tridimensional, un componente cuya función es cubrir y proteger un elemento mecánico (flecha) para mantenerlo aislado de un ambiente húmedo.

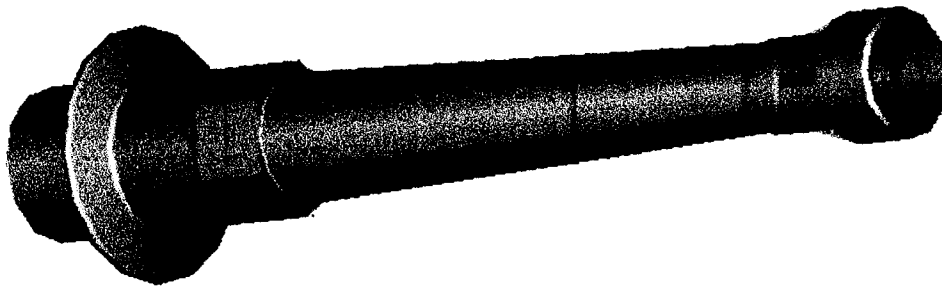


Figura 3. Cubierta para flecha.

2.2 Materiales plásticos

Es importante identificar el material plástico con el que se pretende trabajar, ya sea que se proporcione de manera escrita o se tenga que identificar a partir de una muestra física. El material se considera un elemento importante para la correcta simulación del proceso; además de que para un correcto diseño se deben conocer todas las características tanto físicas como químicas del polímero.

A continuación se describen algunos de los elementos más importantes a considerar cuando se trabaja en el diseño de una nueva pieza o de un molde.

Los polímeros se dividen en dos grandes categorías: los termoplásticos y los termosets. Los polímeros termoplásticos presentan grandes cadenas moleculares independientes las cuales pueden ser fundidas y solidificadas repetidas veces, por lo tanto son re-utilizables; en cambio los termosets reaccionan durante el procesado formando entrecruces estructurales que no pueden ser re-procesados [MB91]. Los polímeros termoplásticos se subdividen en cristalinos y amorfos dependiendo de su estructura molecular estas características se muestran en la tabla 1. Es importante establecer esta distinción ya que las resinas cristalinas se contraen más que las resinas amorfas (tema que se abordará posteriormente).

Amorfos	Cristalinos
Baja contracción	Alta contracción
Transparente	Opaco
Alto índice de fluidez	Bajo índice de fluidez
Bajo punto de reblandecimiento	Alto punto de fusión
Mala resistencia química.	Buena resistencia química
Flexible a altas temperaturas	Rígido a altas temperaturas
Bajas propiedades mecánicas.	Altas propiedades mecánicas
Ejemplos: PEI, PMMA, PC, ABS, PVC, PS, PPE-PPO, PETG y SAN.	Ejemplos: PA, PE-HD, PP, PE-LD, POM, PET, PPE-PPO y PBT.

Tabla 1. Propiedades de materiales cristalinos y amorfos [GI96].

Cada resina presenta diferentes propiedades mecánicas, térmicas y físicas, las cuales es importante conocer para un correcto procesado [MB91] y [MP97].

- Esfuerzo a la tensión y a la compresión.
- Temperatura máxima de operación.
- Resistencia a agentes químicos.
- Índice de fluidez (MFR).
- Densidad.
- Porcentaje de contracción.

Identificar estas características es de suma importancia cuando se trabaja en el diseño de una nueva pieza, ya que rigen los parámetros de operación y proporcionan un punto de comparación entre resinas; de esta forma se puede seleccionar la más adecuada dependiendo de la función para la que fue diseñada la pieza.

Cuando se desea clasificar una pieza se deben observar sus propiedades mecánicas, ópticas y físicas, además de su comportamiento al aplicar flama directa y así determinar a que familia de polímero pertenece.

En la tabla 2 se muestran estas características para resinas de uso general tanto termoplásticas como termosets y en la tabla 3 sus características básicas.

Para hacer más eficiente este modelo de clasificación de materiales y facilitar su utilización se desarrolló una rutina en Autolisp, la cual permite identificar el polímero de una manera rápida y eficiente.

En la figura 4 se muestra el cuadro de diálogo principal que da acceso a las diferentes características mostradas en la tabla 2; obteniendo como resultado el nombre general de la resina que cumple con dichas características tabla 3.

METODO PARA LA IDENTIFICACION DE LOS MATERIALES PLASTICOS

Tabla 2. Identificación de materiales plásticos.

						DENSIDAD				COMPORTAMIENTO AL CALOR										
PROPIEDADES MECANICAS			PROPIEDADES OPTICAS			FLOTAM		NO FLOTAM												
RIGIDOS	SEMI RIGIDOS	FLEXIBLES	TRANSPARENTE	TRANSLUCIDOS	OPACOS	EN AGUA	AGUA CON SAL	AGUA Y SAL CONCENTRADA	EN AGUA	SE INCIENDE EN		CONTINUA	SE AUTO EXTINGUE	COLOR		FUMOS		LA MUESTRA		
						DESFLADA	DISUELTA	DISUELTA	DESFLADA	FACIL	DIFFICIL	ARDE EN	EXTINGUE	AMARILLO	AZUL	BLANCOS	NEGRO HOLLIN	FUNDE	GOTEA	CARBONIZA
	POM			POM					POM	POM		POM			POM	POM			POM	
		EVA		EVA		EVA				EVA		EVA			EVA	EVA			EVA	
PMMA			PMMA					PMMA		PMMA		PMMA		PMMA		PMMA			PMMA	
	ABS			ABS			ABS			ABS		ABS			ABS		ABS	ABS		
	ABS-T		ABS-T				ABS-T			ABS-T		ABS-T			ABS-T		ABS-T	ABS-T		
		PVC-F		PVC-F				PVC-F					PVC-F		PVC-F		PVC-F	PVC-F		
		PVC-R		PVC-R					PVC-R	PVC-R			PVC-R		PVC-R		PVC-R	PVC-R		
SAN			SAN				SAN			SAN		SAN			SAN		SAN	SAN		
		SB		SB				SB				SB			SB		SB	SB		
		TPE			TPE	TPE				TPE		TPE			TPE		TPE		TPE	
MF					MF				MF		MF		MF			MF				MF
	PA-6			PA-6				PA-6			PA-6		PA-6		PA-6	PA-6			PA-6	
	PA-6,6			PA-6,6				PA-6,6			PA-6,6		PA-6,6		PA-6,6	PA-6,6			PA-6,6	
	PBT			PBT					PBT	PBT		PBT			PBT		PBT		PBT	
	PC		PC					PC			PC		PC		PC		PC	PC		
PS			PS				PS			PS		PS			PS		PS	PS		
	PS-M			PS-M			PS-M			PS-M		PS-M			PS-M		PS-M	PS-M		
	PS-AI			PS-AI			PS-AI			PS-AI		PS-AI			PS-AI		PS-AI	PS-AI		
EPS				EPS	EPS					EPS		EPS			EPS		EPS		EPS	
	PEAD			PEAD			PEAD			PEAD		PEAD			PEAD	PEAD			PEAD	
		PEBD		PEBD			PEBD			PEBD		PEBD			PEBD	PEBD			PEBD	
	HMV PE			HMV PE			HMV PE			HMV PE	HMV PE	HMV PE			HMV PE	HMV PE			HMV PE	
	PP			PP			PP			PP		PP			PP	PP			PP	
		PUR-F		PUR-F	PUR-F					PUR-F		PUR-F			PUR-F		PUR-F		PUR-F	
PUR-R				PUR-R	PUR-R					PUR-R		PUR-R			PUR-R		PUR-R		PUR-R	
		TPU		TPU					TPU	TPU		TPU			TPU		TPU		TPU	
EP			EP							EP		EP			EP		EP		EP	
PF				PF						PF		PF			PF		PF		PF	
UP			UP							UP	UP		UP			UP		UP		UP
	UP-FV			UP-FV					UP-FV	UP-FV		UP-FV			UP-FV		UP-FV		UP-FV	
		SI			SI				SI		SI		SI		SI		SI		SI	

MATERIALES PLASTICOS

PLASTICOS	SIGLAS	COLOR NATURAL	DENSIDAD	%CONT.	
			grs./cm. ³	MOLDEO	
POLI OXIMETILENO (ACETAL)(DELFIN)	POM	BLANCO	1.420	2.100	cris
ETIL ACETATO VINIL	EVA	TRANSPARENTE	0.937	0.900	
ACRILICO	PMMA	TRANSP. CRISTAL	1.150	0.450	amo
ACRONITRILU-BUTADIENO- ESTIRENO	ABS	ANARANJADO	1.045	0.550	amo
ABS-TRANSPARENTE	ABS-T	HUMO	1.080	0.550	amo
CLORURO DE POLIVINILO FLEXIBLE	PVC-F	ROSA TRANSP.	1.255	0.500	amo
CLORURO DE POLIVINILO RIGIDO	PVC-R	AZUL R. TRANSP.	1.440	0.500	amo
ESTIRENO ACRONITRILU	SAN	AZUL R. TRANSP.	1.085	0.600	amo
ESTIRENO BUTADIENA	SB	ROJO TRANSP.	1.015	0.300	
HULE TERMOPLASTICO OLEFINICO	TPE	AMARILLO PAJA	0.960	1.250	
MELAMIN	MF		1.495	1.600	
POLIAMIDA (NYLON 6)	PA-6	CAFÉ	1.130	1.350	cris
POLIAMIDA (NYLON 6.6)	PA-6.6	NEGRO	1.140	1.500	cris
POLIBUTINEL TEREFALATO	PBT	CREMA	1.345	2.000	cris
POLICARBONATO	PC	VERDE TRANSP.	1.200	0.800	amo
POLUESTIRENO CRISTAL	PS	AMBAR	1.065	0.450	amo
POLUESTIRENO MEDIO IMPACTO	PS-MI	AZUL R. TRANSP.	1.070	0.550	amo
POLUESTIRENO ALTO IMPACTO	PS-AI	VERDE TRANSP.	1.070	0.550	amo
POLUESTIRENO EXPANSIBLE	EPS	BLANCO	0.056	VAR	
POLUESTIRENO ALTA DENSIDAD	PEAD	ROJO TRANSP.	0.953	2.250	cris
POLUESTIRENO BAJA DENSIDAD	PEBD	GRIS	0.918	3.250	cris
POLIETILENO ALTO PESO MOLECULAR	HMWPE	BLANCO	0.960	2.250	
POLIPROPILENO	PP	AMARILLO	0.905	1.750	cris
POLIURETANO ESPUMA FLEXIBLE	PUR-F	GRIS	0.038	VAR	
POLIURETANO ESPUMA RIGIDA	PUR-R	VERDE OBS.	0.060	VAR	
POLIURETANO TERMOPLASTICO	TPU	NEGRO MATE	1.150	0.900	
RESINA EPOXI	EPS		1.800	0.200	
RESINA FENOLICA	PF		1.275	1.200	
RESINA POLIESTER CRISTAL	UP	AMARILLO TRANS.	1.250	0.650	
RESINA POLIESTER+FIBRA DE VIDRIO	UP-FV	ROJO	1.800	0.700	
SILICON	SI	BLANCO	1.245	0.350	

Tabla 3. Especificación para materiales plásticos.

Identificación de Polímeros

Selecciona una opción en cada casilla

Características Físicas

Propiedades Mecánicas: Rígido

Propiedades Ópticas: Transparente

Densidad: Flota en agua destilada

Comportamiento al Calor

Flamabilidad: Fácilmente

Combustión: Continua ardiendo

Color e la flama: Amarillo

Humo: Blanco

La muestra: Funde

OK Cancel

Figura 4. Cuadro de diálogo para la identificación de polímeros.

Una vez que se determina la familia a la que pertenece el material a utilizar, se procede a recolectar información más específica del mismo; pues aún dentro de la misma familia los materiales tienen diferentes propiedades de procesamiento [MM90]. Para recolectar esta información se pueden utilizar bases de datos tanto públicas como privadas, como la disponible a través de la página de Internet www.freemds.com en donde se encuentran listadas las especificaciones de la mayoría de las resinas existentes en el mercado, de uso actual y discontinuadas, en ellas se muestran las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los diferentes polímeros, así como los parámetros de procesamiento. Se hace referencia a este sitio de Internet ya que cuenta con bases de datos de diferentes proveedores y aún más importante es que la mayoría de estas bases de datos cuentan con las especificaciones de contracción lineal y transversal.

2.3 Determinación de parámetros de procesado

Para determinar los parámetros de procesado es necesario conocer el tipo de maquinaria que se utilizará. La información relativa a la maquinaria que se requiere es la siguiente:

- Tamaño de la máquina que se planea utilizar o la cantidad de presión máxima que esta puede ejercer.
- Velocidad de inyección que puede desarrollar.
- Area disponible en platina para sujeción del molde.
- Capacidad de plastificación o la cantidad de plástico que puede inyectar en cada disparo.

Estos datos se pueden obtener directamente de las especificaciones técnicas que ofrecen los fabricantes de maquinaria para inyección de plástico.

Otro elemento que se debe considerar es el número de piezas que se desea producir, es decir conocer la producción deseada para dicho producto según las necesidades del cliente o la producción estimada por mes o por año, basándose en la capacidad de producción de la máquina elegida.

Esta información será necesaria durante el proceso de simulación ya que son los datos que se deben alimentar al software de análisis para obtener parámetros lo mas apegados a la realidad; así como para determinar las características del molde y de operación para esa pieza en específico.

2.4 Simulación inicial.

El siguiente paso es realizar una simulación de la pieza aislada, en dónde el principal objetivo es:

- Encontrar el mejor punto de inyección.
- Determinar la orientación de las líneas de flujo.
- Determinar la posición de las líneas de soldadura y trampas de aire.
- Identificar zonas calientes.
- Lograr la menor presión de cierre y el tiempo de ciclo más bajo.

El procedimiento es el siguiente:

- I. Con el modelo tridimensional se genera un modelo STL (estereolitografía), el cual es exportado al programa de análisis de elementos finitos 3D-Qfill (ATC-Technology).
- II. Determinar él o los puntos de inyección. Se eligen uno o varios puntos de inyección dependiendo de la pieza con la que se trabaja. En la figura 5, se muestran algunas de las disposiciones óptimas para puntos de inyección indicando en cada caso su aplicación, ventajas y desventajas[MM93]. En la figura 6 se muestra el modelo de la cubierta para flecha, en la cual se ha seleccionado un sólo punto de inyección, justo sobre el centro de gravedad de la pieza; este punto no coincide con el centro de la pieza hablando en términos de longitud, debido a que la distribución de masa a lo largo de la pieza es diferente.

Type of gate	Diagram	Characteristics	Type of gate	Diagram	Characteristics
Sprue (gate)		Application: for temperature-sensitive and high-viscous materials, high-quality parts and those with heavy sections Advantages: results in high quality and exact dimensions Disadvantages: postoperation for sprue removal, visible gate mark	Pinpoint gate (three-plate mold)		Application: for multi-cavity molds and center gating Advantages: automatic gate removal Disadvantages: large volume of scrap, higher mold costs
Edge gate		Application: for parts with large areas such as plates and strips Advantages: no knit lines, high quality, exact dimensions Disadvantages: postoperation for gate removal	Pinpoint gate (with reversed sprue)		Application: for parts with automatic gate removal Advantages: no postoperation Disadvantages: preferably for thermally stable materials (PE, PS), limited use for others
Disk gate		Application: for axially symmetrical parts with core mounted at one side only Advantages: no knit lines and no reduction in strength Disadvantages: postoperation for gate removal	Runnerless gating		Application: for thin-walled parts and rapid sequence of cycles Advantages: no loss of material for runner system Disadvantages: mark on part from nozzle
Ring gate		Application: for sleeve-like parts with core mounted at both sides Advantages: uniform wall thickness around circumference Disadvantages: slight knit line, postoperation for gate removal	Gating of stack molds		Application: flat and light-weight parts in multi-cavity molds Advantages: better utilization of machine's plasticizing rate Disadvantages: large amount of scrap from voluminous runner system, higher mold costs <i>Note:</i> today generally used with hot manifold, thus no scrap but more expensive
Tunnel gate (submarine gate)		Application: primarily for smaller parts in multi-cavity molds and for elastic materials Advantages: automatic gate removal Disadvantages: for simple parts only because of high pressure loss	Insulated runner molds		Application: for materials with a large softening and melt temperature range and rapid sequence of cycles Advantages: automatic gate separation, material loss from runner only after shutdown Disadvantages: Danger of cold material getting into cavity after interruption

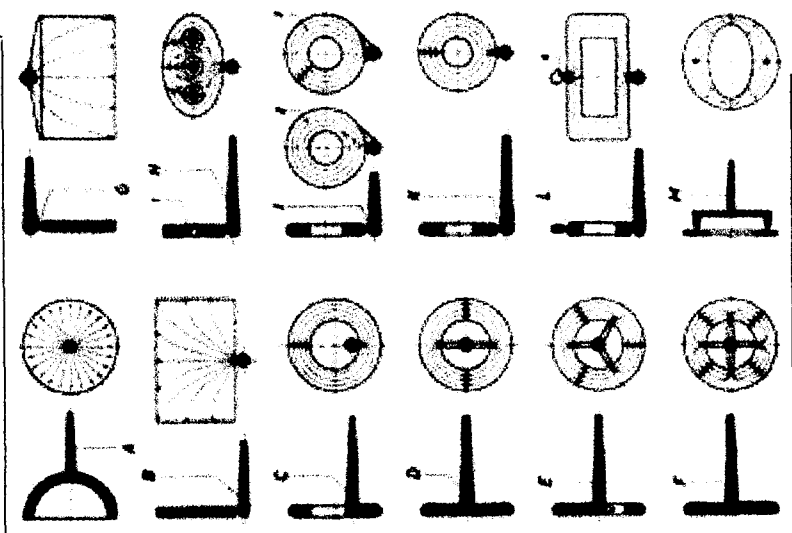


Figura 5. Disposición de puntos de inyección [MM93].

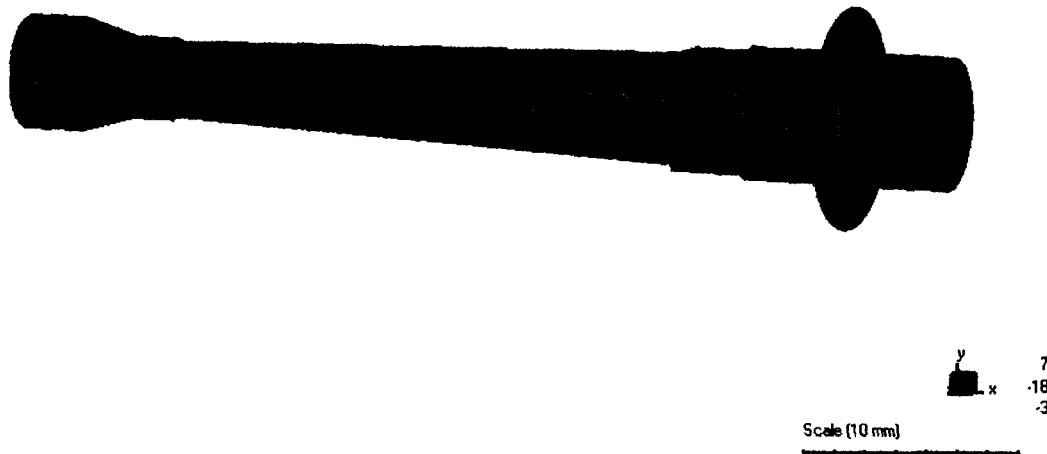


Figura 6. Cubierta de flecha con un punto de inyección.

III. Determinar el tipo de resina que se utilizará, así como las diferentes condiciones de operación que se desean probar con esta pieza. En la figura 7 se puede observar el formato en que se proporciona la información.

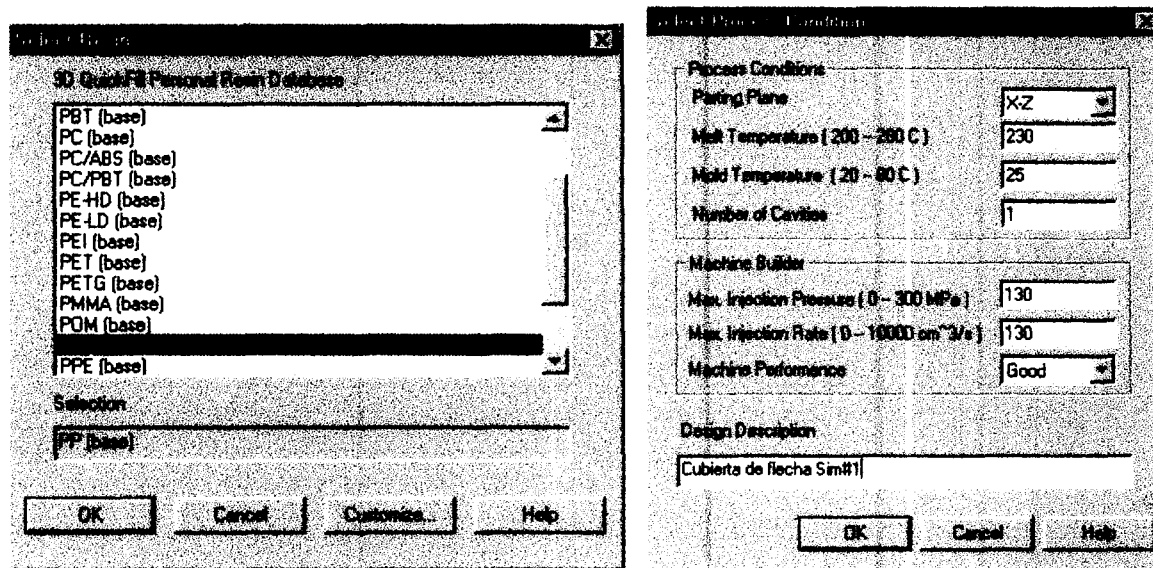


Figura 7. Selección de resina y condiciones de procesado.

IV. El resultado de la simulación arroja los siguientes datos:

- Volumen y peso de la pieza .
- Tiempo de inyección, considerando tiempos de llenado, empacado y enfriamiento.
- Area proyectada por la cavidad.
- Posición y forma de líneas de soldadura, trampas de aire y líneas de flujo.

A continuación, identificado como simulación 1, se muestran los diferentes reportes que genera el software de simulación (3DQfill) y que se obtuvieron durante el primer análisis para la cubierta de flecha. Al pie de cada una de las imágenes se da una breve explicación de lo que representa la imagen y cómo afecta su interpretación sobre el diseño. Posteriormente identificado como simulación 2, se presentan los reportes generados durante el segundo análisis realizado sobre la cubierta de flecha, esta vez utilizando dos puntos de inyección.

2.5 SIMULACIÓN #1.

Flecha con un punto de inyección.

Proyecto: **Cubierta para flecha**
Cliente: **BINECH**
Diseñador: **Ing. Fernando Pacheco M.**
Responsable: **Dr. Noel León**

Primer análisis con un sólo punto de inyección sobre el centro de gravedad de la pieza, a ser moldeada en polipropileno, en una máquina de 500 toneladas.

Resumen de proyecto:

La siguiente tabla es un resumen de la simulación de la pieza con el material y condiciones de procesado seleccionados.

Fecha: JUN27-99

Tiempo : 01:22:30

Nombre : Flecha1

==== Especificación de Resina ====

Polímero : PP (base)

==== Especificación de la máquina ====

Fuerza de cierre.	=	22.09 ton(m)
Disparo requerido (GPS)	=	161.79 g
Presión de inyección Max.	=	130.00 MPa
Velocidad de inyección Max.	=	130.00 cm ³ /s
Estado de la máquina.	=	Buena

==== Características de operación ====

Tiempo de llenado	=	1.19 s
Tiempo de enfriamiento.	=	42.52 s
Presión de inyección.	=	13.63 MPa
Temperatura de mezcla.	=	230.00 C
Temperatura del molde.	=	25.00 C

==== Información de la parte ===

Peso de una parte simple.	=	145.23 g
Espesor promedio.	=	4.34 mm
Desviación estándar del espesor.	=	1.34 mm
Area proyectada por la cavidad.	=	198.77 cm ²
Fuerza de cierre requerida para una cavidad.	=	22.09 ton(m)
Número de Cavidades.	=	1

Plano de partición en el plano XZ.

100.0 % lleno por compuerta # 1

Objetivo.

Determinar los requerimientos de moldeo para la cubierta de flecha.

Resultados:

Avance del frente de la mezcla:

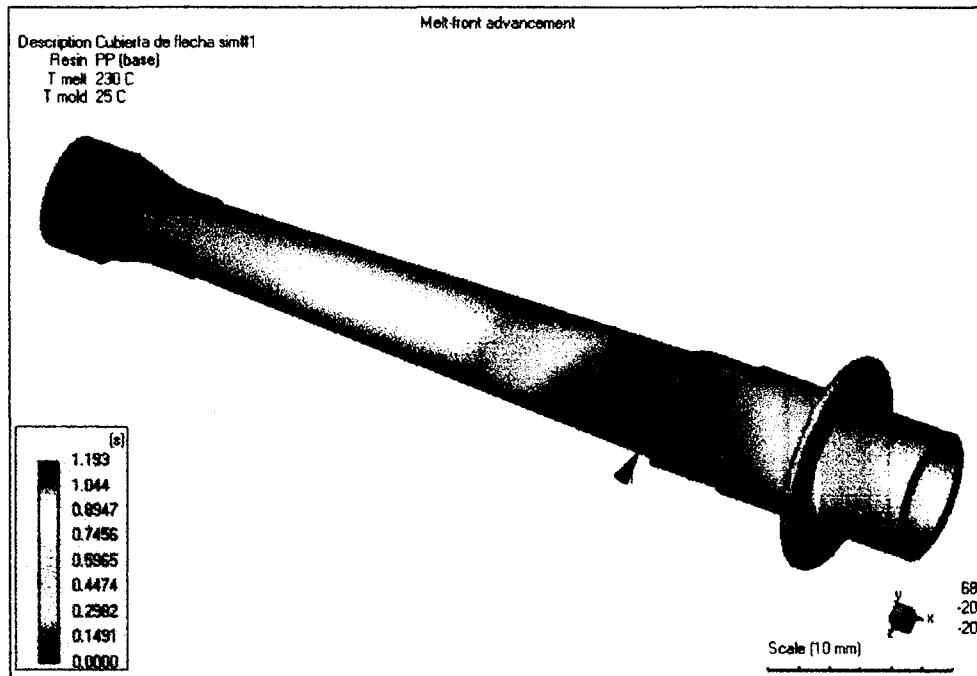


Figura S1-1. Frente de mezcla.

En esta figura se observa el patrón de llenado. Las áreas azules representan aquellas que se llenaron primero y las áreas rojas las que se llenan hasta el final del proceso. No se observa un patrón balanceado, lo cual significa que un punto de inyección no es suficiente; ya que presenta variación en la distribución de la presión a lo largo de la pieza lo que puede provocar problemas de contracción diferencial.

Distribución de la presión:

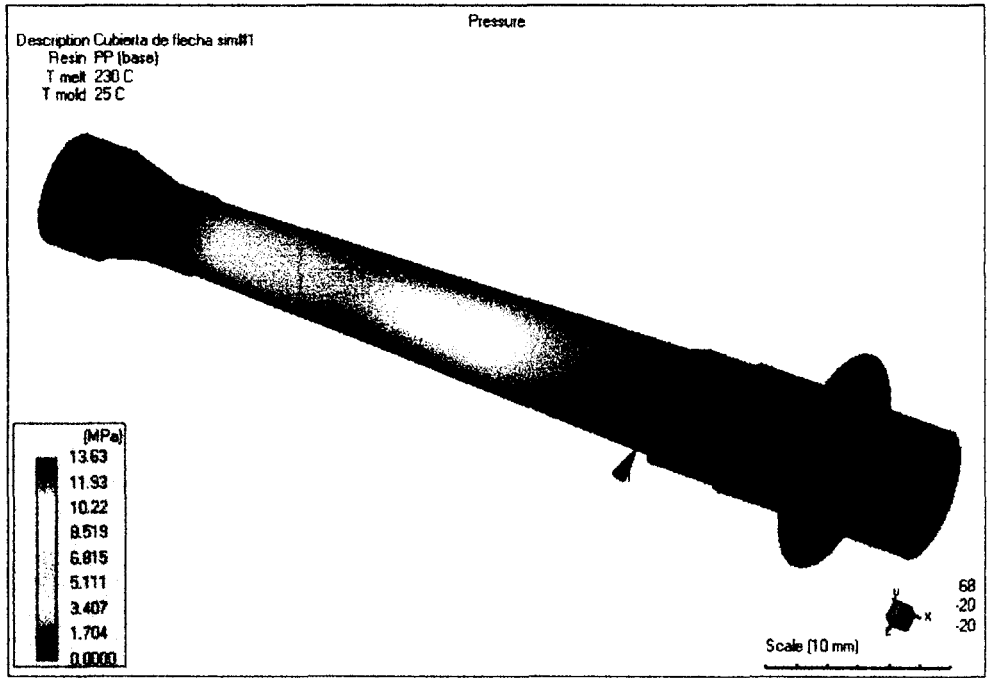


Figura S1-2. Presión

En esta imagen se puede apreciar que la pieza se llena totalmente al aplicar la presión máxima que se seleccionó para la simulación; este valor es la presión hidráulica que debe tener el sistema, la presión en la platina es 10 veces más grande.

Distribución de la Temperatura:

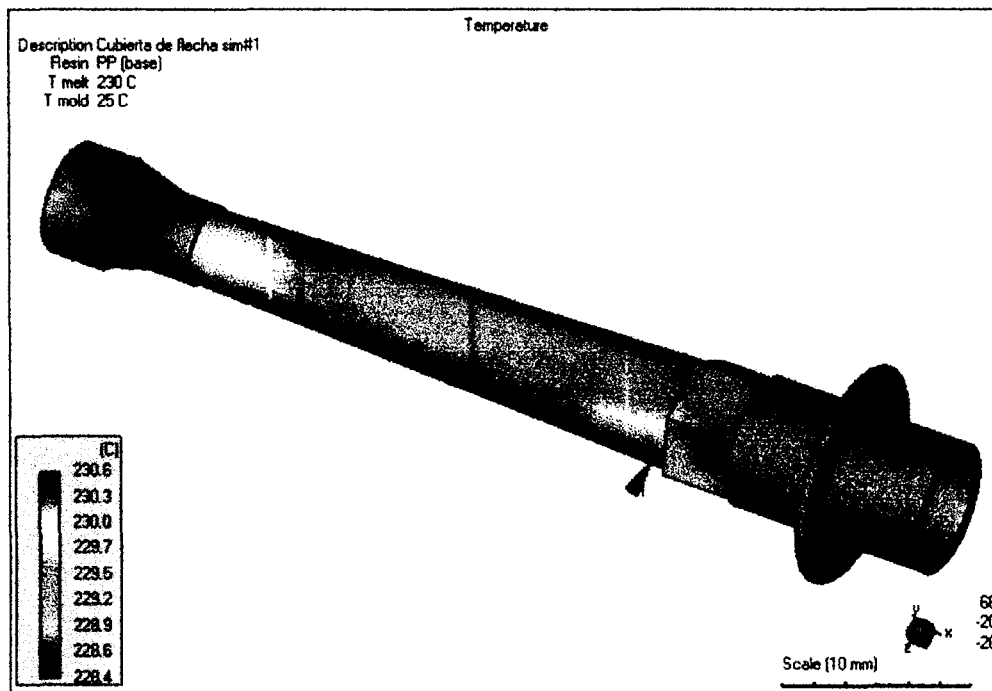


Figura S1-3. Temperatura.

Aquí se observa la presencia de altas temperaturas durante el llenado en la punta de la pieza, esto puede causar ciertos problemas durante el procesado, como la degradación del material en esa zona, incremento del tiempo de ciclo por enfriamiento, etc. Es importante indicar que la mala distribución de la temperatura de inyección puede causar deformación o contracción diferencial en la pieza.

Tiempo de enfriamiento:

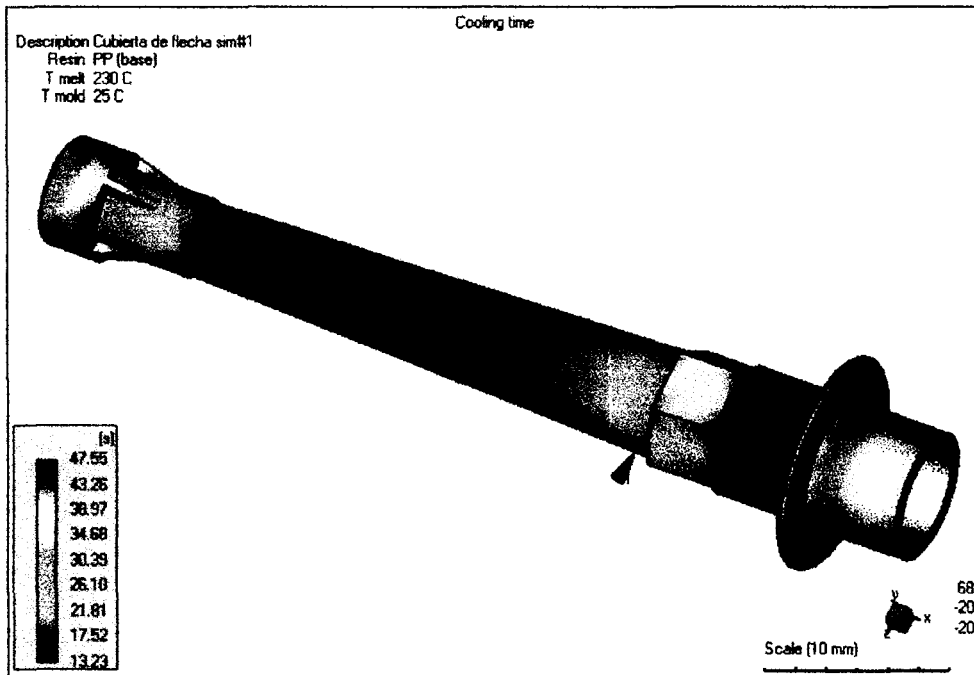


Figura S1-4. Enfriamiento.

Aquí se observa la distribución de temperaturas que presentará la pieza durante el proceso de inyección aplicando los parámetros seleccionados. Es importante indicar que para lograr un tiempo de ciclo optimizado y una pieza libre de contracción diferencial y/o marcas por enfriamiento deficiente, se debe contar con una correcta distribución de temperaturas y un sistema de enfriamiento eficiente.

Orientación de las fibras plásticas:

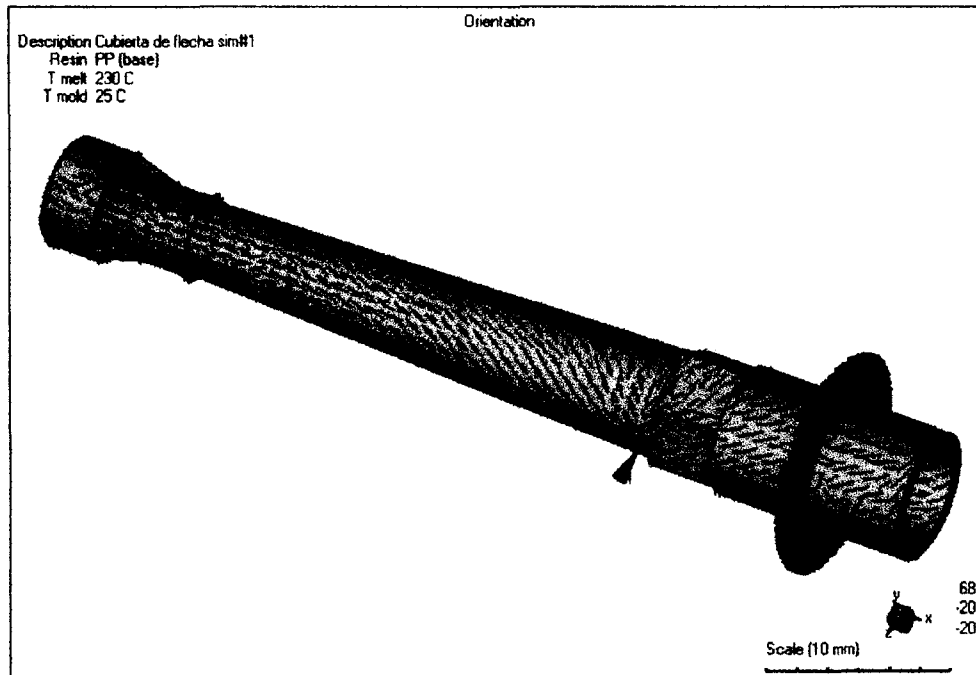


Figura S1-5. Orientación de fibras.

Esta imagen muestra la orientación de las fibras del material inyectado.

Esta información es vital pues permite detectar aquellos puntos en que existirá contracción diferencial; estos puntos se localizan en aquellos lugares en que se tienen cambios de orientación pronunciados. También permite determinar si el punto de inyección elegido beneficia o perjudica las propiedades mecánicas de la pieza.

Líneas de soldadura:

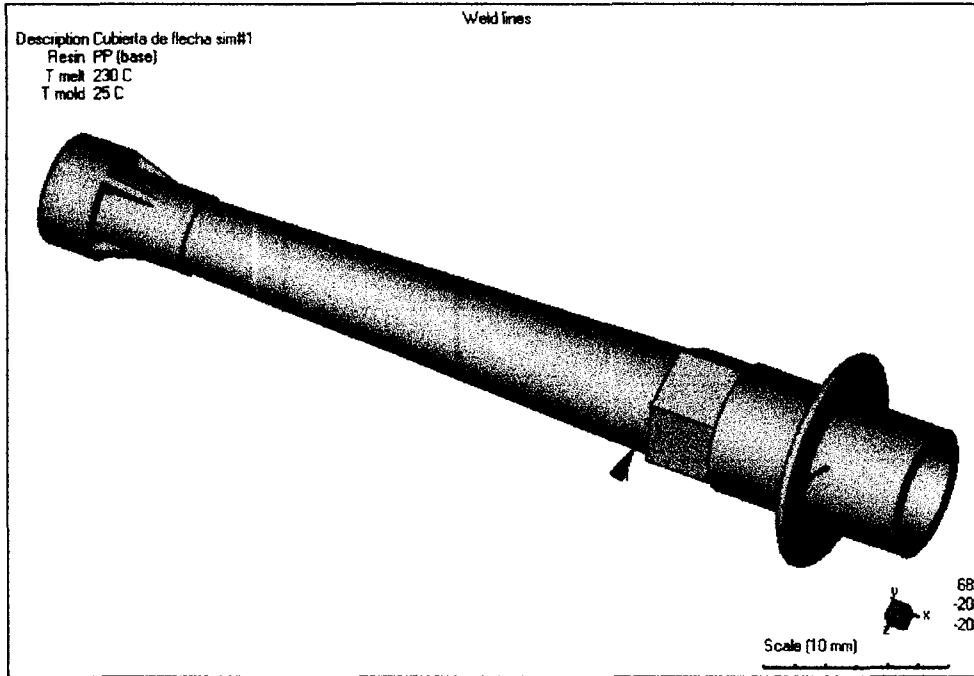


Figura S1-6. Líneas de soldadura.

En esta figura se muestra la posición de las líneas de soldadura durante el procesado, que no son otra cosa más que el punto en dónde se encuentran dos frentes diferentes de material fundido. En esta pieza se observan algunas líneas de soldadura en el soporte de la pieza (rosca); por lo tanto se puede determinar que existe un grado de riesgo al utilizar este método de inyección, ya que la línea está sobre la parte de más esfuerzo mecánico; lo cual sugiere considerar otro punto de inyección para esta parte.

Localización de los puntos de ventilación:

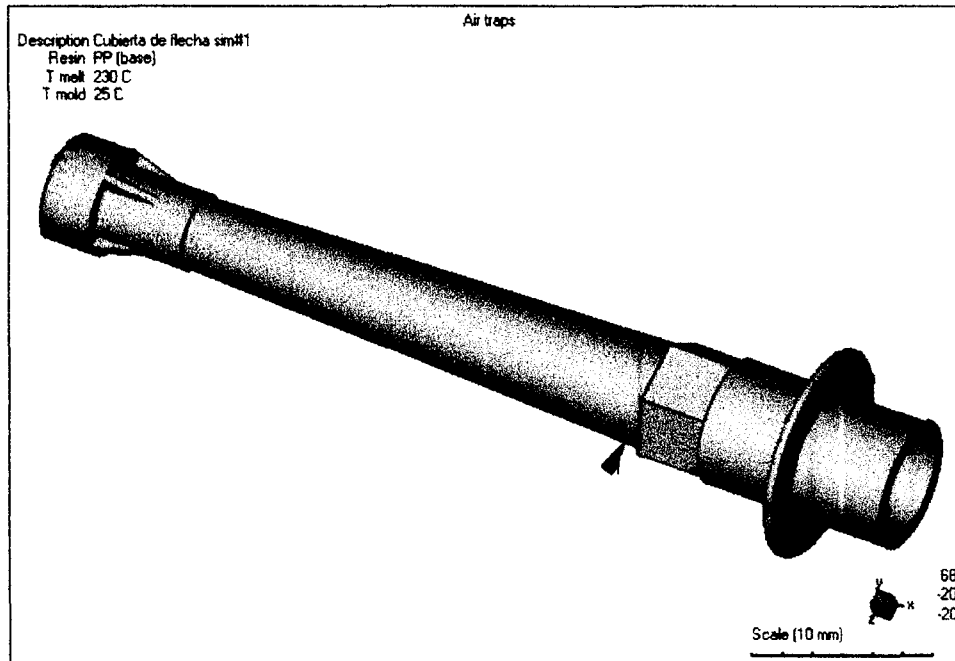


Figura S1-7. Puntos de venteo.

En esta imagen se ilustran las trampas de aire en potencia, las cuales provocarían detalles de mala calidad en la pieza. Es importante identificar estos puntos para darles solución.

Conclusiones y recomendaciones:

Aunque el resultado de esta 1ª simulación nos lleva a determinar que la parte puede ser producida bajo estas condiciones, éste no es el conjunto de parámetros ideales pues se tiene alta temperatura en el procesado, bajo nivel de presión y patrones de llenado desiguales y muy largos. Por lo que se sugiere eficientizar el proceso utilizando dos puntos de inyección y así reducir la distancia recorrida por el plástico. Esto reducirá la temperatura de la mezcla así como del molde y la velocidad de inyección.

2.6 SIMULACIÓN #2.

Flecha con dos puntos de inyección.

Proyecto: **Cubierta de flecha**
Cliente: **BINECH**
Diseñador: **Ing. Fernando Pacheco M.**
Responsable: **Dr. Noel León**

Segundo análisis con dos puntos de inyección, cuya posición se determina en función del centro de gravedad de cada una de las porciones de la pieza si esta fuera dividida por su centro de gravedad.

Resumen del proyecto:

La siguiente tabla muestra el resumen del proyecto de la pieza, a partir del material y condiciones de procesado seleccionadas.

Fecha : JUN28-99

Tiempo : 03:13:04

Nombre : Flecha2

==== Especificación resina ====

Polímero : PP (base)

==== Especificación de máquina ====

Fuerza de cierre requerido.	=	19.51 ton(m)
Disparo requerido. (GPS)	=	161.79 g
Presión de inyección Max.	=	130.00 MPa
Velocidad de inyección Max.	=	80.00 cm ³ /s
Condiciones de la máquina.	=	Buena

==== Características de operación ====

Tiempo de llenado.	=	1.92 s
Tiempo de enfriamiento.	=	33.75 s
Presión de inyección.	=	12.03 MPa
Temperatura de mezcla.	=	200.00 C
Temperatura del molde.	=	20.00 C

==== Información de la parte ===

Peso de la parte simple.	=	145.23 g
Espesor promedio	=	4.34 mm
Desviación estándar del espesor.	=	1.34 mm
Area proyectada por la cavidad.	=	198.77 cm ²
Fuerza de cierre requerida por una cavidad.	=	19.51 ton(m)
Número de cavidades.	=	1

Plano de partición en el plano XZ

19.9 % lleno por la compuerta #	1
80.1 % lleno por la compuerta #	2

Objetivo.

En este segundo análisis se desea obtener condiciones óptimas de operación para la cubierta de la flecha, así como reducir el tiempo de ciclo para la producción de esta pieza.

Resultados

Avance del frente de la mezcla:

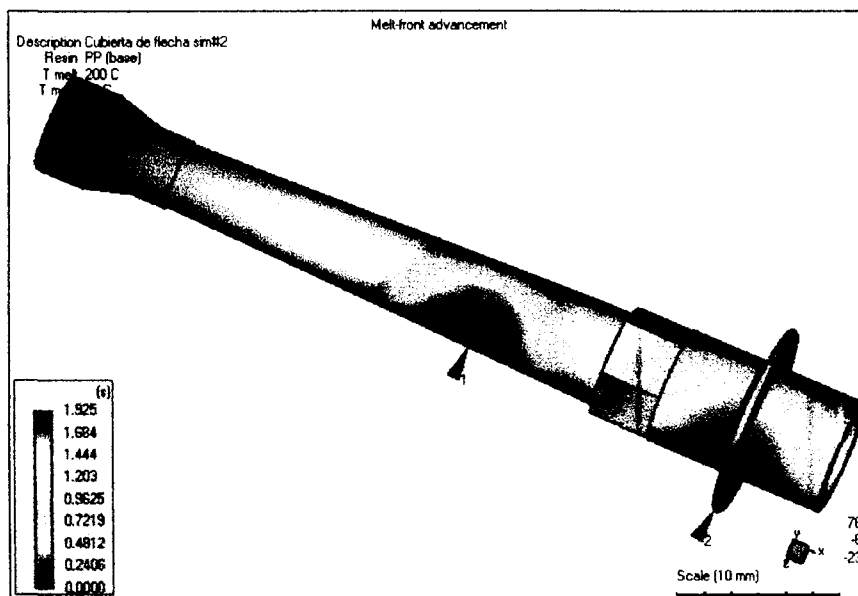


Figura S2-1. Frente de mezcla

En esta ocasión se obtuvo un patrón de llenado consistente y balanceado.

Distribución de presión:

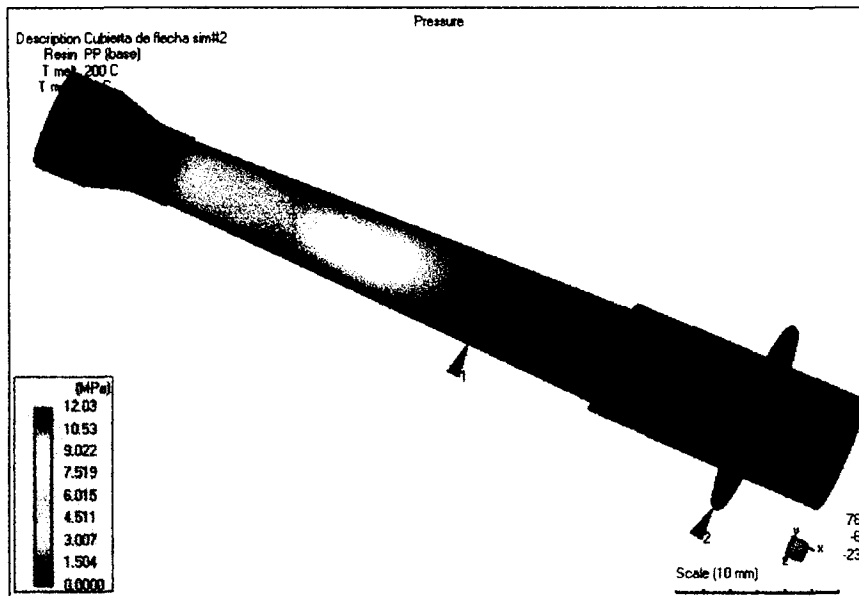


Figura S2-2. Presión.

El valor de la presión de inyección es menor debido a que la distancia que recorre el polímero es más pequeña en comparación con la simulación #1. La fluidez de la resina y el efecto de la temperatura tanto de la masa fundida como del molde, se mantienen con variaciones mínimas.

Distribución de Temperatura:

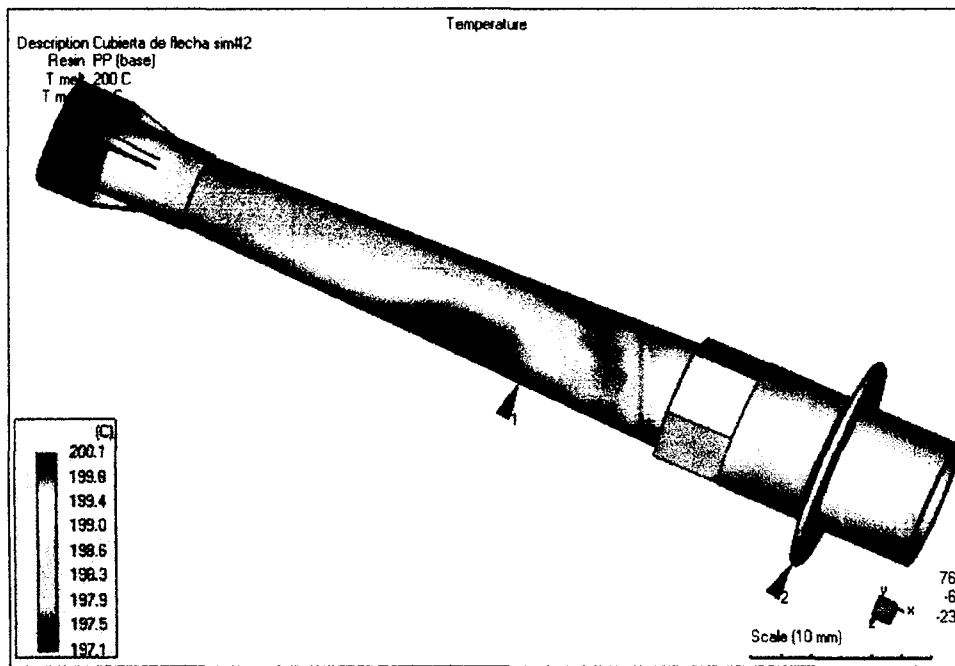


Figura S2-3. Temperatura.

Se obtuvo un patrón de temperaturas bien balanceado y más bajo con respecto a la 1ª simulación. La distancia que tiene que recorrer el material es menor y éste no sufre calentamiento adicional por fricción interna.

Tiempo de enfriamiento:

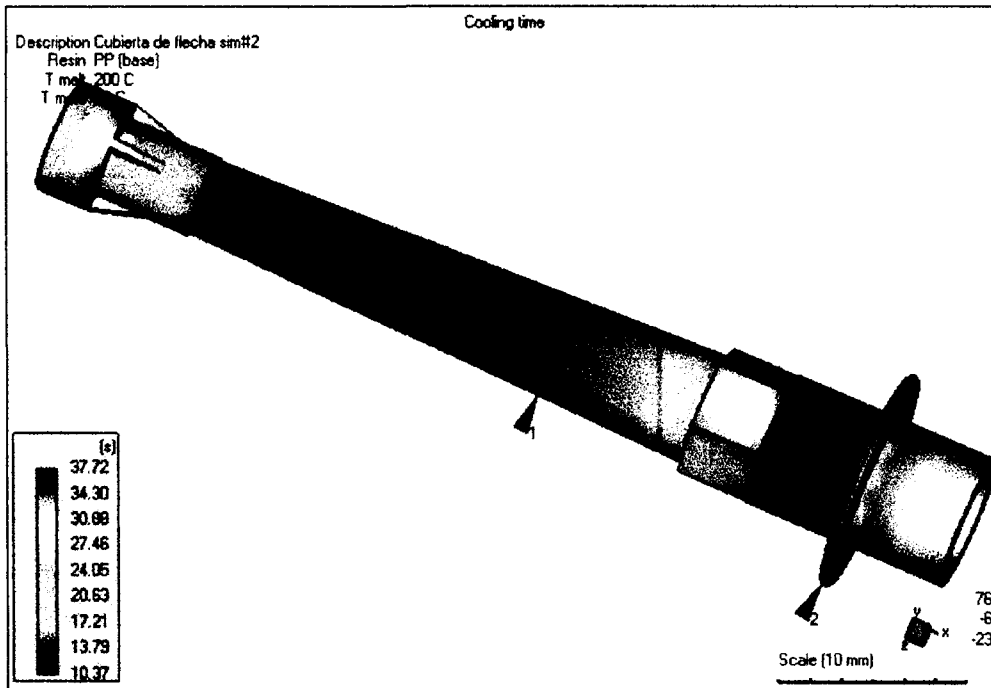


Figura S2-4. Enfriamiento.

Esta imagen muestra que la concentración de temperaturas más altas se localiza principalmente en la base de la flecha, zona en color rojo. Muestra también una reducción en el tiempo de ciclo al reducirse el tiempo de enfriamiento.

Orientación de las fibras plásticas:

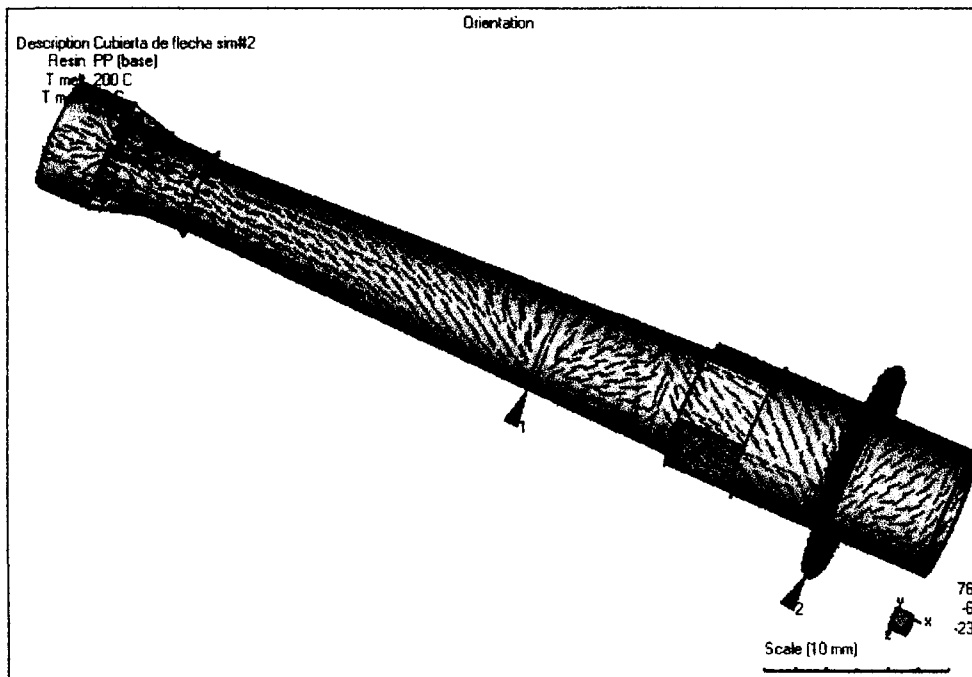


Figura S2-5. Orientación de fibras.

La orientación de fibras que se obtuvo en esta 2ª simulación indica que la mayor contracción diferencial se presenta a lo largo de la pieza.

Localización de líneas de soldadura:

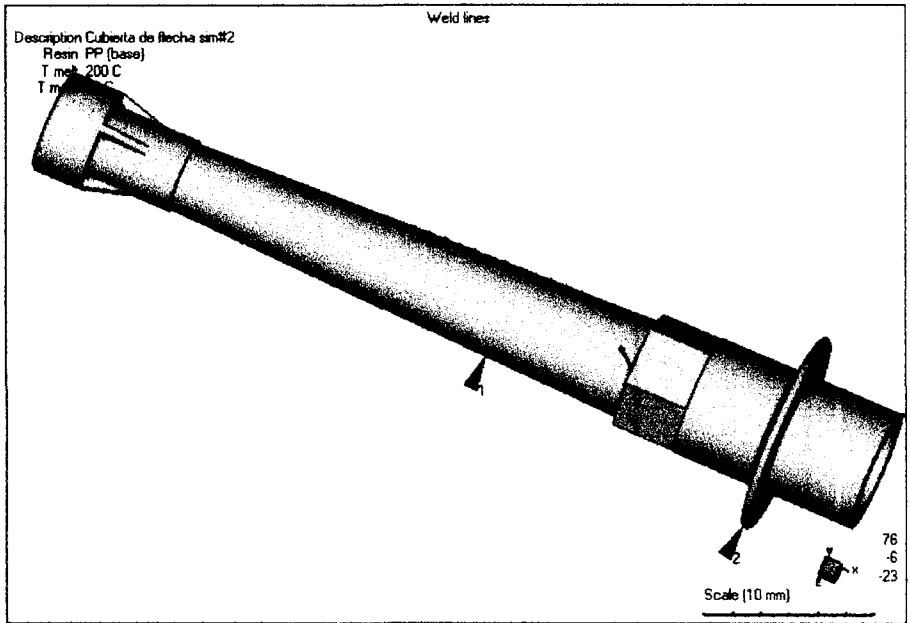


Figura S2-6. Líneas de soldadura.

Existe una sola línea de soldadura, representada por la línea en color rojo.

Localización de puntos de venteo:

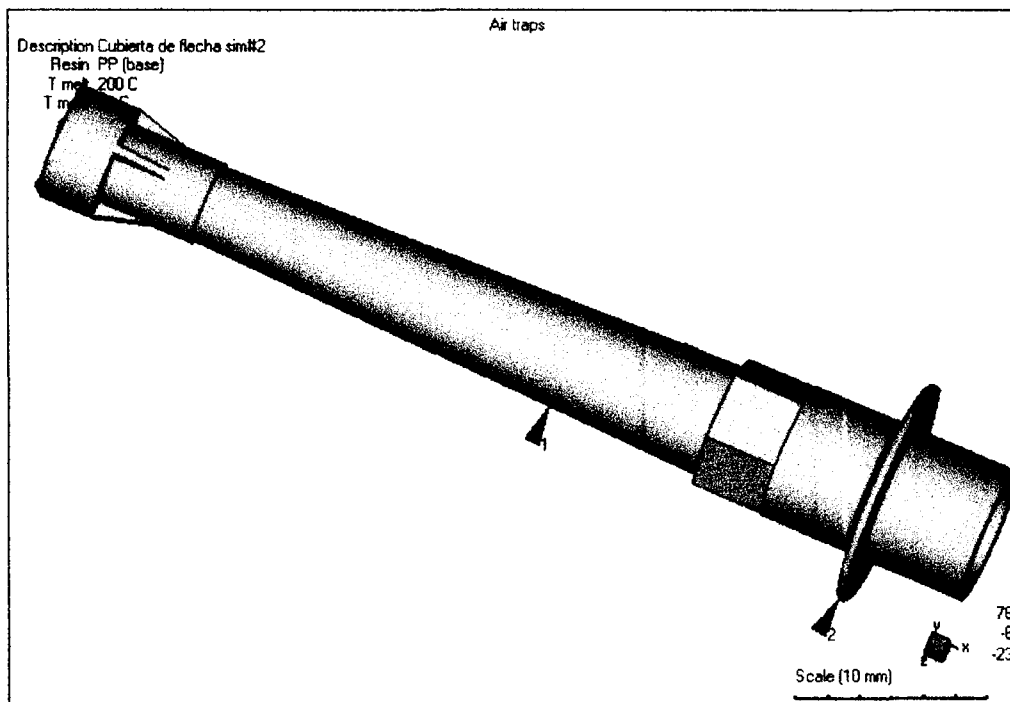


Figura S2-7. Puntos de venteo.

Los puntos marcados como trampas de aire son mínimos y colocados en los bordes de la pieza.

De acuerdo con este patrón, la manera más eficiente de eliminar trampas de aire es haciéndolas coincidir con posibles áreas de botado; de esta forma se proporciona una salida natural al aire contenido en la cavidad.

Conclusiones y recomendaciones:

Se logró reducir la temperatura de la mezcla y del molde, así como modificar el patrón de llenado a un sistema más consistente y a una velocidad de inyección baja. Se lograron corregir los inconvenientes detectados a partir de la primera simulación.

Por lo tanto como resultado de las diferentes simulaciones de este modelo, se concluye que el molde para esta pieza debe diseñarse con 2 puntos de inyección, pues se lograron mejoras en el procesado tanto en el tiempo de ciclo general, como de los otros elementos que se analizan en las simulaciones.

Se observa que el diseño para manufactura de esta pieza no es correcto, debido a que la pieza presenta variación en el espesor de pared a lo largo de ella; uno de los principios básicos del diseño de piezas plásticas es el mantener la menor variación de los espesores de pared de una pieza determinada, así como el utilizar el mínimo espesor requerido [AA94].

El resultado que arrojan las dos simulaciones es que la pieza presenta un espesor promedio de 4.34 mm con una desviación estándar de 1.34 mm, lo cual significa que el espesor varía desde los 3 mm hasta los 5.68 mm. Se recomienda como parte del diseño para manufactura de la pieza la utilización de un espesor constante de 3 mm.

Capítulo 3. Formatos Electrónicos para Diseño

Se recopilaron diferentes métodos matemáticos encontrados en la literatura, los cuales apoyan distintas etapas del diseño para moldes de inyección de plástico y se integraron a través de un formato electrónico. En este caso se utilizó Microsoft Excel pues las hojas electrónicas de cálculo son la forma más natural de ingreso de este tipo de información, además de ser una herramienta altamente utilizada.

Estas hojas electrónicas utilizan como información de entrada los resultados obtenidos durante la simulación. A continuación se describe cada uno de los formatos electrónicos especificando su procedencia, consideraciones de uso y la clase de información que se obtiene de ellos. Las zonas en color azul claro representan la información que se debe alimentar a la hoja de cálculo; estos pueden ser datos numéricos, banderas de selección dentro de una lista de opciones (1=seleccionado, 0=no seleccionado) o dato numérico dentro de un rango propuesto de selección. Las áreas rojas son los resultados finales. Las áreas grises son resultados parciales de los diferentes métodos y que se unifican en un valor final marcado en rojo. Las áreas amarillas son las secciones que muestran los diferentes valores en una lista o rango de selección.

3.1 Cálculo del número de cavidades.

Para el cálculo del número de cavidades se identificaron 3 métodos. Cada método considera diferentes elementos para determinar el número óptimo de cavidades. Se estableció la relación entre ellos y se obtuvo un formato único.

El primer método [IMP96], identificado con la letra A, establece una relación entre el número de piezas anuales solicitadas y el tiempo de ciclo resultante de la simulación. El segundo [MM90], identificado como B, establece la relación entre el peso de la pieza final, la capacidad de inyección de la máquina seleccionada y un valor aproximado del número de cavidades. El tercero [MM93], C, establece la relación entre el volumen de la pieza y la capacidad de plastificación de la máquina seleccionada.

El valor resultante no debe tomarse como definitivo, ya que se tiene que validar contra otras características, como que el tamaño final del molde esté dentro de las dimensiones que puede soportar la máquina seleccionada. Las relaciones antes mencionadas se presentan en la tabla 4.

A	$Cu = \frac{Pza / Año}{200 * \frac{3600}{Ti} * 1.75}$	Cu Pza/Año Ti	Número de cavidades. Piezas requeridas anualmente. Tiempo de inyección (seg). 200 días por año. 3600, 2 Conversión unidades de tiempo
B	$Cu = \frac{Cp * 0.90}{W}$	Cu Cp W	Número de cavidades. Capacidad de plastificación (gr). Peso de la pieza (gr).
C	$Cu = \frac{Fr * 0.1 * Ti}{V * 1.5}$	Cu Fr Ti V	Número de cavidades. Velocidad de inyección (cm ³ /seg). Tiempo de inyección (seg). Volumen de la parte (cm ³).

Tabla 4. Relaciones para el cálculo del número de cavidades.

En la figura 8 se muestra el formato de Excel que utiliza las relaciones antes mencionadas.

Cálculo del número de cavidades

			# cavidades
A	Piezas requeridas por año	[REDACTED]	pza
	Tiempo de inyección de una pieza	[REDACTED]	seg
			6.61
B	Capacidad de máquina de inyección	[REDACTED]	grs
	Peso de la pieza	[REDACTED]	grs
			0.33
C	Velocidad de inyección (Fill rate)	[REDACTED]	cm ³ /seg
	Disparos por minuto	1.12	
	Volumen de la pieza	[REDACTED]	cm ³
			1.15
			Prueba de Hipótesis
			0.66
			1.31
Número de cavidades			[REDACTED]

Figura 8. Formato electrónico cálculo número de cavidades.

3.2 Cálculo de dimensiones mínimas del molde.

Para determinar las dimensiones mínimas del molde, se utilizó una sola referencia [IMP96]. Las dimensiones a determinar son: área libre alrededor de la cavidad, largo, ancho y espesor del molde, así como la distancia máxima entre soportes. Todos estos parámetros son calculados a partir de las dimensiones de la pieza, número de cavidades a incluir en el molde, peso de la pieza, etc.

Para determinar el área libre alrededor de la cavidad, que le permita al molde soportar las presiones propias del proceso de inyección, es necesario conocer el área que proyecta la cavidad sobre la línea de partición y un factor de corrección que depende de la capacidad de la máquina a utilizar. La figura 9 muestra los factores de corrección para las diferentes máquinas de inyección [IMP96].

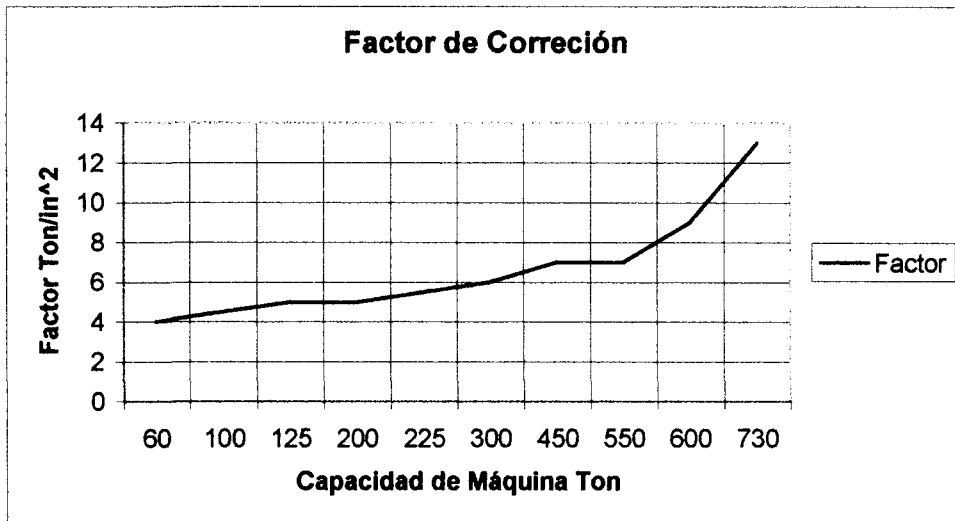


Figura 9. Factor de Corrección.

Este cálculo busca determinar la distancia libre que debe existir alrededor de la cavidad, para que la deformación de las caras no sea mayor a 0.02 pulgadas al momento de la inyección, esto se resuelve igual que un caso de una viga con apoyo simple y con carga al centro.

La variedad de piezas es ilimitada, así como la forma de su cavidad, por lo que para simplificar el proceso se utiliza el círculo como configuración base. El área de la cavidad (1) se traduce, sea cual sea su configuración, a la de un círculo equivalente (2) y se utiliza su diámetro como valor inicial en este proceso, posteriormente se obtiene otro diámetro (3), definiendo un círculo mayor, el cual se supone contendrá a la cavidad más el espacio adicional requerido para resistir los esfuerzos mecánicos a los que se verá sometido el molde. De la resta de ambos círculos (3) se obtiene la distancia mínima que debe dejarse alrededor de la cavidad (4), sea cual sea su configuración. Este proceso se ejemplifica en la figura 10.

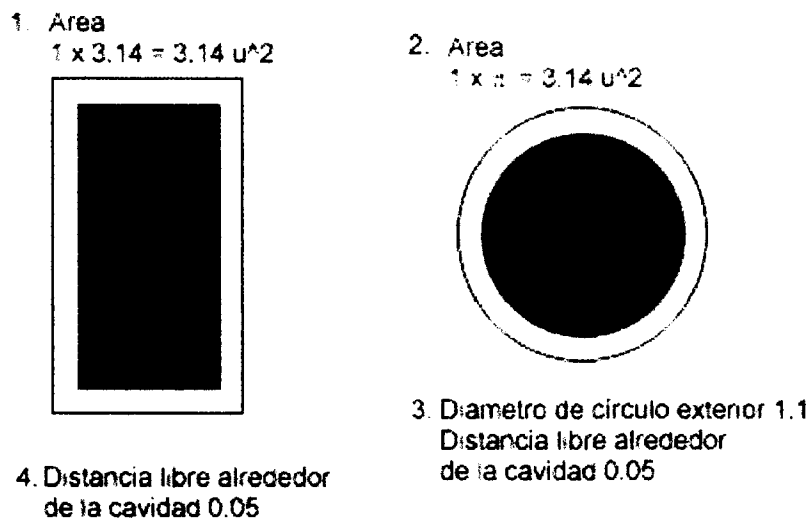


Figura 10. Círculo de área equivalente.

La tabla 5 muestra las ecuaciones que se utilizan y en la figura 11 se presenta la hoja electrónica de cálculo. Como resultado se obtiene la distancia libre alrededor de cada cavidad en pulgadas (1), el largo (2) y ancho mínimo (3) de un molde con una distribución de cavidades lineal. Estas dimensiones deben ser menores o igual que el tamaño de la platina de la máquina de inyección seleccionada. De no cumplirse dicha restricción se procederá a hacer cambios en el número de cavidades o en la configuración de las mismas, hasta lograr un diseño cuyas dimensiones coincidan con el espacio disponible en la máquina que se seleccionó.

De manera similar al cálculo del espacio libre entre cavidades se obtiene el espesor mínimo de la placa (4) y a partir de esta última información se obtiene la distancia máxima entre soportes (5).

Ac	$\frac{Cm}{Fc}$	Ac Cm Fc	Area de contacto(in ²) Capacidad de máquina(ton) Factor de corrección(ton/in ²)
Acv	$\frac{Ac}{No.Cav.}$	Acv Ac No. Cav.	Area por cavidad (in ²) Area de contacto (in ²) Número de cavidades
At	$Acv + Ap$	At Acv Ap	Area total (in ²) Area por cavidad(in ²) Area proyectada(in ²)
Dg	$\sqrt{\frac{At}{2\pi}}$	Dg At	Diámetro equivalente(in) Area total(in ²)
C	$\frac{Dg - \sqrt{\frac{Ap}{2\pi}}}{2}$	C Dg Ap	Ancho de cara(in) Diámetro equivalente(in) Area proyectada(in ²)
Lm	$Dg * \left(\frac{No.Cav.}{2} + 1 \right)$	Lm Dg No.Cav	Largo del molde(in) Diámetro general(in) Número de cavidades

F	$Ap * Pi$	F Ap Pi	Fuerza(lbs) Area proyectada(in ²) Presión de inyección(psi)
I	$\frac{10000 * F * Ds^3}{192 * E}$	I F Ds E	Momento de inercia Fuerza(lbs) Distancia entre soportes(in) Módulo de elasticidad
Acc	$\left(\frac{I * 12}{6}\right)^{\frac{1}{3}}$	Acc I	Ancho por cara(in) Momento de Inercia
Am	$2 * Acc * Adp$	Am Acc Adp	Ancho del molde(in) Ancho por cara(in) Ancho de la pieza(in)
A	$2 * No.Cav$	A No.Cav	Factor A de cuadrática Número de cavidades
B	$Ap * 1.5 * P$	B Ap P	Factor B de cuadrática Area proyectada (in ²) Profundidad(in)
Ep	$\frac{-A + \sqrt{A^2 + 4 * B * Apc}}{2 * B}$	Ep A B Apc	Espesor de placa(in) Factor A de cuadrática Factor B de cuadrática Area por cavidad(in ²)
Ds	$\frac{E}{1000} * 8 * \frac{Am * Ep}{6}$ F	Ds E Am Ep F	Dimensión de soportes(in) Módulo de elasticidad Ancho del molde(in) Espesor de placa(in) Fuerza(lbs)

Tabla 5. Relaciones para el cálculo de dimensiones mínimas para el molde.

Dimensión mínima

Area proyectada por cavidad (Apc)	[REDACTED]	in ²
Area proyectada total (Ap)	76.10	in ²
Capacidad de máquina (Cm)	450.00	ton
Factor de corrección (Fc)	7.00	Ton/in ²

Tons.Máquina

[REDACTED]	60
[REDACTED]	100
[REDACTED]	125
[REDACTED]	200
[REDACTED]	225
[REDACTED]	300
[REDACTED]	450
[REDACTED]	550
[REDACTED]	600
[REDACTED]	730

Area total de contacto (Ac)	64.29	in ²
Area por cavidad (Acv)	28.30	in ²
Area total (At)	61.80	in ²
Diámetro equivalente (Dg)	8.87	in

[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
Profundidad (P)	2.25	in
Presión de Inyección (Pi)	[REDACTED]	psi
Distancia entre soportes (Ds)	[REDACTED]	in
Módulo de Elasticidad (E)	[REDACTED]	Kpsi
Fuerza (F)	402000	Lbs
Momento de Inercia (I)	428.61	
Ancho de la pieza (Adp)	[REDACTED]	in
Ancho por cara (Acc)	9.50	in

4.54

36.88

Figura 11. Formato electrónico para el cálculo de dimensiones mínimas para el molde.

A partir de esta información se puede establecer una configuración base para el molde. La figura 12 presenta un diagrama en el que se muestra la configuración del molde para la cubierta de flecha. La distribución resultante contiene dos cavidades, el área libre alrededor de estas y las dimensiones del molde.

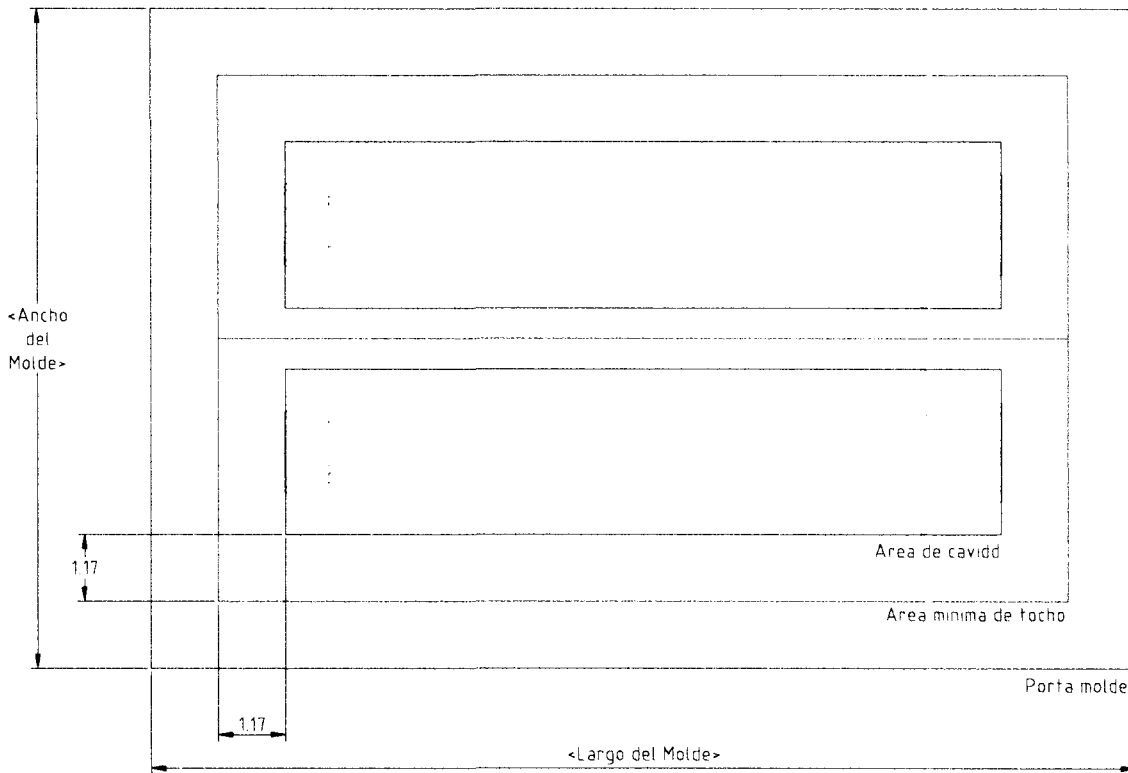


Figura 12. Distribución de dos cavidades para cubierta de flecha. La pieza a ser moldeada se representa en color verde. El área mínima que contiene a la pieza, está representada por el recuadro negro. El área libre que debe existir alrededor de la cavidad está marcada por la línea roja y las dimensiones (largo y ancho) que deberá presentar el molde son ilustradas por el recuadro azul.

3.3 Sistema de Alimentación.

El sistema de alimentación está compuesto por tres sub-sistemas: el bebedero (sprue), los canales de alimentación (runners) y las compuertas de entrada (gates).

Una vez definida la configuración del molde se debe proyectar el recorrido que seguirá la masa fundida de polímero cuando sea inyectada y asegurar su llegada hasta las compuertas (puntos de inyección).

Se tiene como práctica general localizar el bebedero en el punto medio del molde. A partir de este hecho y tomando los resultados de la(s) simulación(es) se busca diseñar un sub-sistema de canales de alimentación, en el que todos los canales tengan la misma longitud de recorrido y así cumplir con el requisito de que las cavidades comiencen a llenarse al mismo tiempo a través de sus respectivas compuertas.

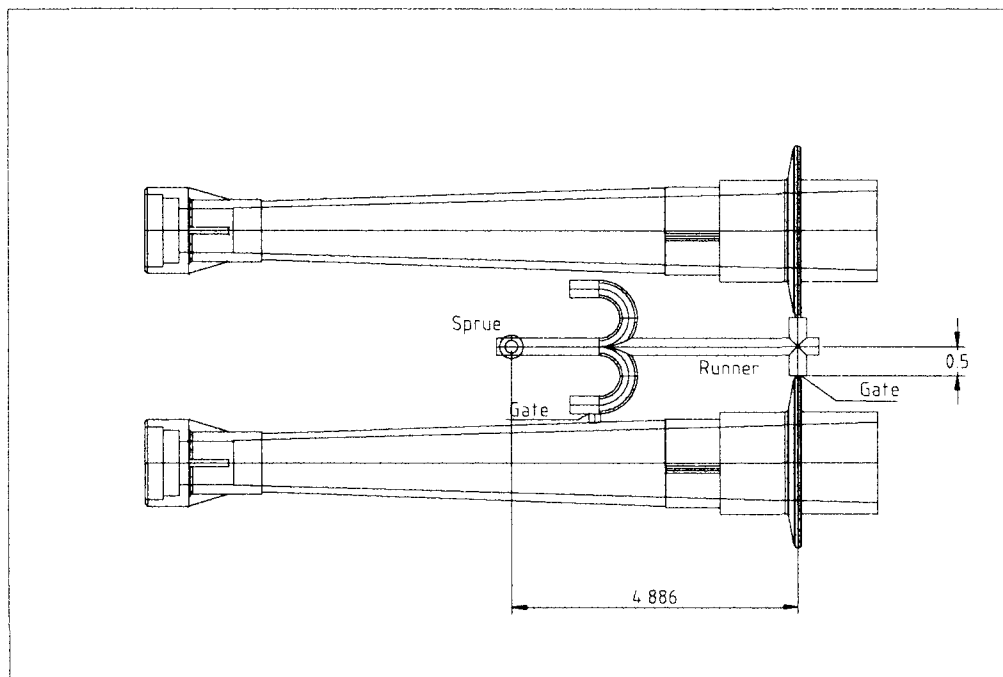


Figura 13. Diagrama general de la posición del sistema de alimentación.

En la figura 13 se muestra el patrón que deberá seguir cada canal para el molde de la cubierta de flecha, falta determinar las dimensiones que deben tener tanto el canal como las compuertas.

En la figura 14 se muestran las consideraciones para el cálculo del diámetro del canal de alimentación.

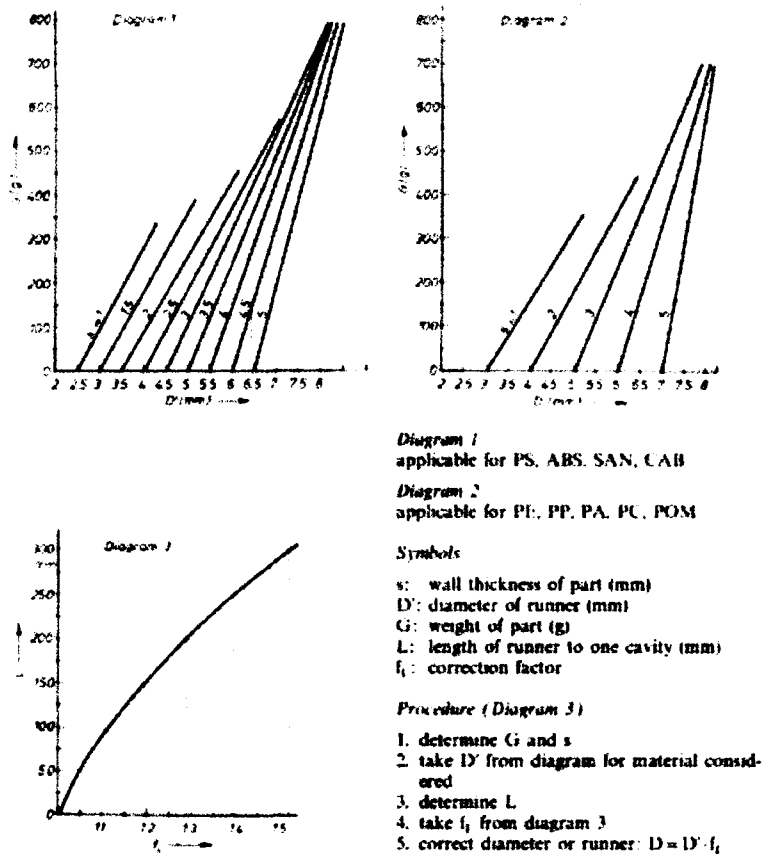


Figura 14. Diseño de canales de alimentación [MM90].

De aquí se obtiene el diámetro del canal y dependiendo de la longitud del mismo se le asocia un factor por el cual es modificado, obteniendo así la dimensión final del canal [MM93]. Cuando se tienen distribuciones de canales no simétricas se debe hacer un cálculo por cada uno de ellos.

Para la dimensión de la compuerta (largo y ancho) se utiliza el diámetro hidráulico y una longitud propuesta para la compuerta. El diámetro hidráulico se utiliza para unificar las diferentes geometrías que pueda tener la compuerta [C-mold98]. Estas relaciones se muestran en la tabla 6 [MM90].

A	$\frac{Dh * \pi * Dc^2}{4}$	A Dh Dc	Area de la compuerta(mm ²) Diámetro hidráulico Diámetro del canal(mm)
Ach	$\sqrt{\frac{A}{3}}$	Ach A	Ancho de la compuerta(mm) Area de la compuerta (mm ²)
L	$Ach * 3$	L Ach	Largo de la compuerta(mm) Ancho de la compuerta(mm)

Tabla 6. Cálculo de las dimensiones de compuertas.

En la figura 15 se muestra la hoja electrónica que calcula estas dimensiones. La información que se requiere como entrada es: familia de material, espesor de pared y distancia desde el bebedero hasta cada una de las compuertas.

Cálculo de canales y compuertas

Simétrico

Peso de la pieza	161.79	gr.	
	Esesor	mm	
PS, ABS, SAN y CAB	1	0.0	
	1.5	0.0	
	2	0.0	
	2.5	0.0	
	3	0.0	
PE, PP, PA, PC y POM	3.5	0.0	
	4	0.0	
	4.5	6.5	
	5	0.0	
		1	0.0
	2	0.0	
	3	0.0	
	4	0.0	
	5	0.0	
Diámetro de Canal		6.47	mm
Longitud	50	mm	0.00
máxima del	100	mm	0.00
Canal	150	mm	1.20
	200	mm	0.00
	250	mm	0.00
	300	mm	0.00
	400	mm	0.00
Factor de Corrección.			1.20

Asimétrico

Distancia		
Corredor 1		mm
Corredor 2		mm
Corredor 3		mm
Corredor 4		mm
Constante K	2.35	
Area 1	3.32	mm ^2
A	1.05	mm
L	3.15	mm
Area 2	4.74	mm^2
A	1.26	mm
L	3.77	mm
Area 3	5.92	mm^2
A	1.40	mm
L	4.21	mm
Area 4	0.00	mm^2
A	0.00	mm
L	0.00	mm

A = Ancho
L = Largo

Diámetro Hidráulico del canal (Runner)	
Longitud de compuerta	

Figura 15. Formato electrónico para el cálculo de corredores y compuertas.

3.4 Sistema de acondicionamiento de temperatura.

Para llenar por completo las cavidades se debe inyectar el material fundido a altas temperaturas, con gran velocidad y alta presión. Al llenarse las cavidades la masa adopta la forma del molde, pero la pieza no puede ser liberada hasta que solidifique y alcance cierta rigidez; por lo que la capacidad del molde para disipar el calor es de gran importancia para la calidad y rentabilidad del mismo [MM90].

El trabajar con altas temperaturas produce: buen acabado superficial, fluidez al inyectar el material, pocas grietas por tensión, poca contracción de la pieza, pero largos tiempos de producción. Por lo que es necesario un sistema de acondicionamiento de temperatura para aprovechar los beneficios y aminorar las desventajas.

El sistema de acondicionamiento de temperatura tiene la misión de aportar o disipar calor hasta que se obtenga la temperatura adecuada para el desmoldeo. En ocasiones en lugar de enfriar el molde, debe mantener una temperatura relativamente más alta que la ambiente para reducir el tiempo de ciclo. Por ello es que se le denomina sistema de acondicionamiento de temperatura en lugar de sistema de enfriamiento como equivocadamente se acostumbra llamarlo.

El sistema de acondicionamiento de temperatura está compuesto de una red de canales, por los cuales se hace pasar un fluido cuya función es regular la temperatura. Se recomienda que dicho fluido tenga una elevada velocidad de flujo y baja viscosidad, ya que estos parámetros mejoran la transmisión de calor entre el fluido y el molde. Por la misma razón se recomienda también, tener flujo turbulento, porque la dirección del movimiento de las partículas del fluido es transversal a la sección del canal teniendo contacto con toda la superficie.

Para determinar cuales son los puntos de la pieza que el sistema de acondicionamiento de temperatura debe enfriar, se utilizan los resultados de la(s) simulación(es) realizada(s) con C-mold (sección tiempo de enfriamiento); la imagen que genera el software muestra cuales son los puntos que más tardan en disipar el calor.

En el diseño de sistemas de acondicionamiento de temperatura con flujo turbulento se utilizan, generalmente, canales de enfriamiento con diámetro 7/16 pulgadas, quedando como único parámetro a determinar cual será la velocidad del flujo circulante. Esta velocidad se calcula utilizando lo que se conoce como número de Reynolds [IMP96]. La formulación del número de Reynolds se muestra en la tabla 7.

$Re = \frac{7740 * V * D}{n} \quad \text{ó}$ $Re = \frac{3160 * Q}{D * n}$	<p>Re = Número de Reynolds V = Velocidad del fluido (ft/s) D = Diámetro del conducto (in) N = Viscosidad cinemática (centistokes) (Agua a 50°F = 1.3) Q = Gasto o Caudal (Gal/min.)</p>
<p>Re = 2300 Re = 2300 a 3500 Re = 3500 a 5000</p>	<p>Flujo Laminar. Flujo Transitorio. Flujo Turbulento.</p>

Tabla 7. Formulación del Numero de Reynolds [IMP96].

Es importante determinar la distancia mínima que debe existir entre la superficie de la cavidad y la posición del canal de enfriamiento. Esto se obtiene mediante el estudio de transferencia de calor hacia las paredes del molde, el cual será disipado con ayuda del líquido de enfriamiento. Las ecuaciones que modelan este estudio se muestran en la tabla 8.

ΔH	Em-Ee	ΔH Em Ee	Cambio de entalpia(kJ/kg) Entalpia de la resina(kJ/kg) Entalpia de expulsión(kJ/kg)
M	$\frac{D * Vol}{100} * Ncav.$ Tii	M D Vol Ncav Tii	Masa total(kg) Densidad(g/cm ³) Volumen(cm ³) Número de cavidades Tiempo de inyección(s)
Crp	$\frac{\Delta H * M * 80}{2}$	Crp ΔH M	Calor removido por placa(W) Cambio de entalpia(kJ/kg) Masa total(kg)
Re	$\frac{V * De}{0.00000086155}$	Re V De	Número de Reynolds Velocidad del líquido(m/s) Diámetro de enfriamiento(m)
ΔT	$\frac{4 * \Delta H * M * 80}{2}$ $V * De^2 * \pi * 4174019.24$	ΔT ΔH M V De	Cambio de temperatura(°C) Cambio de entalpia(kJ/kg) Masa total(kg) Velocidad del líquido(m/s) Diámetro de enfriamiento(m)
A	$Ncav * De * \pi * Lc$	A Ncav De Lc	Area de exposición(m ²) Número de cavidades Diámetro de enfriamiento(m) Largo del conducto(m)
ΔTp	$\frac{Crp}{A * 3616}$	ΔTp Crp A	Cambio de temp. por placa(°C) Calor removido por placa(w) Area de exposición(m ²)
ΔTt	$Te - Tl - \Delta Tp$	ΔTt Te Tl ΔTp	Cambio total de temp.(°C) Temperatura del líquido(°C) Temp. de inyección(°C) Cambio de temp. por placa(°C)
D1	$\Delta Tt * 52 * Lp * De * \frac{Ncav}{2}$ $- Lc * \frac{Ncav}{6} * A$	D1 ΔTt Lp De Ncav Lc A	Distancia 1(m) Cambio total de temp.(°C) Largo de la pieza (m) Diámetro de enfriamiento(m) Número de cavidades Largo del conducto(m) Area de exposición(m ²)
D2	$\frac{\Delta H * M * 80 * Ln \left(Lp * De * \frac{Ncav}{2} \right)}{Lc * \frac{Ncav}{6} * Ap}$	D2 ΔH M Lp De Ncav Lc Ap	Distancia 2(m) Cambio de entalpia(kJ/kg) Masa total(kg) Largo de la pieza(m) Diámetro de enfriamiento(m) Número de cavidades Largo del conducto(m) Ancho de la pieza(m)
Dm	$\frac{D2}{D1} * 2000$	D1 D2 Dm	Distancia 1(m) Distancia 2(m) Distancia Mínima(mm)

Tabla 8. Relaciones para determinar la distancia mínima del sistema de temperatura.

En la tabla 9 se muestran las temperaturas de operación tanto del procesado como del molde para los materiales plásticos más comunes.

Material	Temp. De Procesado °C.	Temp. Del Molde °C.
PELD	170-250	0-70
PEHD	220-320	0-70
Poliestireno (PS)	200-250	30-60
PS-Antichoque.	200-250	30-60
Poliamida 6 (Nylon)	240-290	60-100
Poliamida 6+Fibra de Vidrio	260-310	80-120
Poliamida 66	260-300	40-120
Poliamida 66+Fibra de vidrio	280-320	40-120
Poliamida 6.10	230-260	80-120
Estireno-Acrilonitrilo	230-260	80-120
Polimetacrilato	170-230	80-90
Policarbonato (PC)	280-310	85-120
Copolimero Acetal	180-230	70-130
PVC Plastificado	280	20-80
PVC Rígido	160-190	20-80
Polipropileno (PP)	180-280	0-80
ABS	180-240	50-80
Acetato de Calulosa	180-230	40-80
Acetobutirato de Calulosa	180-220	40-80
Propinato de Calulosa	180-220	40-80

Tabla 9. Parámetros de operación de resinas comerciales.

Adicionalmente a esta información, debe identificarse si se requieren canales transversales únicamente, longitudinales o alguna configuración especial como lo serían los pozos fríos, por dar un ejemplo [DS99]. Las ecuaciones antes mencionadas determinan la posición ideal de las líneas de enfriamiento. En la figura 16 se muestra el formato electrónico que concentra estas ecuaciones.

Sistema de acondicionamiento de temperatura.

Temp. de Inyección.		°C
Entalpia del material (iny)		Kj/Kg.
Entalpia de expulsión		Kj/Kg.
Densidad		g/cm ³
Diámetro de enfriamiento		M
Velocidad del líquido		m/s
Número de conductos		Líneas
Largo del conducto		M
Temp de Expulsión		°C
Largo de la pieza		M
Ancho de la pieza		M
ΔH	330.000	Kj/Kg.
Volumen	142.770	cm ³
M	1.313	Kg./pza
Masa por ciclo	0.084	Kg./ciclo
Calor removido	2760.586	W
Calor removido total	2208.469	W
Calor removido por placa	1104.234	W
Temp.del líquido		°C
Número de Reynolds	10214.149	Flujo turbulento<2320
Flujo por minuto	4.562	l/min
Diferencial de Temp.	3.480	°C
Area del ducto	0.104	
Dif. de temperatura	2.946	°C
Dif. Total	12.054	°C
Distancia	-47.918	
	-5027.066	
Distancia mínima		mm

Figura 16. Formato electrónico para el cálculo de las dimensiones para el sistema de acondicionamiento de temperatura.

3.5 Sistema de expulsión.

Una vez que la pieza se enfrió y solidificó, hay que extraerla del molde. El caso ideal es cuando la pieza es extraída por gravedad al momento de abrir el molde, aunque generalmente, la pieza queda retenida por resaltes, fuerzas de adherencia y tensiones internas, por lo que usualmente hay que desprenderla mediante dispositivos especiales. Esta extracción se realiza mediante dispositivos mecánicos que se accionan aprovechando la carrera de apertura de la máquina, aunque también puede ser a través de dispositivos neumáticos o hidráulicos.

Los puntos en los que se colocan los expulsores son aquellos que conducen la fuerza de extracción a la pieza mediante un efecto de refuerzo, por ejemplo rincones, paredes laterales, nervios, uniones, etc. La posición de los expulsores debe ser tal que la pieza sea desmoldada sin deformarse o deteriorarse. Hay que considerar que todo expulsor produce una marca visible en la pieza así como la posible formación de rebabas en el punto de ataque del expulsor.

El sistema más tradicional opera a través de varillas expulsoras que separan la pieza del núcleo o corazón, actuando sobre el lado móvil del molde. Una buena práctica es ubicar los elementos de expulsión en donde se identificaron posibles trampas de aire, ya que esto ayuda a eliminarla(s) de manera natural. Otro método utilizado es la placa expulsora, cuya finalidad es la de repartir la fuerza de extracción sobre todo el perímetro de la pieza. Para determinar las características del sistema de desmolde debemos establecer una relación entre los parámetros mostrados en la tabla 10.

Coeficiente de dilatación	Altura
Coeficiente de fricción	Temperatura de mezcla
Diámetro del expulsor	Temperatura de molde
Fuerza máquina	Presión de inyección







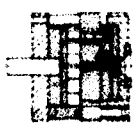

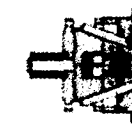
Tabla 10. Parámetros para el cálculo del sistema de expulsores.

Se debe calcular la fuerza requerida para desmoldar la pieza, el número mínimo de expulsores y el área mínima que estos deben cubrir para lograr un sistema de expulsión efectivo. En la tabla 11 se muestran las relaciones bajo las cuales se determinan los parámetros antes mencionados.

<i>Cl</i>	$\frac{Cd * (Tm - Tmol)}{2.45}$	<i>Cl</i> <i>Cd</i> <i>Tm</i> <i>Tmol</i>	Contracción lineal Coeficiente de dilatación(1/°C) Temperatura de mezcla(°C) Temperatura de molde(°C)
<i>Ct</i>	$Cl * 2.5$	<i>Ct</i> <i>Cl</i>	Contracción total Contracción lineal
<i>Ke</i>	$\frac{Dap * \pi * H * Cf * Ct * 22000 * \left(\frac{Cp * 2}{Dap}\right)}{2450000}$	<i>Ke</i> <i>Dap</i> <i>H</i> <i>Cf</i> <i>Ct</i> <i>Cp</i>	Fuerza de desmolde(Mpa) Diámetro área proyectada (mm) Altura (mm) Coeficiente de fricción Contracción total Contracción de pieza(μm)
<i>Am</i>	$\frac{Ke * 1000000}{Fm}$	<i>Am</i> <i>Ke</i> <i>Fm</i>	Area mínima(m ²) Fuerza de desmolde(Mpa) Fuerza de máquina(Mpa)
<i>Ne</i>	$\frac{Am * 100}{\pi * De}$	<i>Ne</i> <i>Am</i> <i>De</i>	Número de expulsores Area mínima(cm ²) Diámetro del expulsor(mm)

Tabla 11. Relaciones para el cálculo del número de expulsores.

En la figura 17 se muestran seis configuraciones típicas de moldes y los sistemas de expulsión correspondientes [MM90] y en la figura 18 se muestra el formato electrónico que soporta el cálculo de la fuerza de apertura y desmolde, el área de contacto necesaria para la expulsión que a su vez determina el número de elementos de expulsión o botado que requiere una pieza en específico.

Standard mold	Mold with stripper plate	Slide molds	
			Major compo- nents
a. Clamping plate SS b. Ejector system c. Cavity d. Sprue e. Clamping plate DS	a. Clamping plate SS b. Stripper plate c. Cavity d. Sprue e. Clamping plate DS	a. Ejection system b. Cam pin c. Cavity d. Slide e. Sprue	Characteristic
most simple design, two mold halves, one parting line, opening in one direction, demolding by gravity, ejector pins or sleeve	design similar to standard mold but with stripper plate for ejection	design similar to standard mold but with slides and cam pins for additional lateral movement	Openings
for all kinds of moldings without undercut	for cup like shaped mold- ings without undercut	for parts with undercuts or external threads	Example
			
			

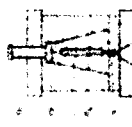
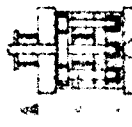
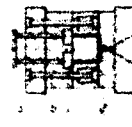
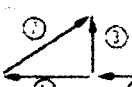
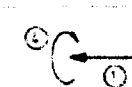
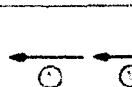
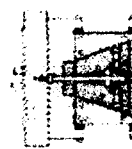


Split cavity mold	Mold with unscrewing device	Three-plate mold	
			Major compo- nents
a. Ejector system b. Retainer block c. Split cavity block d. Cavity e. Sprue	a. Ejection system b. Lead screw c. Gear d. Core e. Cavity	a. Ejector system b. Stripper bolt c. Cavity d. Sprue and runner	Characteristic
Design similar to standard mold but with split cavity block for moldings with undercuts or external threads	Thread-forming core is rotated by built in and mechanically actuated drive	two parting lines; movement of floating plate actuated by latch or strip- per bolt; two-step opening move- ment	Moldings
for oblong or wide mold- ings with undercuts or threads	for moldings with internal or external threads	automatic separation of molding and runner	Opening path
			Example
			

Figura 17. Sistemas de expulsión [MM90].

Fuerza de desmoldeo y apertura de molde.

Diámetro área proyectada	82.94 Mm		
Espesor de pared.	4.5 Mm		
Altura	[REDACTED]	Mm	
Temp. de mezcla	[REDACTED]	°C	
Temp. de molde	[REDACTED]	°C	
Presión de inyección.	[REDACTED]	kp/cm ²	
Fuerza máquina	[REDACTED]	N	
Diámetro del expulsor	[REDACTED]	Mm	
Diámetro general	225.31 Mm		
Diámetro de enfriamiento	33 Mm		
Coefficiente de dilatación	[REDACTED]	1/°C	
Coefficiente de fricción	[REDACTED]		
	Matriz	15.21 um	
	Núcleo	9.32 um	
	Total		24.53
Contracción lineal	0.00514	0.51 %	
Contracción teórica	0.00771	0.77 %	
	0.01029	1.03 %	
Contracción de la pared de la pieza		18.93 um	
	Ms	10423	
	p	114.29 Kp/cm ²	



Figura 18. Formato electrónico para el cálculo de elementos de expulsión.

3.6 Costeo del molde.

Se desarrolló un modelo de costeo, el cual no busca ser universal, ya que incluso en el ámbito mundial se detecta una discrepancia entre los costos y tiempos de entrega de los diferentes países fabricantes de moldes para inyección de plástico [TP99]. En este modelo se emplea la información que se ha calculado hasta el momento.

Este modelo considera tres secciones:

- Modelación, análisis y diseño del molde.
- Características físicas del molde y costo de maquinado.
- Material requerido.

La sección de modelación, análisis y diseño del molde se considera como la parte medular del modelo de costeo, en donde los parámetros a alimentar son los tiempos estimados de modelación tridimensional en un sistema CAD (en caso de no tener los modelos en formato electrónico) y el tiempo estimado de análisis y diseño. En la figura 19 se muestra la relación de estas etapas con sus costos de producción.

En la segunda sección se consideran las características que son comunes a todos los moldes de inyección [MM93] y el formato electrónico se muestra en la figura 20.

En la última sección se estima la cantidad de material que se utilizará en la manufactura del molde, obteniendo de esta manera el costo asociado a la construcción del mismo. Se consideran también elementos del sistema de expulsión tales como pernos de centrado y botadores, tornillería en general, además de herramientas de corte y pulido. Su formato electrónico se muestra en la figura 21. El uso de este formato requiere un conocimiento previo de procesos de manufactura y conceptualizar el molde como una unidad funcional.

EMPRESA:	BINECH			
PIEZA:	Flecha			
MATERIAL:	PP			
CONCEPTO	TIEMPO	COSTO/HORA	PARCIAL	Totales
Análisis de pieza		\$ 15.00	\$ -	
Diseño y modelación del molde		\$ 30.00	\$ 720.00	
Diseño y mod. de pieza para Moldeo		\$ 30.00	\$ -	
Diseño elementos especiales		\$ 30.00	\$ 120.00	
Diseño de Insertos Transversales		\$ 15.00	\$ -	
Simulación		\$ 15.00	\$ 120.00	
Generación de planos de Fabricación.		\$ 15.00	\$ 360.00	
	60	Hrs		\$ 1,320.00
Diseño para Manufactura		\$ 30.00	\$ 480.00	
Generación de códigos NC		\$ 30.00	\$ -	
Maquinado de molde	386.03	\$ 15.00	\$ 5,790.40	
Trabajo Otros talleres (EDM)	0.00	\$ 15.00	\$ -	
	402	Hrs		\$ 6,270.40
Pruebas de Inyección		\$ 20.00	\$ 240.00	\$ 240.00
Material				\$ 9,227.00

Figura 19. Costeo del molde.

MANUFACTURA

Fresado Desbaste	0.85	6.8		
EDM	1.35	0		
Fresado Pre-acabado	1.18	0		
Torneado	0.4	20		
Acabado	1	50		
Labor Manual	0.8	19.2		
Dist. Máxima (mm)				
Dist. Mínima (mm)				
Número de Elevación				
Número de Depresión	4			
Vel. De Remoción m/min		100 a 350		
Area Elevación/Depresión (mm ²) Maquinada		0 a 1		
Tipo de Acabado	0.8 a 1.0	1.0 a 1.2	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Plana	1			
Curva	1.15			
Circular	1	1		
Angular	2	0		
Circular Largo	4	4		
Angular Largo	8	0		
Curveado	10	0		
No. de Corazones	4			
Tolerancias	1.4	0 a 4		
Dificultad	1	0 a 5		
Número de Elementos	4	3		
No. de Compuertas	Pinpoint	0.85		
	Disco	0		
	Túnel	0		
	Lado	0		
Longitud del canal (mm)				
Factor de corrección 5mm	0.14	0		
Factor de corrección 8mm	0.16	0.16		
Factor de corrección 12mm	0.18	0		
Diámetro (mm)				

No. de sistemas	
Area del sistema (mm ²)	
Profundidad (mm)	
No. de boquillas	4
No. líneas de enfriamiento	
Profundidad (mm)	
Coefficiente de dificultad de Maquinado	0.40-1.20
Diámetro de expulsor	
Long. de expulsor	
No. de elementos	
Postes y shoulder	
Expulsores Slave y Blade	
Pernos de retorno	
Tiempo de maquinado	386.03 Hr
Tiempo de electro-erosión	0.00 Hr
Procedimiento de maquinado (Cm)	0.96
Profundidad de la cavidad (Cd)	0.2625
Area de la cavidad (Ca)	mm ²
Forma de línea de partición (Cp)	2.15
Acabado superficial (Cs)	12.79
Tiempo maquinado de corazones (Cc)	20
Tolerancias (Ct)	1.4
Grado de dificultad (Cdd)	1
Cavidades (Cn)	3
Compuertas (Cg)	0.85
Canales (Cr)	62.40
Canales calientes (Chr)	0.00
Sistema de acondicionamiento (Ch)	20.00
Sistema de expulsión (Cem)	14.02

Figura 20. Características físicas del molde y costo de maquinado

Figura 21. Material para la construcción de un molde.

MATERIALES/Proveedor	Largo (in)	Ancho (in)	Espesor (in)	Diametro (in)	Volumen (in ³)	Kg	Unidades	Costo/Kg	Parcial
PARTE									
Placa Acero P20 (Porta Cavidad)	19	20	10		3800	490.32	1.00	\$ 8.25	\$ 4,045.16
Placa Acero 1045 (Botado)	0	0	0		0	0.00	2.00	\$ 6.00	\$ -
Placa Acero 1045 (Postes)	0	0	0		0	0.00	2.00	\$ 6.00	\$ -
Placa Acero 1045 (Respaldo)	0	0	0		0	0.00	2.00	\$ 6.00	\$ -
Acero 1045 (Sufrideras)	0	0	0		0	0.00	4.00	\$ 6.00	\$ -
BOTADO									
Botadores (DME)				0.13			4.00	\$ 6.00	\$ 24.00
Postes de Retorno (DME)				0.75			4.00	\$ 6.00	\$ 24.00
ALIMENTACION									
Sprue Bushing (Colada DME)				1.00			1.00	\$ 50.00	\$ 50.00
Pernos de Centrado (DME)				1.00			4.00	\$ 20.00	\$ 80.00
Pernos Guia Correderas.				0.00			0.00	\$ 20.00	\$ -
TORNILLERIA									
Tornillo Allen P. Respaldo				0.50			16.00	\$ 0.12	\$ 1.92
Tornillo Allen P. Botado				0.25			8.00	\$ 0.12	\$ 0.96
Tornillo Allen P. Insertos				0.50			8.00	\$ 0.12	\$ 0.96
MATERIAL DE CORTE									
Material para Electroodos EDM							40.00	\$ 50.00	\$ 2,000.00
Herramientas de Corte							20.00	\$ 100.00	\$ 2,000.00
Material de Pulido							20.00	\$ 50.00	\$ 1,000.00

Un elemento que se debe presentar junto con este modelo es el estudio financiero y de factibilidad de producción de la pieza. El formato electrónico correspondiente se muestra en la figura 22 [BINECH]. En este se relacionan la cantidad de piezas solicitadas por mes, el peso de la pieza, el porcentaje de pigmento que utiliza, el número de cavidades, el tiempo de ciclo y el área que proyecta una sola cavidad. Con esta información y el costo del molde se determina el costo de cada una de las piezas a producir. En la figura 23 se muestra un método alternativo para este mismo cálculo [C-mold99].

ANALISIS FINANCIERO

Currency	10.00	USD	Hr/maq	Description	M.C. USD ton	M.C. Pesos ton
P.O. Qty/month			200	Ton		
Description		25.00	250.00			
Part. No						
Weight (kg)						13,000.00
% Pigment						0.00
No. Cavites			Ton req.	W. Runner	W. Pcs.	W.Tot.
Area (in2)			132		0.32	0.32 Kg
Cycle (seg)						11.39 oz
Pcs/hr	135					
Pcs/shift	1,077	3,230 Daily				
Total Shift's/PO	92.88	30.96 Days				
Scrap	3.50%					
Indirect.	5.00%					
UTL						
Mold cost						
Pay out months	24					
Intrested	20.00%					
Total tool cost	\$25,277.55					
Mat. cost /pc		0.2286		Gros Req.		
resin (Kg)	52.85%	0.2286	2.2859	16,746	22,858.70	228,587.00
pigment (Kg)	0.00%	0.0000	0.0000	347	0.00	0.00
Molding (hr)	44.93%	0.1951	1.9505	769	19,505.21	195,052.08
Tool cost	2.43%	0.0105	0.1053			
UTL	0.00%	0.0000	0.0000	UTL/month	0.00	0.00
Total cost/Pza	100.00%					
				Sales/month	42,363.91	423,639.08
				Sales/year	508,366.89	5,083,668.94

Figura 22. Análisis financiero de la pieza [BINECH].

C-MOLD Cost Cruncher

Note: The (\$) symbol represents international currency.

Calculate material cost by volume or weight of part and runner

<p>Material Cost by Weight</p> <p>Set units: <input type="radio"/> English <input checked="" type="radio"/> Metric <input type="radio"/> Custom</p> <p>Part weight : <input type="text" value="161.79"/> <input type="text" value="g"/> <input type="text" value=""/></p> <p>Runner weight : <input type="text" value="10"/> <input type="text" value="g"/> per <input type="text" value="2"/> parts</p> <p>Scrap/reject rate : <input type="text" value="3"/> %</p> <p>Max. regrind allowance : <input type="text" value="1"/> % of total shot volume</p> <p>Targeted part production : <input type="text" value="100000"/> parts</p> <p>Total material required : <input type="text" value="17022.9"/> <input type="text" value="kg"/> <input type="button" value="Calculate"/></p> <p>Material cost : \$ <input type="text" value="1.3"/> per <input type="text" value="kg"/></p> <p>Material cost per part : \$ <input type="text" value="0.22"/> <input type="button" value="Calculate"/></p>	<p>Mold Cost</p> <p>Mold cost: \$ <input type="text" value="17000"/></p> <p>Number of parts per mold life cycle : <input type="text" value="500000"/> parts</p> <p>Mold maintenance : \$ <input type="text" value="50"/> per <input type="text" value="100000"/> parts</p> <p>Mold cost per part : \$ <input type="text" value="0.03"/> <input type="button" value="Calculate"/></p> <hr/> <p>Machine Cost</p> <p>Cycle time: <input type="text" value="53.5"/> <input type="text" value="sec(s)"/></p> <p>Cavities per mold: <input type="text" value="2"/></p> <p>Machine rate per hour: \$ <input type="text" value="15"/></p> <p>Setup cost: \$ <input type="text" value="50"/> per <input type="text" value="10000"/> parts</p> <p>Downtime: <input type="text" value="3"/> %</p> <p>Machine cost per part : \$ <input type="text" value="0.12"/> <input type="button" value="Calculate"/></p>								
<p>Post-Molding Cost</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 25%;">Finishing: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts</td> <td style="width: 25%;">Assembly: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts</td> </tr> <tr> <td>Other secondary operations: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts</td> <td>Packaging: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts</td> </tr> <tr> <td>Shipping: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts</td> <td>Overhead: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts</td> </tr> <tr> <td>Other: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts</td> <td>Post-molding cost per part: \$ <input type="text" value="0.0"/> <input type="button" value="Calculate"/></td> </tr> </table>		Finishing: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts	Assembly: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts	Other secondary operations: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts	Packaging: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts	Shipping: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts	Overhead: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts	Other: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts	Post-molding cost per part: \$ <input type="text" value="0.0"/> <input type="button" value="Calculate"/>
Finishing: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts	Assembly: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts								
Other secondary operations: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts	Packaging: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts								
Shipping: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts	Overhead: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts								
Other: \$ <input type="text" value=""/> per <input type="text" value=""/> parts	Post-molding cost per part: \$ <input type="text" value="0.0"/> <input type="button" value="Calculate"/>								
<p>Part-Cost Summary</p> <p>Total cost per part : \$ <input type="text" value="0.37"/> <input type="button" value="Calculate All"/></p> <p>Cost-Breakdown</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 25%;">Material : \$ <input type="text" value="0.22"/> <input type="text" value="59.5"/> %</td> <td style="width: 25%;">Mold : \$ <input type="text" value="0.03"/> <input type="text" value="8.1"/> %</td> </tr> <tr> <td>Machine : \$ <input type="text" value="0.12"/> <input type="text" value="32.4"/> %</td> <td>Post-molding : \$ <input type="text" value="0.0"/> <input type="text" value="0.0"/> %</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Total : \$ <input type="text" value="0.37"/> <input type="text" value="100"/> %</td> </tr> </table> <p>Profit : <input type="text" value="15"/> %</p> <p>Targeted part production : <input type="text" value="100000"/> parts</p> <p>Price quote : \$ <input type="text" value="0.43"/> per part \$ <input type="text" value="42550.0"/> per production <input type="button" value="Calculate"/></p>		Material : \$ <input type="text" value="0.22"/> <input type="text" value="59.5"/> %	Mold : \$ <input type="text" value="0.03"/> <input type="text" value="8.1"/> %	Machine : \$ <input type="text" value="0.12"/> <input type="text" value="32.4"/> %	Post-molding : \$ <input type="text" value="0.0"/> <input type="text" value="0.0"/> %	Total : \$ <input type="text" value="0.37"/> <input type="text" value="100"/> %			
Material : \$ <input type="text" value="0.22"/> <input type="text" value="59.5"/> %	Mold : \$ <input type="text" value="0.03"/> <input type="text" value="8.1"/> %								
Machine : \$ <input type="text" value="0.12"/> <input type="text" value="32.4"/> %	Post-molding : \$ <input type="text" value="0.0"/> <input type="text" value="0.0"/> %								
Total : \$ <input type="text" value="0.37"/> <input type="text" value="100"/> %									

C-MOLD Cost Cruncher

Copyright (c) 1998 Advanced CAE Technology, Inc.

All rights reserved

Figura 23. Estimación de costo por pieza C-mold.

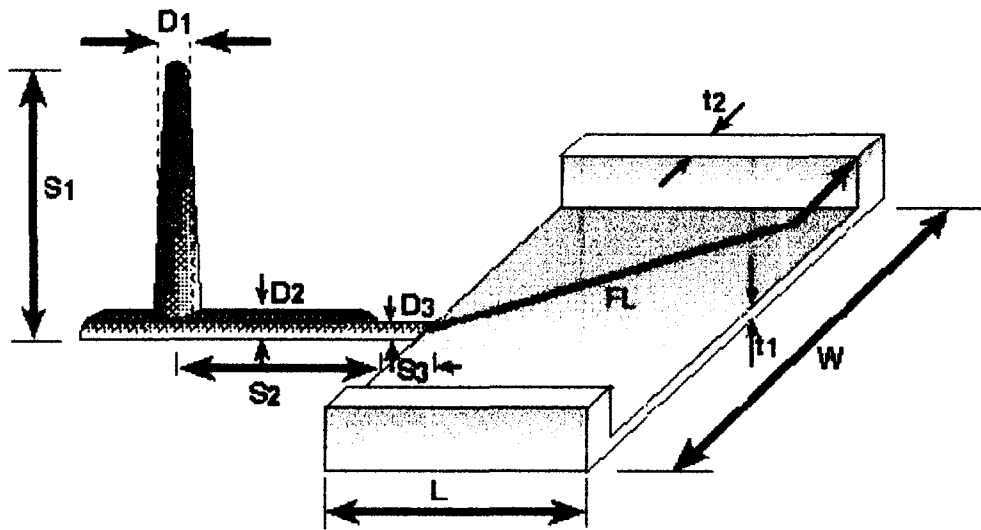
Capítulo 4. Simulación de la cavidad.

Una vez seleccionados todos los parámetros importantes para el diseño, es necesario simular y comprobar que estos parámetros actuarán en la forma esperada. La simulación debe integrar además el sistema de alimentación para comprobar su eficiencia y verificar la localización de puntos calientes o puntos que requieren enfriamiento y la posición de los elementos de expulsión.

4.1 Simulación integral.

En esta simulación se debe considerar tanto la pieza como el sistema de alimentación que se ha diseñado y calculado en secciones anteriores. En la figura 24 se listan los parámetros importantes para el modelo.

Dentro de esta sección se utilizará como ejemplo una moldura fija o vista para un mueble archivero [TREVIÑO] en lugar de la cubierta para flecha debido a que la simulación de dos cavidades y del sistema de alimentación es mayor a la capacidad del software de simulación con que se cuenta para el desarrollo del trabajo de tesis.



D	Diámetro de corredor
FL	Distancia de flujo
L	Largo de pieza.
S	Largo de corredor.
t1	Espesor nominal.
t2	Espesor Máximo
W	Ancho de pieza

Figura 24. Geometría básica [C-mold 98]

En esta tercera simulación se muestra como afecta al procesado la posición de los puntos utilizando distintas combinaciones hasta obtener un proceso eficiente en todos los aspectos. Es importante también notar que se realizaron cambios en la configuración de los canales y compuertas, estos cambios se llevan a cabo con ayuda de herramientas paramétricas.

4.2 Simulación #3:

Moldura vista de archivero preliminar.

Proyecto: **Moldura de archivero Original**
Cliente: **Equipos Treviño.**
Diseñador: **Ing. Fernando Pacheco M.**
Responsable: **Dr. Noel León**

Resumen de proyecto:

Fecha: FEB01-99

Tiempo: 12:37:39

Nombre : Moldura1

==== Especificación de la resina ====

Polímero : ABS (base)

==== Especificación de la maquina ====

Fuerza de cierre requerida = 33.38 ton(m)

Tamaño de disparo (GPS) = 118.34 g

Máxima presión de inyección. = 32.00 MPa

Máxima velocidad de inyección. = 28.00 cm³/s

Estado de la máquina = Buena

==== Configuración de la máquina ====

Tiempo de llenado.	=	9.36 s
Tiempo de enfriamiento.	=	10.68 s
Presión de inyección.	=	32.00 MPa
Temperatura de la mezcla.	=	274.00 C
Temperatura del molde.	=	30.00 C

==== Información de la parte ===

Peso de una parte simple.	=	119.12 g
Espesor promedio.	=	3.14 mm
Desviación estándar del espesor.	=	1.27 mm
Area proyectada de una cavidad.	=	127.90 cm ²
Fuerza de cierre por cavidad.	=	33.38 ton(m)
Número de cavidades.	=	1

Plano de partición en el plano XY.

94.8 % Lleno por la compuerta # 1

Description MOLDURAm
 Resin ABS (base)
 T melt 274 C
 T mold 30 C

Cooling time

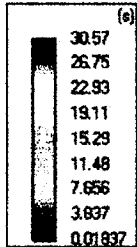
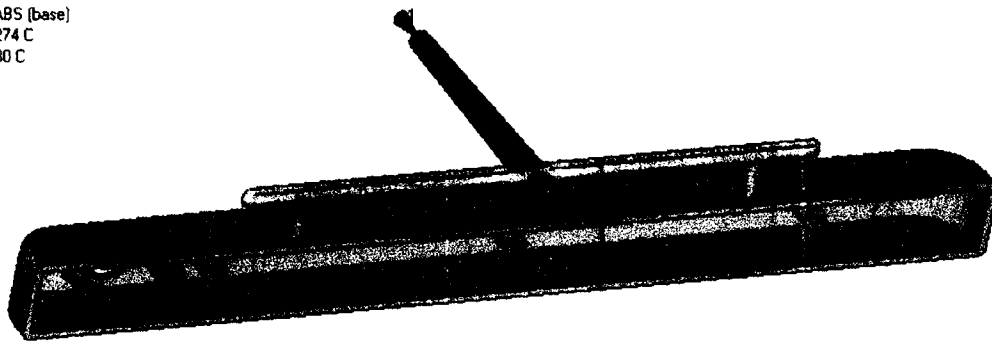


Figura S3-1. Enfriamiento

Description MOLDURAm
 Resin ABS (base)
 T melt 274 C
 T mold 30 C

Pressure

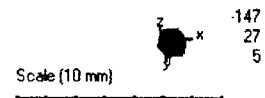
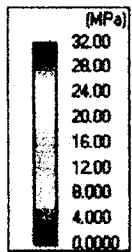
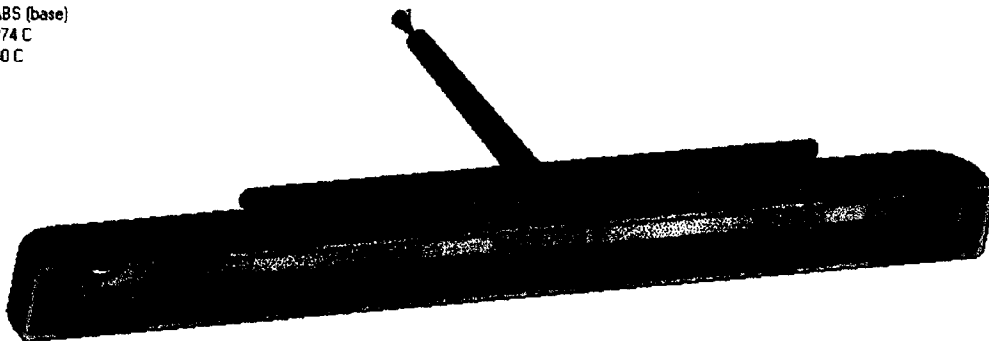


Figura S3-2. Presión.

Description MOLDURAm
 Resin ABS (base)
 T melt 274 C
 T mold 30 C

Temperature

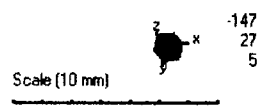
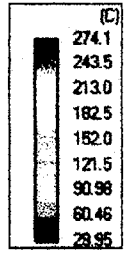
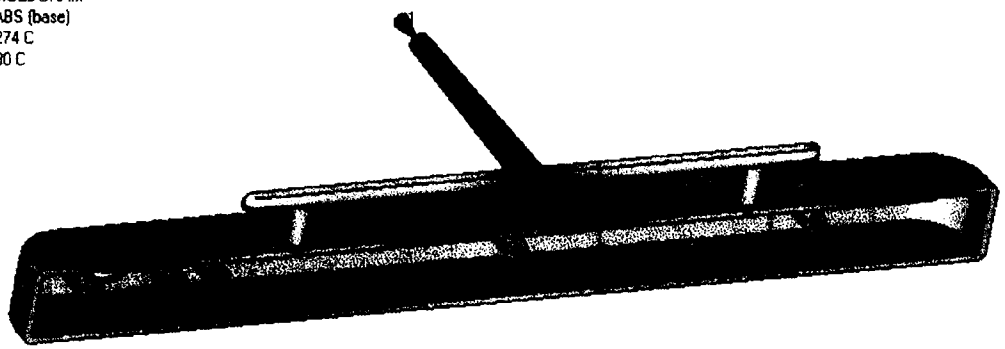


Figura S3-3. Temperatura.

Description MOLDURAm
 Resin ABS (base)
 T melt 274 C
 T mold 30 C

Weld lines

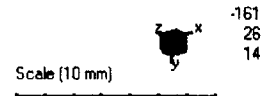
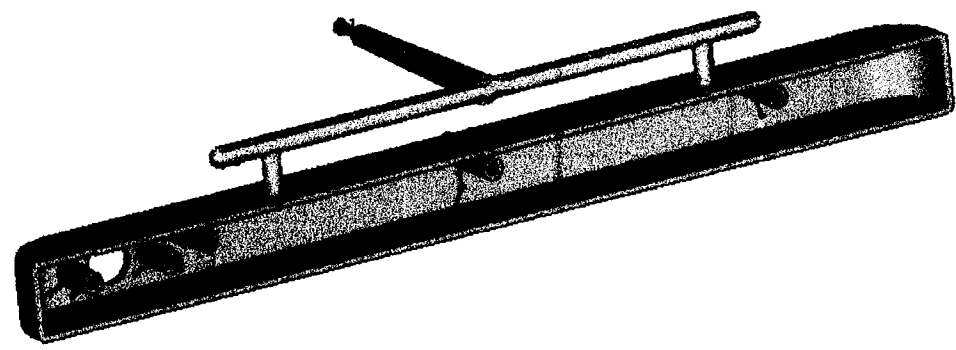
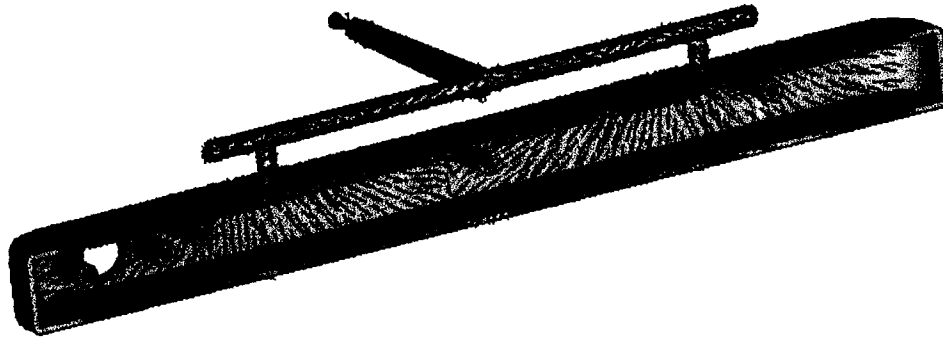



Figura S3-4. Líneas de soldadura.

Description MOLDURAm
Resin ABS (base)
T melt 274 C
T mold 30 C

Orientation



Scale (10 mm)

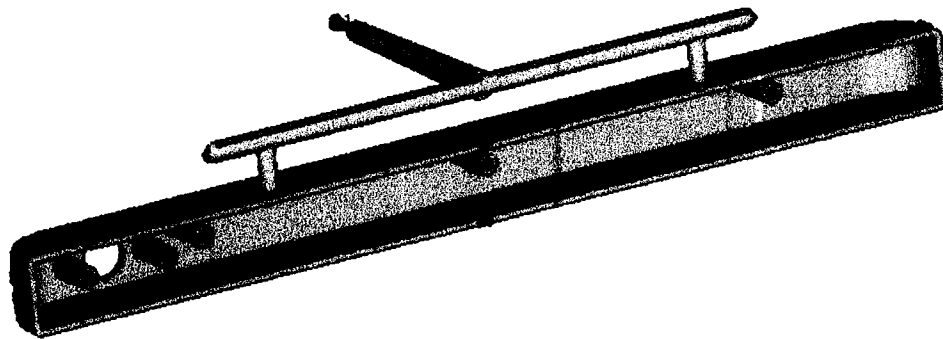


-161
26
14


Figura S3-5. Orientacion de fibras.

Description MOLDURAm
Resin ABS (base)
T melt 274 C
T mold 30 C

Air traps



Scale (10 mm)



-161
26
14

Figura S3-6. Puntos de Venteo.

En la simulación #3 se observa que la cavidad no se llena por completo con los valores seleccionados. Para resolver este inconveniente se tienen dos opciones (1) aumentar la presión de inyección y (2) inyectar más material en el mismo lapso de tiempo. Ambas son igualmente viables.

Las reglas de diseño que aplican son:

Entre mayor sea la velocidad de inyección, la temperatura de mezcla o la temperatura del molde, menor es la presión que se requiere, y menor distancia de flujo.

A continuación se presenta la simulación óptima para esta configuración.

4.3 Simulación #4:

Moldura vista de archivero inicial.

Proyecto:	Moldura Fija Original Optimizada
Cliente:	Equipos Treviño.
Diseñador:	Ing. Fernando Pacheco M.
Responsable:	Dr. Noel León

Resumen de proyecto:

Fecha : JAN31-99

Tiempo : 00:49:49

Nombre : MOLDURA 2

==== Especificación de la resina ====

Polímero: ABS (Base)

==== Especificación de la máquina ====

Fuerza de cierre requerido.	=	31.30 ton(m)
Tamaño del disparo (GPS)	=	118.34 g
Máxima presión de inyección.	=	37.00 MPa
Máxima velocidad de inyección.	=	40.00 cm ³ /s
Desempeño de máquina.	=	Bueno

==== Configuración de la máquina ====

Tiempo de llenado.	=	5.11 s
Tiempo de enfriamiento.	=	13.04 s
Presión de inyección.	=	30.00 MPa
Temperatura de la mezcla.	=	265.00 C
Temperatura del molde.	=	30.00 C

==== Información de la parte ===

Peso de una parte simple.	=	119.12 g
Espesor promedio.	=	3.12 mm
Desviación estándar del espesor.	=	1.24 mm
Area proyectada por una cavidad.	=	127.90 cm ²
Fuerza de cierre requerida por una cavidad.	=	31.30 ton(m)
Numero de cavidades	=	1
Plano de partición en el plano XY.		

100.0 % llenado por compuerta # 1

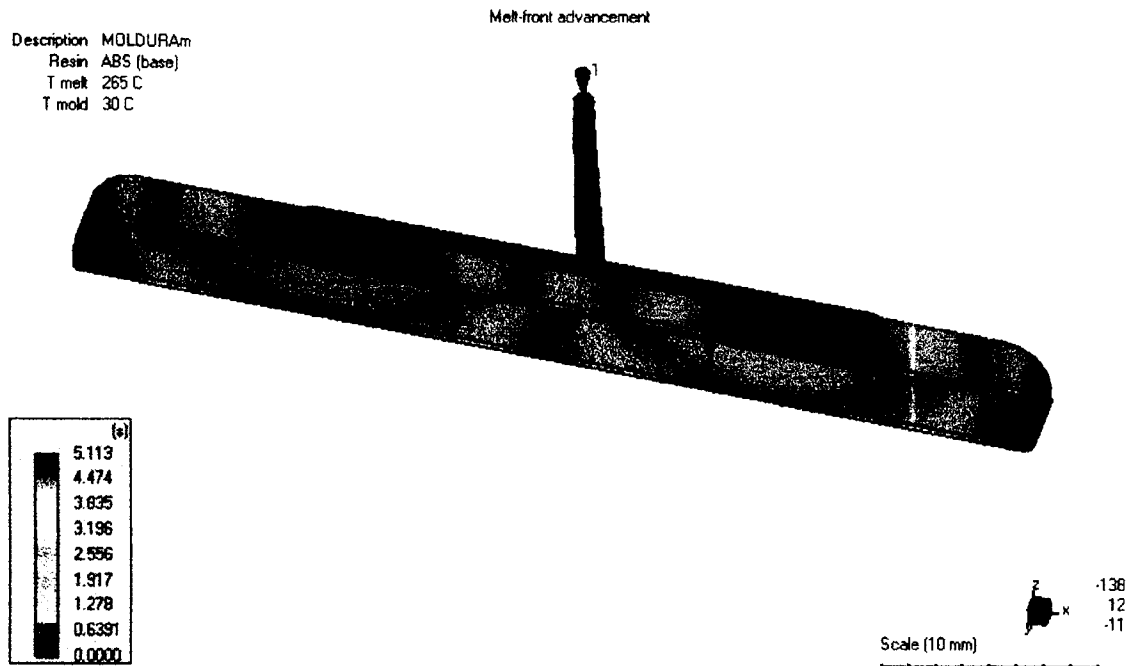


Figura S4-1. Frente de mezcla.

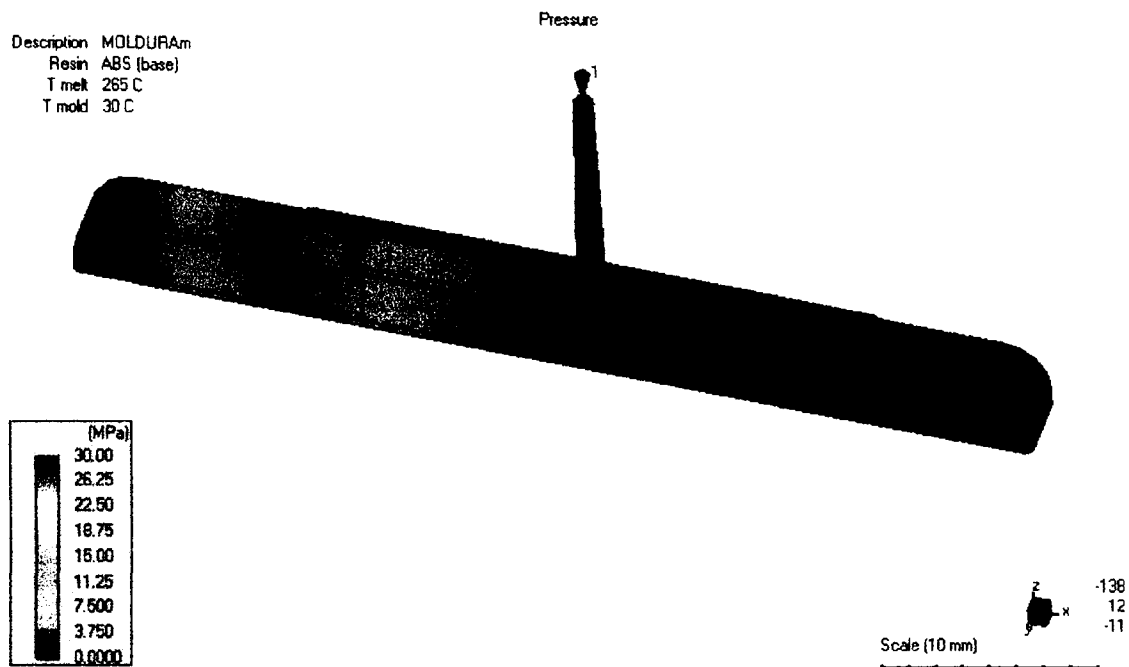


Figura S4-2. Presión

Description MOLDURAm
 Resin ABS (base)
 T melt 265 C
 T mold 30 C

Temperature

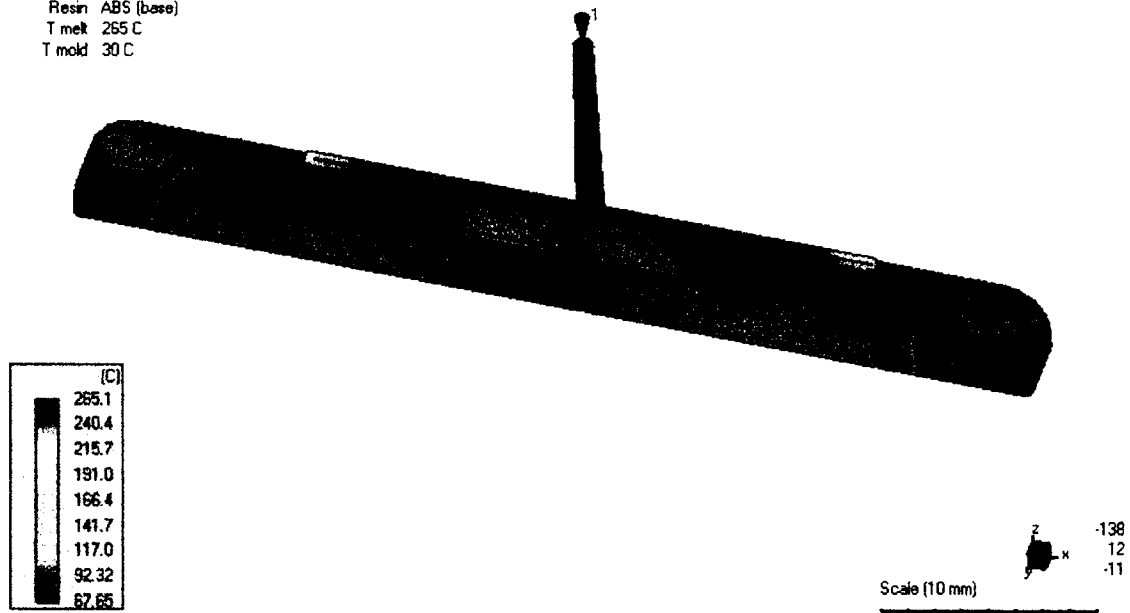


Figura S4-3. Temperatura.

Description MOLDURAm
 Resin ABS (base)
 T melt 265 C
 T mold 30 C

Cooling time

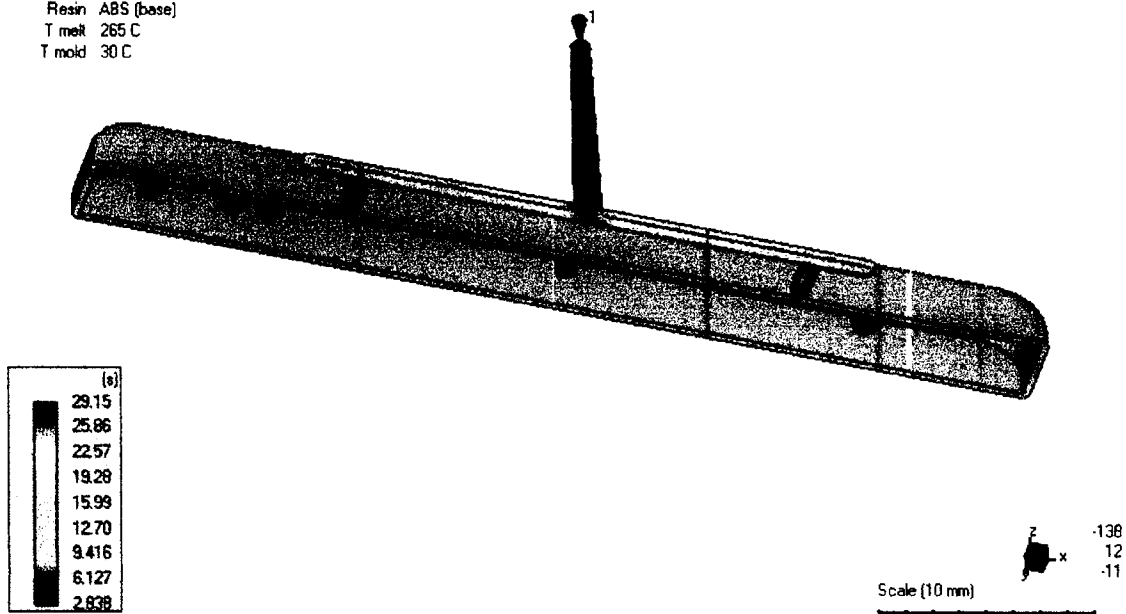
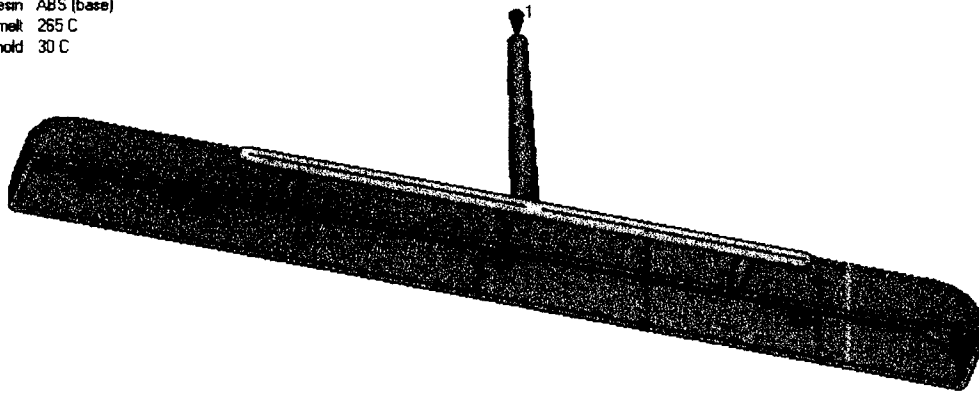


Figura S4-4. Enfriamiento.

Description MOLDURAm
Resin ABS (base)
T melt 265 C
T mold 30 C

Weld lines



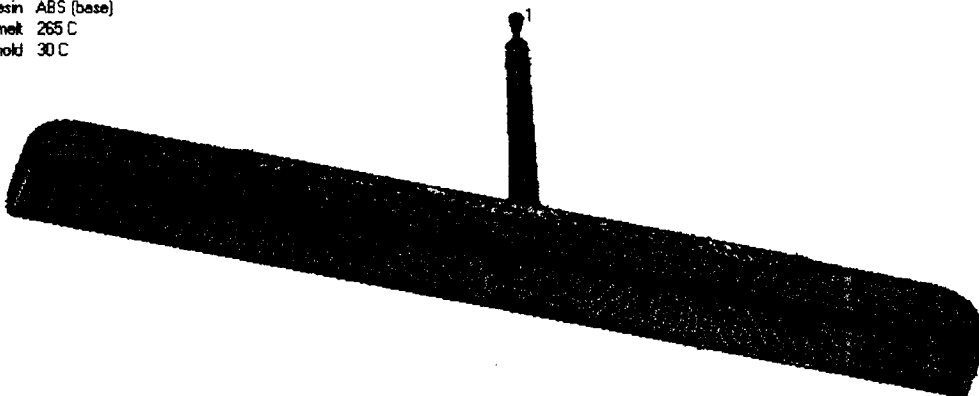
z -138
x 12
-11

Scale (10 mm)

Figura S4-5. Líneas de soldadura.

Description MOLDURAm
Resin ABS (base)
T melt 265 C
T mold 30 C

Orientation



z -138
x 12
-11

Scale (10 mm)

Figura S4-6. Orientación de fibras.

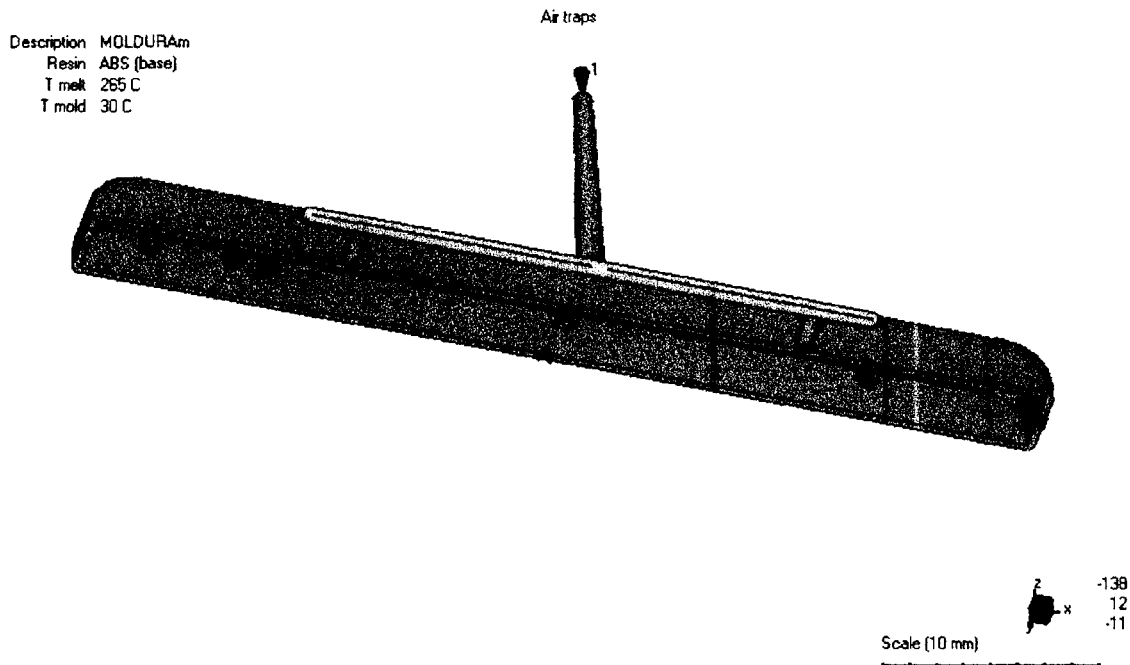


Figura S4-7. Puntos de venteo.

En esta simulación se observa que el flujo de material es balanceado, también la distribución de las temperaturas y el tiempo de enfriamiento. En la gráfica de presión se observa la existencia de un exceso de presión sobre el lado derecho. Las líneas de soldadura son muy marcadas y existen más de tres puntos identificados como trampas de aire en el modelo.

En el primer análisis el tiempo de llenado es de 9.36 seg. y en la parte de enfriamiento de 10.68 seg. dando un tiempo de ciclo de 20.04 seg. En el segundo análisis el tiempo de llenado es de 5.11 seg. y el de enfriamiento de 13.04 seg. dando un tiempo de ciclo de 18.15 seg. Esto es un ahorro considerable pero la nueva selección de parámetros no garantiza la calidad de la pieza por las razones antes mencionadas.

“Se deberá buscar puntos de unión en una zona equidistante y se evitarán los caminos de flujo desiguales...” [MM90] p54 fig.10. Se recomienda cambiar los puntos de alimentación a una zona más externa ya que este modelo no considera la curva que tiene que recorrer el polímero para poder llenar la cavidad.

La configuración del canal de medio círculo no es la más eficiente; la configuración más eficiente para un canal es la de círculo completo pero es difícil de maquinar y de costo muy alto. En este caso se utilizará un canal de sección parabólica [MM93]. Pues es más eficiente que la de medio canal pero menos costosa que la de círculo completo.

Se procede a modificar el modelo tridimensional. La distancia entre los canales será de 294 mm y dimensión de la compuerta de 2.8 mm.

4.4 Simulación #5.

Moldura vista de archivero completa.

Proyecto: **Moldura Fija Modificada**
Cliente: **Equipos Treviño.**
Diseñador: **Ing. Fernando Pacheco M.**
Responsable: **Dr. Noel León**

Resumen de proyecto:

Fecha : JAN29-99

Tiempo : 11:35:20

Nombre : moldura3

==== Especificación de resina ====

Polímero : ABS (Base)

==== Especificación de la máquina ====

Fuerza de cierre requerida = 67.32 ton(m)

Tamaño de disparo (GPS) = 122.52 g

Máxima presión de inyección. = 70.00 MPa

Máxima velocidad de inyección. = 60.00 cm³/s

Desempeño de la máquina. = Buena

==== Configuración de la máquina ====

Tiempo de llenado.	=	3.87 s
Tiempo de enfriamiento.	=	11.51 s
Presión de inyección.	=	60.04 MPa
Temperatura de la mezcla.	=	200.00 C
Temperatura del molde.	=	30.00 C

==== Información de la parte ===

Peso de una parte simple.	=	123.32 g
Espesor promedio.	=	3.13 mm
Desviación estándar del espesor.	=	1.21 mm
Area proyectada por una cavidad.	=	137.50 cm ²
Fuerza de cierre para una cavidad.	=	67.32 ton(m)
Número de cavidades.	=	1
Plano de partición en el plano XY.		
100.0 % Lleno por la compuerta #	1	

Description MOLDURAm3
 Resin ABS (base)
 T melt 200 C
 T mold 30 C

Melt-front advancement

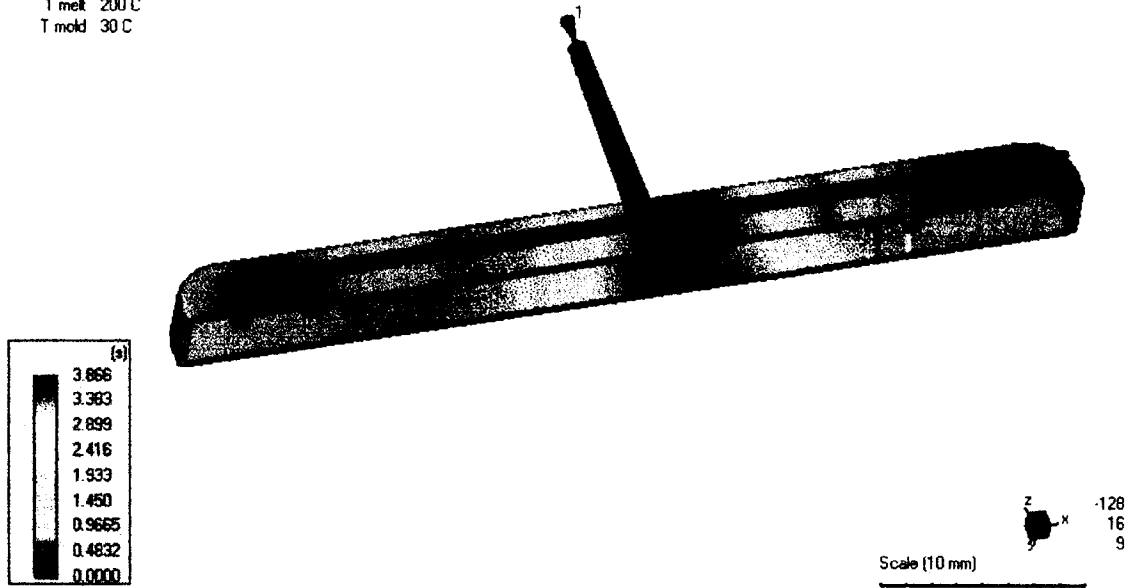


Figura S5-1 Frente de mezcla.

Description MOLDURAm3
 Resin ABS (base)
 T melt 200 C
 T mold 30 C

Pressure

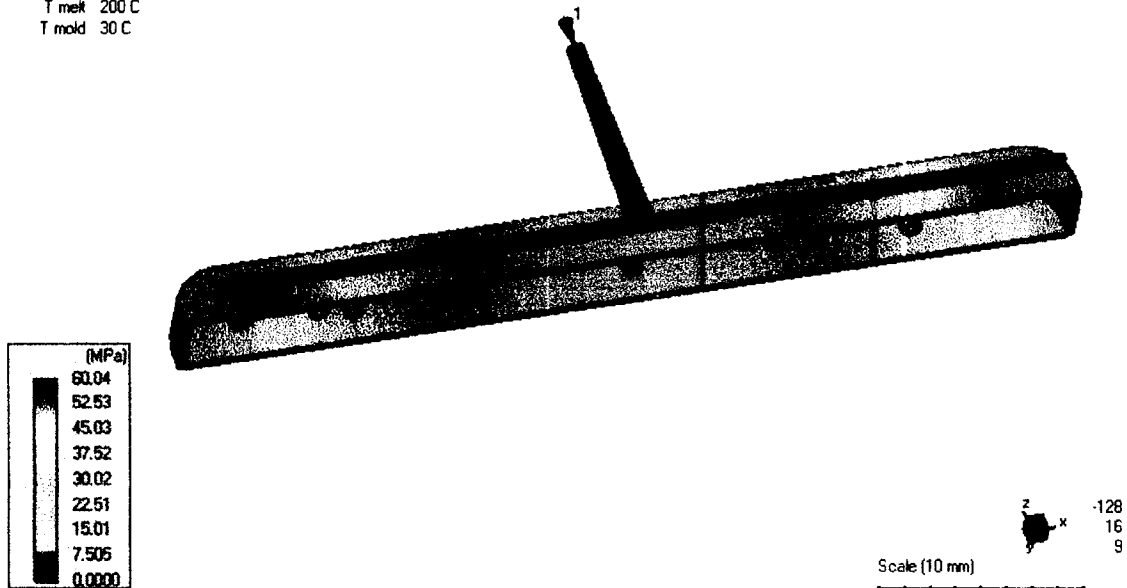


Figura S5-2 Presión.

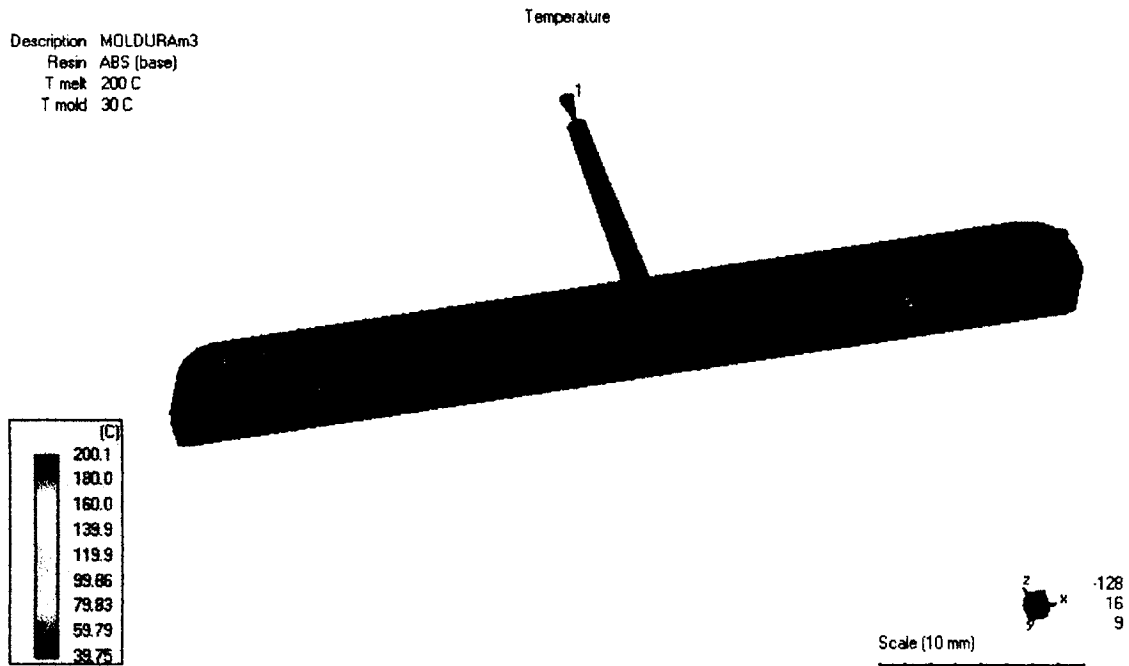


Figura S5-3 Temperatura.

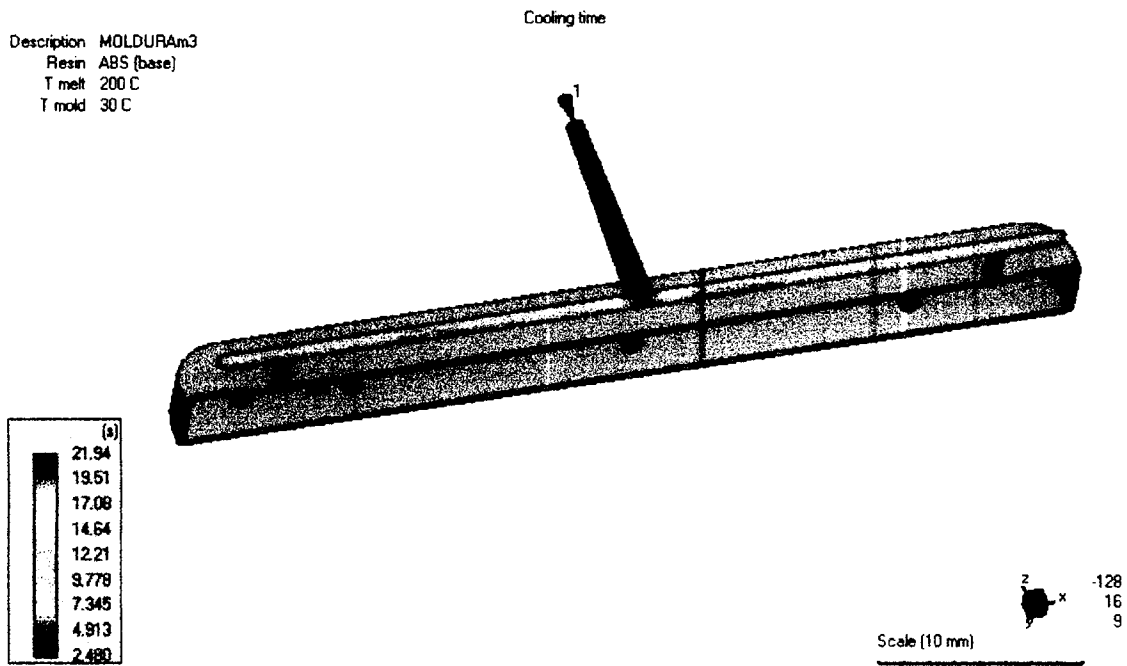


Figura S5-4 Enfriamiento

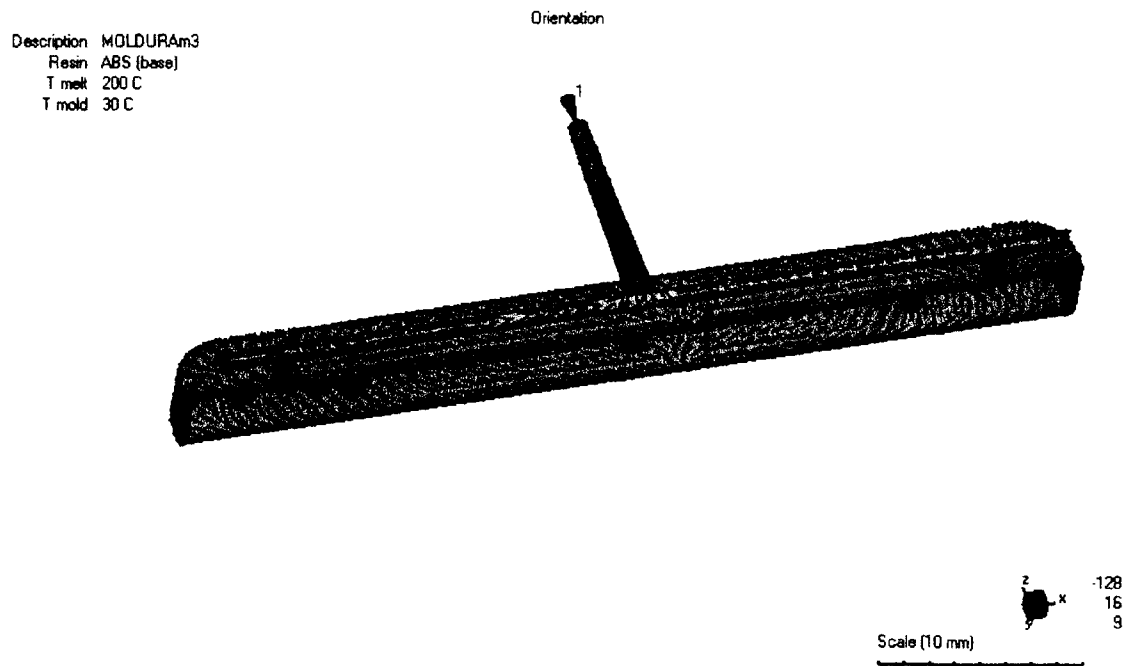


Figura S5-5 Orientación de fibras.

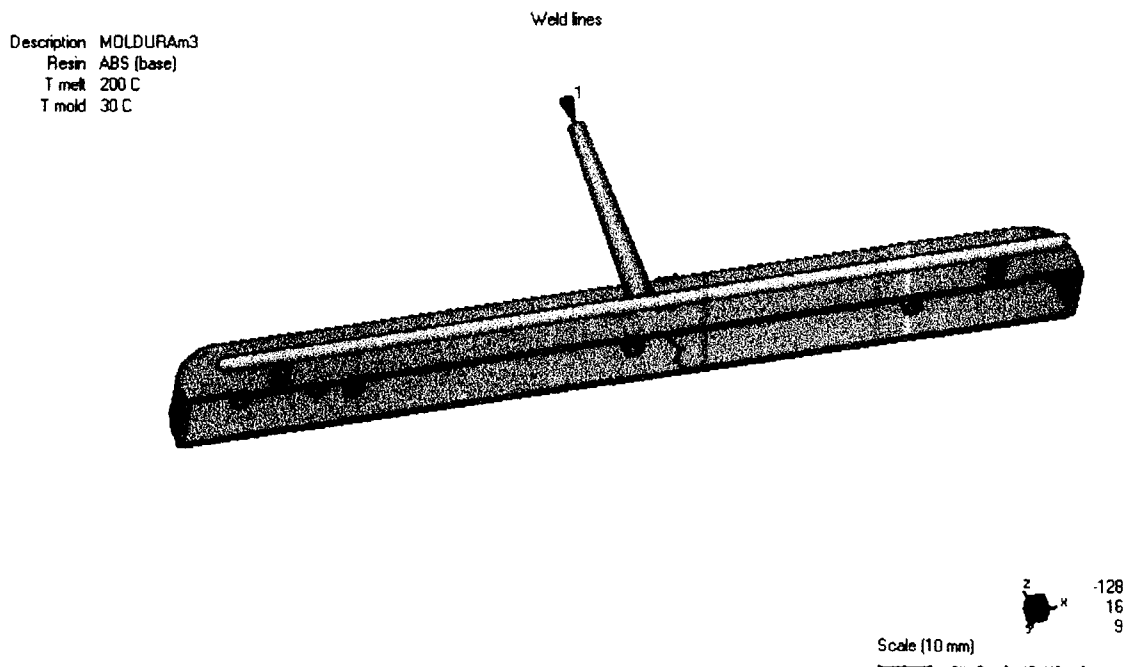


Figura S5-6 Líneas de soldadura.

Description MOLDURAm3
Resin ABS (base)
T melt 200 C
T mold 30 C

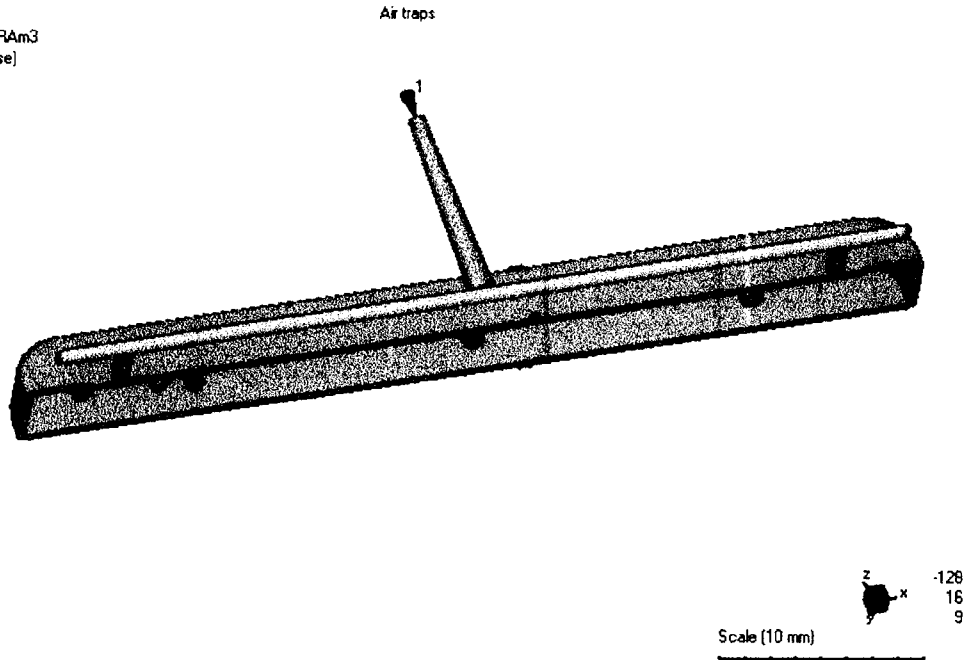


Figura S5-7. Puntos de venteo.

Este modelo muestra un excelente tiempo de ciclo $3.87s + 11.51 s = 15.38$ segundos; pero el nivel de líneas de soldadura que se presenta y las burbujas de aire en la superficie de la pieza hace que no sea del todo satisfactorio. Para solucionar los inconvenientes antes mencionados se sugiere utilizar un sólo punto de inyección utilizando una compuerta de tipo abanico. El que el modelo tenga un sólo punto de inyección es viable debido a que no es una pieza extremadamente larga. Los resultados de la simulación con este nuevo grupo de parámetros se muestran a continuación.

4.5 Simulación #6.

Moldura vista de archivero con un punto de alimentación.

Proyecto: **Moldura Fija Optimizada**
Cliente: **Equipos Treviño.**
Diseñador: **Ing. Fernando Pacheco M.**
Responsable: **Dr. Noel León**

Resumen de proyecto:

Fecha : FEB02-99
Tiempo : 01:30:15
Nombre : moldura4

==== Especificación de resina ====

Polímero : ABS (base)

==== Especificación de máquina ====

Fuerza de cierre requerida.	=	26.52 ton(m)
Tamaño de disparo (GPS)	=	113.26 g
Máxima presión de inyección.	=	50.00 MPa
Máxima velocidad de inyección.	=	36.00 cm ³ /s
Desempeño de la máquina.	=	Bueno

==== Configuración de máquina ====

Tiempo de llenado.	=	4.14 s
Tiempo de enfriamiento.	=	13.11 s
Presión de inyección.	=	29.06 MPa
Temperatura de la mezcla.	=	260.00 C
Temperatura del molde.	=	30.00 C

==== Información de la parte ===

Peso de una pieza simple.	=	114.01 g
Espesor promedio.	=	3.14 mm
Desviación estándar del espesor.	=	1.33 mm
Area proyectada de una cavidad.	=	111.91 cm ²
Fuerza requerida por una cavidad.	=	26.52 ton(m)
Número de cavidades.	=	1

Plano de partición en el plano XY.

100.0 % Lleno por la compuerta # 1

Description MOLDURAm3
 Resin ABS (base)
 T melt 260 C
 T mold 30 C

Melt-front advancement

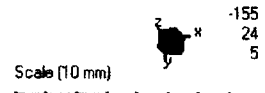
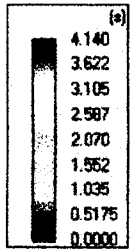
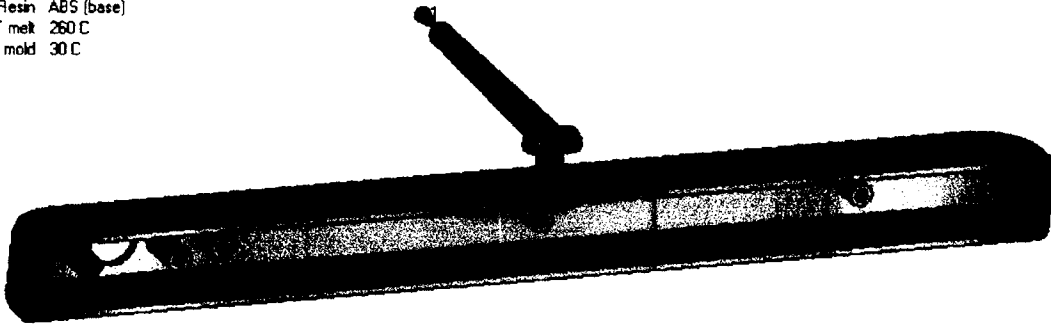


Figura S6-1 Frente de mezcla

Description MOLDURAm3
 Resin ABS (base)
 T melt 260 C
 T mold 30 C

Temperature

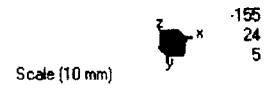
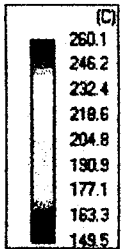
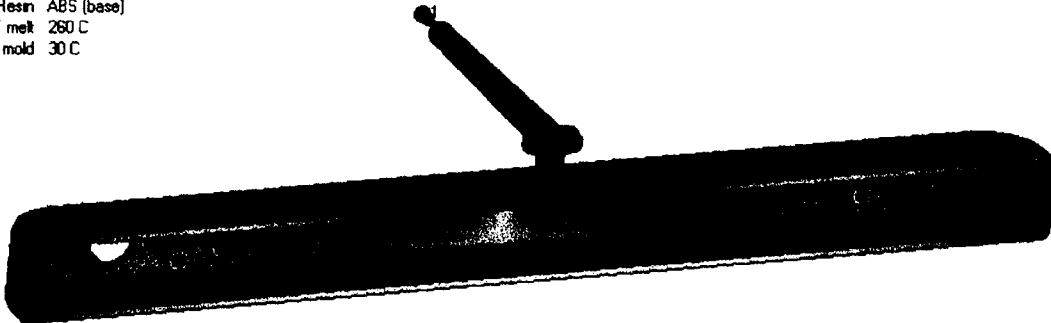


Figura S6-2 Temperatura.

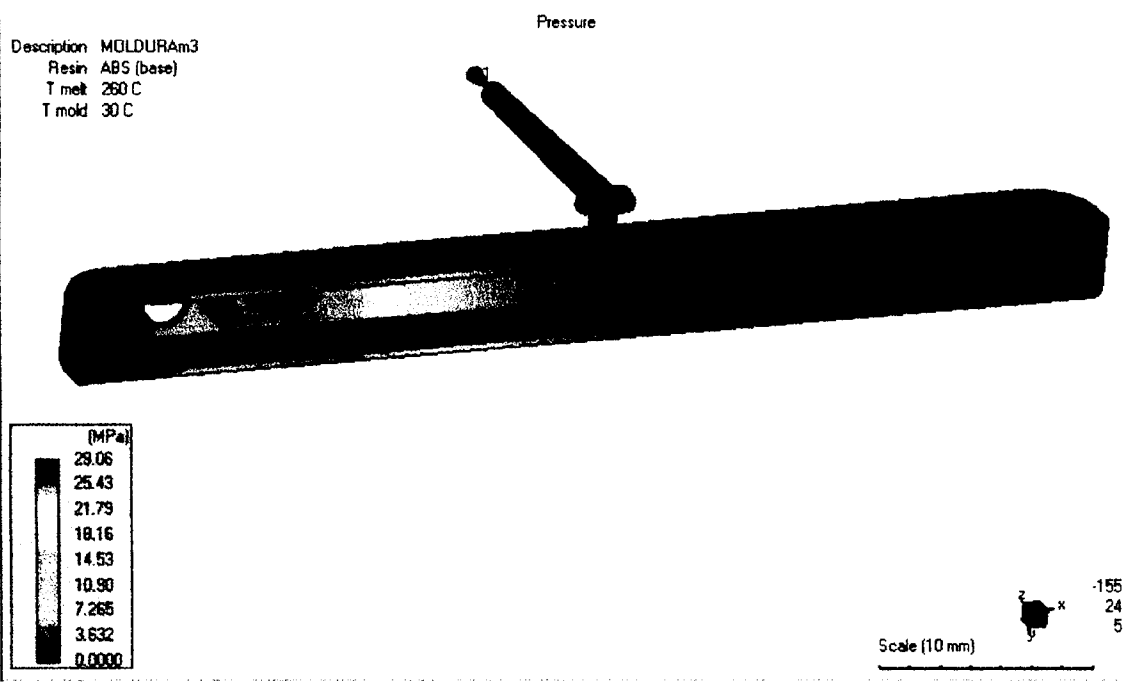


Figura S6-3 Presión.

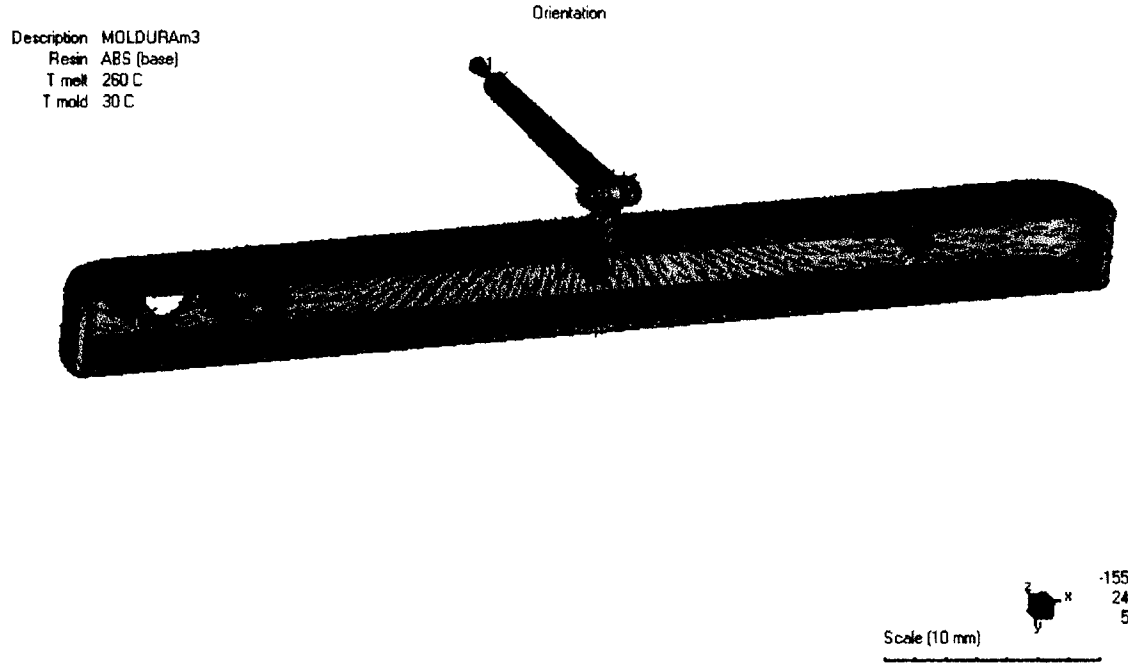
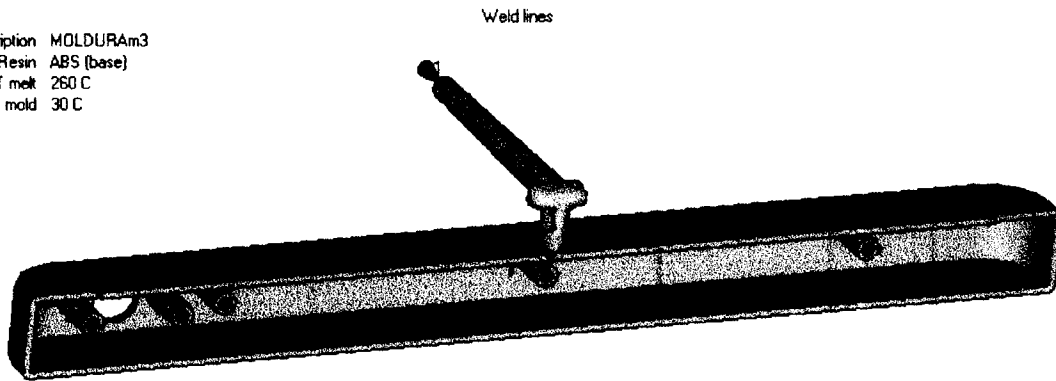


Figura S6-4 Orientación de fibras.

Description MOLDURAm3
Resin ABS (base)
T melt 260 C
T mold 30 C

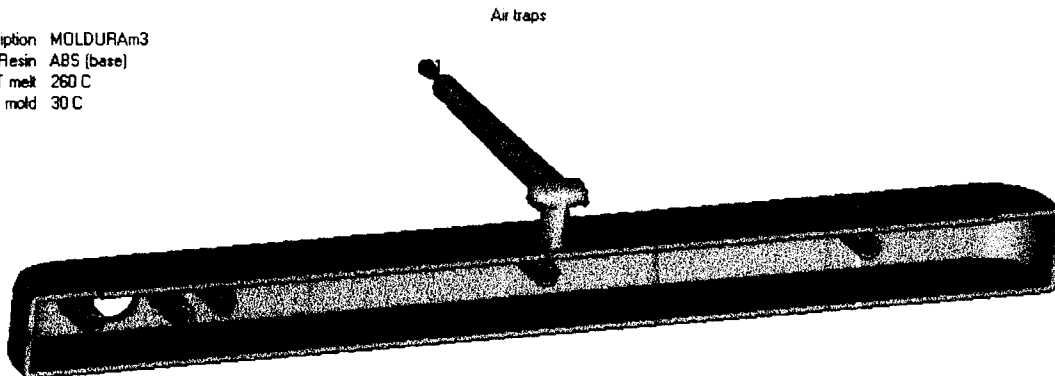


Scale (10 mm)

155
24
5

Figura S6-5. Líneas de soldadura.

Description MOLDURAm3
Resin ABS (base)
T melt 260 C
T mold 30 C



Scale (10 mm)

155
24
5

Figura S6-6 Puntos de venteo.

4.6 La contracción como parte del diseño.

Es de suma importancia notar que la habilidad para producir partes plásticas rápido y a bajo costo, con poco o nada de operaciones secundarias (re-trabajo) es una de las principales ventajas del moldeo por inyección.

El tamaño y forma final de una pieza, una vez que se enfrió, no es exactamente la misma que la cavidad en el molde. Esto no depende solamente de la contracción propia del material sino de la manera en que este se enfría, por lo tanto esto también depende de las condiciones del procesado.

El desarrollo de piezas de precisión a través de inyección está recibiendo un fuerte impulso [JRY98]. Para proveer estas partes con tolerancias dimensionales muy cerradas es importante considerar el efecto de la contracción del material (*shrinkage*) antes de fabricar el molde. La deformación y el esfuerzo residual de una pieza moldeada pueden ser calculados con anticipación utilizando programas de análisis de flujo no isotérmico y determinar la geometría del molde y las condiciones de moldeo con mínima distorsión.

Un ejemplo de lo anterior se muestra en la figura 25, se ilustra el resultado de un análisis de contracción realizado con ABAQUS, software que utiliza flujo no isotérmico [JRY98].

La estimación adecuada de la contracción de partes termoplásticas debe incluir el efecto del diseño, del procesado y del material [SPF98]. Para una correcta medición de la contracción y deformación de una pieza esta debe medirse con ambos elementos, la pieza y el molde completamente fríos. Una predicción de la contracción de una parte es vital para el diseño y fabricación de piezas de inyección de plástico de mejor calidad.

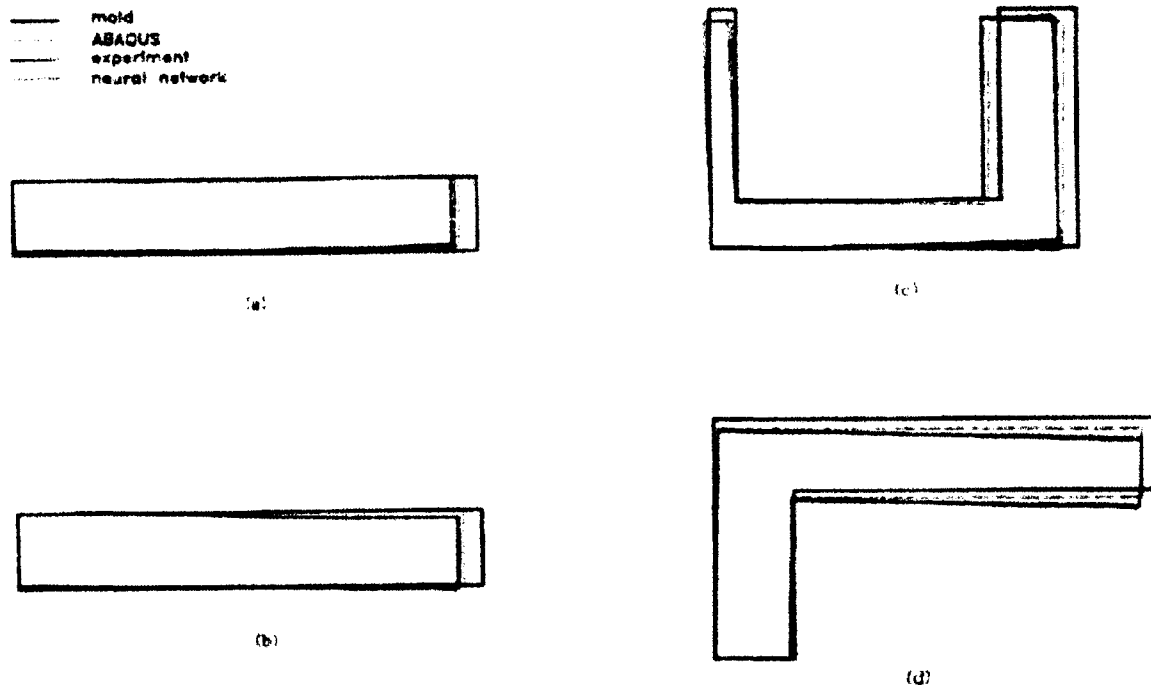


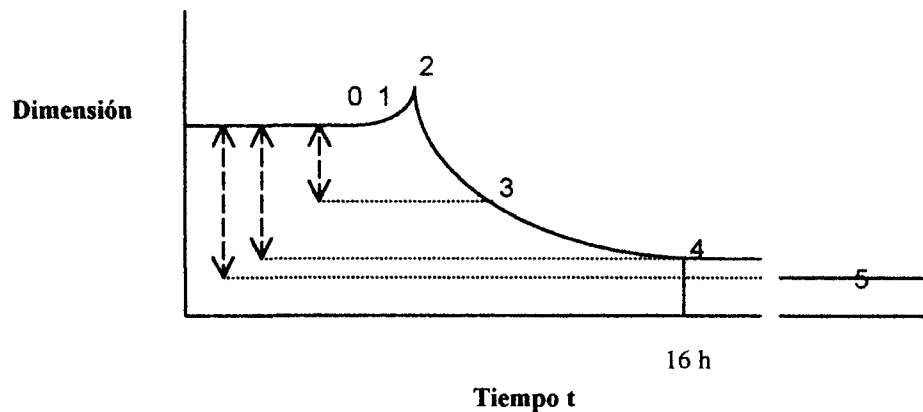
Figure 5. Comparison of the linear shrinkage (displacement $3X$) obtained from measurement of molded parts and neural network and ABAQUS at Cond2 ($P_{holding} = 48.23 \text{ MPa}$)
 (a) cavity 1 (b) cavity 2 (c) cavity 3 (d) cavity 4

Figura 25. Análisis de contracción utilizando redes neuronales. [JRY98].

Actualmente en el diseño de moldes, sólo se considera la contracción del material a utilizar. Existen tablas donde se muestra los porcentajes de contracción para cada uno de los polímeros utilizados y lo que se ha tomado como práctica general hasta el momento es construir el molde un tanto por ciento más grande dependiendo del material a inyectar. Estos porcentajes son calculados de la siguiente manera: una dimensión arbitraria en una cavidad y la correspondiente en la pieza moldeada con esa cavidad según la siguiente relación.

S	$\frac{lc - lm}{lc} * 100$	S Lc Lm	Porcentaje de contracción Longitud de la cavidad Longitud de la pieza moldeada
---	----------------------------	---------------	---

La experiencia ha demostrado que esto aplica sólo al caso ideal pues el proceso de contracción es más complejo como se muestra la figura 26. Por un lado la dimensión de la cavidad (l_c) representada en el punto 0 cambia con la expansión térmica y por la aplicación de cargas mecánicas durante el procesado punto 2; por otro lado se tiene el efecto del tiempo sobre la dimensión de la pieza moldeada (l_m) representada en el punto 4. Debemos también considerar que la contracción continúa aún después de que la pieza ha enfriado totalmente como se observa en el punto 5.

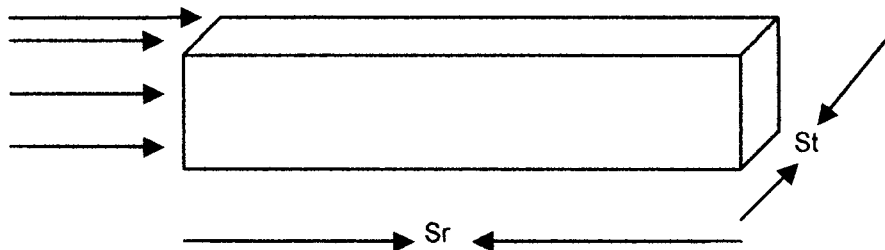


0 Dimensión del molde frío.	0-3 Contracción después de moldeo.
1 Dimensión del molde caliente.	0-4 Contracción del procesado.
2 Dimensión del molde bajo fuerza de cierre y presión de sostenimiento.	0-5 Contracción total.
3 Dimensión de la pieza moldeada.	
4 Medición de la contracción (DIN 16901).	
5 Dimensión de la pieza almacenada.	

Figura 26. Cambios dimensionales en función del tiempo [MM93].

Después de mucho tiempo de almacenamiento pueden ocurrir cambios dimensionales debido a los cambios de temperatura; esto se conoce como contracción post procesado. Estos cambios son causados por la relajación de los esfuerzos residuales, la re-orientación de las fibras y la post cristalización en materiales cristalinos.

Se puede definir la dependencia de la contracción con la dirección del flujo. Una contracción radial es la que ocurre en la dirección del flujo y una contracción tangencial es la que ocurre perpendicular a la dirección del flujo ver figura 27.



$$S = S_r - S_t.$$

Figura 27. Magnitud de la contracción dependiendo de la dirección del flujo [MM93].

S_r = Contracción radial, S_t = Contracción Tangencial, S = Contracción Diferencial.

La predicción de la contracción en resinas semi-cristalinas es en particular muy problemática, ya que sus niveles de contracción son más sensibles al procesado que las resinas amorfas. El rango de contracción que tienen los materiales es bastante amplio ya que estos cubren todo el rango de procesado y características del molde. La estabilidad dimensional de piezas plásticas es un reto. La distribución de presión y temperatura en el tiempo y el espacio, es la mayor causa de contracción y deformación en piezas plásticas. La contracción es parte inherente al proceso de moldeo por inyección, que ocurre debido a que la densidad del polímero, varía desde la temperatura de procesado hasta la temperatura ambiente como se muestra en la figura 28.

Dentro del proceso de moldeo por inyección la variación de la deformación tanto global como a lo largo de la sección transversal crea esfuerzos internos dentro de la parte; comúnmente esto se conoce como esfuerzo residual. Es importante conocer no sólo el valor de la contracción diferencial, sino el porcentaje que presenta este en cada una de las direcciones de acción, tanto en la misma dirección del flujo como transversal a este. Esta información es proporcionada por los diferentes proveedores de resinas.

La deformación de una parte moldeada puede ser de hasta del 20% del volumen [MB91], entre la temperatura de procesado y la temperatura ambiente.

Los materiales cristalinos y semi-cristalinos son más propensos a la deformación por temperatura, los materiales amorfos tienden a deformarse menos como se observará más adelante. Cuando los materiales cristalinos son enfriados bajo su temperatura de transición (T_g), sus moléculas se ordenan formando cristales.

Por otro lado, la microestructura de los materiales amorfos no cambia con el cambio de fase. Por tal motivo los materiales cristalinos y semi-cristalinos tienen gran diferencia en su volumen específico entre sus fases de fusión y sólido.

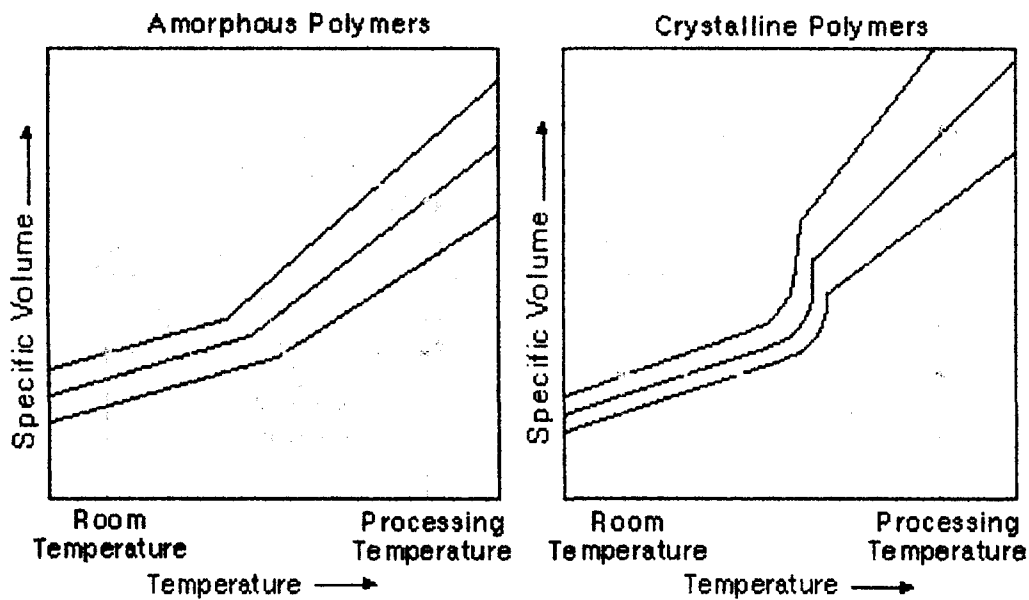


Figura 28. Curvas PVT para polímeros amorfos y cristalinos y su la variación en el volumen específico. Estado de procesado punto A, estado a temperatura ambiente y presión atmosférica punto B. Nótese que el volumen específico disminuye cuando la presión se incrementa[C-mold 99].

La deformación excesiva, más allá de los niveles aceptables puede ser causada por alguno de los siguientes factores. La relación entre estos factores se muestra en la figura 29.

- La deformación.
- Los parámetros de procesado
- El espesor de pared.
- Baja presión de inyección
- Poco tiempo de empacado o enfriamiento.
- Alta temperatura de la mezcla.
- Alta temperatura en el molde
- Baja presión de sostenimiento.

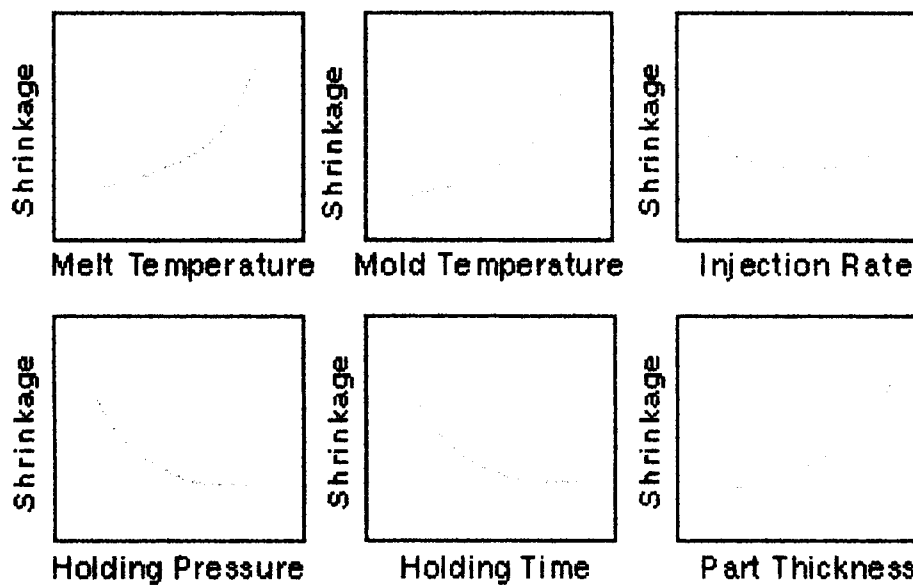


Figura 29. Parámetros de procesado y diseño que afectan la contracción de piezas [C-mold 99].

La contracción volumétrica no compensada produce rechupes o burbujas en el interior de la pieza moldeada. El considerar la contracción de las piezas es importante tanto en el diseño de la pieza como del molde; en particular durante el proceso de diseño de moldes para aplicaciones que requieren tolerancias dimensionales muy cerradas. Las marcas de rechupe o burbujas causadas por la contracción, pueden ser reducidas o eliminadas mediante el aumento del tiempo de sostenimiento durante el proceso de inyección; lo cual significa que se debe seguir inyectando material después de que la cavidad ha sido llenada, para compensar la diferencia de volumen. Esto no es muy recomendable, ya que hacerlo aumenta el tiempo de ciclo de cada una de las piezas, incrementando por lo tanto el costo de las mismas. Por esta razón, cuando se diseña un molde, se deben tomar en cuenta las contracciones, a fin de contrarrestar o compensar las dimensiones finales de la pieza.

Una pieza deforme es el resultado de esfuerzos residuales en la pieza y cambios volumétricos de masa plástica en la cavidad del molde, entre su estado plastificado y su fase sólida, los cuales causan una contracción diferencial del material [BC41]. Si la contracción a través de la pieza es uniforme, durante el moldeo no debe existir deformación. El obtener un nivel de contracción bajo y uniforme es una tarea difícil, debido a la presencia e interacción de muchos factores como la orientación molecular y de fibras, el diseño del molde, el enfriado del mismo, la pieza y las condiciones de procesado. La variación en la contracción diferencial puede ser causada por la orientación de las moléculas y fibras del polímero, variaciones en la temperatura, la presión y el empacado del material solidificado a lo largo del espesor de la pieza.

La contracción diferencial para materiales con carga o sin ella se muestra en la figura 30. En los termoplásticos cargados con fibras de refuerzo se tiene un nivel de contracción bajo, ya que las fibras inhiben la contracción. Por lo tanto, los materiales cargados con fibra, se contraen menos a lo largo de la dirección del flujo en la cual están alineadas, no siendo así en dirección transversal. Similarmente, termoplásticos cargados con partículas, presentan contracciones menores que los no cargados. Este fenómeno se debe a que piezas moldeadas sin carga presentan altos niveles de orientación molecular. La contracción anisotrópica se debe a la alineación de las grandes cadenas de polímeros en dirección del flujo.

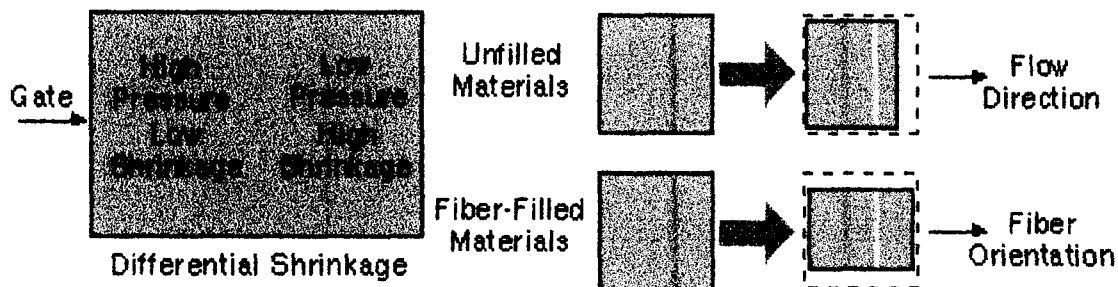


Figura 30. Contracción diferencial para materiales cargados y sin carga [C-mold 99].

Para ejemplificar el conocimiento anterior se realizó una serie de pruebas sobre el modelo de la cubierta para flecha; la prueba consistió en utilizar un molde de prueba e inyectar varias piezas con tres materiales distintos:

- Nylon 6.
- Polipropileno.
- Nylon con carga en un 33% de fibra.

En la figura 31 se muestra el elemento modelado tridimensionalmente con AutoCAD Mechanical Desktop de Autodesk.

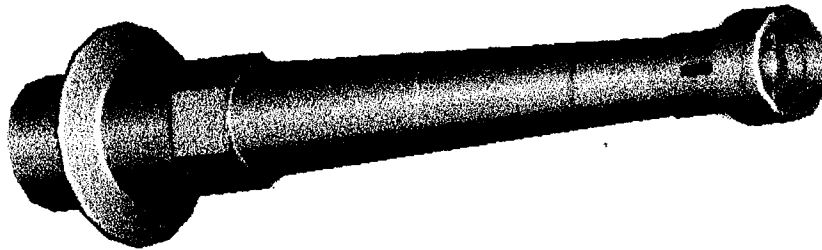


Figura 31. Modelo creado con Mechanical Desktop.

En la figura 32 se muestra el resultado del análisis de elementos finitos preparado con 3D-Quick-fill para determinar la posición y porcentaje de contracción que la pieza de polipropileno tendría en producción. Para poder observar dichas deformaciones se empleó un factor de escala de 1:100 mm, por lo que las deformaciones en la imagen aparentan ser más severas de lo que son en la realidad.

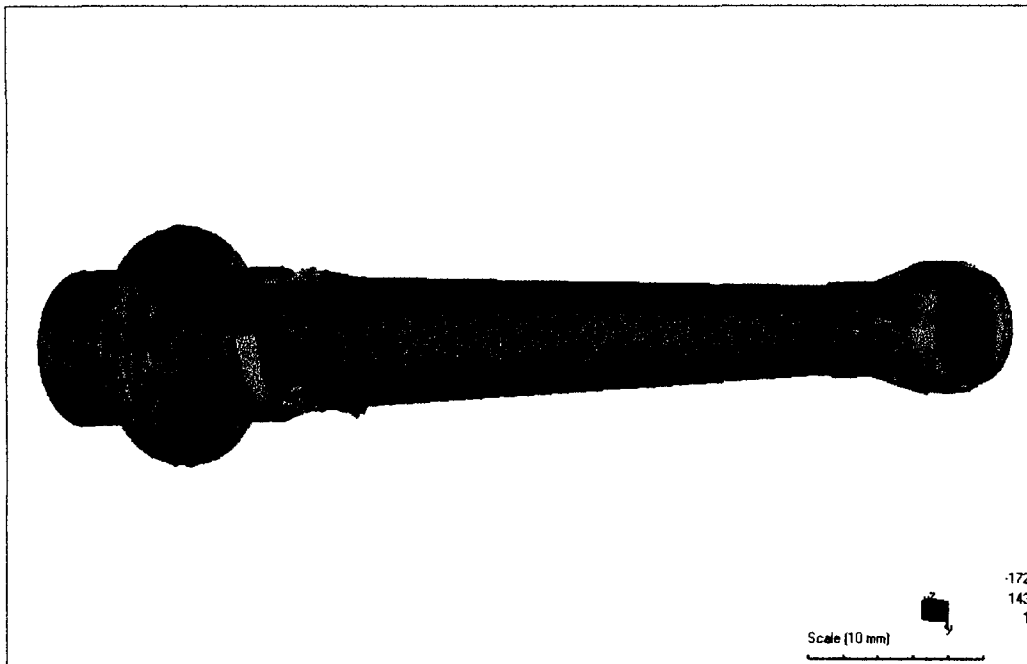


Figura 32. Análisis de proporción y posición de contracción.

En la figura 33 se muestra una serie de fotografías de las pruebas realizadas con las tres diferentes resinas. En la fotografía (a) de izquierda a derecha se muestra (1) la pieza muestra (proporcionada por el cliente y de material desconocido), (2) pieza de nylon, (3) de polipropileno y (4) nylon con fibra.

Existe una diferencia en la altura de las piezas, siendo la pieza de nylon la de mayor altura. En las fotografías del lado derecha (b) y (c) de la figura 33 se observa que la mayor contracción es a lo alto de la pieza. Se debe buscar un punto o superficie ancla aquella que no tiene variación con respecto al molde. En esta pieza el punto ancla se localiza en la saliente con el diámetro más ancho, justo donde termina la flecha y comienza la rosca; este punto es el que no varía de una pieza a otra y a partir de él se observan las contracciones a lo alto de la pieza.

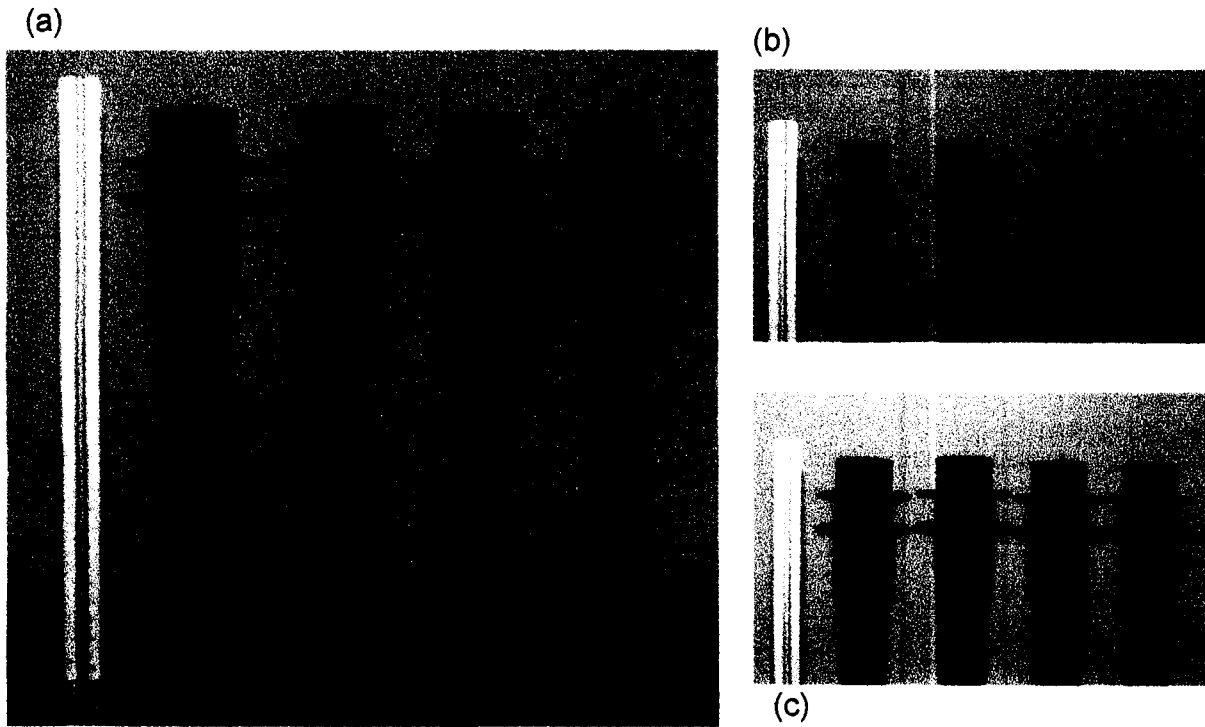


Figura 33. Imagen de muestras moldeadas con tres materiales diferentes.

Al usar polímeros es de suma importancia conocer y tener en cuenta el efecto de contracción y se concluye que este depende mayor medida de:

- Tipo de material.
- Dirección del flujo.
- Enfriamiento del molde.
- Condiciones de desmolde.

Para cada material debe considerarse un escalamiento diferente, tomando el mayor valor del espectro que indican los fabricantes para la contracción radial y el valor menor para la contracción tangencial.

La contracción depende de la configuración final del molde y del enfriamiento del mismo; ya que este último ayuda a contrarrestar la presencia de marcas, rechupes y contracción diferencial en puntos críticos, también se debe tomar en cuenta el buen desmolde de la pieza, para evitar que quede atrapada en alguna sección.

Estas operaciones se simplifican con la ayuda de herramientas computacionales CAD paramétricas, en las que podemos variar los parámetros de la geometría considerando los diferentes niveles de contracción, así como diferentes alternativas para un buen sistema de enfriamiento.

Esta sección no cuenta con formato electrónico como soporte computacional debido a la complejidad envuelta en el tema de la contracción pero sienta las bases para investigaciones posteriores.

4.7 Moldes paramétricos.

Una vez que se determinan los parámetros que intervienen en un molde, es necesario juntar toda esta información para validar el ensamble del molde y tener la seguridad de que dichos elementos están considerados en el diseño del molde y no se presenta interferencia entre los diferentes sistemas, que el sistema de expulsión considere todos los elementos de la geometría de la pieza y lograr un producto final.

Se sabe que todos los moldes deben tener:

- Placas porta cavidad (2). Cavidad fija y móvil, macho y hembra.
- Placas de respaldo (2), porta boquilla y parte fija.
- Soportes (2), izquierdo y derecho.
- Placa de sujeción (1).
- Placas de Botado (2).
- Pernos guía (4).
- Boquilla (1).
- Botadores

En este punto se utilizan herramientas computacionales CAD paramétricas, las cuales pueden ser vinculadas con bases de datos para reducir los tiempos de generar los modelos de ensamble total.

Durante el transcurso de este documento se han presentado casos en los que los cambios que se requiere elaborar en la geometría son relativamente sencillos, siempre y cuando se cuente con la ayuda de una herramienta paramétrica.

En la figura 34 y 35 aparecen la configuración de la placa fija y la placa móvil de un molde. Los datos fueron tomados de los porta moldes comerciales de DME [DME99]. A estos es necesario agregarles las características de la pieza, los elementos de expulsión y enfriamiento para completar el diseño que se está trabajando, como se muestra en la figura 36. En la figura 37 aparecen fotografías del molde en producción para la cubierta de flecha.

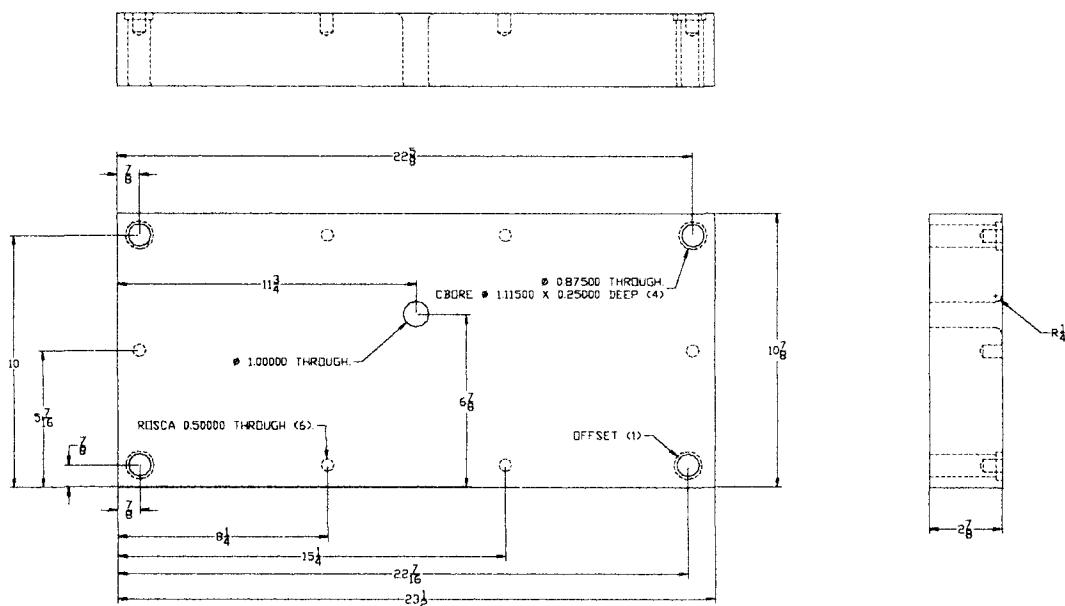


Figura 34. Placa Fija porta molde DME.

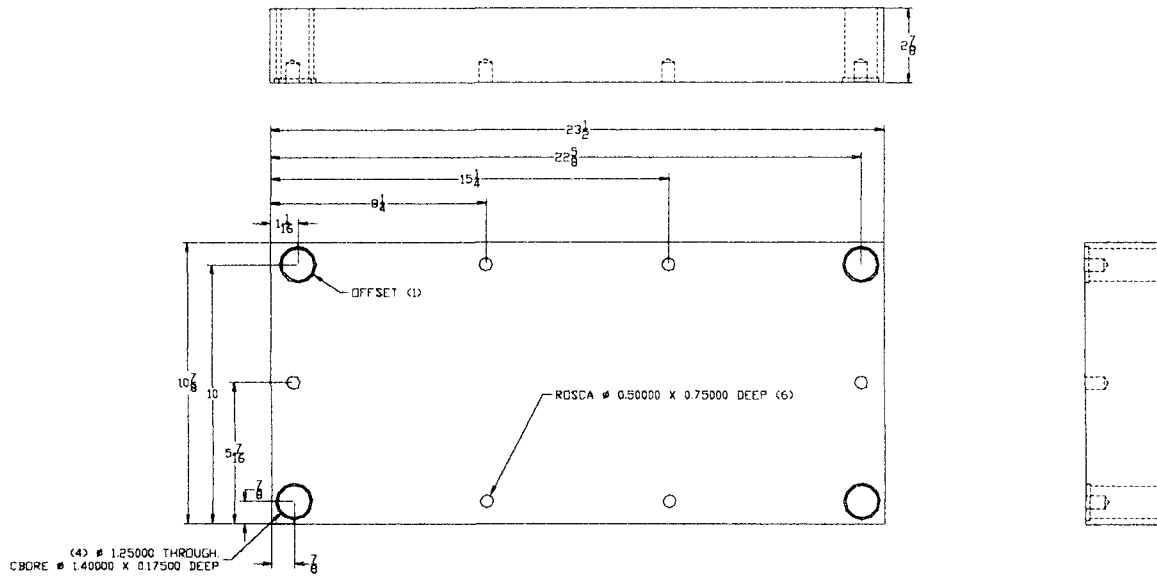


Figura 35. Placa móvil porta molde DME.

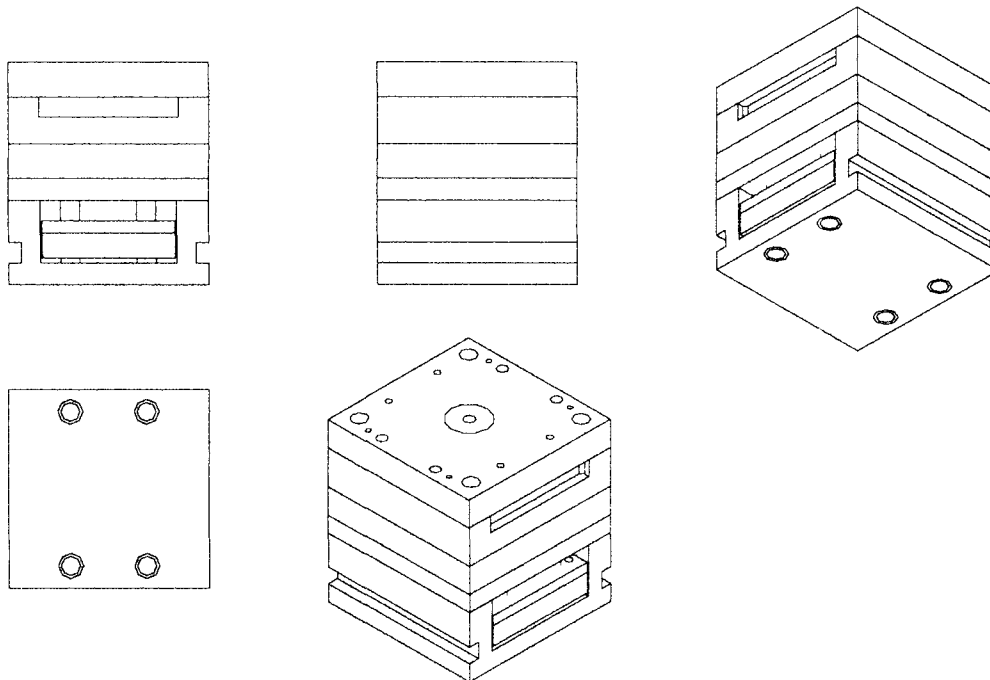


Figura 36. Ensemble de un porta molde comercial DME.

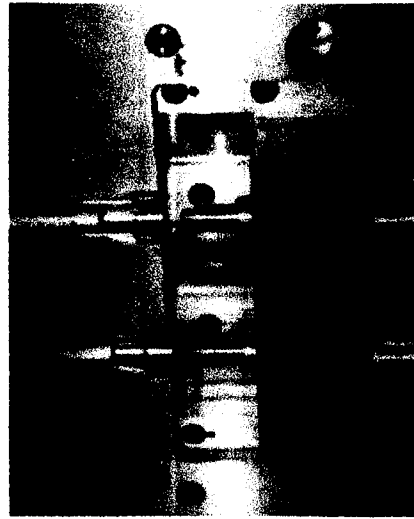
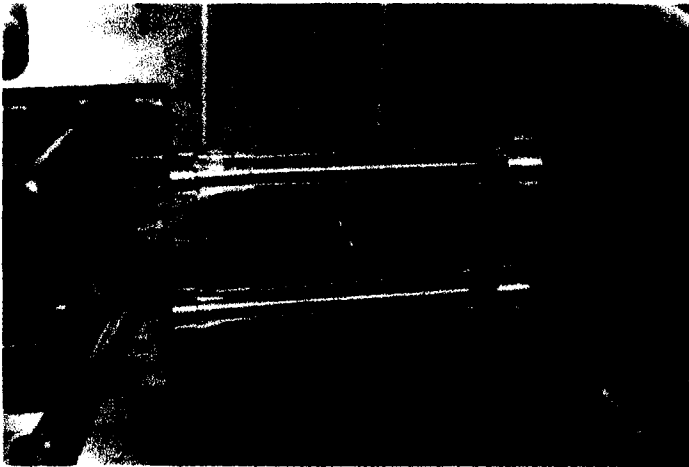


Figura 37. Molde de la flecha.

Capítulo 5. Conclusión.

- Se identificó la falta de estructuras de diseño para moldes de inyección de plástico.
- Se identificó la falta de un soporte computacional que considere la automatización de los cálculos de los elementos clave de un molde para inyección.
- Se determinó que es necesario poner mas énfasis en las estructuras de trabajo, así como hacer uso de las herramientas computacionales para obtener mayores beneficios en lo que respecta al área del diseño.
- Se determinó que es necesario tener al alcance más y mejores herramientas que faciliten y reduzcan los tiempos de diseño para moldes de inyección de plástico.
- Se obtuvieron los formatos electrónicos (7) que integran y documentan el conocimiento sobre los elementos claves en el diseño de moldes para inyección de plástico.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS

- [AA94] Al-Ashaab Ahmed, A manufacturing model to capture injection moulding process capabilities to support design for manufacture. Tesis Ph.D. Loughboroug University of Technology, U.K. 1994
- [DS99] Dennilú Sosa de la fuente, Metodología para la administración de transferencia de moldes para la inyección de piezas plásticas. Tesis MS. ITESM Campus Monterrey 1999.
- [ED87] William D. Engelke Marcel Dekker inc. *How to Integrate CAD/CAM Systems Managment and Technology*, (EDITORIAL), 1º Edicion 1987, (PAIS).
- [EM91] Edward A. Muccio, *Plastic Part Technology*, ASM International, 1991, Ohio, USA.
- [GI96] Grupo IMECPLAST, Curso avanzado de diseño de moldes para inyección de plásticos, Naucalpan Edo. de México 1996.
- [HDWP87] J. Harry Dubois and Wayne I. Pribble, *Plastics Mold Engineering Handbook*, Van Nostran Reinhold, 4ª Edicion, 1987, New York, USA.
- [IMP96] Grupo IMECPLAST, Curso avanzado de diseño de moldes para inyección de plásticos, Naucalpan Edo. de México 1996.
- [JDKW90] John M. Dealy and Kurt F. Wissburn, *Melt Rheology and its Role in Plastics Processing*, Van Nostrand Reinhold, 1990 , New York USA.

- [JT98] Juan Antonio Trapero Armenta, Procedimiento para el diseño, análisis y fabricación de moldes para inyección de plástico para pequeñas y medianas empresas. Tesis MS. ITESM Campus Monterrey 1998.
- [MB91] Michael L. Berins, *Plastics Engineering Handbook*. SPI Inc. Van Nostrand Reinhold NY. 5a Edición, 1991.
- [MM90] George Menges G.Mohren, *El plástico en la industria Moldes para inyección*, Ediciones G. Gili S.A. de C.V. 1990 Vol. 3 México.
- [MM93] George Menges Paul Mohren, *How to make injection molds*, Hanser SPE, 2ª Edición, 1993, Alemania.
- [SP90] Stuart Pugh, *Total Design*, Addison Wesley, 1990 USA.

ARTICULOS

- [BC41] Bakelite Corporation, *Molding Technic for bakelite and vinylite plastics*. 1941 pp 83.
- [GH88] Gary Hamed Ph.D. , *Free Volume theory and the WLF Equation*, Institute of Polymer Science, University of Akron 1988, Akron USA.
- [GW81] G.L. Wilkes, *An overview of the basic Rheological Behavior of Polymer Fluids whit an Emphasis on Polymer Melts*. Laboratory Virginia Polytechnic Institute and State University, 1981, Blacksburg VA. USA.
- [HMRS92] H. Mavridis and R.N. Shroff, *Temperature Dependence of Polyolefin Melt Rheology*, Quantum Chemical corp. 1992, Ohio USA.

- [ITP89] Instituto Tecnológico del Plástico, *Diplomado práctico en calidad total para la industria del plástico y manufactura en general*, 1998, Guadalajara Jalisco.
- [JRY98] Jae Ryoun Youn Shrinkage Analysis of Molded Parts Using Neural Network. ANTEC98 pp 403-407
- [NL99] Nuevo León The Industrial Heart of Mexico, Gobierno del Estado de N.L. México, Secretaría de Desarrollo Económico.
- [On-time] ON-TIME MOLDES, *Moldes para la industria del plástico*, 1998, Portugal.
- [SPF98] R.M. Shay jr. A.J. Poslinski Y.Fakhreddine Estimating Linear shrinkage of semicrystalline resins from pressure-volume-temperature(PVT) data. Antec98 pp 579-583

REVISTAS Y MANUALES

- [CAG97] Catalog, The Conair Group, 1997, USA.
- [C-MOLD99] Advanced CAE Technology Inc. C-Mold Design Guide, 1997, USA.
- [DME99] Digital Catalog DME company. 1999.
- [GBPD91] G. Boothroyd and P. Dewhurst, Product Design for Assembly, University of Rhode Island. 1991.
- [IMM98] Injection Molding Magazine
- [M95] Manufactura, *Materiales una selección adecuada*, Grupo editorial expansión, 1995 pp.56

- [MM98] Competitive Mold Maker, *review*, MAKINO, 1998, pp. 25.
- [MP97] Modern plastics 1997.
- [PTI98] Paulson Training Programs Inc. *Injection Course CD*, Paulson Training Programs, 1991, USA.
- [PTS98] Paulson Training Programs Inc. *SimTech Tutorial CD*, Paulson Training Programs, 1991, USA.
- [TP99] Tecnología del plástico Joseph Ogando. No. 93 Febrero de 1999
Importación de moldes ¿un sueño o una pesadilla?, pp 26

OTRAS REFERENCIAS

- [BINECH] BINECH, SA de CV. Empresa maquiladora de productos plásticos.
Clientes: MABE, Thomas & Bent, MATTEL, entre otros.
Dirección: Av. Zertuche #245 Colonia Zertuche Guadalupe N.L., México.
- [TREVIÑO] Equipos Treviño S.A. Empresa dedicada al diseño y fabricación de equipos para oficinas, Monterrey N.L.

Directorio de Software en Internet

Fabricación de Moldes

www.moldbase.com
www.precisetech.com
www.tradesco.com
www.pdt-cav.com
www.kkai.com
www.moldmakermag.com

Portamoldes y aceros

www.edroeng.com
www.pcs-company.com
www.supdie.com
www.ntm.com
www.choicemold.com

Máquinas de Procesado.

www.epco-reman.com
www.mhiinj.com

Software

www.cimatron.com
www.NPET.com
www.spirex.com
www.rapra.net
www.delcam.com
www.sdrc.com
www.cadkey.com
www.paulson-training.com
www.moldflow.com
www.dtr-software.com
www.softech.com
www.cmold.com
www.primesolutions.com
www.hdcadcam
www.bews.com
www.mcsaz.com
www.mimetech.com
www.rtpcompany.com
www.compuplast.com

DEMO

si	
si	
si	Inyección y Extrusión
si	Fillcalc y Plascams.
si	Inyección, Extrusión y Simtech
si	Part-adviser
si	Dr. C-mold y 3D Q-fill
si	
si	Moldquote
si	
si	mime-mold
si	

Resinas

www.thermofill.com	Distribuidor
www.rtpcompany.com	Información
www.eastman.com	Distribuidor
www.dupont.com	Distribuidor e Información
www.resinnet.com	Información
www.performancepolymers.com	Información
www.emschem.com	Distribuidor
www.huntsman.com	Distribuidor
www.ge.com/plastics/content.html	Distribuidor e Información
www.psrc.usm.edu	Información
www.idesinc.com	Información
www.freemds.com	Información

Información de Procesado

www.rtpcomany.com
www.spirex.com
www.ferro.com
www.asresin.com
www.dupont.com
www.atldesignshow.com
www.ge.com/plastics/content.html
www.centor.com
www.moldmakermag.com
www.afma.org/f-tutor/poly.htm
www.asplastics.com/services/litshop/modulus/parts_2.html
www.plasti.net
www.idesinc.com
www.freemds.com
www.asme.org/work/frames/frame_student.htm
www.mimetech.com
www.plasticsnet.com

Centro de Información-Biblioteca



30002005778386