

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERTARO

# Diseño de una pieza plástica y su simulación en ModFlow

---

Diplomado en Procesamientos Plásticos

ARANA BAUTISTA OLINSSER RICARDO  
Exp. 165612

10/01/2014



La presente obra está bajo la licencia:  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



**SinDerivadas** — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

### Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

## INDICE

RESUMEN	4
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVO	4
INTRODUCCION	5
POLÍMEROS DE ADICIÓN Y DE CONDENSACIÓN	5
ESTRUCTURA DE LOS POLÍMEROS	8
ESTRUCTURA QUÍMICA	8
UNIONES ENTRE MONÓMEROS	11
PESO MOLECULAR Y SU DISTRIBUCIÓN 1	12
COPOLÍMEROS	13
RAMIFICACIONES Y ENTRECruzAMIENTO	14
CONFIGURACIÓN	16
ESTRUCTURA FÍSICA	18
TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA Y TEMPERATURA DE FUSIÓN	19
RELACIÓN ENTRE CRISTALINIDAD Y COMPORTAMIENTO DURANTE EL PROCESADO	22
PROPIEDADES COMUNES DE LOS POLÍMEROS	23
MOLDEO POR INYECCIÓN	25
MOLDEO DE TERMOPLÁSTICOS	26
PROCESO DE ANALISIS	35
COMIENZO DE LA ETAPA DE DISEÑO Y PRUEBAS	36
TIPOS DE PLÁSTICOS	57
TERMOPLÁSTICOS	58
PLÁSTICOS DE ALTAS PRESTACIONES (O PLÁSTICOS INGENIERILES)	58
TERMOESTABLES	59
ELASTÓMEROS	60
COMPOSITES	61
PLÁSTICOS ESPUMADOS	61
CRISTALES LÍQUIDOS	62
TIPOS DE ADITIVOS	62
PROCESO DE SIMULACION	65
ANALISIS DE RESULTADOS	70
TIEMPO DE LLENADO (FILL TIME)	71
CONFIANZA DE LLENADO	73
PRESIÓN DE INYECCIÓN (INJECTION PRESSURE)	76
CAÍDA DE PRESIÓN (PRESSURE DROP)	80
TEMPERATURA AL FRENTE DEL FLUJO	83
ORIENTACIÓN EN SUPERFICIE	88
TEMPERATURA MEDIA	90
TIEMPO PARA ALCANZAR LA TEMPERATURA DE EXPULSIÓN	94
FRACCIÓN DE CAPA SOLIDIFICADA AL FINAL DEL LLENADO	97
ATRAPAMIENTOS DE AIRE	100
LÍNEAS DE SOLDADURA	103
RESULTADO CRECIMIENTO DESDE	107

<b>CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA EN LA EXPULSIÓN</b>	110
<b>ESTIMACIÓN DE RECHUPES Y RECHUPES SOMBREADOS</b>	113
<b>VARIANZA DE TEMPERATURA</b>	117
<b>VARIANZA DEL TIEMPO DE REFRIGERACIÓN</b>	120
<b>CALIDAD DE REFRIGERACIÓN</b>	123
<b>INDICADOR DE DEFORMACIÓN</b>	126
<b>CONCLUSIONES</b>	130
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	131

## RESUMEN

En la industria del procesamiento de plásticos se busca la implementación de mecanismos y procedimientos que hagan productos de mejor calidad, que reduzcan sus costos de producción e impongan una tendencia al ahorro de recursos. El siguiente trabajo presenta una técnica de análisis utilizada en ingeniería para el análisis de inyección y moldeo de piezas plásticas, dicha técnica está basada en el uso de una herramienta tecnológica de análisis la cual es Móldeolo®. MoldFlow es un programa que permite realizar diversos análisis, tanto a la pieza inyectada como al molde de inyección, esto con la intención de evitar errores y también evitar pruebas físicas reales, las cuales implican costos excesivos de recursos y tiempo, sin mencionar el paro de una maquina en la línea de producción.

El uso de este programa fue aprendido en el diplomado de ingeniería de procesamientos plásticos impartido por el centro de educación continua de la Universidad Autónoma de Querétaro, sin embargo como se vio en el curso, el éxito de nuestra pieza plástica no solo consiste en tener un buen proceso de inyección, sino que intervienen factores de igual importancia como lo son el tipo de material plástico, los aditivos, la química molecular del material y el medio con el que va a interactuar, por tal motivo también se presenta en este trabajo una introducción a dichos factores químicos.

## JUSTIFICACIÓN

Dado la enorme cantidad de aplicaciones que tienen hoy en día los plásticos y la importancia que tiene un buen producto de calidad para la aplicación que sea, el uso de estas herramientas es indispensable pues además de ayudar a generar piezas de calidad también ayudan a reducir costos.

## OBJETIVO

Mostrar de una manera sencilla el uso de MoldFlow para analizar una pieza de inyección plástica.

## INTRODUCCION

### POLÍMEROS DE ADICIÓN Y DE CONDENSACIÓN

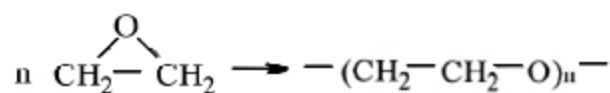
Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias moléculas unidas por enlaces covalentes. El término macromolécula significa molécula muy grande. “Polímero” y “macromolécula” son términos que suelen utilizarse indistintamente aunque estrictamente hablando no son equivalentes ya que las macromoléculas, en principio, no requieren estar formadas por unidades de repetición.

Dependiendo de su origen, los polímeros pueden ser naturales o sintéticos. Los sintéticos contienen normalmente entre uno y tres tipos diferentes de unidades que se repiten, mientras que los naturales bio-polímeros como la celulosa, el ADN o las proteínas presentan estructuras mucho más complejas. Los polímeros sintéticos tienen, hoy por hoy, mayor interés desde el punto de vista comercial, por lo que en general nos referiremos casi exclusivamente a ellos.

Las moléculas que se combinan para formar los polímeros se denominan monómeros y las reacciones a través de las cuales se obtienen se denominan reacciones de polimerización. Cuando se parte de un solo tipo de molécula se habla de homopolimerización y de homopolímero. Cuando son dos o más moléculas diferentes las que se repiten en la cadena se habla de polimerización, comonómeros y copolímero.

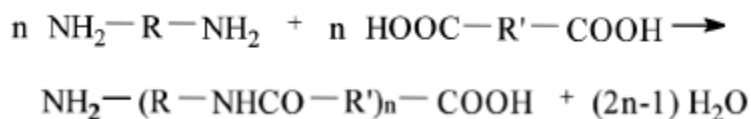
Las reacciones de polimerización se suelen dividir en dos grandes grupos: reacciones de adición y de condensación, y los polímeros obtenidos por cada una de estas vías se conocen como polímeros de adición y polímeros de condensación. En los polímeros de adición la unidad estructural de repetición tiene la misma composición que la del monómero de partida. El grupo más importante de polímeros de adición corresponde a los formados a partir de monómeros que contienen un doble enlace carbono-carbono, como es el caso, por ejemplo, de la polimerización del poli-cloruro de vinilo (PVC).

Dentro de los polímeros de adición también cabe destacar aquellos que se obtienen a partir de monómeros cíclicos, como es el caso del poli-(óxido de etileno) (POE) de la fig1.



*Fig. 1 Poli-oxido de etileno*

En cambio, los polímeros de condensación se forman a partir de monómeros poli-funcionales a través de diversas reacciones con la posible eliminación de alguna pequeña molécula, tal como el agua. Un ejemplo típico es la formación de las poliamidas a partir de la reacción de di-aminas y ácidos di-carboxílicos:



*Fig. 2 Reacción de un polímero de condensación*

R y R' son grupos alifáticos o aromáticos. La unidad entre paréntesis que se repite muchas veces en la cadena de polímero se denomina unidad de repetición. La composición de la unidad de repetición difiere de la de los dos monómeros de partida en una molécula de agua.

En las tablas 1.1 y 1.2 se muestran algunos polímeros de adición y condensación de uso muy común, sus abreviaturas y sus unidades estructurales de repetición. En el caso de los polímeros de adición se muestran las estructuras de polietileno, polipropileno, poliestireno, poli(cloruro de vinilo), poliacrilonitrilo, poli(metil metacrilato), y pulibutadieno, mientras que para los polímeros de condensación se muestran ejemplos de poliéster, poliamida, policarbonato, polietilenterftalato, poliuretano y una resina de fenol-formaldehído.

Polímero	Abreviatura	Unidad de repetición
Poli(etileno)	PE	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$
Poli(propileno)	PP	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$
Poli(estireno)	PS	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-$
Poli(cloruro de vinilo)	PVC	$-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-$
Poli(acrilonitrilo)	PAN	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}\equiv\text{N}}{\text{CH}}-$
Poli(metacrilato de metilo)	PMMA	$-\text{CH}_2-\underset{\text{COOCH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{CH}}}-$
Poli(butadieno (1,4-cis))	PB	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}}{\text{CH}}=\underset{\text{CH}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-$

Tabla 1.1. Polímeros de adición de uso frecuente.

Polímero	Abreviatura	Unidad de repetición
Poli(éster)		$-\text{R}-\text{OCO}-\text{R}'-\text{COO}-$
Poli(amida)	PA	$-\text{NH}-\text{R}-\text{NHCO}-\text{R}'-\text{CO}-$
Poli(carbonato)	PC	$-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}-$
Poli(etileno tereftalato)	PET	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OCO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}-$
Poli(uretano)	PU	$-\text{NH}-\text{COO}-\text{R}-\text{OCO}-\text{NH}-\text{R}'-$
Resina de Fenol-formaldehído		$-\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_2-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_2-\text{CH}_2-$

Tabla 1.2. Polímeros de condensación de uso frecuente.



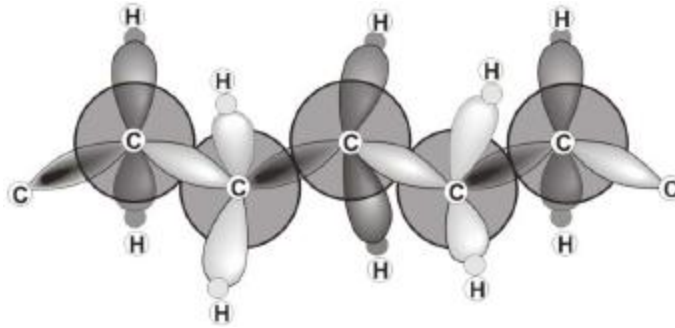
## ESTRUCTURA DE LOS POLÍMEROS

Para abordar el estudio de la estructura de los polímeros se suelen considerar dos niveles, estructura química y estructura física. La estructura química se refiere a la construcción de la molécula individual y la estructura física al ordenamiento de unas moléculas respecto a otras. Comenzaremos abordando la estructura química de los polímeros, y por tanto, estudiaremos el efecto de la naturaleza de los átomos que constituyen la cadena principal y los sustituyentes de la misma, las uniones entre monómeros, el peso molecular y su distribución y el efecto de las ramificaciones o entrecruzamientos en la cadena principal. Igualmente las diferentes configuraciones que pueden adoptar los sustituyentes de la cadena principal condicionan notablemente las propiedades de los polímeros y son parte de su estructura química. Cuando se hace referencia a la estructura física de los polímeros se trata básicamente de la orientación y cristalinidad que, como veremos, dependen en gran medida de la estructura química y a su vez condicionan el comportamiento del material durante el procesado y durante su vida de servicio.

### ESTRUCTURA QUÍMICA

#### Tipo de átomos en la cadena principal y sustituyentes

En los polímeros la unión entre monómeros se realiza siempre mediante enlaces covalentes. La figura 2.1 muestra un trozo de la cadena de polietileno. Los átomos de carbono que constituyen la cadena principal presentan una configuración  $sp^3$ , por tanto sus orbitales se dispondrán formando un tetraedro en torno al átomo de carbono y el ángulo de enlace de dos carbonos consecutivos será de aproximadamente  $109^\circ$ , aunque en las siguientes representaciones consideraremos que se trata de moléculas planas.



*Fig. 2.1 Configuración  $sp^3$  para los átomos de carbono de la molécula del poli-etileno\*\*1*

Sin embargo, las fuerzas responsables de la cohesión entre cadenas diferentes pueden ser de naturaleza muy diversa, y están fuertemente condicionadas por las características de los átomos y de los sustituyentes de la cadena principal. La polaridad y el volumen de estos átomos afectarán especialmente a las fuerzas de cohesión entre cadenas, que a su vez determinarán la flexibilidad del material, temperatura de transición vítrea, temperatura de fusión y capacidad de cristalización entre otras propiedades.

En la figura 2.2 se muestra la estructura de varios polímeros que se van a emplear para ilustrar estos aspectos. En el caso de la molécula de polietileno (PE), molécula sencilla no polar, las cadenas diferentes se atraen entre sí por fuerzas intermoleculares débiles de tipo London (dipolo inducido-dipolo inducido). En consecuencia el polietileno es un material blando y tiene una temperatura de fusión relativamente baja. Para moléculas polares, tales como el PVC, las cadenas se mantienen unidas mediante interacciones fuertes de tipo dipolo-dipolo resultante de la atracción electrostática entre los átomos de cloro de una molécula y los de hidrógeno de otra, lo que resulta en un polímero muy rígido. Las cadenas de moléculas altamente polares que contienen átomos de oxígeno o nitrógeno se atraen entre sí por puentes de hidrógeno, como es el caso del poli(óxido de metileno) (POM). En general, cuanto mayor sean las fuerzas de cohesión entre las cadenas, tanto más rígido resultará el polímero y tanto mayor será la temperatura de fusión en el caso de polímeros cristalinos o la temperatura de reblandecimiento en el caso de polímeros no cristalinos. En las poliamidas, por ejemplo, las fuerzas de cohesión entre las moléculas son el resultado de una combinación de enlaces por puentes de hidrógeno, fuerzas dipolo-dipolo y fuerzas de tipo London, lo que confiere una elevada temperatura de fusión al polímero.

La introducción en la cadena principal de grupos aromáticos (grupos voluminosos y fácilmente polarizables) aumenta la rigidez de la misma como es el caso del polietilenterftalato (PET). Igualmente ocurre con la introducción de grupos voluminosos como sustituyentes de la cadena principal, como es el caso del polipropileno (PP) o del poliestireno (PS).

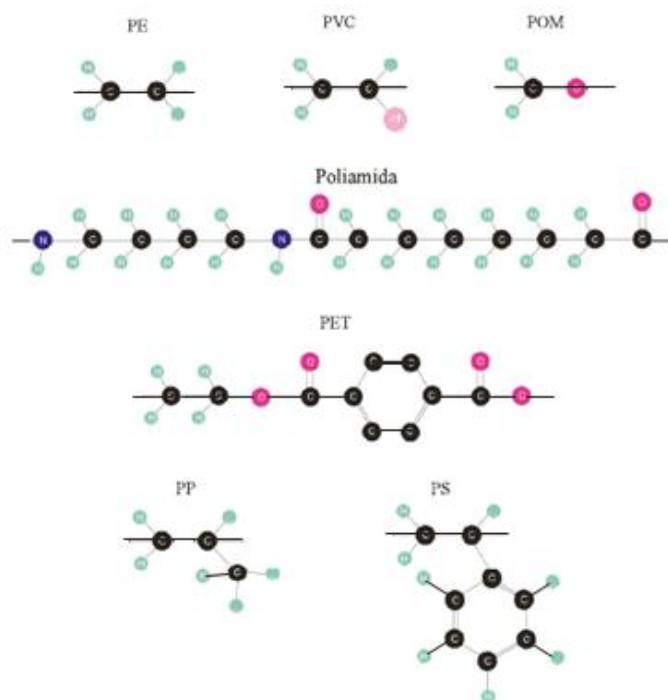
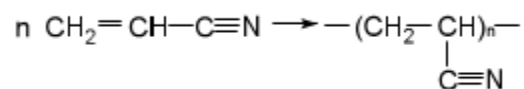


Fig. 2.2 Estructura de diferentes polímeros \*\*1

## UNIONES ENTRE MONÓMEROS

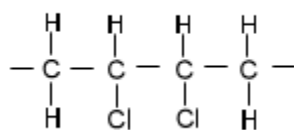
En los procesos de polimerización por condensación los monómeros se unen unos con otros siempre de la misma forma. No ocurre siempre así en la polimerización por adición. Por ejemplo, en la polimerización del metacrilonitrilo para dar poliacrilonitrilo (PAN) la mayoría de los monómeros polimerizan vía el doble enlace:



*Fig. 2.3 Estructura del poliacrilonitrilo \*\*1*

Los grupos químicos que resultan de estas reacciones son generalmente menos estables que los producidos por las uniones normales de dobles enlaces carbono-carbono. Aparecen así uniones débiles que pueden tener mucha importancia en la estabilidad térmica del polímero.

También pueden formarse enlaces lábiles como consecuencia de uniones cabeza-cabeza o cola-cola en lugar de las uniones normales cabeza- cola. Este tipo de uniones, como la mostrada para el PVC, son responsables de la baja estabilidad térmica de este polímero.



*Fig. 2.4 Ejemplo de un enlace Labil \*\*1*

## PESO MOLECULAR Y SU DISTRIBUCIÓN

Muchas de las propiedades de los polímeros, como por ejemplo la resistencia mecánica, la elasticidad de los cauchos, la temperatura de transición vítrea de plásticos amorfos o la temperatura de fusión de fibras y materiales semicristalinos, se deben al alto peso molecular de los mismos. En la tabla 1.3 se muestra a modo de ejemplo, el estado de agregación de una serie de moléculas de alcanos de la misma estructura química y creciente peso molecular.

Número de unidades -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -	Peso molecular	Estado físico a 20 °C
1	30	gas
6	170	líquido
35	1000	grasa
430	>12000	resina

Tabla 1.3. Efecto del tamaño de la molécula sobre su estado de agregación.

La molécula de etano (1 unidad de repetición) es gaseosa, pero al aumentar su tamaño hasta 6 unidades de repetición pasa a ser líquida, y conforme se van adicionando más monómeros se convierte en un aceite, una cera y finalmente en un material sólido. El polietileno de peso molecular entre 1.000 y 5.000 es un sólido céreo que adquiere propiedades útiles como plástico sólo cuando su peso molecular supera los 10.000. El nailon (PA), por ejemplo, de peso molecular 1.000-2.000 es un sólido frágil, mientras que a pesos moleculares más elevadas es altamente tenaz.

Los polímeros sintéticos y la mayoría de los naturales están formados por una mezcla de moléculas que han alcanzado diferente grado de polimerización, y por tanto, diferente peso molecular. En los polímeros sintéticos obtenidos por polimerización en cadena, la longitud de la cadena viene determinada por el tiempo que la cadena está creciendo. Las etapas de

terminación, iniciación, propagación y transferencia, responden a fenómenos al azar. En el caso de las reacciones de polimerización por etapas, la longitud de cadena viene determinada principalmente por la disponibilidad local de grupos reactivos en los extremos de las cadenas en crecimiento. En cualquier caso, el polímero contiene moléculas que poseen longitudes de cadena muy diferentes; de modo que en una muestra de polímero siempre nos encontraremos con una distribución de pesos moleculares. En la figura 2.5 se muestra una curva típica de distribución de pesos moleculares

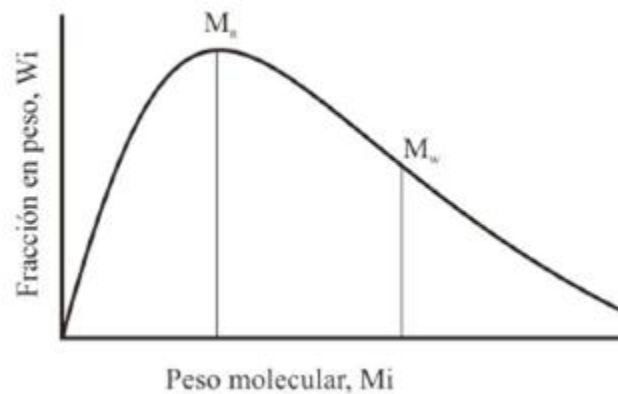


Fig. 2.5 Distribución de pesos moleculares en un polímero

## COPOLÍMEROS

Cuando en un proceso de polimerización se utilizan dos o más monómeros químicamente diferentes, el polímero resultante se denomina copolímero. Comúnmente se emplean tan sólo dos, o como máximo tres monómeros diferentes. Los copolímeros se clasifican según la secuencia de los monómeros como copolímeros de bloque, de injerto y al azar, como se muestra en la figura 2.6.

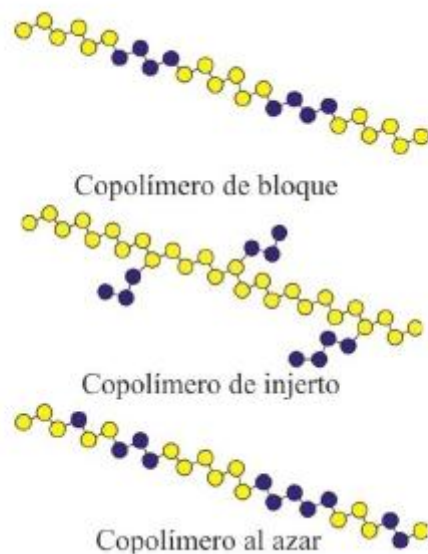


Fig. 2.6 Tipos de copolímeros \*\*1

El ABS, por ejemplo, es un copolímero generalmente de bloque formado por secuencias de acrilonitrilo, butadieno y estireno; el HIPS (poliestireno de alto impacto) es un copolímero de injerto que consta de una cadena principal de poliestireno y cadenas de polibutadieno injertadas. Un ejemplo típico de copolímero al azar es el SAN (estireno-acrilonitrilo).

La estructura química de los copolímeros es lógicamente mucho más compleja que la de los polímeros, pues al estar formados por más de un monómero, pueden variar además en su composición y en la longitud de secuencia, lo que condiciona las propiedades finales.

## RAMIFICACIONES Y ENTRECruzAMIENTO

Cuando durante las reacciones de polimerización no existen reacciones secundarias se obtienen polímeros lineales, no ramificados como el que se muestra en la figura 2.7.a. Bajo ciertas condiciones de polimerización se pueden obtener ramificaciones que pueden ser cortas o largas (figura 2.7 b y c). Las propiedades de los polímeros pueden variar considerablemente dependiendo de si existen o no ramificaciones y de la longitud de las mismas.

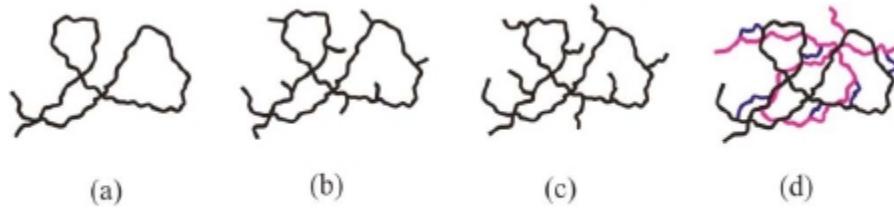


Fig. 2.7 Polímero lineal sin ramificaciones (a), con ramificaciones cortas con ramificaciones largas (c) y polímero entrecruzado (d).

Cuando unas cadenas se unen con otras vecinas a través de otras cadenas de igual o diferente naturaleza se llega a obtener una red tridimensional (figura 2.7.d) y el polímero se hace insoluble y no funde. Se habla entonces de polímeros entrecruzados o reticulados. Para la formación de la red tridimensional es necesario que cada molécula se una en dos o más puntos a otras moléculas. Las redes entrecruzadas verdaderas se logran cuando existen muchos puntos de unión por cadena primaria, de modo que los polímeros entrecruzados que forman redes tridimensionales se consideran formados por una sola molécula de tamaño infinito.

Estas estructuras, polímeros lineales con o sin ramificaciones, y polímeros entrecruzados se corresponden en la práctica con dos grupos de materiales denominados termoplásticos y termoestables. Su constitución estructural determina propiedades bien diferentes y también métodos de transformación distintos.

Los materiales termoplásticos son básicamente polímeros lineales no entrecruzados, pudiendo hacerse fluidos por calentamiento y tomar una forma determinada, forma que mantienen una vez fríos. Este proceso de calentamiento, toma de forma y enfriamiento puede repetirse, en principio, indefinidamente (considerando, naturalmente, que no tienen lugar procesos de descomposición térmica). Son, por tanto, reciclables.

Por otro lado, los materiales termoestables, debido a su estructura entrecruzada, no funden y son insolubles. En la práctica, para poder dar forma a estos materiales se parte de un intermedio (plástico termoendurecible) que todavía es capaz de fundir, teniendo lugar la polimerización y el entrecruzamiento en el propio proceso de toma de forma. La gran mayoría de los polímeros de adición son termoplásticos. Entre los polímeros de



condensación, algunos son termoplásticos (poliamidas, policarbonatos, poliésteres lineales, poliuretanos lineales, etc.) y otros típicamente termoestables (poliésteres insaturados, resinas epoxi, resinas fenólicas, resinas de urea, etc.).

## CONFIGURACIÓN

La configuración es la ordenación en el espacio de los sustituyentes alrededor de un átomo particular. En la figura 2.8 se muestra la cadena de un polímero (en este ejemplo, polipropileno) en su conformación en zigzag plana, completamente extendida. La configuración resultante cuando todos los grupos de sustituyentes de la cadena principal, en este caso CH<sub>3</sub>-, quedan por encima o por debajo del plano de la cadena principal se llama isotáctica. Si los grupos sustituyentes quedan alternativamente por encima y por debajo del plano, la configuración se denomina sindiotáctica, mientras que la secuencia al azar corresponde a la configuración atáctica. El tipo de configuración también condiciona el comportamiento del material. Por ejemplo, el polipropileno isotáctico es un polímero semicristalino comercial que se utiliza como plástico y como fibra. El polipropileno atáctico es amorfo, tipo cera, sin consistencia para su uso como material plástico. Estos ejemplos dejan ver una vez más la influencia de la estructura del polímero sobre sus propiedades.

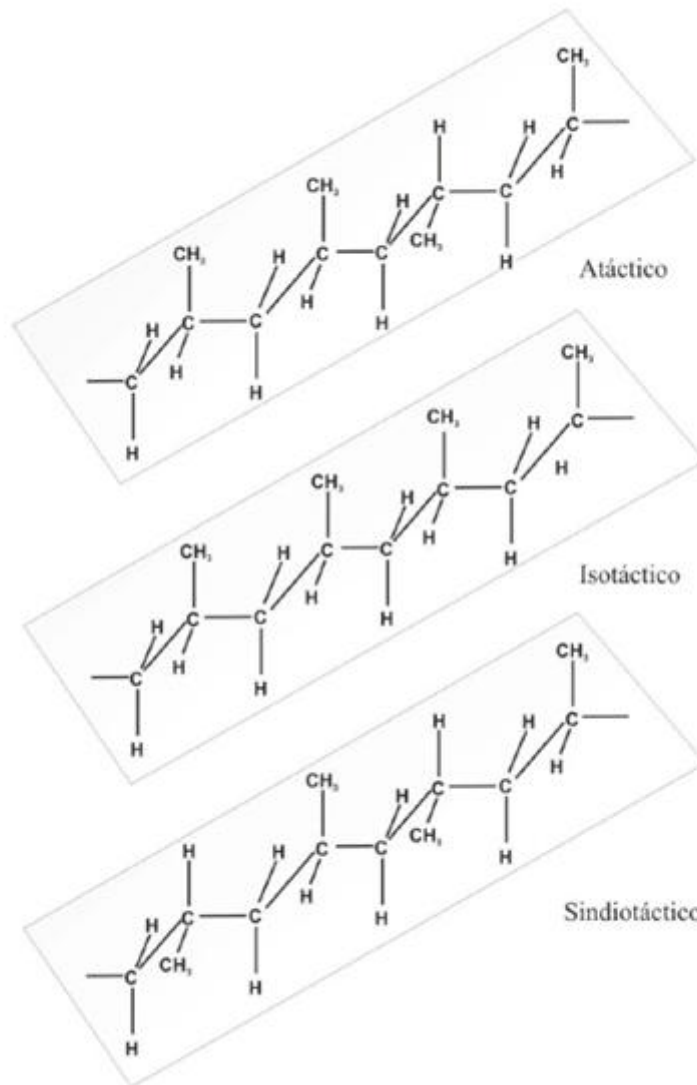


Fig. 2.8 Configuraciones atáctica, isotáctica y sindiotáctica \*\*1

## ESTRUCTURA FÍSICA

Estado amorfo y estado cristalino.

Los términos cristalino y amorfo se utilizan normalmente para indicar las regiones ordenadas y desordenadas de los polímeros, respectivamente. La figura 1.7 muestra un esquema de un sistema amorfo, uno semicristalino y otro cristalino. En estado sólido algunos polímeros son completamente amorfos, otros son semicristalinos y, dependiendo de las condiciones de cristalización, un polímero con capacidad de cristalizar puede ser amorfo o semicristalino. Con frecuencia se utiliza el término cristalino en lugar de semicristalino, aunque ningún polímero es completamente cristalino

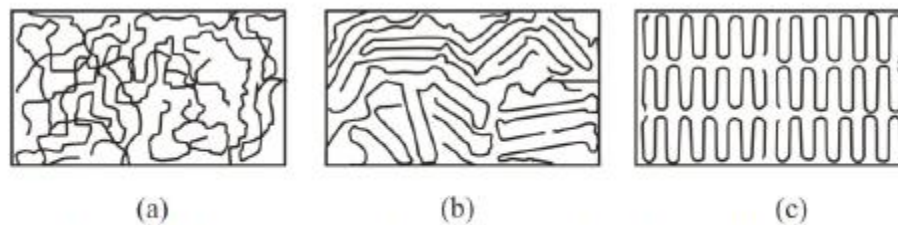


Fig. 2.9 Sistemas amorfo (a), semicristalino (b) y cristalino (c).

Los polímeros con capacidad de cristalizar son aquellos cuyas moléculas son química y geoméricamente regulares en su estructura. Las irregularidades ocasionales, tales como las ramificaciones de la cadena, o la copolimerización de una pequeña cantidad de otro monómero limitan el alcance de la cristalización, pero no evitan que ocurra. Por el contrario, los polímeros no cristalinos típicos son aquellos en los que existe una clara irregularidad en la estructura: polímeros ramificados, polímeros atácticos y copolímeros con cantidades significativas de dos o más constituyentes monoméricos bastante diferentes.

## TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA Y TEMPERATURA DE FUSIÓN.

En el estado líquido o fundido las moléculas del polímero se encuentran por lo general ovilladas y enmarañadas si no hay una fuerza externa que las obligue a orientarse en una dirección. Si la energía disponible es suficiente, las moléculas podrán moverse y los átomos de las cadenas podrán rotar alrededor de los ángulos de enlace, produciéndose cambios de conformación. En una situación de este tipo el volumen no ocupado (volumen libre) asociado con cada molécula es alto. En las moléculas reales, la capacidad de rotación de los enlaces de cadena está más o menos limitada por impedimentos estéricos.

En la figura 3 se representa la variación del volumen específico de dos polímeros a y b con la temperatura. A temperaturas elevadas los polímeros termoplásticos se encuentran en un estado líquido o fundido en el que pueden pasar rápidamente de una conformación a otra. En esta situación el volumen libre asociado a las moléculas es grande y por tanto el volumen específico también lo será. Para que un segmento de una cadena de polímero se mueva con respecto a otro se requiere energía térmica y en las condiciones descritas hay suficiente energía para que estos movimientos sean posibles. A medida que la temperatura descende y hay menos energía disponible, el cambio de conformación es más lento, y el volumen específico disminuye gradualmente. De acuerdo con las leyes de la termodinámica, cuando se alcanza una temperatura determinada todos los sistemas tienden a ordenar sus moléculas formando redes cristalinas sólidas. El polímero a de la figura 3 es un material con capacidad de cristalizar y presenta una temperatura de cristalización,  $T_c$ , a la que se produce un cambio de fase desde el estado fundido amorfo al estado sólido cristalino, y una temperatura de fusión,  $T_m$ , muy próxima a la temperatura de cristalización cuando la transición se realiza desde el estado sólido al fundido.

Las moléculas de polímero que poseen una estructura muy compleja e irregular (ramificaciones, fuertes interacciones entre cadenas, etc.) presentan viscosidades muy elevadas en el estado líquido. Cuando estas moléculas se enfrían, a la temperatura a la que cabría esperar que el estado cristalino fuese más estable que el amorfo, la viscosidad de las moléculas es demasiado elevada, y/o su geometría demasiado compleja para adquirir una conformación cristalina. De modo que, en estos casos, en el estado sólido persiste la

conformación desordenada típica de los líquidos. Es el caso del polímero amorfo b representado en la figura 3 en el que, como se puede ver, la disminución del volumen específico se produce de forma gradual con la temperatura. En estos polímeros existe una temperatura, la temperatura de transición vítrea,  $T_g$ , a partir de la cual el material sufre un marcado cambio de propiedades. A temperaturas por encima de la  $T_g$  segmentos relativamente grandes de 10 o 50 unidades de repetición se pueden mover con libertad en movimientos conjuntos, logrando modificar su conformación, mientras que por debajo de esta temperatura los movimientos quedan limitados a segmentos muy pequeños, impidiendo una reorganización. Por debajo de la temperatura de transición vítrea (estado vítreo), los polímeros amorfos tienen muchas de las propiedades asociadas con los vidrios inorgánicos ordinarios, incluida la rigidez, fragilidad y transparencia. Mientras que por encima de su  $T_g$  los polímeros amorfos se comportan como cauchos o elastómeros.

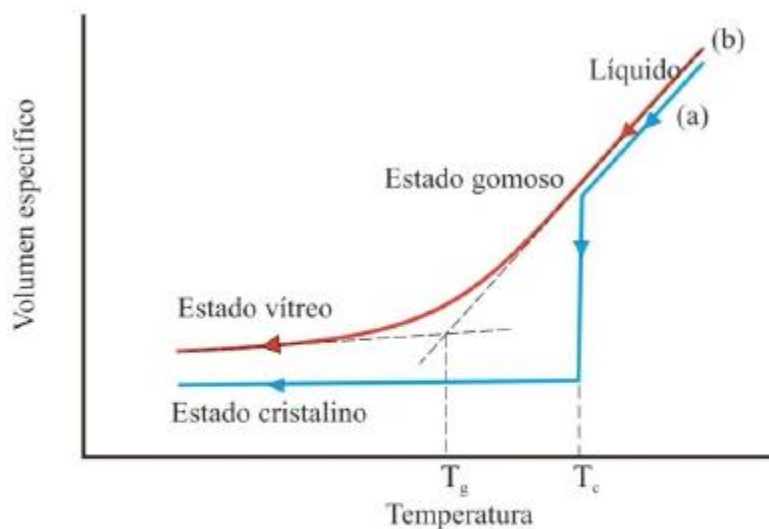


Fig. 3 Variación del volumen específico en función de la temperatura para a) un polímero cristalino y b) un polímero amorfo.

El término temperatura de fusión se debe emplear sólo para los polímeros cristalinos o semi-cristalinos. En el caso de los polímeros amorfos, a temperaturas por encima de la  $T_g$  las cadenas adquieren mayor movilidad, llegando a hacerse fluidas, si bien realmente no hay fusión, por lo que se habla de intervalo de reblandecimiento y estrictamente hablando

no se puede decir que el polímero se encuentra fundido. Los polímeros cristalinos pueden presentar también temperatura de transición vítrea pues la cristalización sólo ocurre hasta una cierta extensión y siempre habrá regiones amorfas en un polímero sólido. Hasta cierto punto las propiedades de los polímeros cristalinos dependerán de si las regiones amorfas residuales se encuentran en el estado vítreo (por debajo de  $T_g$ ) o en el estado caucho (por encima de la  $T_g$ ). La tabla 1.4 muestra las temperaturas de transición vítrea y de fusión de varios polímeros de uso frecuente.

**Tabla 1.4.** Temperatura de transición vítrea y de fusión de polímeros de uso frecuente.

Polímero	$T_g$ (°C)	$T_m$ (°C)
Poliétileno	-125	140
Poliestireno (isotáctico)	100	240
Polipropileno (isotáctico)	25	150
Polipropileno (sindiotáctico)	---	138
Poli(acrilonitrilo) (atáctico)	85	317
Poli(cloruro de vinilo)	81	---
Poli(óxido de etileno)	-56	66
Poli(etileno tereftalato)	29	270
Poli(metacrilato de metilo)	102	---
Policarbonato	150	267
Nailon 6,6	50	265
Politetrafluoroetileno	-113	327
Polibutadieno cis	-108	148
Poliisopreno (trans)	-67	74
Poliisopreno (cis)	-75	28

## RELACIÓN ENTRE CRISTALINIDAD Y COMPORTAMIENTO DURANTE EL PROCESADO

Durante el procesado los polímeros se comportan de forma bastante diferente dependiendo de si tienen capacidad para cristalizar o no. Igualmente algunas propiedades del producto final están fuertemente influenciadas por el grado de cristalinidad alcanzado por el material.

Como se ha comentado, los polímeros cristalinos contienen regiones amorfas además de las cristalinas. Cuando estos materiales se calientan en principio se consigue un reblandecimiento debido a la movilidad que adquieren gradualmente las moléculas de las regiones amorfas, si bien las moléculas que se encuentran en la región cristalina siguen en estado sólido. Cuando se alcanza el punto de fusión de los cristales la estructura colapsa y todas las cadenas adquieren gran movilidad. El procesado de los materiales cristalinos debe, por tanto, realizarse por encima del punto de fusión. Por el contrario en el caso de los polímeros amorfos el procesado debe realizarse por encima de la temperatura de transición vítrea, sin embargo en este caso el reblandecimiento es gradual. Los grandes grupos de moléculas adquieren movilidad y el polímero se convierte en gomoso y a mayores temperaturas fluye con más facilidad relativa.

Tanto los polímeros amorfos como los cristalinos tienden a contraerse en el procesado durante la etapa de enfriamiento, sin embargo la contracción es mucho mayor en el caso de los polímeros cristalinos que en el de los polímeros amorfos (1.5 a 3% en polímeros cristalinos frente a 0.4 a 0.8% en polímeros amorfos). Mientras el material con capacidad de cristalizar está fundido se encuentra en estado amorfo, pero tras el enfriamiento las moléculas se empaquetan produciendo una reducción importante en el volumen específico. El encogimiento que sufren los artículos moldeados es debido en este caso al proceso de expansión y contracción térmica y a la formación de cristales. El desarrollo de la cristalinidad será tanto mayor cuanto más lenta sea la velocidad de enfriamiento del material, y lo mismo ocurrirá con la contracción. Por el contrario, los polímeros amorfos no cristalizan durante el enfriamiento y el encogimiento se debe tan sólo a la expansión y contracción térmica. En este caso la velocidad de enfriamiento no afecta a la contracción que sufre el artículo moldeado.

## PROPIEDADES COMUNES DE LOS POLÍMEROS

A pesar de que los distintos plásticos presentan grandes diferencias en su composición y estructura, hay una serie de propiedades comunes a todos ellos y que los distinguen de otros materiales. Un ejemplo de alguna de estas propiedades se encuentra en la tabla 1.5.

**Tabla 1.5. Densidad, conductividad térmica y eléctrica de diferentes materiales.**

Material	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Cond. Term. (W/mK)	Cond. Elec. (S)
Plásticos	0.9-2.3	0.15-0.5	---
PE	0.9-1.0	0.32-0.4	---
PC	1.0-1.2	---	---
PVC	1.2-1.4	---	10 <sup>-15</sup>
Acero	7.8	17.50	5.6
Aluminio	2.7	211	38.5
Aire	---	0.05	---

El rango de densidades de los plásticos es relativamente bajo y se extiende desde 0.9 hasta 2.3 g/cm<sup>3</sup> (tabla 1.5). Entre los plásticos de mayor consumo se encuentran el PE y el PP, ambos materiales con densidad inferior a la del agua. La densidad de otros materiales a los que los plásticos sustituyen en algunas aplicaciones es varias veces mayor, como es el caso del aluminio o del acero. Esta densidad tan baja se debe fundamentalmente a dos motivos; por un lado los átomos que componen los plásticos son ligeros (básicamente C y H, y en algunos casos además O, N o halógenos), y por otro, las distancias medias entre átomos dentro de los plásticos son relativamente grandes. Una densidad tan baja permite que los plásticos sean materiales fáciles de manejar y por otra parte, supone una gran ventaja en el diseño de piezas en las que el peso es una limitación.

Por otra parte, el valor de la conductividad térmica de los plásticos es sumamente pequeño. Los metales, por ejemplo, presentan conductividades térmicas 2000 veces mayores que los

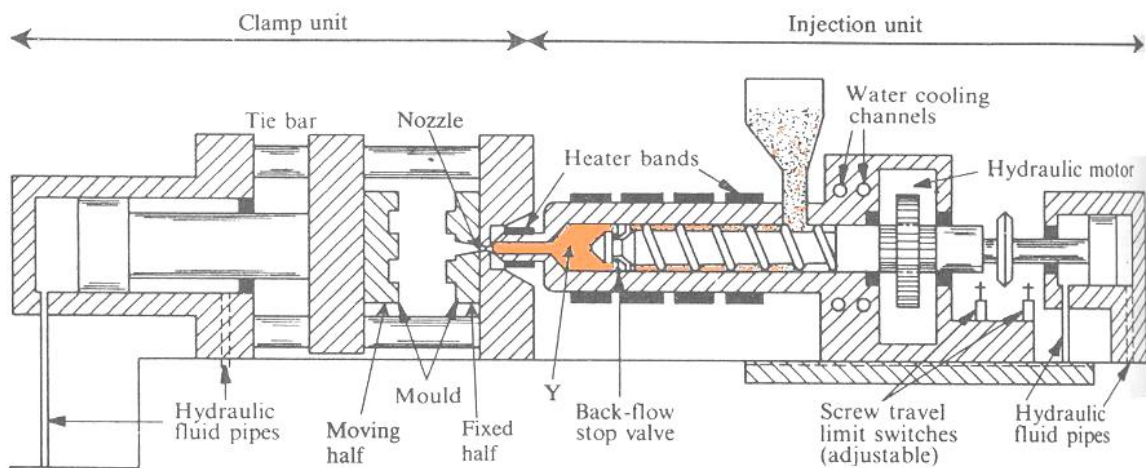


plásticos (tabla 1.5); esto se debe a la ausencia de electrones libres en el material plástico. La baja conductividad térmica resulta un inconveniente durante la transformación de los plásticos. El calor necesario para transformar los plásticos se absorbe de manera muy lenta y la eliminación del calor durante la etapa de enfriamiento resulta igualmente costosa. Sin embargo, en muchas aplicaciones de los plásticos, la baja conductividad térmica se convierte en una ventaja, pues permite el empleo de estos materiales como aislantes térmicos. Igualmente los plásticos conducen muy mal la corriente eléctrica. Presentan resistencias muy elevadas, y por tanto, baja conductividad eléctrica (tabla 1.5). La resistencia eléctrica es función de la temperatura, y a elevadas temperaturas conducen mejor. Gracias a su elevada resistencia eléctrica los plásticos se utilizan frecuentemente como aislantes eléctricos de aparatos y conducciones que funcionan con corriente o la transportan.

En cuanto a las propiedades ópticas, los plásticos que no contienen aditivos son por lo general bastante traslúcidos, aunque esta propiedad está fuertemente influenciada por la cristalinidad del material. Los polímeros amorfos son transparentes, mientras que los cristalinos son opacos. Las zonas cristalinas dispersan la luz, evitando así su libre transmisión, dando lugar a translucidez u opacidad excepto cuando se orientan o se tratan secciones muy finas. Por el contrario, en los polímeros amorfos el empaquetamiento al azar de las moléculas no causa una difracción de la luz importante, permitiendo una transparencia muy buena y una transmitancia a la luz que puede ser superior al 90%. Termoplásticos amorfos como el PC, PMMA y PVC presentan transparencia que no difieren mucho de la del propio vidrio. La transparencia de los plásticos se puede perder, al menos parcialmente, por exposición a la intemperie o a cambios bruscos de temperatura. La resistencia química de los polímeros también está fuertemente influenciada por el grado de cristalinidad. En los polímeros cristalinos los disolventes pueden atacar ligeramente la superficie del polímero, que tiene una menor cristalinidad. Cuando se aplica un esfuerzo las grietas producidas no se propagan una vez que llegan a las zonas cristalinas. Los polímeros amorfos presentan una mayor solubilidad que los cristalinos. Los disolventes atacan al polímero formando pequeñas grietas que se extienden por todo el polímero cuando se aplica un esfuerzo por pequeño que sea.

## MOLDEO POR INYECCIÓN

Una de las técnicas de procesamiento de plásticos que más se utiliza es el moldeo por inyección, siendo uno de los procesos más comunes para la obtención de productos plásticos. Hoy en día cada casa, cada vehículo, cada oficina, cada fábrica, etc. contiene una gran cantidad de diferentes artículos que han sido fabricados por moldeo de inyección. Entre ellos se pueden citar: teléfonos, vasijas, etc. El moldeo por inyección requiere temperaturas y presiones más elevadas que cualquier otra técnica de transformación, pero proporciona piezas y objetos de bastante precisión (siempre y cuando la resina utilizada no tenga una retracción excesiva), con superficies limpias y lisas, además de proporcionar un magnífico aprovechamiento del material, con un ritmo de producción elevado. Sin embargo, a veces, las piezas deben ser refinadas o acabadas posteriormente, para eliminar rebabas.



*Fig. 4. Esquema de una máquina de moldeo por inyección con pistón*

El ciclo de producción consta de ocho fases:

- 1) Cierre del molde
- 2) Avance del grupo de inyección
- 3) Inyección del material en el molde, cerrado y frío
- 4) Mantenimiento de la presión

- 5) Refrigeración y solidificación del objeto (comienza al terminar la inyección y dura hasta que empieza la apertura del molde)
- 6) Retroceso del grupo de inyección
- 7) Plastificación del material para el ciclo siguiente
- 8) Apertura del molde y expulsión de la pieza

## MOLDEO DE TERMOPLÁSTICOS

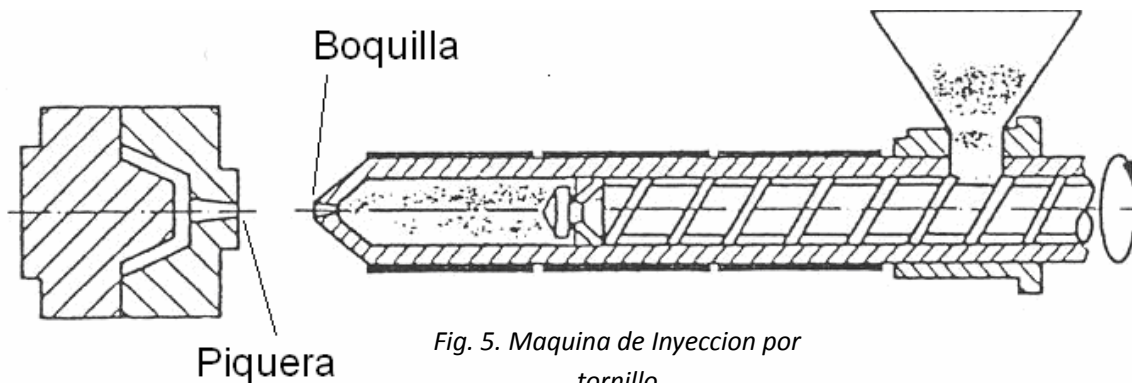
### 1. Unidad de inyección:

Plastifica el material mediante husillo (similar a extrusoras monohusillo).

Tipos:

#### a) Husillo alternativo (reciprocating screw injection unit, RSIU):

1. Plastificación y acumulación de material plastificado mediante giro y retroceso del husillo:



2. Inyección a gran velocidad (tiro o disparo). La válvula anti retorno impide el retroceso del material. Se puede realizar una regulación en la inyección de la pieza mediante el control del movimiento por velocidad de inyección y la presión máxima admisible en el molde (hasta 200MPa).

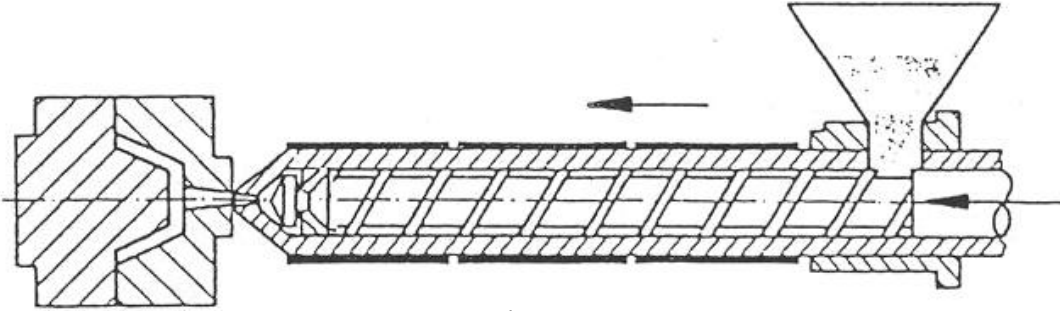


Fig. 6. Presión de sostenimiento

3. Posteriormente se mantiene la presión en el molde, inyectando más material para producir una presión de sostenimiento que llena todo el molde.
4. Finalmente tenemos la separación del molde, y comienzo de nuevo ciclo de plastificación mientras la pieza termina el enfriamiento en el molde.

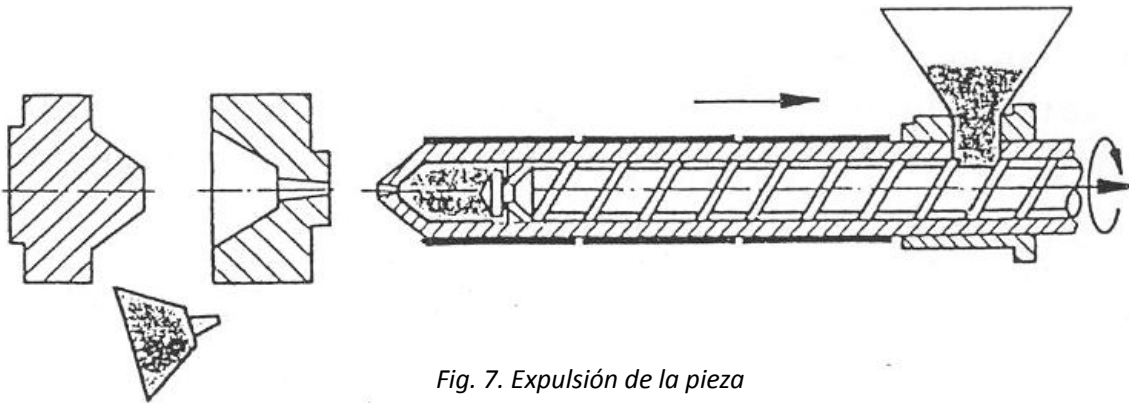


Fig. 7. Expulsión de la pieza

Existen otro tipo de inyectoras con otras características como lo es:

b) Unidades de dos etapas:

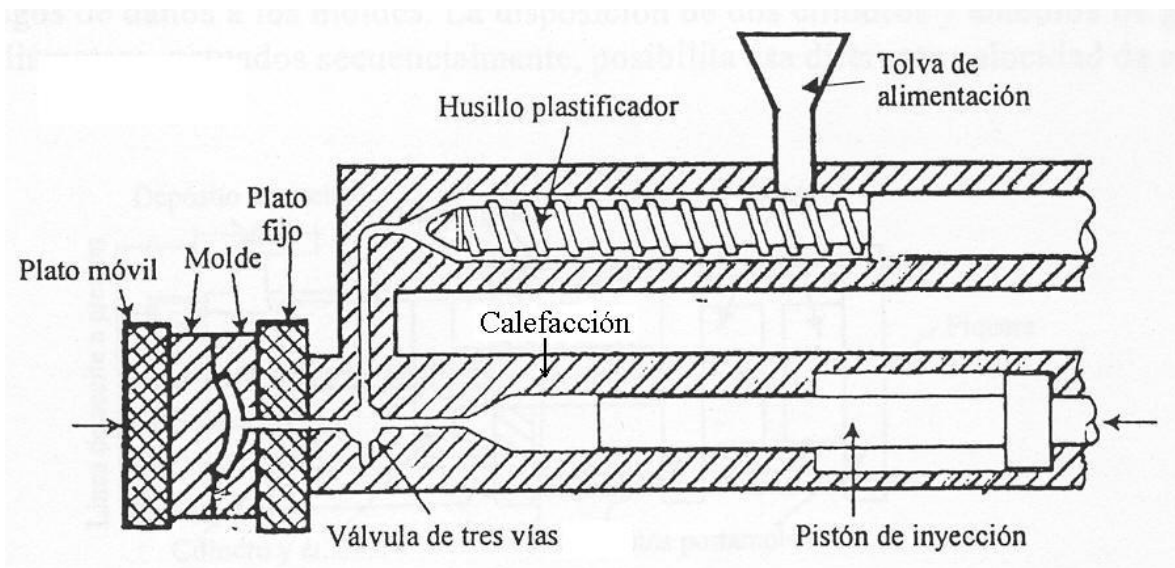


Fig. 8. Máquina de Inyección de dos etapas

- Ventajas: mayor capacidad de producción, mayores presiones alcanzadas, más preciso control del volumen inyectado
- Preferidas para piezas complicadas de paredes finas.
- Desventajas: mayor coste, menor homogeneidad del material, mayor riesgo de degradación. Otras característica importantes: mayor volumen de tiro (shot size) y máxima presión.

Unidad de cierre:

Es una prensa que debe soportar la presión de compactación del material en el molde.

Tipos:

a) Hidráulicas:

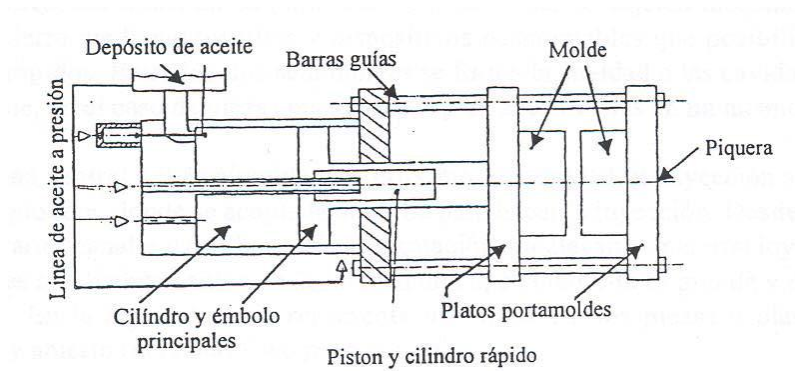


Fig. 9. Máquina de Inyección  
Hidráulica

b) Mecánicas e hidromecánicas. Las mecánicas puras son hoy en día muy poco utilizadas. Las características más importantes son: Soporta grandes dimensiones de los moldes y una fuerza de cierre (hasta 1000 ton en hidráulicas y superior en hidromecánicas).

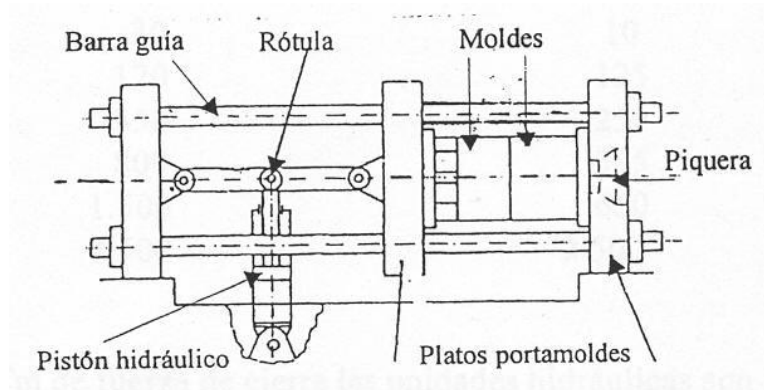


Fig. 10. Máquina de Inyección  
mecánica

Molde:

- Dividido en 2 semi-moldes ó más partes. Pueden incluir cavidades para moldear varias piezas en un mismo tiro.
- Molde con dos partes:

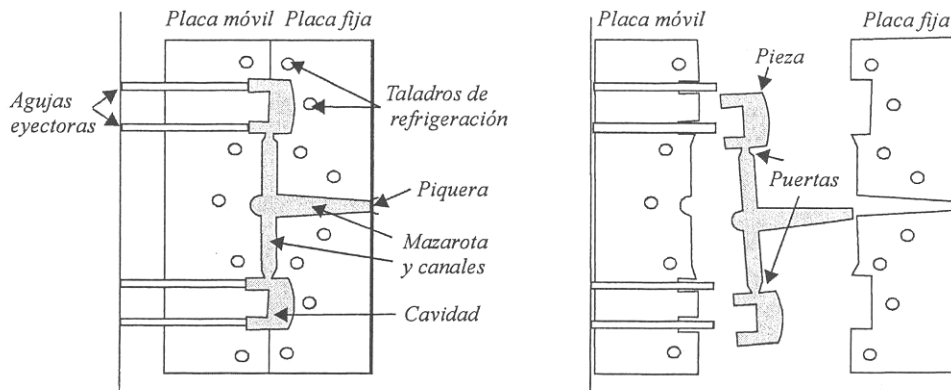


Fig. 11. Molde de dos etapas

Un molde con tres partes (o más): facilita el desprendimiento del material solidificado en los canales (runners) y de la mazarota:

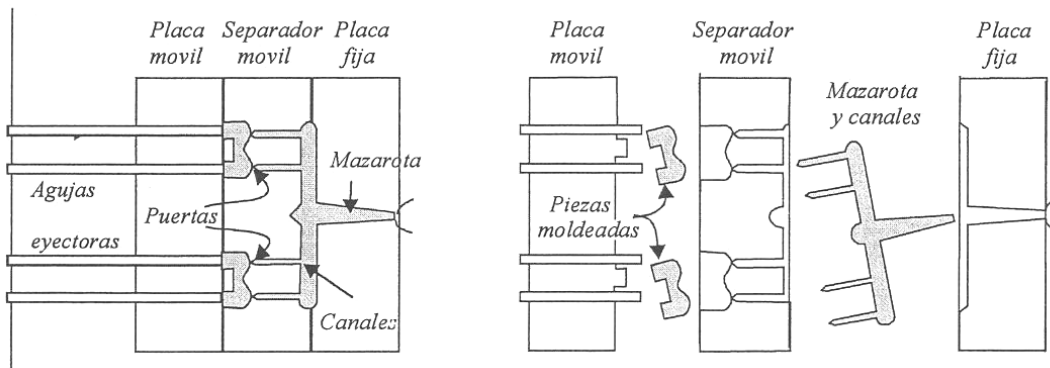


Fig. 12. Molde de tres etapas

Componentes de los moldes:

- Mazarota y canales. En los moldes convencionales el material solidificado que no forma parte de la pieza plástica se desprende y se recicla.
- Placa base. Placa de dimensiones (ancho y alto) adecuadas para que según el tamaño de pieza a inyectar, queden espacios libres por donde se podrá sujetar mediante bridas al plato fijo de la máquina. El grosor de esta placa será lo suficiente, para evitar deformaciones y dependerá del peso total del molde (20-50 mm).
- Placa porta figuras. Existen en ambas mitades. Son las placas donde se realizan las

figuras de la pieza, bien sea como postizos ajustados en la misma, o directamente realizados sobre ella. Estos postizos o figuras, uno será hembra y otro macho. La hembra llamada cajera suele realizarse siempre que sea posible en la parte fija del molde. Y el macho llamado punzón suele realizarse en la parte móvil.

- Centrador. El centrador como su nombre indica sirve para centrar el molde en la máquina. Suele ser redondo y sobresale de la placa base., lo que sobresale de la placa base entra ajustadamente en el plato fijo de la máquina. Así una vez centrado el molde el cilindro de inyección de la máquina coincide con el orificio por donde tiene que entrar el plástico fundido en el molde.
- Bebedero, ramales de distribución, y entradas. Son huecos creados en el molde, que sirven para que el plástico fundido que viene del cilindro de inyección de la máquina, pueda llegar a través de ellos hasta los huecos que tienen la forma de la pieza. Podemos distinguir entre la mazarota, como primer tramo, donde la boquilla de la máquina apoya ajustándose al molde. Después pueden haber los ramales de distribución primarios, y pueden existir otros ramales que derivan de estos llamados secundarios., y finalmente están los bebederos y entradas a pieza., estas entradas tienen diferentes formas según su utilización y materiales empleados. Estos conductos que se llenan de plástico y que no forman parte de la pieza, cuando el plástico se enfría constituyen una merma del material empleado, llamada coladas, que tiene que ser minimizada con un estudio minucioso de las mismas.
- También es posible mantener estos conductos a una temperatura lo suficientemente alta, mediante resistencias integradas en el molde, que mantenga el plástico fundido, si llegar a degradarse. Con ello evitaremos la merma de las coladas, estaríamos hablando de moldes con cámaras calientes.



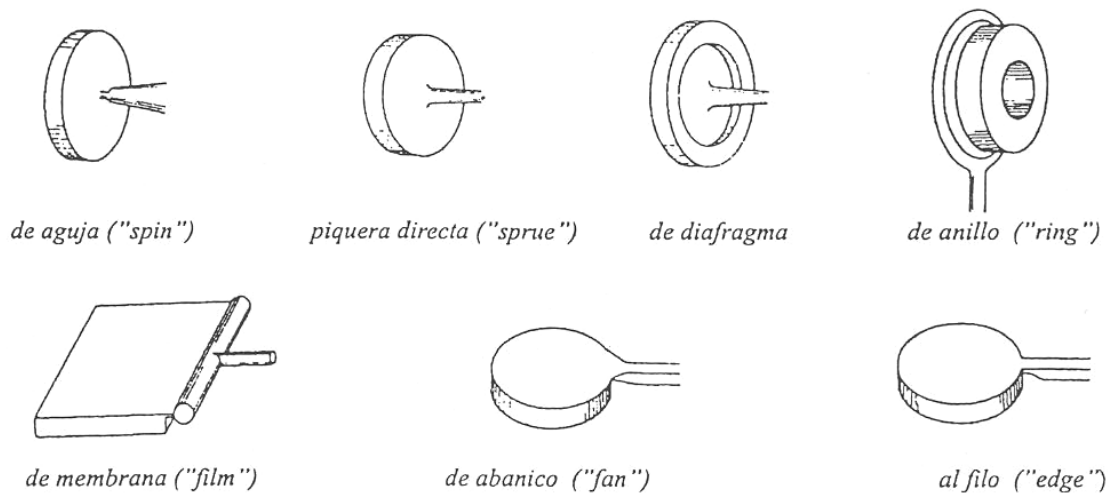


Fig. 13. Tipos de bebederos

- Circuitos de refrigeración. Ambas partes del molde (fija y móvil), tiene una serie de circuitos, tanto en el interior de la placa porta figuras o /y en los postizos que tienen las figuras de la pieza, por donde pasa el líquido refrigerante. Con este sistema, a una temperatura dada del líquido refrigerante y trabajando la máquina de forma continuada a un ciclo dado, se establecerá un equilibrio entre la cantidad de calor que suministramos al molde con el plástico fundido, y la cantidad de calor que le quitamos al molde con el líquido refrigerante. El ciclo tiene que ser el menor posible que mantenga las piezas con la calidad requerida.
- Guías o columnas del molde. Ambas partes del molde tienen un sistema de guías en una parte y de agujeros guía en la otra, de alto nivel de ajuste, que aseguran un perfecto acoplamiento de las partes, evitando movimientos de una parte respecto a la otra cuando recibe la presión del plástico fundido que llega a las cavidades. Permite también el poder realizar los ajustes finos de ambas partes, en las fases de construcción o reparación del molde. El número de guías y agujeros guía y su situación en los moldes depende del tamaño del mismo, suelen ser 4 para tamaños pequeños o medianos, y su situación suele estar en las 4 esquinas del molde, para moldes de forma rectangular, que son los más frecuentes.
- Placa expulsora. Es un placa doble que lleva los expulsores y recuperadores. Va flotante y guiada en un determinado espacio dentro de esta mitad de molde y cuya

misión consiste en extraer la pieza con los expulsores que aloja cuando el vástago de expulsión de la maquina hace presión sobre la misma. Mediante los recuperadores lleva la placa expulsora a la posición de inicio en el momento del cierre de ambas mitades.

- Regles. Son gruesos de hierro, puestos a ambos lados del molde, sujetos a la placa base y placa porta figuras mediante tornillos, creando un hueco central entre la placa base y la placa porta figuras, por donde se deslizará mediante guías la placa expulsora.
- Expulsores. Pueden tener diferentes formas, según la pieza aunque lo común es que sean de forma cilíndrica o laminar. Su situación en un extremo a la placa expulsora y el otro formando parte de la superficie de molde en contacto con el plástico, hace de trasmisor directo, en la extracción de la pieza de la cavidad del molde donde se aloja.
- Recuperadores. Son varillas cilíndricas de mayor tamaño que los expulsores, ubicadas fuera de la superficie del molde que hace pieza y cuya misión es evitar que los expulsores dañen el molde cuando se cierran ambas mitades. Asegura así, una recuperación de la placa expulsora y expulsores hasta su posición inicial.
- Partaje. Zona alrededor de las figuras donde ambas partes del molde se tocan, creando el límite de llenado de la cavidad. El ajuste tiene que ser perfecto para evitar que existan sobrantes de material en la pieza. Normalmente para ver el ajuste en estas zonas se suele pintar una de las partes con pintura azul (pintura al óleo) en forma de fina capa, se presionan ambas partes y el azul tiene que aparecer repartido sobre la zona de la parte no pintada inicialmente. A esta operación se denomina comprobación del ajuste del molde.
- Salida de gases. Son pequeños desajustes creados de forma precisa en el molde, están situados principalmente en las terminaciones del llenado de las piezas y permiten que el aire que hay en los huecos de la cavidad a llenar, junto con los gases que se generan en la inyección, tenga huecos en el ajuste para salir. Estas salidas son de tal tamaño (aproximadamente 0.02 mm) que permiten que salgan los gases pero no el plástico líquido.

- Agujeros roscados y cáncamos. El molde posee en todas sus placas agujeros roscados de orificio suficiente para el enroscado de los cáncamos, que serán utilizados en el manejo en el taller (polipastos o puente grúa). Al igual poseerá agujeros roscados de tal forma que con cáncamos adecuados y con puente grúa pueda ponerse el molde o semi moldes en máquina de forma vertical.

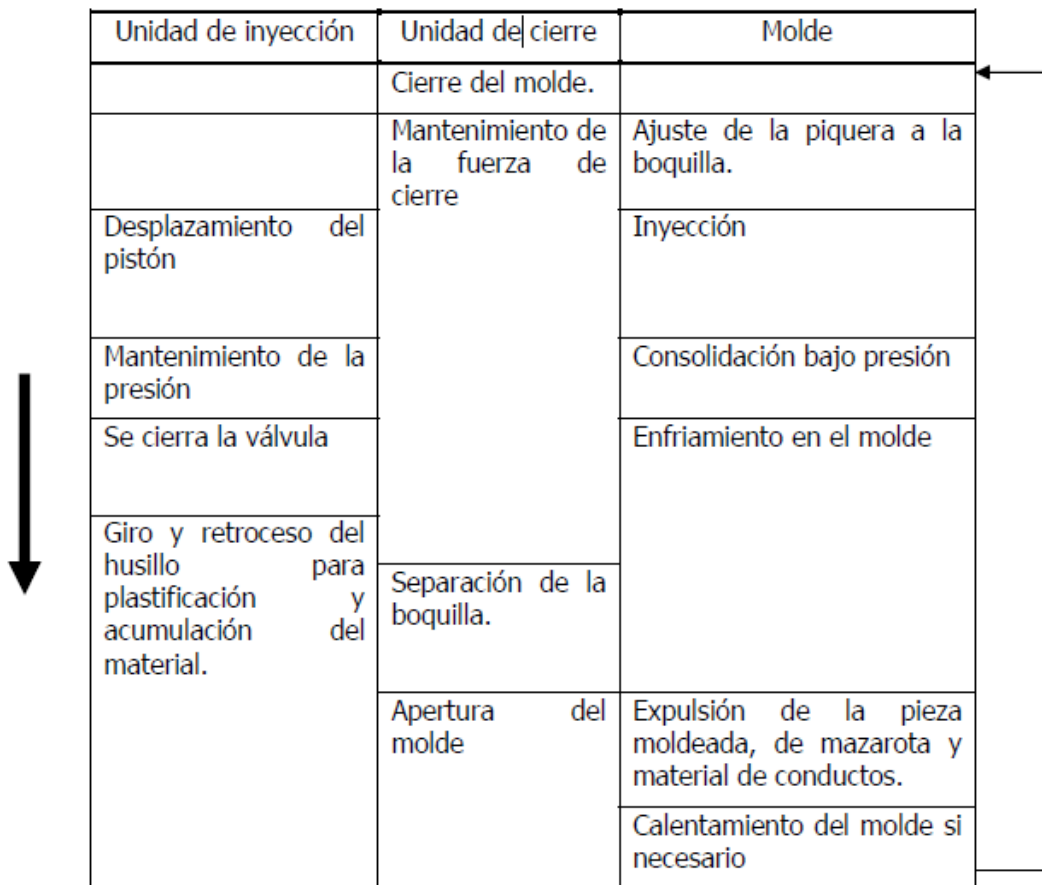


Fig. 14. Ciclo de producción de una pieza plástica

## PROCESO DE ANALISIS

Para el proceso de analisis primeramente se diseño la pieza deseada, pero adicionalmente se realizo el diseño del molde de inyeccion, de esta manera es mas facil realizar modificaciones una vez que se ha completado el analisis.

Fundamentos Teóricos de los moldes de inyeccion:

En el diseño de moldes de inyección es necesario familiarizarse con estos mecanismos y su proceso, por tanto revisaremos en qué consisten las partes principales de un molde de inyección.

Se define al molde como el conjunto de piezas acopladas provista de cavidades para alojar el material plástico o metálico fundido; por medio de una maquina inyectora para, darle forma determinada, enfriarlo y extraerlo una vez solidificado. Entre las principales partes tenemos:

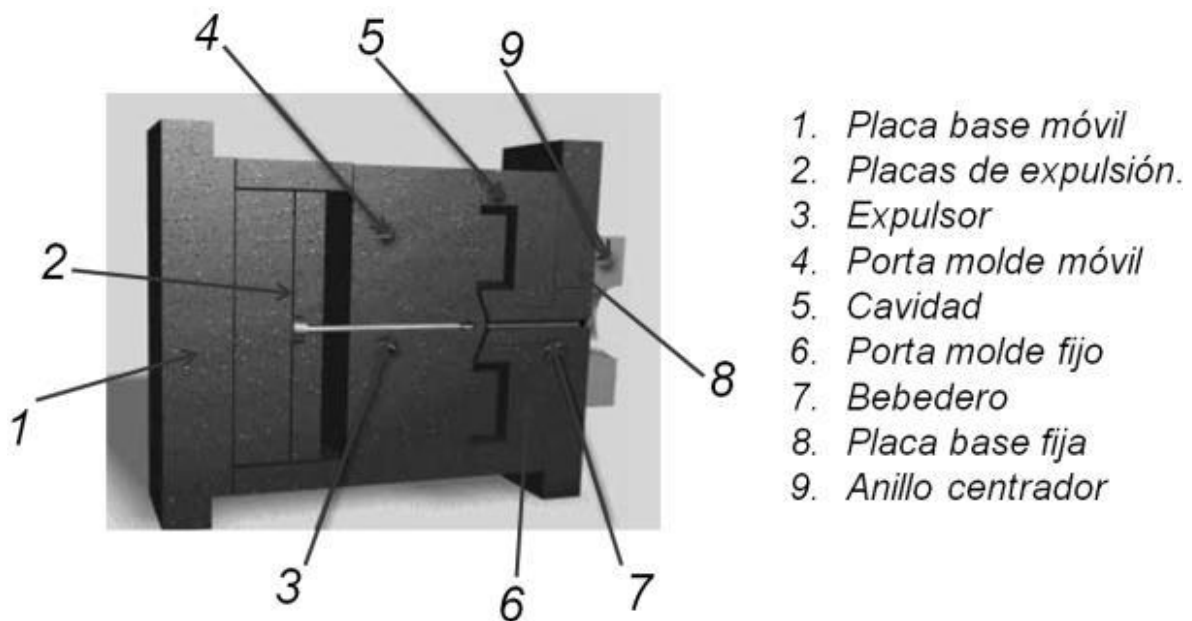


Fig.15. Partes principales de un molde

## COMIENZO DE LA ETAPA DE DISEÑO Y PRUEBAS

En esta etapa ya se tienen todos los parámetros y requerimientos previos en formato IGS, para este trabajo se tiene la forma de la pieza a inyectar, el material de la pieza, un molde normalizado y la máquina inyectora forma parte de la simulación que se realizara en MoldFlow

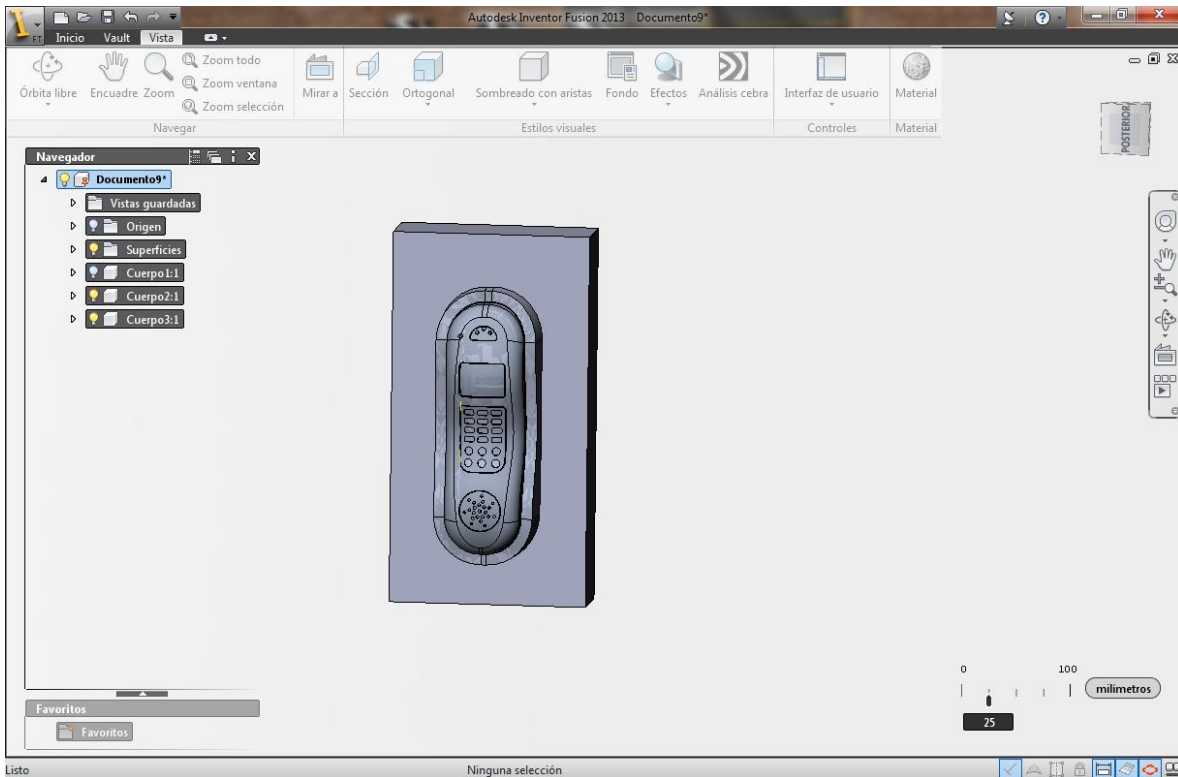
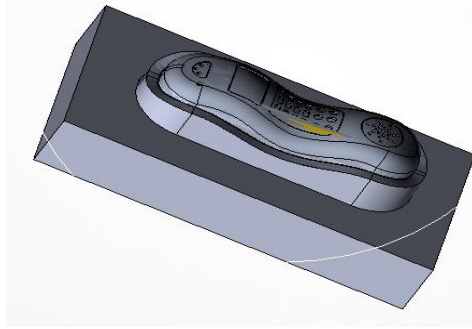


Fig. 16. Diseño de la placa Base

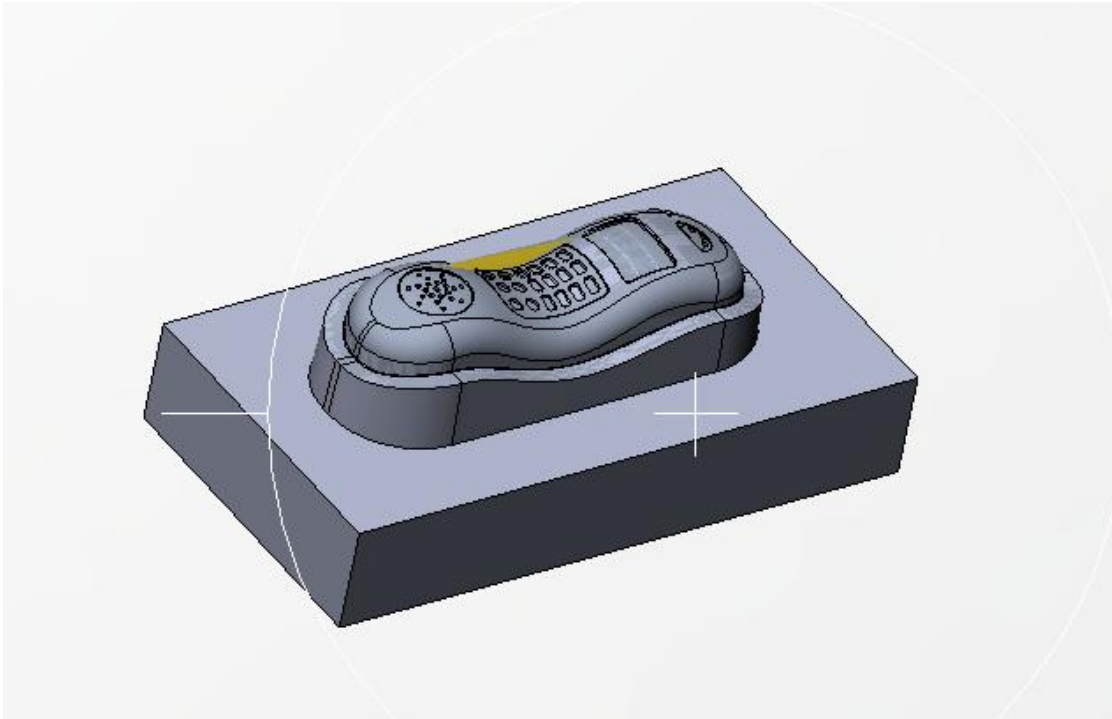
Otros Factores que es necesario considerar en el diseño son los siguientes:

*Número de cavidades:* Es el número de elementos a inyectar del que está provisto el molde. Para este trabajo el número de cavidades es de cuatro. Con los datos previos se selecciona la máquina inyectora a utilizar. Las características a determinar son la fuerza de cierre y la capacidad de plastificación.



*Fig. 17. Vista Lateral*

2. *Forma de Ejecución del Molde:* La forma seleccionada del molde es de un molde de dos placas de canales fríos, por su fácil construcción y de pocos elementos maquinados, nos ahorra tiempo y recursos, además es el tipo de canales que deja menor desperdicio.



*Fig. 18. Vista Superior*

3. *Situación de las Cavidades:* Las cavidades se distribuyen de manera simétrica para distribuir uniformemente las presiones en el molde presentes en la inyección.

4. *Sistema de Colada:* El sistema utilizado es el Normal. Es el más difundido por su fácil elaboración, consiste en un canal en la parte lateral de la cavidad con una sección de estrangulamiento construido en un semimolde.

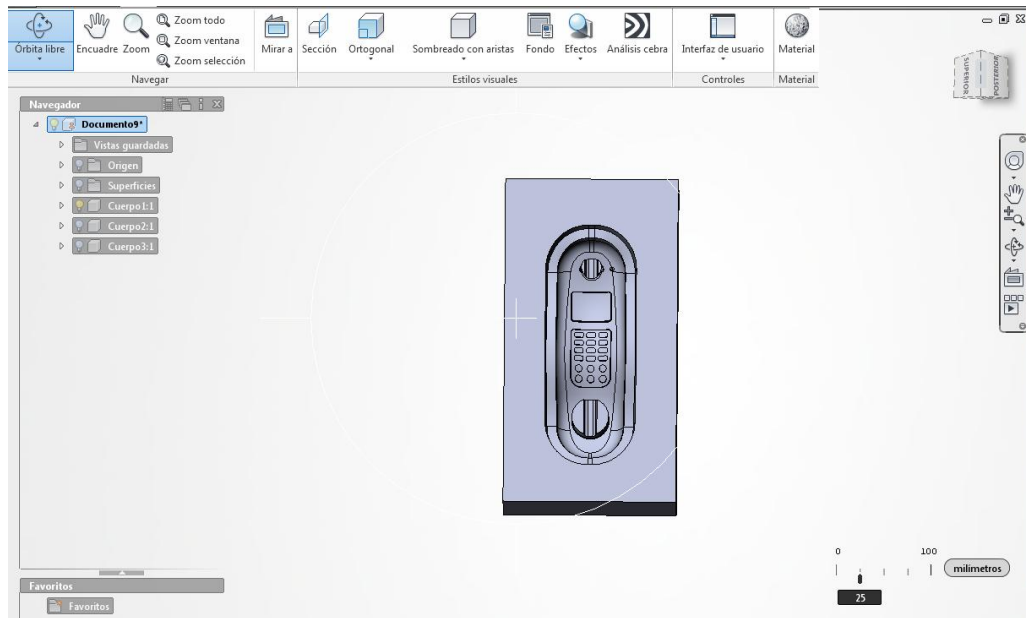


Fig. 19. Placa inferior

5. *Sistema de Regulación de Temperatura:* El enfriamiento se lo enfoca a la figura, por medio de canales en forma de anillo alrededor de la cavidad.

6. *Sistema de Extracción:* El sistema seleccionado es de columna o de vástago central, el cual tiene forma particular para obtener mayor área de contacto entre expulsor y pieza inyectada.

7. *Sistema de Salida de Gases:* La salida de gases se produce por medio de los acoples entre los postizos, debido a que el material a elaborar es denso, permite tener tolerancias donde el ajuste permite el escape de gases, evitando así el maquinado de canales adicionales.

8. *Materiales de Construcción:* Este trabajo parte inicialmente considerando un molde normalizado constituido por acero AISI P20 o equivalente W. Nr 1.2311, un acero bonificado para placas bases, placas porta moldes, anillo centrador. Además se selecciona el acero AISI 420 o equivalente W. Nr 1.2083, un acero inoxidable martensítico para placas cavidad, postizos, núcleos, cavidades, bebedero.

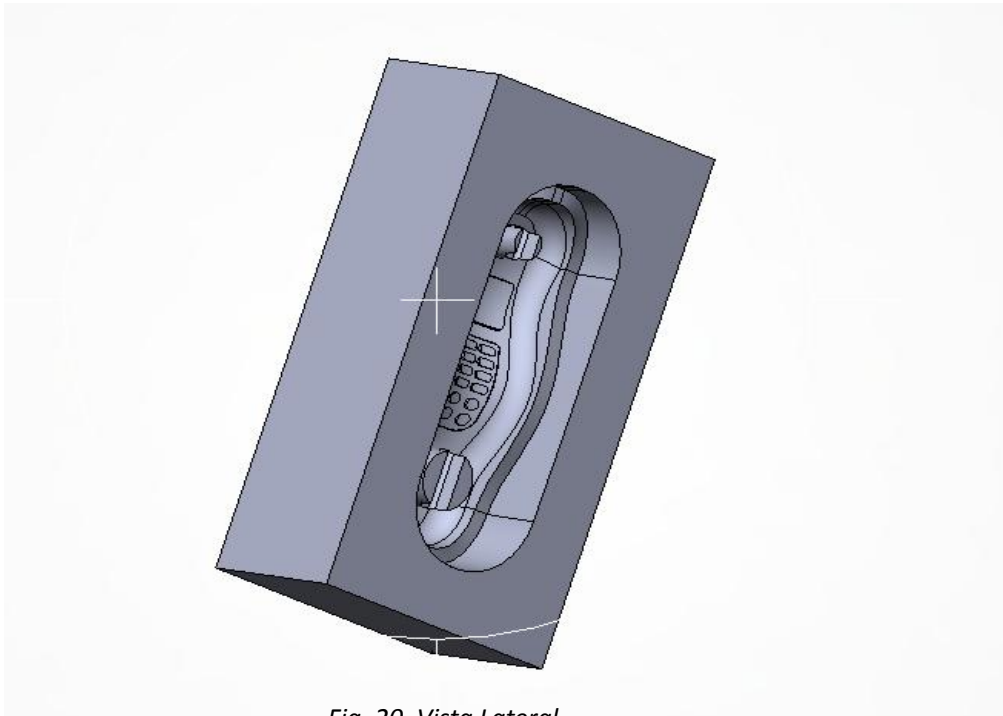
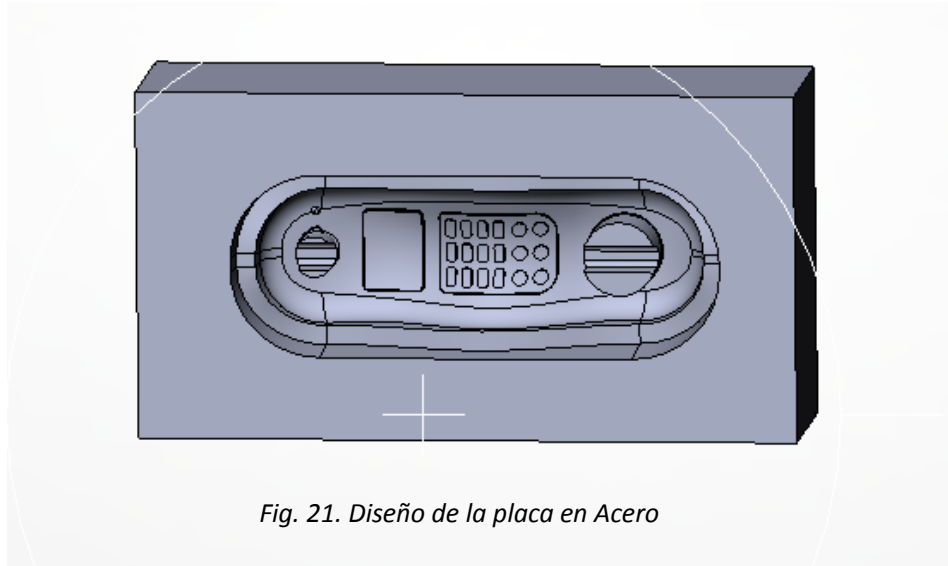


Fig. 20. Vista Lateral

9. *Determinación de la Contracción:* La contracción es un fenómeno presente en los polímeros al enfriarse, la cantidad es independiente de cada material, por ejemplo el PVC tiene un factor de contracción de 0.8%, por tanto todas las dimensiones de la cavidad se incrementan a este factor por el cual se obtienen medidas mayores a las de la pieza inyectada. Se toma muy en cuenta el diámetro del espigo requerido por norma, entonces se realiza el siguiente cálculo:  $\text{Ø nominal Espigo} = 50\text{mm}$  *Factor contracción (fc) PVC =*

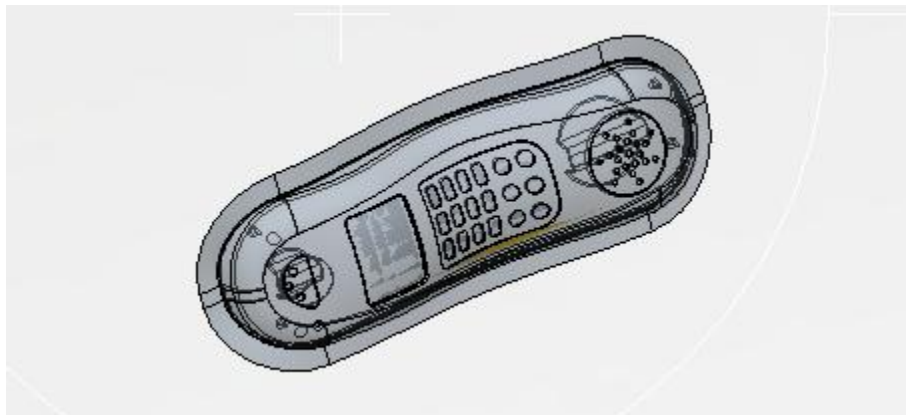


0.8% Medida a emplear = medida nominal x fc (3)  $\varnothing$  Interno cavidad =  $50 \times 1.008 = 50.4\text{mm}$  Por tanto la medida de la cavidad es de 50.4mm



*Fig. 21. Diseño de la placa en Acero*

Detalle de las dos placas



*Fig. 22. Detalle de las dos placas cerradas*



Fig. 23. Dimensionado de la pieza

Para la construcción y dimensionado de moldes de inyección y sus correspondientes piezas se utilizan cada vez con mayor frecuencia el método de elementos finitos (FEM). Con estos métodos se pueden reducir el tiempo de desarrollo y los costos, así como optimizar la funcionalidad de las piezas. Solo cuando se han determinado la pieza a inyectar y todas las exigencias que influyen en el diseño de un molde, se puede ejecutar la construcción definitiva de este. En este trabajo se utiliza el software de diseño como *Inventor*, *Autocad*, *SolidWorks* etc. con el cual se analizan los elementos del molde determinando su validez para las condiciones de trabajo del molde.



Fig. 24. Placas

El análisis se realiza para las siguientes condiciones: *Presión de inyección*: 500 bar, (7252 psi, 50 MPa) *Fuerza de cierre*: 100 ton, (100000 kgf=980 KN) Como resultado del análisis se muestra en la siguiente tabla los valores obtenidos del factor de diseño.

Elementos	Fija	Móvil
Placa Base	42	2
Placa Portamolde	23	9
Placa Porta Cavidades	52	28
Cavidad	22	11

Tabla 3. Parámetros de Análisis

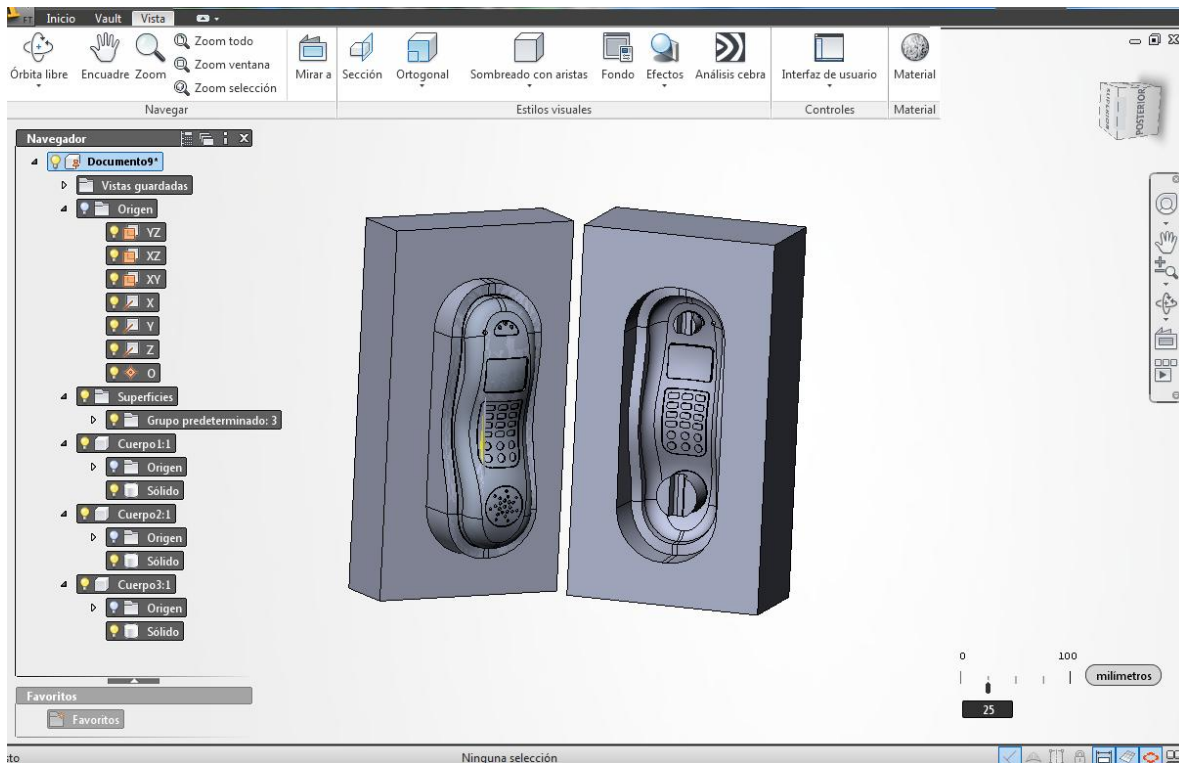


Fig. 25. Molde de dos etapas

Con los resultados del análisis de elementos finitos mediante el software *SolidWorks*, se concluye que el dimensionamiento de las partes es adecuado para las condiciones en las que se va a desempeñar el molde. Por tanto con los análisis finalizados se procede ahora con el análisis de la pieza a inyectar, adicionalmente y si así se desea se puede proceder con su construcción, ajuste y puesta a prueba en máquina para la inyección del elemento.

Con todos los ajustes el software utilizado puede pasar la pieza directamente al centro de maquinados para su construcción, con todos estos análisis simplemente seguiría montar las placas en un molde genérico y pasar a las primeras pruebas, por el momento se prosigue con el análisis de la pieza a inyectar.



*Fig. 26. Vista Final del Molde*

En resumen para el diseño de moldes es indispensable adaptarse al artículo que debe moldearse, al material y a la máquina elaboradora. Es importante tener datos adecuados acerca del material plástico con el que se va inyectar, ya que algunos de los parámetros importantes, como densidad, contracción, espesores de pared, temperaturas de moldeo y desmolde, ángulo de desmolde, dependen de las características que éste tenga. No existe mucha información bajo norma acerca del diseño de moldes, algunas de las referencias son empíricas o están basadas en métodos de prueba y fallo, lo cual hace necesario el uso de la tecnología mediante software de diseños adecuados para optimizar tiempo y dinero al momento de desarrollarlos e implantarlos. El diseño de moldes de inyección puede ser realizado tomando en cuenta criterios en base a la experiencia, la comprensión y aplicación del conocimiento teórico de una referencia adecuada. No obstante se debe decidir de entre la mayoría de parámetros para aplicar un método ingenieril basado en la formación profesional recibida en la UAQ.

Primero revisamos la pieza a simular en busca de defectos, como bordes excesivamente afilados o irregularidades en la superficie de la pieza, esto es debido a que todas estas imperfecciones generan errores para el análisis y hacen que la pieza no pueda ser simulada correctamente

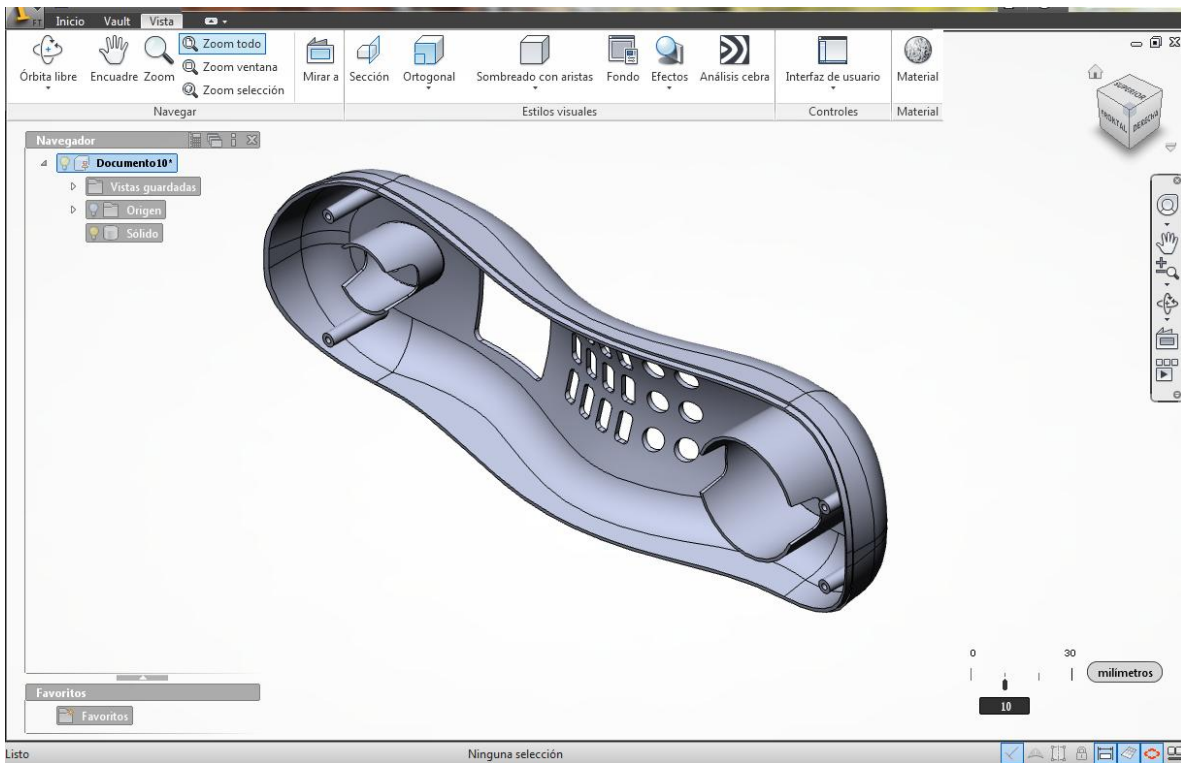


Fig. 27. Pieza a simular

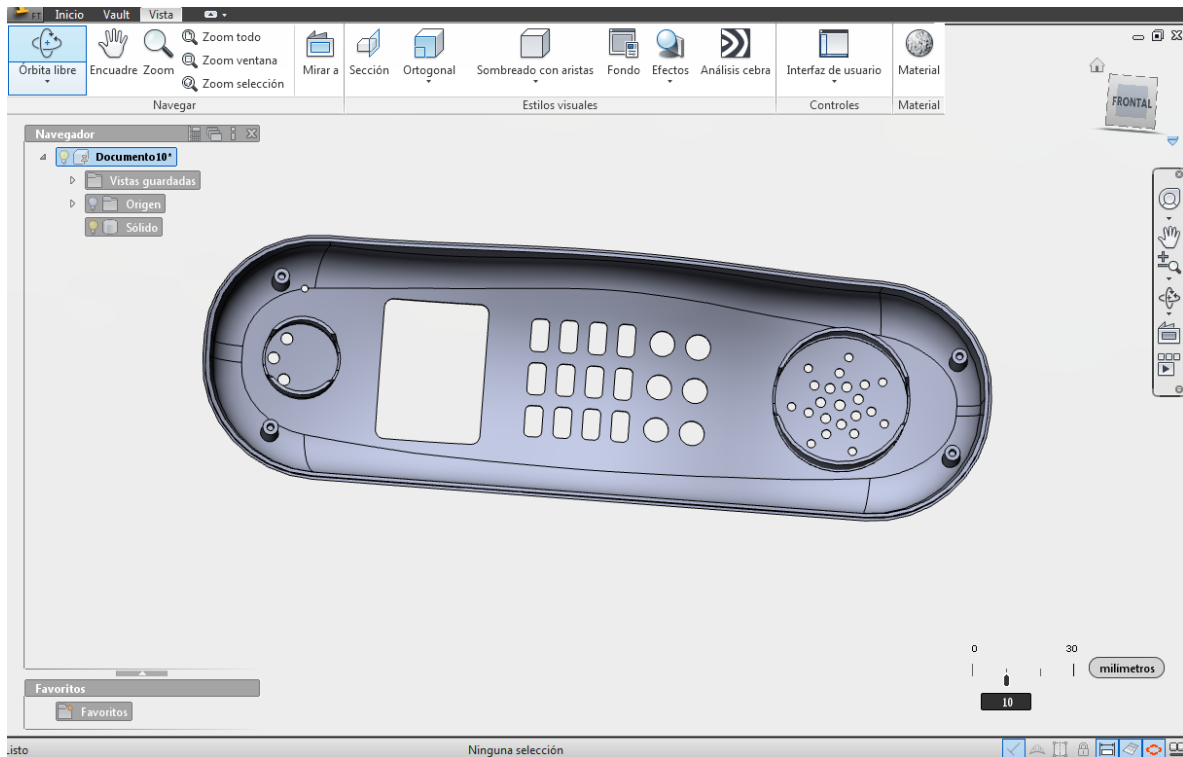


Fig. 28. Vista Preliminar

Defectos comunes que podemos buscar en las piezas a inyectar son por ejemplo en el caso de piezas moldeadas con secciones delgadas el material inyectado en la cavidad se enfría rápidamente cuando entra en contacto con las paredes frías del molde. Cuando la entrada a la cavidad solidifica la temperatura media del material es baja, pero la presión ejercida puede ser todavía grande. En consecuencia cuando se alcanza la temperatura de extracción, lo más probable es que la presión aún no se haya anulado, dando lugar al "agarrotamiento" de la pieza en el molde. Las posibles soluciones cuando se trata de moldes sencillos son disminuir la presión de inyección, o bien disminuir el tiempo que el émbolo pasa en posición avanzada. De ambas formas se podría conseguir eliminar la presión residual. En el caso de moldes de geometría compleja el problema podría resolverse reduciendo la entrada de las cavidades o mediante el empleo de válvulas especiales, etc.

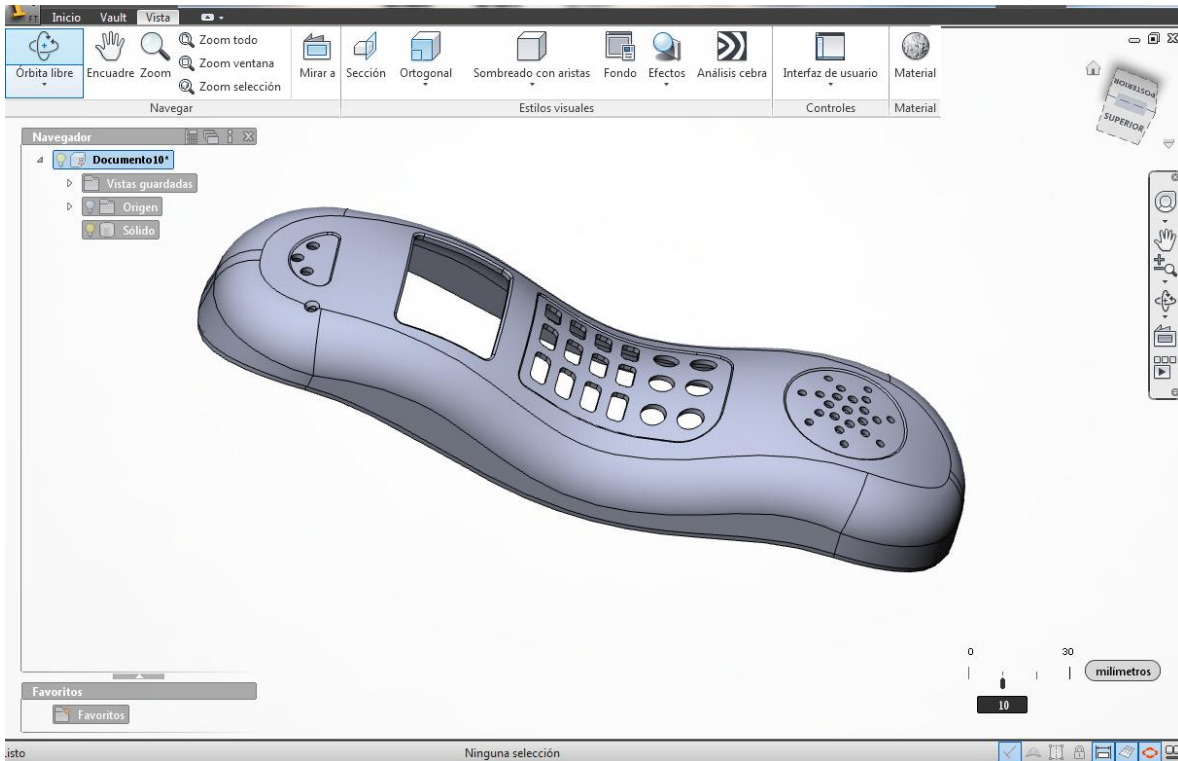


Fig. 29. Visualización del modelo

Un problema típico en moldes que tienen entradas pequeñas o mal situadas, ocurre cuando el primer material se inyecta a una velocidad excesivamente grande. En estos casos esta porción inicial de material se enfría muy deprisa, dificultando la entrada del resto del material, con el que no llega a soldar, siendo perceptible las líneas de flujo y de unión entre el material inicial y el resto.

Otro fenómeno muy corriente es la formación de líneas de soldadura. Cuando se llena un molde la entrada del material se produce siguiendo un frente de flujo que habitualmente encuentra una serie de obstáculos que frenan o favorecen su avance. Cuando dos frentes de flujo están excesivamente fríos puede ocurrir que no suelden bien, produciéndose las líneas de soldadura





Fig. 30. Visualización del modelo

La aparición de orientaciones o tensiones congeladas dentro del material también es frecuente. Las tensiones congeladas y formación de capas orientadas se producen como consecuencia del flujo de material una vez que la cavidad del molde se ha llenado y el pistón de inyección permanece en posición avanzada introduciendo más material. Parte del material se encontrará ya formando una capa rígida y fría, mientras que el material que acaba de incorporarse a la cavidad continúa caliente y en movimiento y entra en la cavidad prácticamente a la máxima presión de inyección. Las fuerzas de fricción entre estas capas son muy altas, especialmente en las zonas cercanas a las paredes, y dan lugar a esfuerzos o tensiones de cizalla que tienden a orientar al polímero en la dirección del flujo. Las fuerzas moleculares internas pueden llegar a albear las piezas si la temperatura de desmoldeo no es suficientemente baja para congelar estas tensiones. Si se aumenta la temperatura del molde pueden reducirse las tensiones internas, puesto que al disminuir la velocidad de enfriamiento las moléculas orientadas pueden relajarse. Un fenómeno frecuente asociado con las tensiones congeladas es el "glaseado o crazing". Con este término se denomina a la aparición de un cuarteamiento superficial, es decir, la formación de pequeñas y numerosas grietas en la superficie del plástico que no se desarrollan hacia el interior.

Para iniciar con el análisis primero asignamos el nombre del proyecto y la carpeta de destino

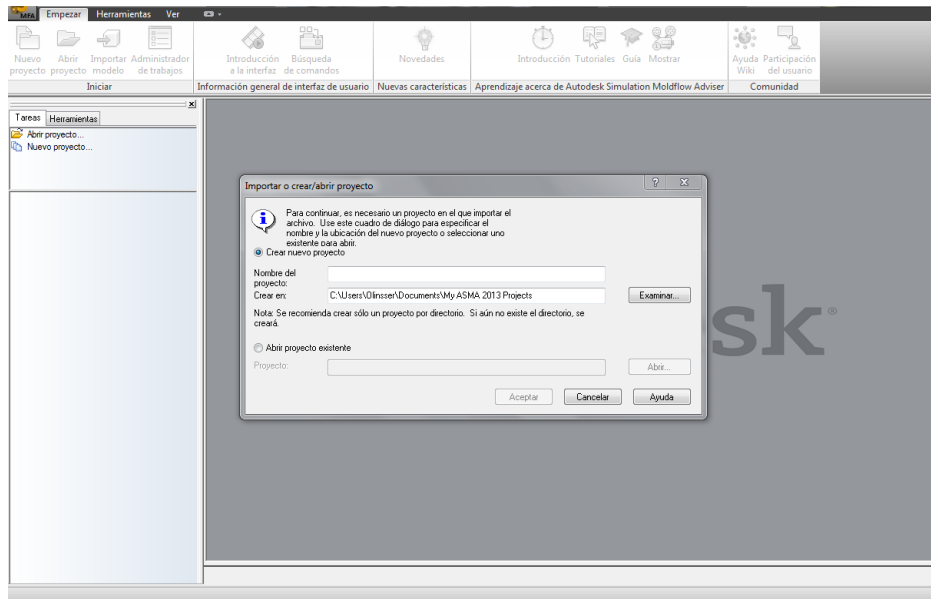


Fig. 31. Selección del Nombre

Importamos el modelo previamente guardado en formato IGS

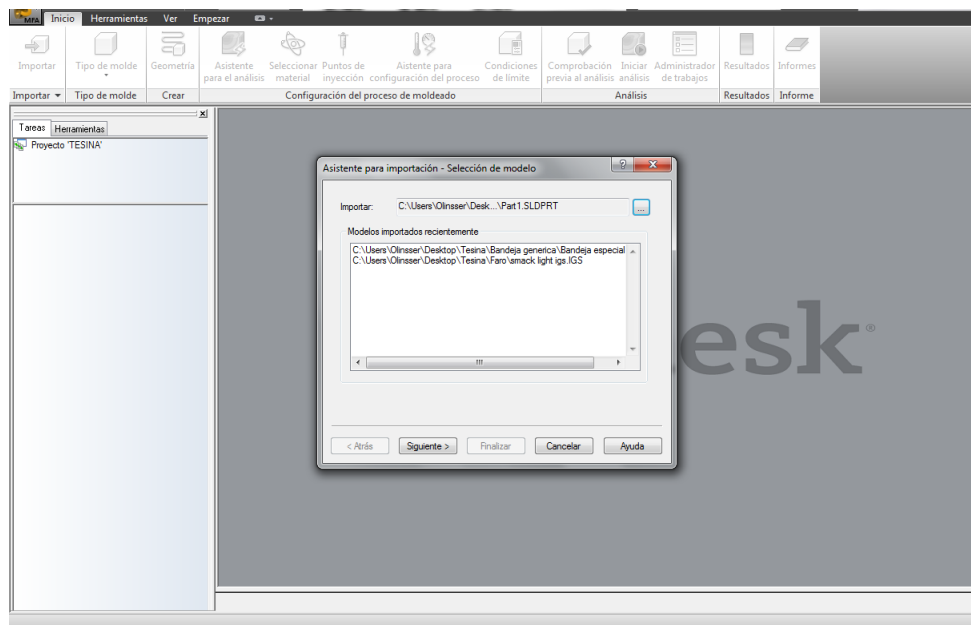


Fig. 32. Localización del Archivo IGS

Esperamos a que se cargue el modelo

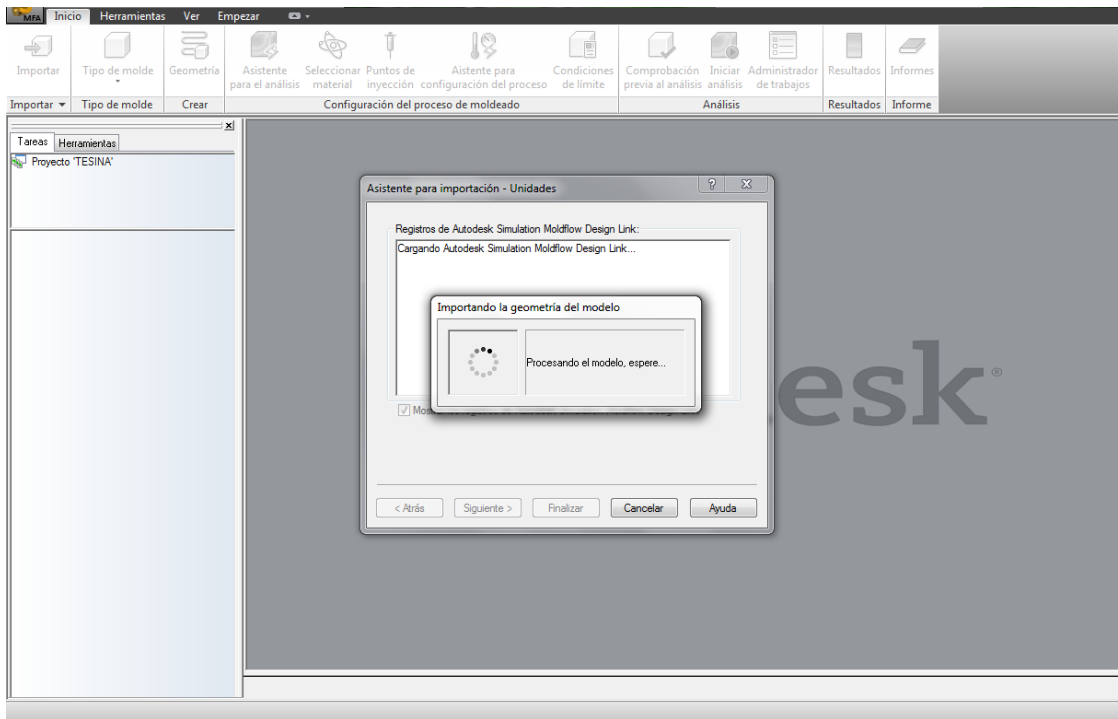


Fig. 33. Progreso del programa

Elegimos las unidades métricas

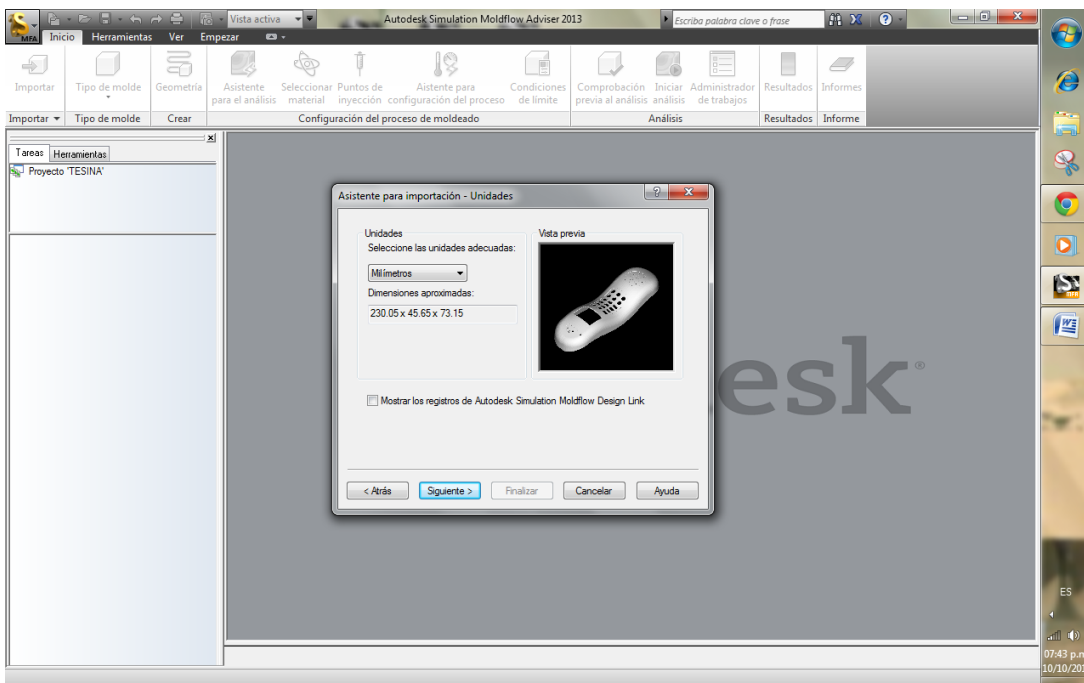


Fig. 34. Selección de las unidades Métricas

La siguiente herramienta nos permite realizar una limpieza del modelo para detectar automáticamente imperfecciones y de esta manera evitar que nuestro análisis se vea afectado con errores

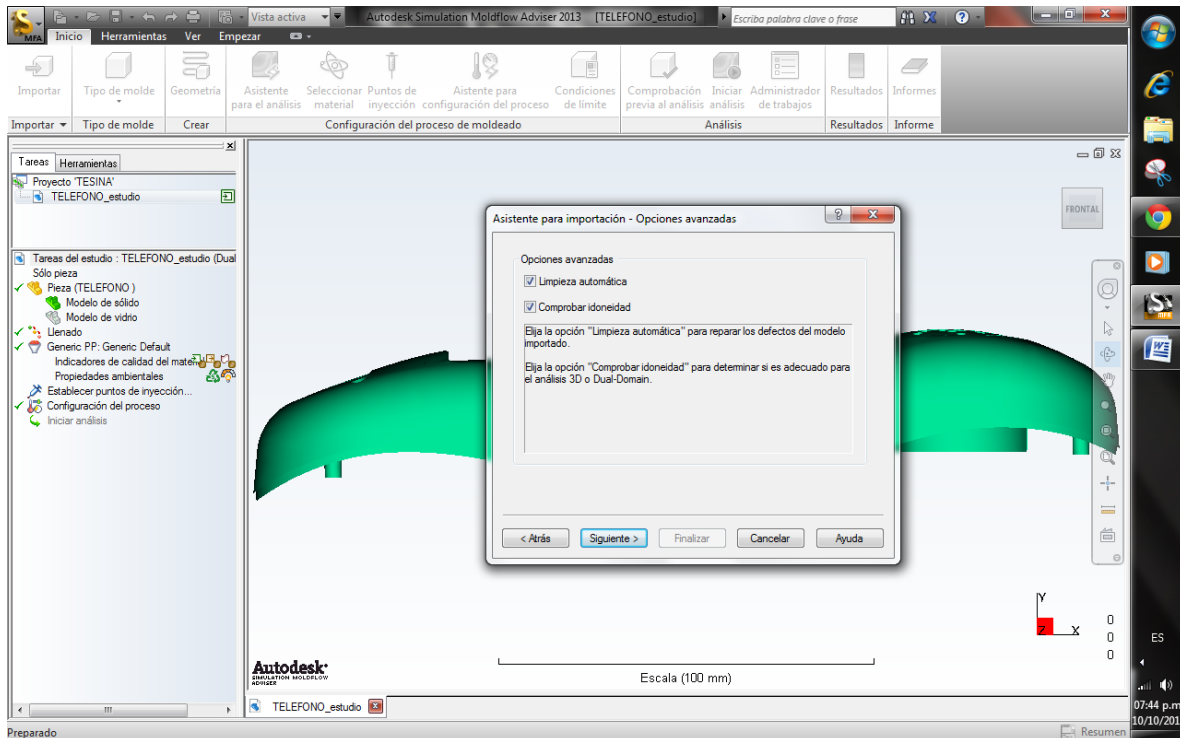


Fig. 35. Opciones para análisis avanzado

Esperamos a que el programa realice el análisis este proceso tardará dependiendo de la complejidad del modelo y las opciones de análisis y depuración seleccionadas.

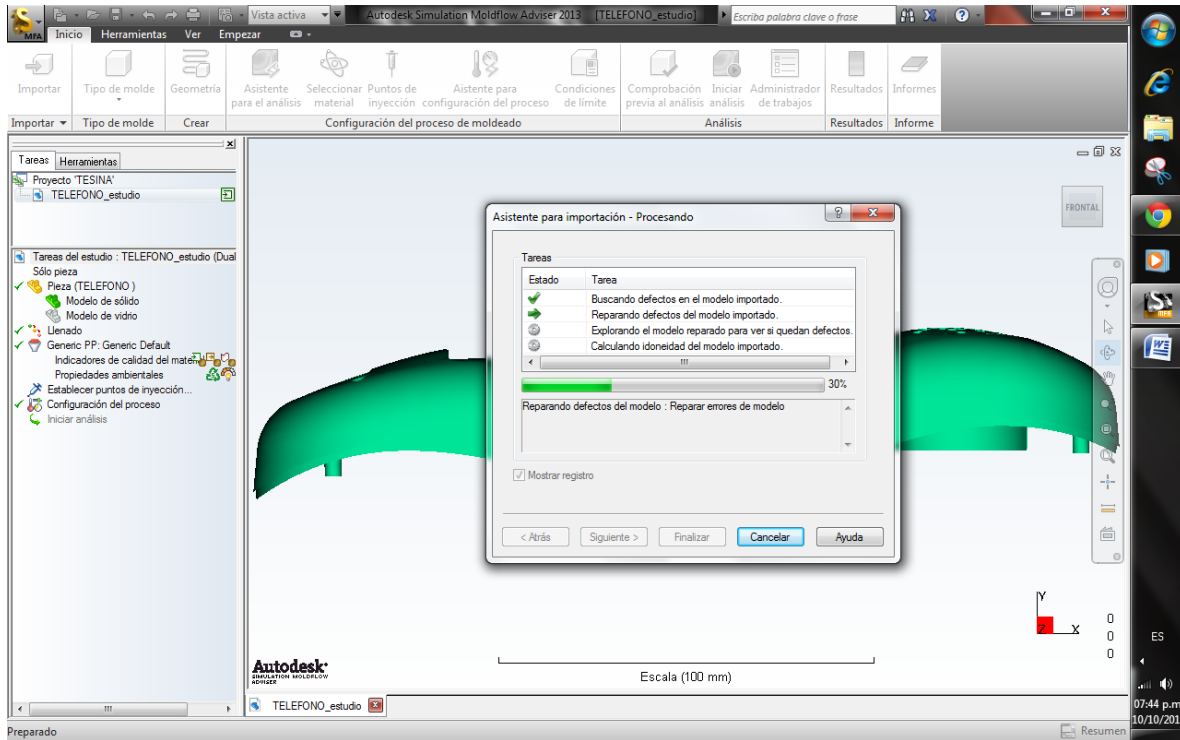
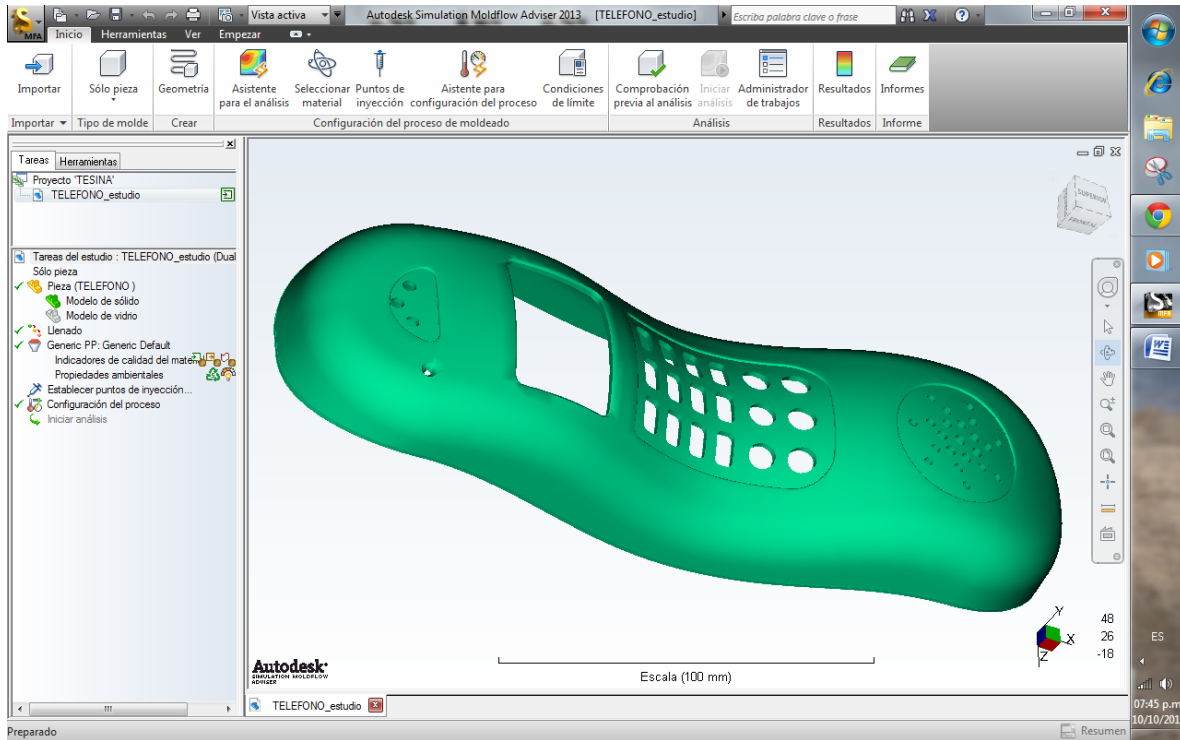


Fig. 36. Progreso del programa

Una vez concluido el análisis el programa nos muestra la barra de herramientas, la cual nos permitirá realizar diferentes pruebas a nuestro modelo



La barra de herramientas es la siguiente.

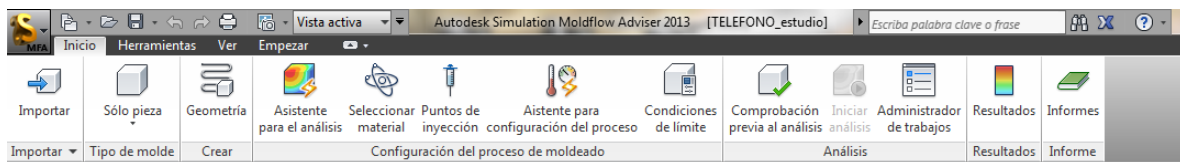


Fig. 37. Barra de Herramientas

Adicionalmente el programa nos muestra en el panel lateral, las diferentes tareas y opciones de análisis que se pueden realizar, además nos muestra el estado de nuestro análisis

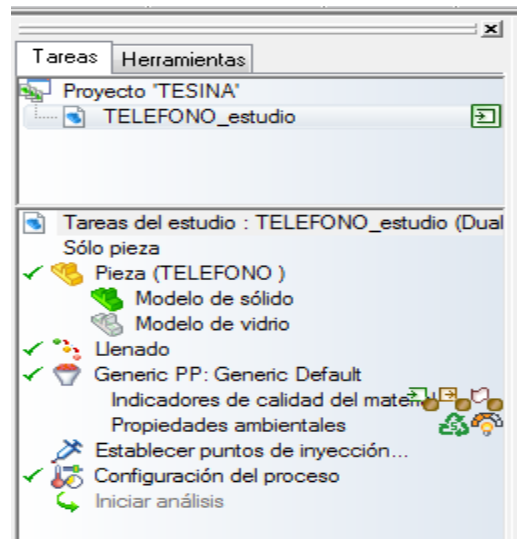


Fig. 38. Barra de Herramientas

Elegimos las opciones de análisis:

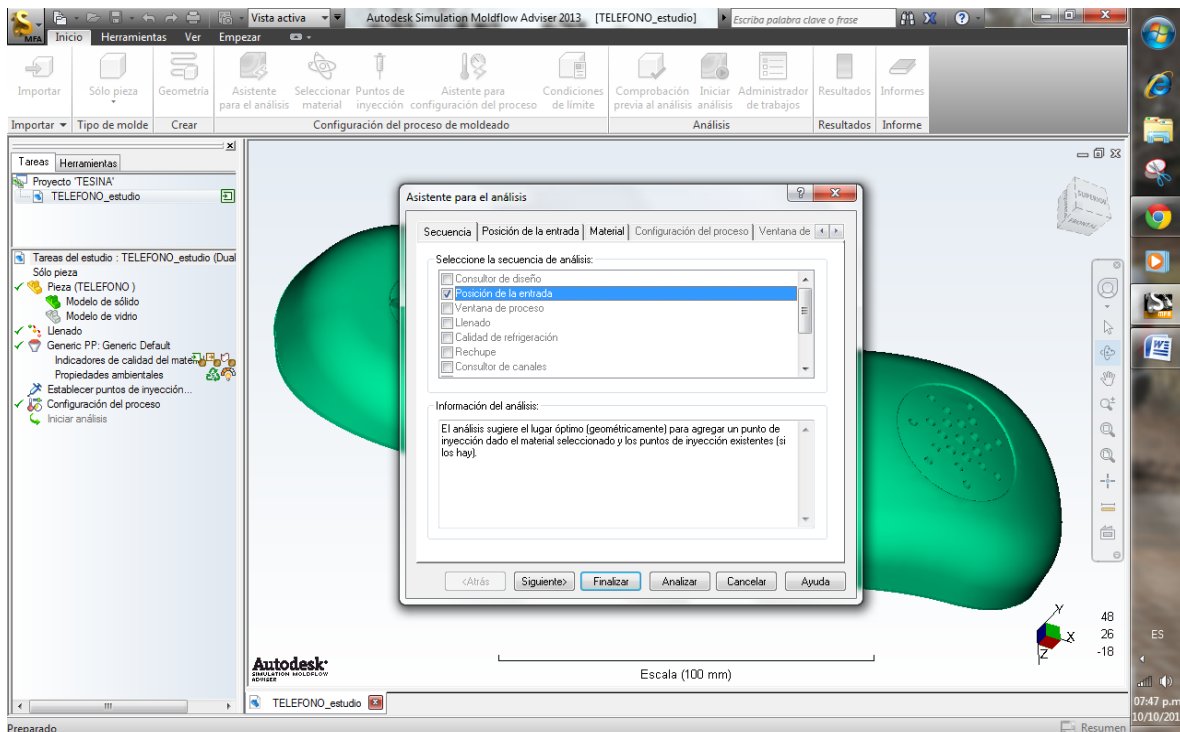


Fig. 39. Opciones del Análisis

Opcionalmente podemos elegir que el programa busque el punto de inyección automáticamente. Las Ubicaciones de puntos de inyección son coordenadas de la superficie de la pieza moldeable que indican dónde se encuentran los puntos de inyección físicos. Puede haber hasta diez ubicaciones de puntos de inyección en cualquier pieza. Para establecer las ubicaciones de puntos de inyección, podemos realizar lo siguiente:

Definir manualmente las ubicaciones de puntos de inyección. O iniciar un Análisis de ubicación de puntos de inyección que recomiende automáticamente la mejor ubicación para el número de puntos de inyección que desee como se muestra en la figura siguiente. El Análisis de ubicación de compuertas genera el resultado gráfico de la Resistencia de flujo y un resumen tabulado. Las ubicaciones de compuerta se asocian a la pieza activa seleccionada. Si se aplican las ubicaciones de puntos de inyección a una pieza antes de duplicarla para el diseño del molde, active Copiar en todas las cajas al crear el punto de inyección. A continuación, puede aplicarlas a cualquier patrón de pieza que cree posteriormente.

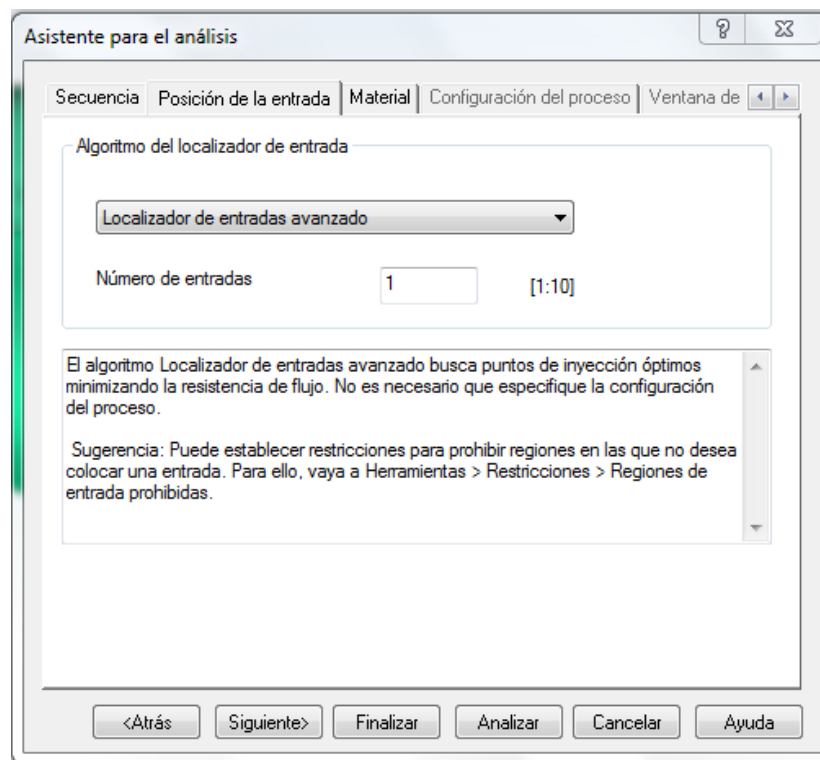


Fig. 40. Asistente para el Análisis



Elegimos el tipo de plástico que se va a utilizar para nuestra pieza, basándonos en el uso final del producto. La selección del material adecuado es crucial para la producción de la pieza. Los diseñadores deben tener en cuenta las características mecánicas, las propiedades del moldeo y los costes de la resina que se usa. Los requisitos para la aplicación específica conducirán a la necesidad de unas propiedades del material específicas, como resistencia a la tracción, resistencia al impacto o la ductilidad.

Los diseños para piezas moldeadas por inyección que logran tener éxito son aquellos que se desarrollan sobre la comprensión de los problemas relacionados con el proceso, como la habilidad de llenar el molde, la tendencia al destello, facilidad de la expulsión de la pieza, y el potencial para el alabeo, hundimiento o la creación del vacío. Geometría de la pieza se puede usar para ayudar a localizar algunos de estos problemas, pero como las propiedades de los materiales son un factor importante para cumplir con los requisitos de una aplicación determinada, se deben considerar también para garantizar la moldeabilidad de la pieza.

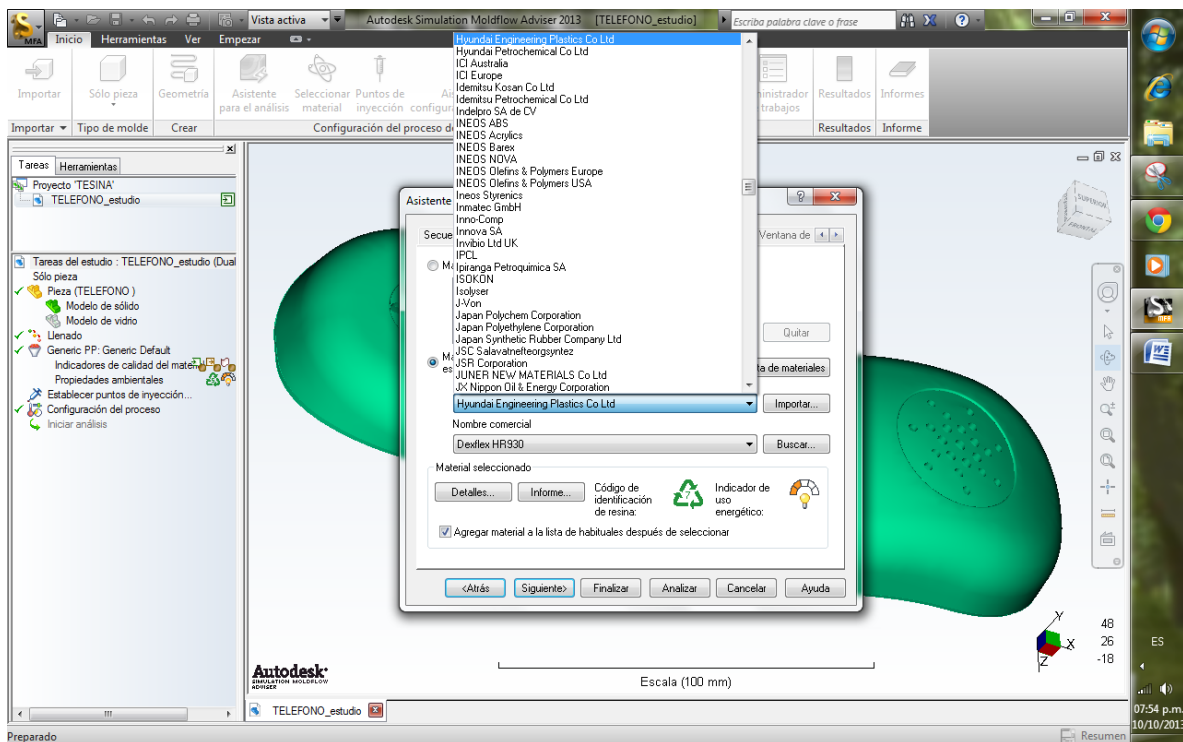


Fig. 41. Selección del Material

Esta es la pantalla de selección de material:

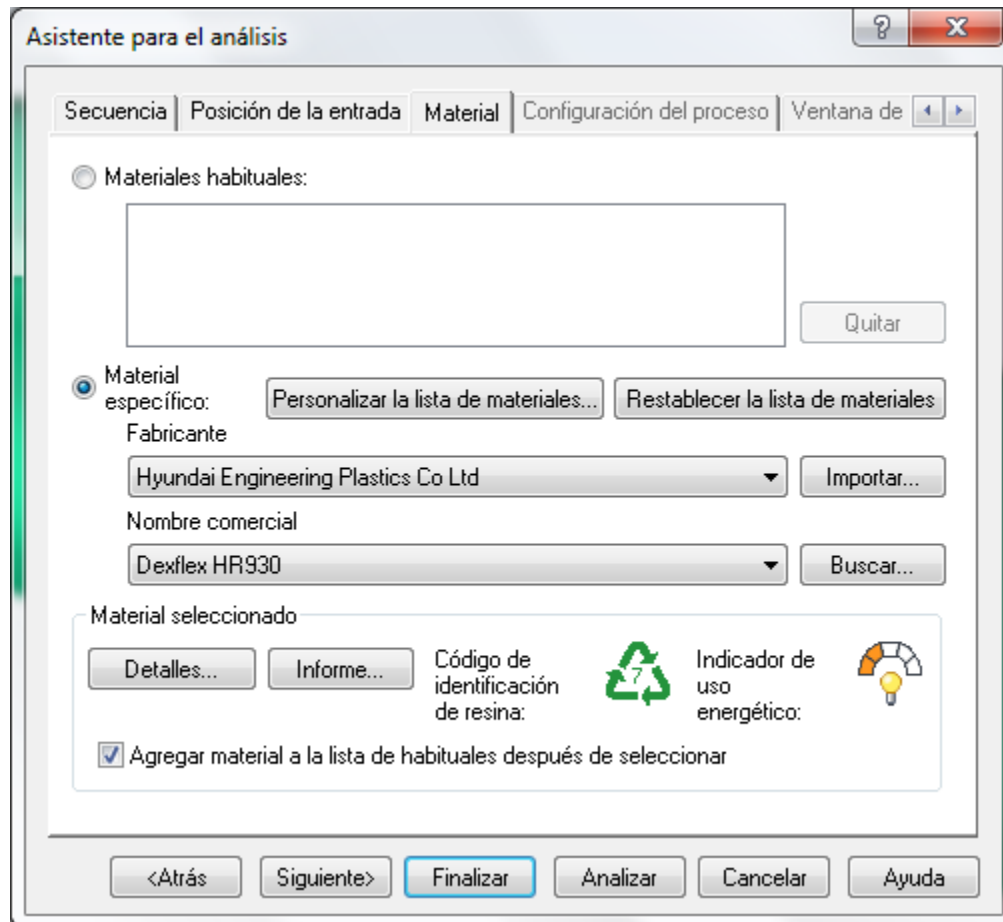


Fig. 42. Detalles del material Seleccionado

Los diferentes tipos de materiales de inyección se explican a continuación de manera breve ya que esto es un factor de suma importancia para el éxito de nuestra pieza por lo tanto se muestra la explicación y también los tipos de aditivos disponibles

## TIPOS DE PLÁSTICOS

Los plásticos se pueden agrupar o clasificar de maneras muy diferentes, si bien todas las posibles clasificaciones pueden resultar en algún momento ambiguas y por lo general un mismo plástico se encuentra en diferentes grupos. En este caso se muestra la clasificación propuesta por Crawford (Plastics Engineering, 3rd ed., R. J. Crawford, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999) que se basa en las propiedades más destacadas desde el punto de vista del diseño de piezas y de selección del material para una aplicación determinada.

De acuerdo con esta clasificación a continuación se describen brevemente los principales tipos de plásticos, sus propiedades y ejemplos de plásticos pertenecientes a cada tipo.

## TERMOPLÁSTICOS

Los termoplásticos son polímeros lineales, que pueden estar ramificados o no. Puesto que no se encuentran entrecruzados son polímeros solubles en algunos disolventes orgánicos, son capaces de fundir y son, por tanto, reciclables. Si los comparamos con los demás tipos de plásticos, los termoplásticos se fabrican y emplean en cantidades muy grandes y entre ellos los más frecuentes son PE, PP, PS y PVC. De hecho, más de la mitad de la cifra total de plásticos procesada corresponde a los cuatro plásticos citados.

Para que un polímero tenga aplicación como termoplástico debe tener una temperatura de transición vítrea  $T_g$  (si se trata de un material amorfo), o una temperatura de fusión  $T_m$  (si se trata de un material cristalino), superior a la temperatura ambiente. Por lo general, los materiales termoplásticos presentan un buen conjunto de propiedades mecánicas, son fáciles de procesar y bastante económicos. La principal desventaja deriva del hecho de que son materiales que funden, de modo que no tienen aplicaciones a elevadas temperaturas puesto que por encima de la  $T_g$  comienzan a reblandecer, con la consiguiente pérdida de propiedades mecánicas.

## PLÁSTICOS DE ALTAS PRESTACIONES (O PLÁSTICOS INGENIERILES)

Los plásticos de altas prestaciones son un grupo de termoplásticos que se caracterizan por poseer unas propiedades mecánicas excepcionalmente buenas. En principio la denominación de "materiales de altas prestaciones" se comenzó a utilizar para aquellos materiales que pudieran sustituir satisfactoriamente a metales tales como el aluminio en algunas aplicaciones.

Sin embargo como ya se ha comentado, las propiedades de los plásticos, a diferencia de las de los metales, se ven muy afectadas por la temperatura de trabajo y dado su marcado comportamiento visco elástico, sus propiedades mecánicas son fuertemente dependientes del tiempo de aplicación del esfuerzo. En este sentido todos los plásticos de altas

prestaciones están en desventaja comparados con los metales, sin embargo presentan grandes ventajas sobre éstos, como baja densidad, resistencia a muchos líquidos que corroen a los metales y se procesan más fácilmente y se pueden producir piezas con diseños más complejos que con metales. Los plásticos de altas prestaciones se obtienen por polimerización de monómeros que incorporan anillos de benceno en la cadena del polímero. Estos anillos aromáticos dan rigidez a la cadena y confieren temperaturas de fusión muy elevadas, de modo que el plástico podrá exponerse a temperaturas superiores a los 200 °C (y en ocasiones superiores a los 300 °C) durante periodos prolongados de tiempo manteniendo sus propiedades mecánicas. Ejemplos de estos materiales son los plásticos de la familia de las poliamidas (PI), poliariletercetonas (PAEK), poliésteres aromáticos (APE), polisulfonas (PSU), entre otros. Por lo general estos materiales resultan más caros y más difíciles de procesar que los demás termoplásticos.

## TERMOESTABLES

Como ya se comentó, los termoestables son materiales que adquieren un estado final reticulado (entrecruzado), que los hace insolubles e incapaces de fundir. A estos materiales se llega partiendo de materias primas de bajo peso molecular de las que se obtiene, en una primera fase, un producto intermedio (pre polímero), muy poco o nada reticulado, todavía capaz de fundir y fluir, y por tanto de rellenar un molde. La reticulación espacial que da lugar a la formación de la macromolécula termoestable tiene lugar por reacción química (curado) durante el moldeo de la pieza. Puesto que no funden y no reblandecen son materiales que presentan muy buenas propiedades a elevadas temperaturas. Junto con su alta resistencia térmica presentan alta resistencia química, rigidez, dureza superficial, buena estabilidad dimensional, entre otras ventajas sobre otros materiales. Sin embargo el empleo de estos materiales ha ido disminuyendo en los últimos años. Existen numerosas razones por las que esto ha ocurrido. Los termoestables requieren métodos de transformación lentos, puesto que la reacción de polimerización tiene lugar dentro del molde. Los acabados son pobres comparados con los de la mayoría de los termoplásticos; por lo general las resinas termoestables son bastantes opacas y en muchos casos presentan cierta coloración amarillenta. Los ejemplos más corrientes de estos materiales son los poliuretanos

reticulados (PUR), las resinas de fenol-formaldehído (fenoplastos) junto con las resinas de amina-formaldehído (aminoplastos).

## ELASTÓMEROS

Los elastómeros o cauchos son generalmente polibutadienos o compuestos que contienen dobles enlaces en la cadena principal, de modo que las cadenas de polímero se encuentran enrolladas sobre sí mismas, lo que les confiere gran flexibilidad. Estos materiales son capaces de soportar deformaciones muy grandes recuperando su forma inicial una vez que se elimina el esfuerzo. En los elastómeros suele producirse un entrecruzamiento parcial de las cadenas para evitar que cada vez que estos materiales se ven sometidos a un esfuerzo las moléculas se deslicen unas sobre otras, lo que provocaría deformaciones irreversibles. El entrecruzamiento o curado a que se somete a estos materiales es similar al de los termoestables, pero en este caso el grado de entrecruzamiento es mucho más bajo, puesto que debe ser suficientemente espaciado, de modo que no impida el desenrollamiento de las cadenas, que es en definitiva lo que confiere al material la capacidad de recuperar su forma inicial cuando cesa el esfuerzo al que es sometido. Los elastómeros son materiales muy tenaces, resistentes a aceites y grasas y al ozono, y presentan buena flexibilidad a bajas temperaturas. De hecho, todos los elastómeros tienen temperaturas de transición vítrea inferiores a la temperatura ambiente. Presentan, sin embargo, algunas de las desventajas de los termoestables: requieren un procesamiento lento, lo que consume grandes cantidades de tiempo y energía, y en principio no son reciclables.

En los últimos años se ha desarrollado un grupo de elastómeros conocidos como elastómeros termoplásticos (TR). Estos elastómeros pueden estar reticulados de forma química o física. En los reticulados químicamente la reticulación es reversible a altas temperaturas, convirtiéndose en termoplásticos amorfos o semicristalinos. Tienen, por tanto, el comportamiento de uso de los elastómeros y el comportamiento de fusión de los termoplásticos. Los elastómeros reticulados físicamente consisten por lo general en una mezcla de una matriz termoplástica, generalmente PP, mezclada con un caucho, por lo general EPDM (caucho de etileno-propileno monómero de dieno). La matriz termoplástica permite que el material funda y sea moldeado, mientras que las partículas de caucho

contribuyen dando tenacidad y elasticidad al material. En general la capacidad de deformación de los elastómeros termoplásticos es menor que la de los demás elastómeros (elastómeros permanentes).

## COMPOSITES

Los composites o plásticos compuestos, son materiales con muy buenas propiedades mecánicas; elevada dureza y resistencia a la tracción. Están formados por dos componentes inmiscibles que forman dos fases separadas, lo que les confieren propiedades muy interesantes. Constan de una matriz, que se trata generalmente de un polímero termoplástico, aunque ocasionalmente puede ser termoestables, y de una carga, que se suele tratar de una fibra con muy buena resistencia a la tracción, por lo general fibra de vidrio o de carbón. Las propiedades de los materiales compuestos no sólo dependerán de las características de cada componente, sino también de la naturaleza de la interface. En estos materiales la carga o refuerzo mejora las propiedades de la matriz polimérica, de modo que combinan las ventajas de los termoplásticos o termoestables, según se trate, con las del refuerzo. En contraposición estos materiales resultan caros y su procesado es más complejo que el de otros materiales.

## PLÁSTICOS ESPUMADOS

Son por lo general termoplásticos con una estructura celular, que contienen grandes proporciones de celdillas finas llenas de gas. Estas celdillas pueden ser cerradas o abiertas. Las propiedades físicas de los materiales resultantes serán intermedias entre las del sólido y las del gas. En los plásticos espumados se consiguen importantes reducciones de la densidad, conductividad térmica, propiedades dieléctricas y disipación de energía acústica y mecánica. En la mayoría de las propiedades de los plásticos espumados se cumple la ley de mezclas. La *densidad* del material celular disminuye proporcionalmente a la fracción volumétrica de la fase gaseosa. La *conductividad térmica* de los gases es muy inferior a la de los sólidos, de modo que la transferencia de calor por conducción disminuye linealmente al disminuir la densidad de la espuma. Igualmente la *conductividad eléctrica*, la constante

dieléctrica y las pérdidas dieléctricas disminuirán proporcionalmente a la disminución de la densidad. En cuanto a las *propiedades mecánicas* el efecto de los agentes espumantes se pone claramente de manifiesto en la rigidez y la absorción de impactos de las piezas. La rigidez de un producto celular es relativamente alta si se utiliza como base el peso de muestra (en lugar del espesor o la sección del material) y lo mismo ocurre con la energía de impacto. Por otra parte los materiales celulares pueden usarse tanto como *aislantes del sonido* generado directamente en el aire como del sonido resultante de vibraciones resonantes de las estructuras.

## CRISTALES LÍQUIDOS

Los cristales líquidos (LCP) son termoplásticos basados en poliésteres aromáticos que presentan estructuras altamente ordenadas al menos en una dirección espacial, incluso en estado líquido o fundido. Cuando estos materiales son sometidos a un esfuerzo las moléculas pueden deslizarse unas sobre otras, pero sin llegar a perder nunca la estructura ordenada. Esta estructura tan especial les confiere propiedades térmicas, mecánicas y ópticas excepcionales. Actualmente han despertado un gran interés pues presentan amplias aplicaciones tecnológicas, especialmente en los dispositivos de visualización gráfica.

## TIPOS DE ADITIVOS

La industria de los plásticos conoce desde siempre que la obtención de productos verdaderamente útiles sólo es posible si a la matriz polimérica se añaden ciertos aditivos. En general, se consideran aditivos aquellos materiales que van dispersos físicamente en una matriz polimérica, sin afectar a su estructura molecular. Por tanto, quedan excluidas sustancias tales como catalizadores, reticulantes, etcétera. La incorporación de aditivos a plásticos puede alterar considerablemente las propiedades del material. Por ejemplo, en el caso del caucho según los aditivos que se empleen se pueden obtener neumáticos, suelas de zapatillas, colchones, bandas elásticas, gomas de borrar, etc. En el caso del PVC se pueden obtener tubos rígidos, botellas, recubrimientos de cables, bandas transportadoras, ropa, balones, muñecas, etc., todos ellos materiales con propiedades y aspecto muy diverso. Los aditivos se clasifican según su función y no en relación con su constitución química Por su

especial importancia, en este tema trataremos los plastificantes, estabilizantes, lubricantes, modificadores de impacto, retardantes de llama, agentes espumantes, cargas y pigmentos y colorantes.

Todos los aditivos deben cumplir una serie de requisitos técnicos. En general se espera que sean altamente eficaces, de modo que se consigan los objetivos propuestos a una concentración que sea aceptable económicamente. Ciertas mejoras en una determinada propiedad pueden dar lugar al empeoramiento de otras; por tanto, lo que determina la elección final de uno o varios aditivos es el comportamiento considerado en su conjunto. En algunos casos, cuando las moléculas de aditivo deben interactuar con las de polímero es preciso que exista una compatibilidad alta, es decir, una alta miscibilidad a nivel molecular. Sin embargo en otros casos es deseable que el aditivo y el polímero formen dos fases bien diferenciadas. Un aditivo, además, no debe ser volátil en las condiciones del proceso de transformación. Esto significa que debe tener una tensión de vapor baja a altas temperaturas y no debe tender a agregarse, lo que daría lugar a un depósito del aditivo en forma de capa fina superficial. Un aditivo no debe exudar durante su vida en servicio, ya que daría lugar a problemas de estética y a la pérdida de eficacia por eliminación del aditivo. Los aditivos inorgánicos insolubles, tales como pigmentos, cargas, etc., no dan lugar, en general, a fenómenos de exudación, mientras que los plastificantes de bajo peso molecular, por ejemplo, tendrán más tendencia a migrar y exudar a la superficie durante el proceso de transformación y posteriormente por envejecimiento. Además, pueden ser vehículo para la migración de otros aditivos solubles. Por último, un aditivo no debe ser tóxico ni perjudicial para la salud del personal que lo manipule ni tampoco para los usuarios, especialmente cuando el material se utiliza para entrar en contacto con productos alimentarios, farmacéuticos o que se emplean en juguetería.

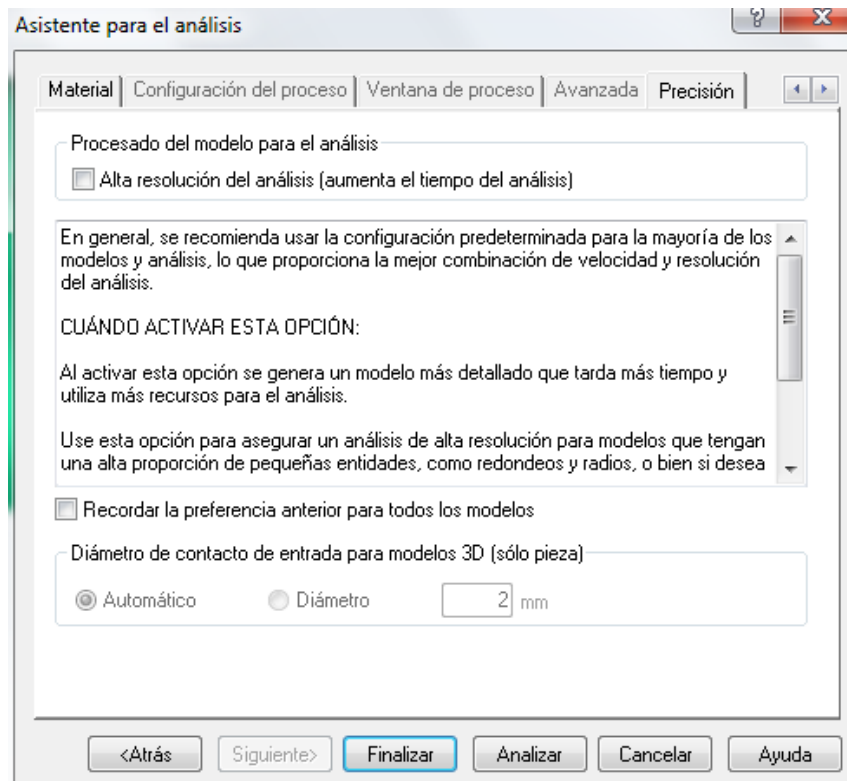


<b>Función del aditivo</b>	<b>Tipo de aditivo</b>
Aditivos que facilitan el procesado	Estabilizantes Lubricantes
Aditivos que modifican las propiedades mecánicas	Plastificantes Cargas reforzantes Modificadores de impacto
Aditivos que disminuyen costos de las formulaciones	Cargas Diluyentes y extendedores
Modificadores de propiedades superficiales	Agentes antiestáticos Aditivos antideslizamiento Aditivos antidesgaste Promotores de adhesión
Modificadores de propiedades ópticas	Pigmentos y colorantes Agentes de nucleación
Aditivos contra el envejecimiento	Estabilizantes contra luz UV Fungicidas
Otros	Agentes espumantes Retardantes de llama

*Tabla 4. Tipos de aditivos y su función*

## PROCESO DE SIMULACION

Con la información anterior ya podemos elegir el tipo de plástico adecuado según la función final que nuestra pieza valla a tener, solamente se selecciona de la lista la cual también nos muestra una lista de proveedores certificados. Si se requiere de un análisis más detallado se puede activar la casilla de alta resolución con la cual se analiza de manera más detallada cada sección de nuestro modelo.



*Fig. 43. Opciones de Resolución*

Realizamos una revisión previa al análisis para asegurar que todos los parámetros sean compatibles

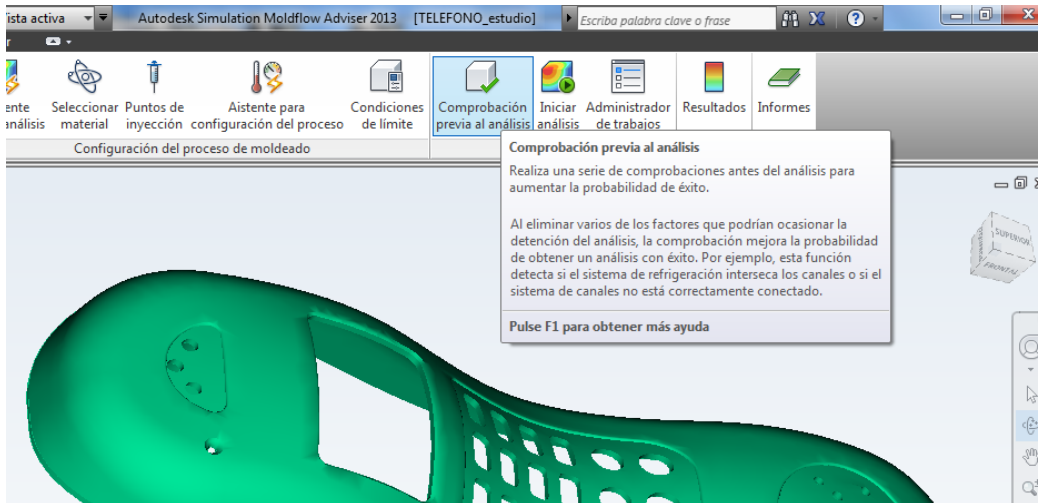
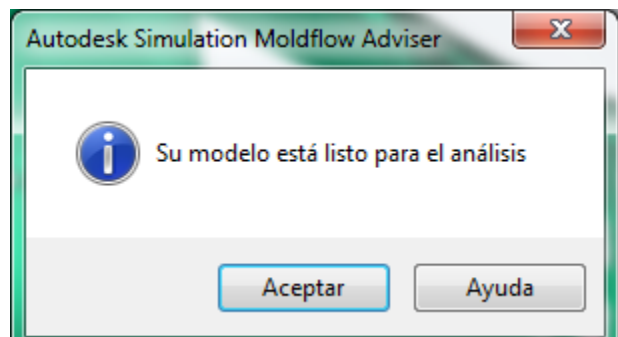


Fig. 44. Revisión Previa

Una vez que finalizo el asistente para el análisis podemos iniciar el proceso



Durante el análisis el programa nos mostrara el avance de cada una de las etapas

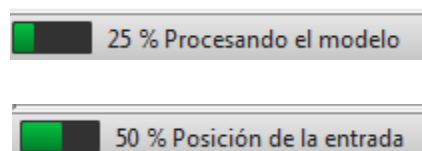
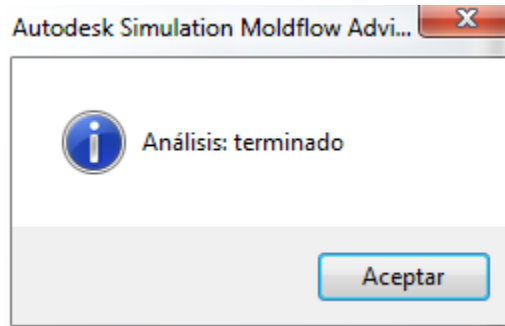
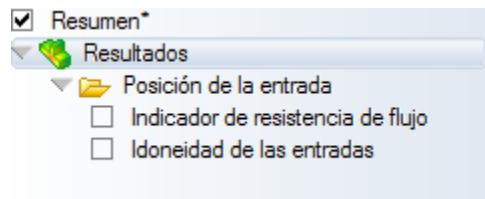


Fig. 45. Progreso del programa

Una vez concluido el análisis el programa nos notificará para así poder consultar los resultados



El programa nos mostrara un resumen en el panel lateral el cual nos servirá para guiarnos en las diferentes áreas de interés




A continuacion se muestra la informacion correspondiente a los archivos analizados

General	
Número de versión	2013
Nombre del estudio	telefono_estudio.sdy
Ubicación del estudio	C:\Users\Olinsser\Documents\My ASMA 2013 Projects\TESINA\telefono_estudio.sdy
Nombre de la pieza	TELEFONO
Idoneidad del modelo	No se ha realizado ninguna comprobación de idoneidad del modelo para este modelo cuando se ha importado.
Resolución del análisis	Predeterminado

Fig. 46. Tabla de Datos

También se muestra la información del material seleccionado, en este caso se eligió un material de ingeniería, dado que este producto puede usarse hasta 50 veces al día dependiendo su uso

Material	
Fabricante del material	Hyundai Engineering Plastics Co Ltd
Nombre comercial del material	Dexflex HR930
Impacto medioambiental	

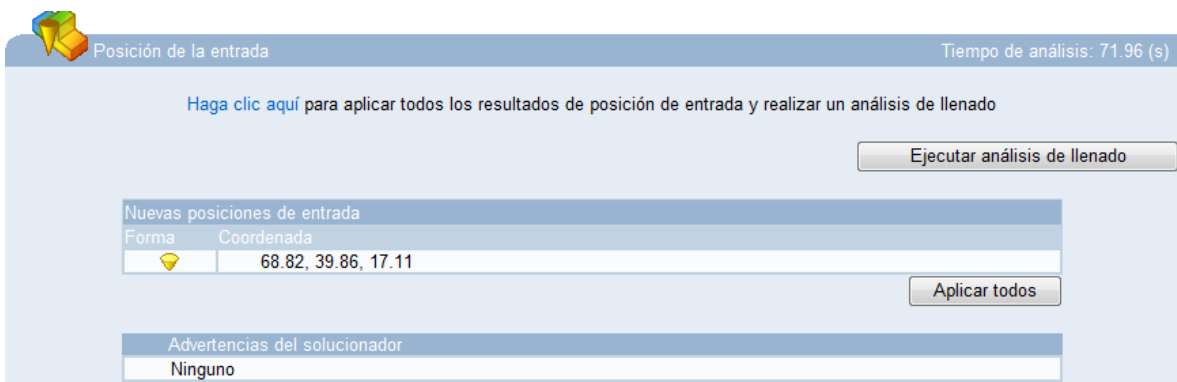
A continuación se muestran las variables de temperatura detectadas y la presión máxima de inyección más adecuada

Temperatura de masa fundida	210.0 (C)
Temperatura del molde	40.0 (C)
Puntos de inyección	0
Presión máxima de inyección de la máquina	180.000 (MPa)

Las advertencias se muestran en otro cuadro de dialogo, en este caso no hay ninguna


Advertencias del modelo
Ninguno

Ahora iniciamos el análisis de llenado para verificar que la pieza se inyecte correctamente y sin problemas



Posición de la entrada Tiempo de análisis: 71.96 (s)

Haga clic aquí para aplicar todos los resultados de posición de entrada y realizar un análisis de llenado

Nuevas posiciones de entrada	
Forma	Coordenada
	68.82, 39.86, 17.11

Advertencias del solucionador
Ninguno

Fig. 47. Iniciar Análisis de llenado

La ventana de resultados nos indica el tiempo de llenado, la presión de inyección la presión de cierre del molde, la máxima presión que se puede alcanzar durante el llenado, el porcentaje de presión y velocidad de llenado, el tiempo que tardaría el proceso, el peso total de la pieza y el volumen de material inyectado, además nos indica que la pieza se puede inyectar sin problemas

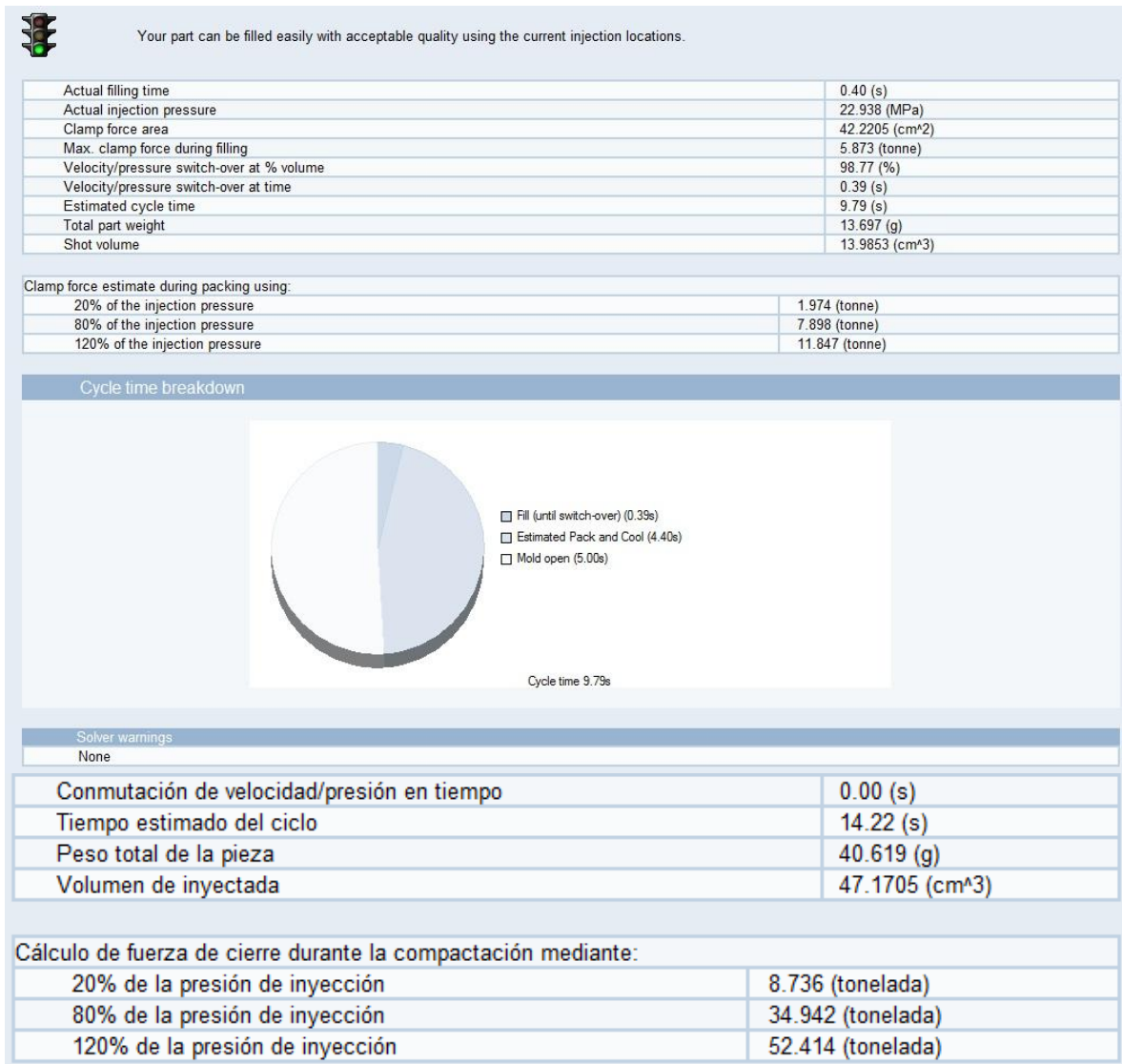


Fig. 48. Resultados

## ANALISIS DE RESULTADOS

### FLUJO DEL PLÁSTICO (PLASTIC FLOW)

Sólo se puede apreciar dando al botón play de la barra de reproducción. Podemos ver como se llena la pieza, es lo que veríamos en un proceso de llenado de molde real si éste fuera transparente

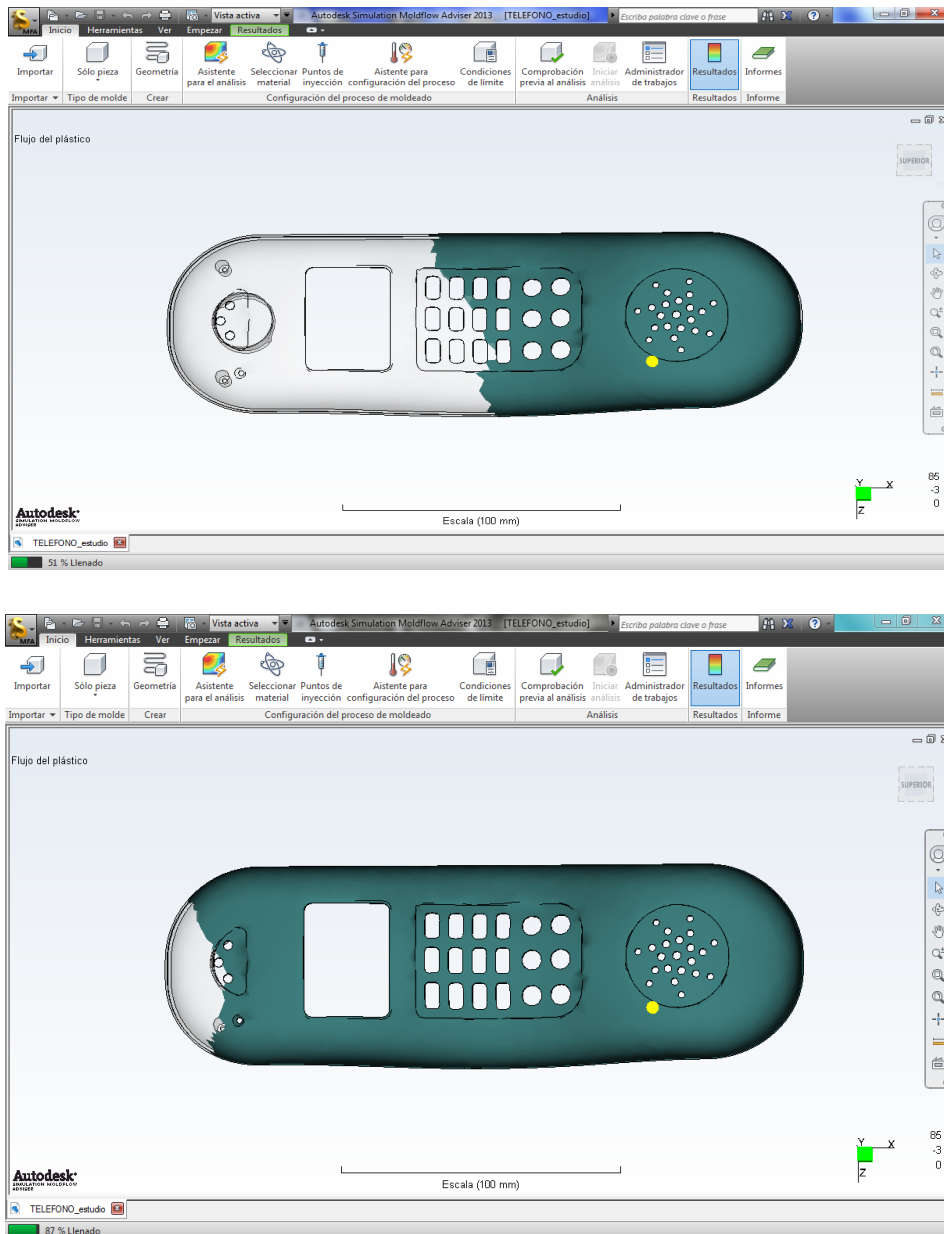


Fig. 49. Análisis de llenado

## TIEMPO DE LLENADO (FILL TIME)

Nos muestra cuanto tiempo tarda la pieza en llenarse y la posición del frente de flujo del material en cada momento. La cifra que se sitúa en la parte inferior de la escala de la derecha nos indica el tiempo de llenado de la pieza. Si hemos seleccionado la opción auto injection time, éste es el tiempo óptimo de llenado seleccionado por el programa, si hemos marcado un tiempo de llenado predeterminado, éste figurará en dicha posición. En nuestro caso, la pieza tardará 2.276 segundos en llenarse y, como se puede apreciar, las zonas azules más oscuras que coinciden con las últimas zonas en llenarse, aparecen en la parte inferior de la pieza y en la punta del cono central. Esto nos indica un llenado bastante equilibrado, por lo que podríamos considerar nuestro punto de inyección como bueno, al menos en lo que a llenado se refiere.

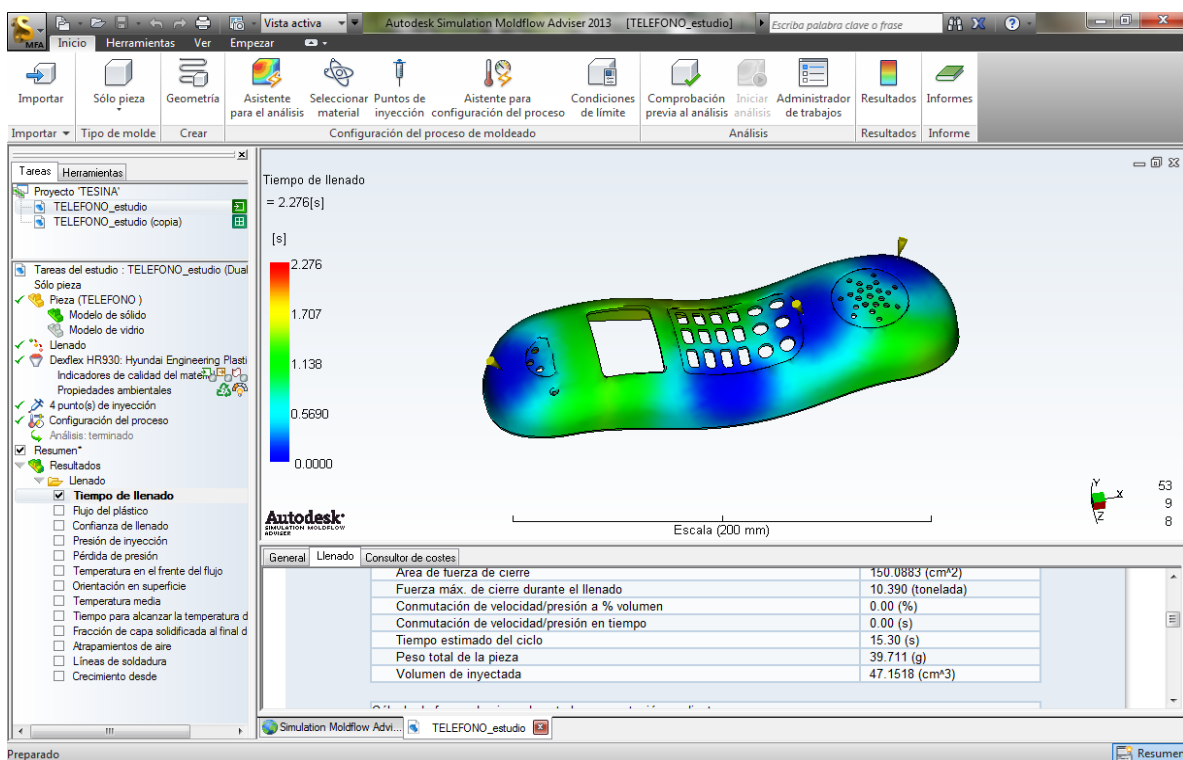
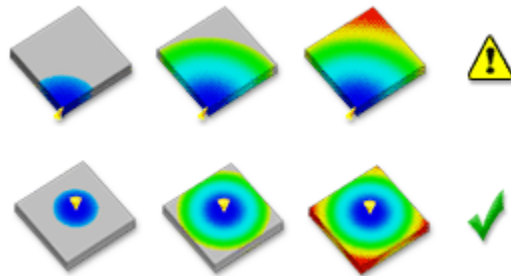


Fig. 50. Tiempo de llenado

Podemos apreciar cómo se muestra la posición del frente de flujo a intervalos regulares mientras la cavidad se llena. Este resultado de Flujo del plástico es una representación distinta del resultado Tiempo de llenado. La información siguiente se aplica a ambos



resultados. En los siguientes diagramas se muestran los contornos de color que representan el flujo del plástico hacia la pieza. Todas las regiones con el mismo color se llenan al mismo tiempo. Al principio de la inyección el resultado es de color azul oscuro y las últimas áreas en llenarse son de color rojo. Si la pieza es una inyectada corta, la sección que no se llenó no tiene color



*Fig. 51. Patrones de llenado*

El patrón de flujo está equilibrado en una pieza con un buen resultado de tiempo de llenado, lo que significa lo siguiente:

- Todas las rutas de flujo terminan simultáneamente y alcanzan los bordes del modelo al mismo tiempo. En el diagrama anterior, cada ruta de flujo debe acabar con contornos de color rojo.
- El espaciado entre contornos es uniforme e indica la velocidad a la que fluye el polímero. Los contornos anchos indican un flujo rápido; los contornos estrechos indican que la pieza se llena lentamente.

## CONFIANZA DE LLENADO

El resultado Confianza de llenado muestra la probabilidad de llenar con plástico una región dentro de la cavidad en condiciones de moldeo por inyección convencional.

Este resultado se deriva de los resultados de presión y temperatura.

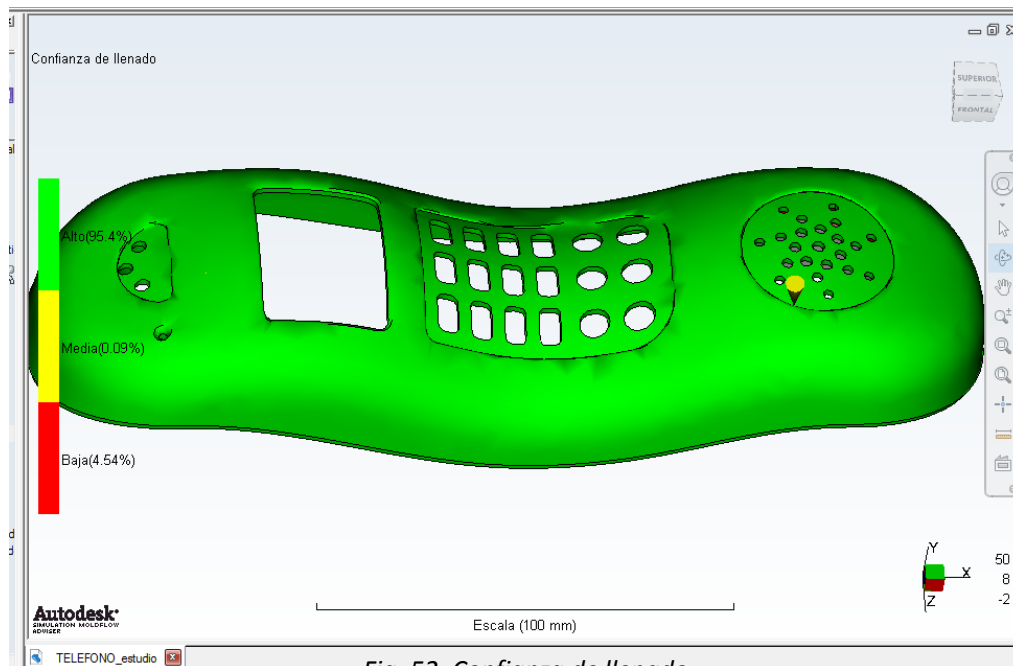


Fig. 52. Confianza de llenado

Los colores mostrados en el resultado Confianza de llenado indican lo siguiente:

1. Se llenará.
2. Puede ser difícil de llenar o tener problemas de calidad.
3. Será difícil de llenar o tendrá problemas de calidad.
4. No se llenará y dará como resultado una inyectada corta.



Figura 53. Código de colores de la confianza de llenado

Ejemplo de una zona de llenado con dificultades:

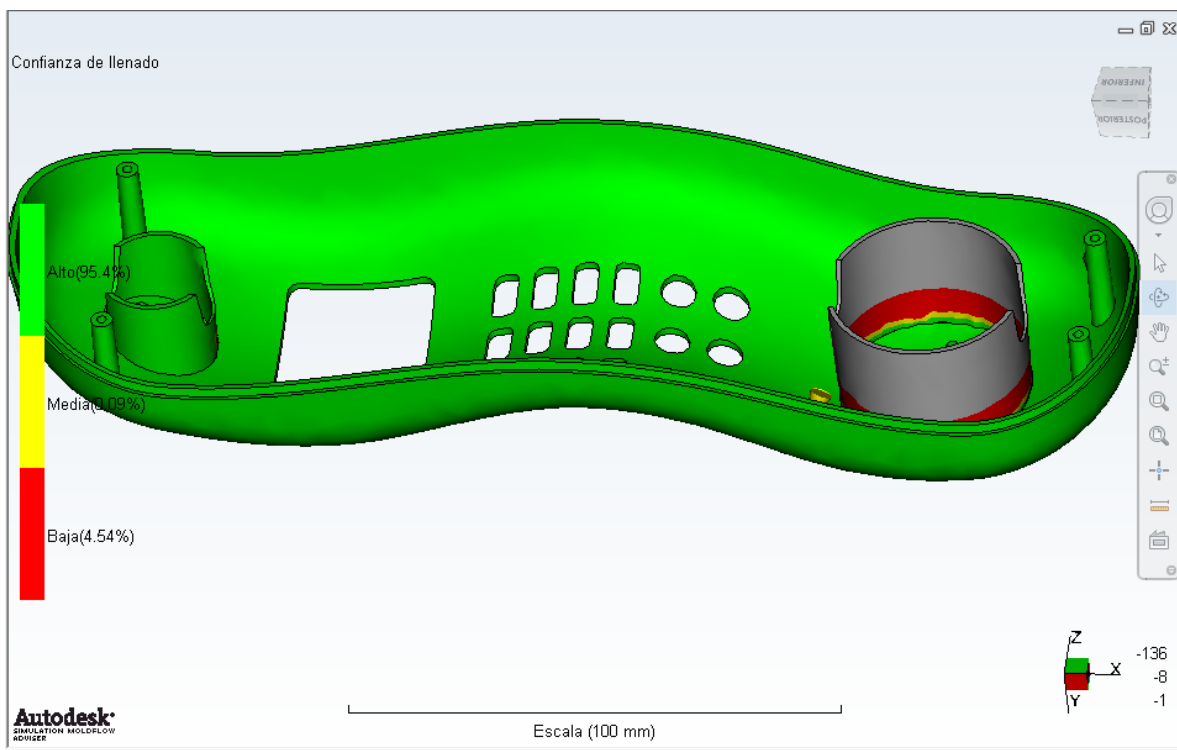


Fig. 54. Confianza de llenado

Si el resultado Confianza de llenado muestra que la confianza de llenado para la pieza es media o baja, use el diálogo Consultor de resultados para abrir el tema de Ayuda correspondiente y buscar una manera de solucionar el problema. Si la cavidad no se llena y provoca una inyectada corta, hay que hacer cambios en el diseño, el punto de inyección, la elección de plástico o las condiciones de procesamiento. Para asegurarse de que la pieza acabada es de buena calidad, también hay que compactar correctamente la cavidad con plástico. Por tanto, no sólo debe determinar si se llenará la pieza, sino también si se puede

fabricar una pieza de buena calidad. A veces el resultado Confianza de llenado no predice una inyectada corta, pero indica que no se puede moldear una pieza de buena calidad. Esto se debe a que las condiciones al final de la fase de llenado no son adecuadas para que la pieza se compacte correctamente durante la fase de compactación. Para determinar si se puede moldear una pieza de buena calidad, analice los colores que se ven y la cantidad de cada color que aparece. También debe mirar el resultado Predicción de la calidad. El Consultor utiliza estos dos elementos de información para calcular los riesgos derivados de la producción de esta pieza en la siguiente escala gradual.

<b>Completamente verde</b>	La pieza se puede llenar fácilmente y la calidad de la pieza será aceptable.
<b>Parcialmente amarilla</b>	La pieza puede ser difícil de moldear o la calidad podría no ser aceptable. A medida que aumenta el porcentaje de amarillo, aumenta la dificultad de moldear la pieza y disminuye la calidad de la pieza.
<b>Parcialmente amarilla y roja</b>	Será muy difícil llenar la pieza o es muy probable que la calidad no sea aceptable. A medida que los porcentajes de amarillo y rojo aumentan, aumenta la dificultad de moldear la pieza y disminuye la calidad de la pieza.
<b>Áreas traslúcidas</b>	No se puede moldear la pieza porque se producirá una inyectada corta.

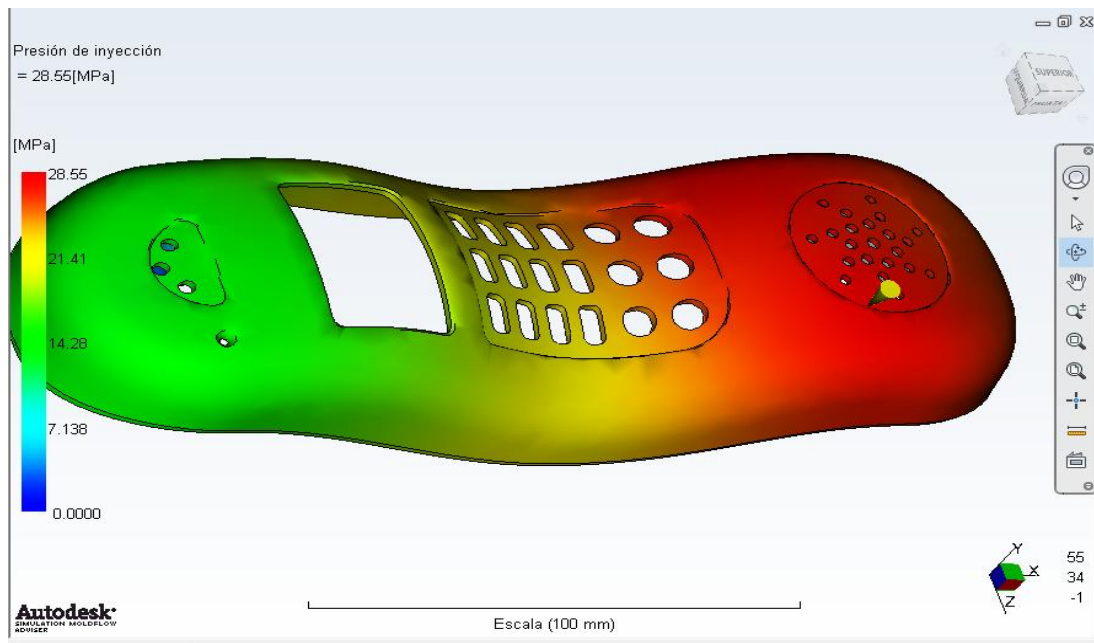
*Tabla 5. Problemas Comunes*

## PRESIÓN DE INYECCIÓN (INJECTION PRESSURE)

Nos está señalando el salto de presión que hay desde el punto de inyección

Hasta la última zona de llenado de la pieza. En este apartado debemos

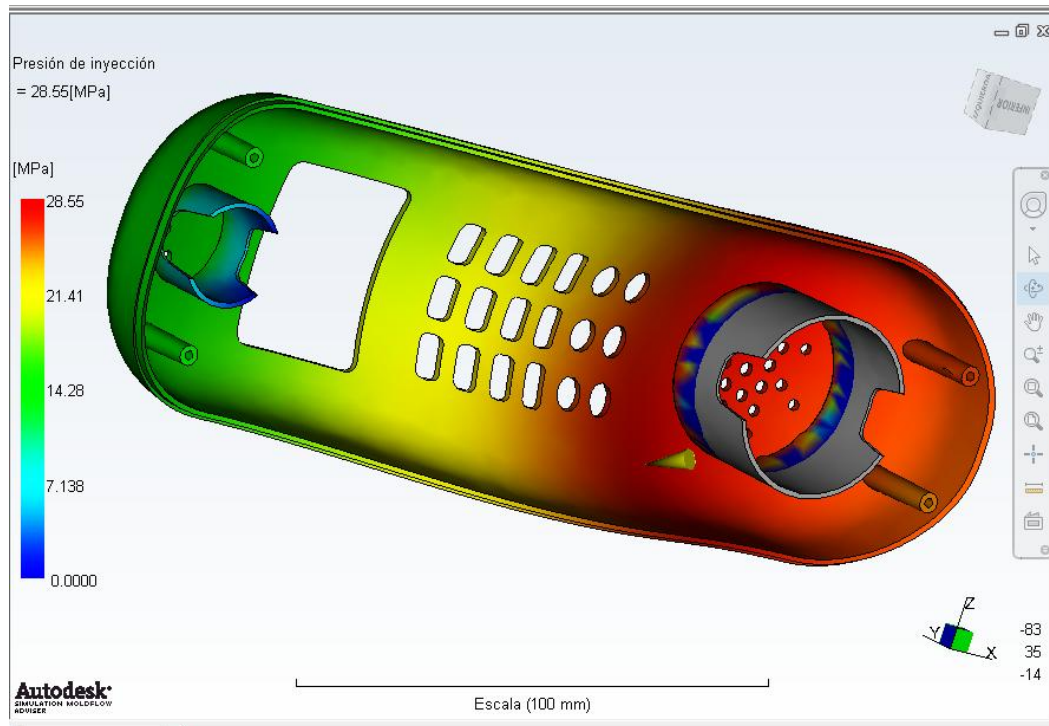
Observar, sobre todo, que la presión máxima (situada en la zona superior de la escala) no sea igual o esté muy cerca del límite de presión máxima de inyección que hemos marcado en los parámetros de inyección al inicio del estudio.



*Fig. 55. Presión de Inyección*

El resultado Presión de inyección, que se obtiene mediante un análisis de llenado, muestra el valor de la máxima presión de inyección obtenida antes de que se produzca la conmutación de velocidad/presión durante la fase de llenado.

Al principio del llenado, la presión es cero (o 1 atmósfera en la escala de presión absoluta), en todo el molde. La presión en una ubicación específica sólo empieza a aumentar cuando el frente de la masa fundida llega a esa ubicación. La presión sigue aumentando a medida que pasa el frente de la masa fundida, a causa de la longitud de flujo creciente entre esta ubicación específica y el frente de la masa fundida.



*Fig. 56. Vista de Presión*

La diferencia de presión entre una ubicación y otra es la fuerza que impulsa el flujo de la masa fundida de polímero durante el llenado. El gradiente de presión es la diferencia de presión dividida por la distancia entre dos ubicaciones.

Como sucede con el flujo de agua desde lugares más altos hacia lugares más bajos, el polímero siempre se mueve en el sentido del gradiente de presión negativo, desde la presión más alta hacia la más baja; por tanto, la máxima presión se produce en los puntos de inyección del polímero y la presión mínima se produce en el frente de masa fundida durante la fase de llenado, tal como se muestra en el siguiente diagrama.

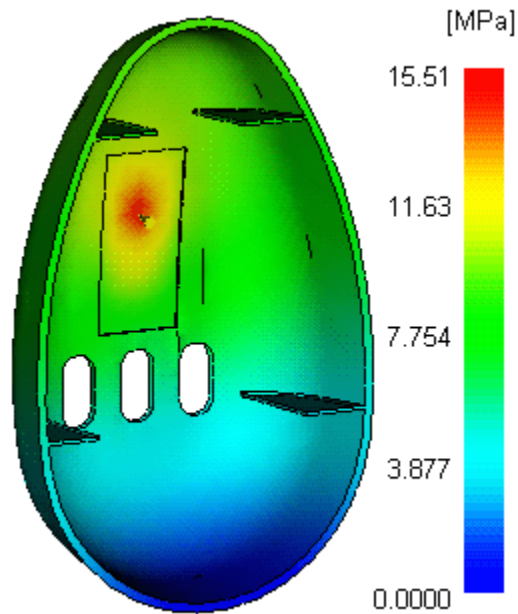


Fig. 57. Patrones de Presión

La magnitud de la presión o el gradiente de presión depende de la resistencia del polímero en el molde. Esto se debe a que los polímeros de alta viscosidad requieren más presión para llenar la cavidad. Las áreas restringidas del molde, como las secciones finas, los canales pequeños y las longitudes de flujo largas también requieren un gradiente de presión mayor y, por tanto, mayor presión para el llenado.

Durante la fase de llenado deben evitarse grandes variaciones en la distribución de la presión, que están indicadas por contornos poco espaciados. La presión debe ser cero en las extremidades de cada ruta de flujo al final del llenado. Durante la compactación, las variaciones de presión afectan a la contracción volumétrica. El resultado Presión al final del llenado se usa junto con el resultado Pérdida de presión para buscar áreas en las que la presión de inyección real es demasiado elevada. La presión hidráulica máxima típica de un pistón de máquina de moldeo por inyección es de unos 20 MPa. Cuando se inyecta el polímero y se fuerza su entrada en la boquilla, hay un factor de intensificación de la presión que varía entre 8 y 15 a causa del área más pequeña de la boquilla. Así, la presión

disponible en la boquilla suele estar entre 160 MPa y 300 MPa. El valor medio aproximado es 200 MPa.

Cosas que buscar:

Para solucionar problemas de llenado insuficiente o sobre compactación debidos a la presión de inyección, puede usar las siguientes opciones:

- Modifique el punto de inyección o use puntos de inyección adicionales para llenar un área problemática. El número de posiciones de entrada depende de la geometría de la pieza, el material y las condiciones de procesamiento.
- Coloque entradas para crear un patrón de llenado equilibrado y una distribución uniforme de la presión.
- Evite colocar entradas cerca de áreas finas que causarán indecisión o en áreas que se llenarán pronto y sufrirán sobre compactación.
- Modifique la geometría de la pieza.
- Si no puede reducir la presión de inyección cambiando las posiciones de las entradas, rediseñe la pieza para aumentar el espesor de la pared. Una geometría fina y compleja puede provocar dificultades de llenado y requerir una presión de inyección alta.
- Seleccione un material diferente con una viscosidad más baja, que requiera menos presión de inyección para llenar el molde.
- Aumente la temperatura de masa fundida para reducir la viscosidad. Esto reduce la presión de inyección requerida para llenar el molde.

También debe buscar áreas que tengan los siguientes problemas:

- Indecisión
- Sobre compactación debida a una presión de inyección alta
- Contracción



## CAÍDA DE PRESIÓN (PRESSURE DROP)

Como ya se ha explicado anteriormente, y se puede comprobar en el resultado, es lo mismo que el apartado anterior pero al revés, la máxima caída de presión estará en las zonas que llenen al final de todo, la escala de colores es Prácticamente igual a la de presión de inyección.

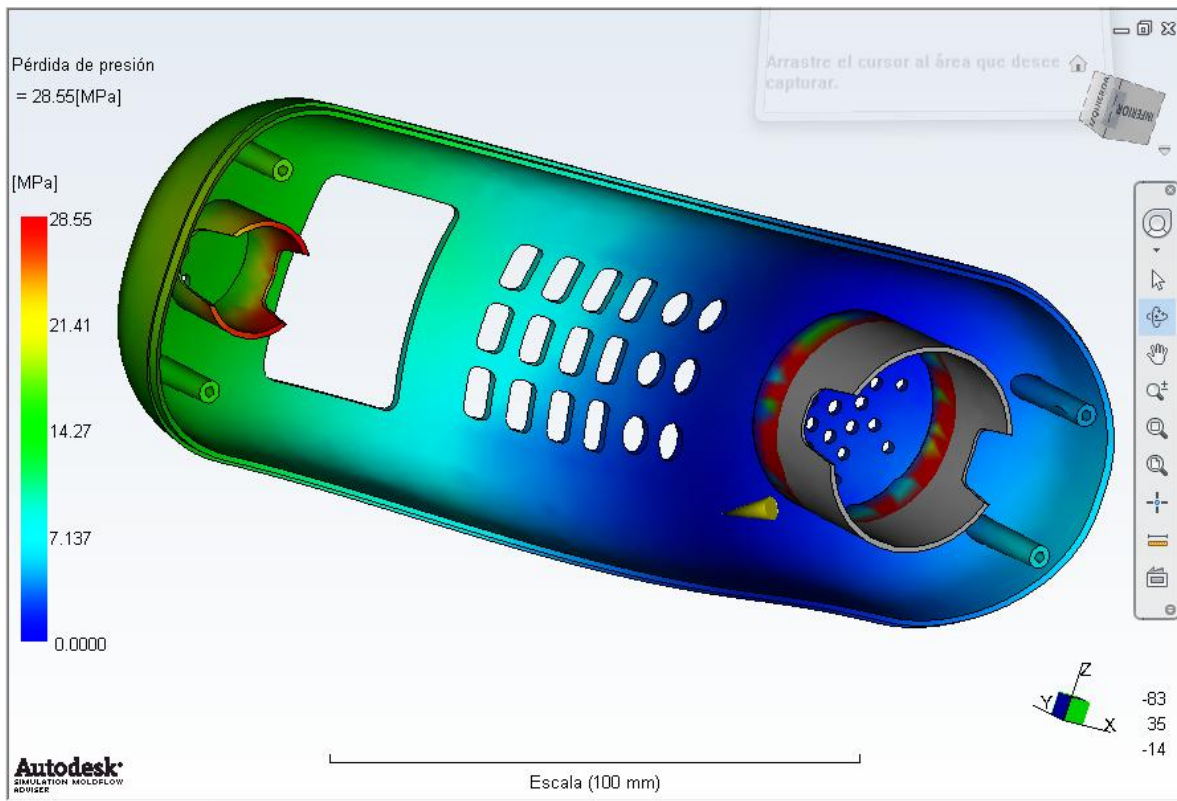
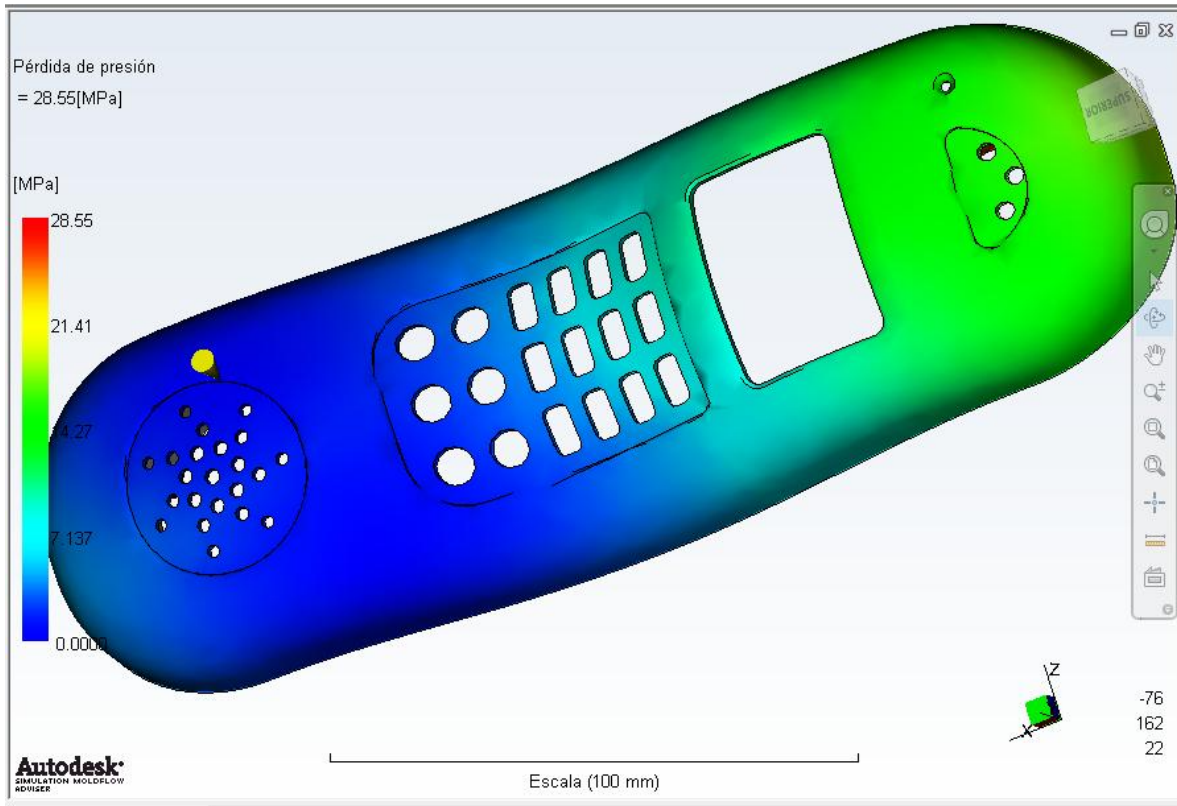


Fig. 58. Caída de Presión

El resultado Pérdida de presión utiliza un intervalo de colores para indicar desde la región de mayor pérdida de presión hasta la región de menor pérdida de presión. Este resultado indica cuánta presión es necesaria para llenar las distintas áreas de la pieza.

Como se muestra en el siguiente diagrama, el color en cada área del modelo representa la pérdida de presión desde el punto de inyección hasta esa área en el momento en que ésta se llenó, es decir, la presión requerida para forzar el flujo de material hasta ese punto.



*Fig. 59. Caída de Presión*

El resultado Pérdida de presión es un factor que se utiliza para determinar el resultado Confianza de llenado. Si la pérdida de presión es superior al 80% del valor actual establecido para la máxima presión de inyección de la máquina en la página Configuración del proceso del Asistente para el análisis, la confianza de llenado será de color amarillo. Si la pérdida de presión alcanza el 100% del valor de configuración Límite de presión actual, el resultado Confianza de llenado para esta área es de color rojo.

Si el valor predeterminado de 180 MPa para el límite máximo de la presión de inyección es mayor que la capacidad real de la máquina de moldeo, el resultado Confianza de llenado será mejor de lo esperado. Algunas máquinas de moldeo pueden inyectar material a una

presión de hasta 200 MPa, por lo que conocer el rendimiento típico de las máquinas que se van a utilizar en producción puede ayudar a determinar la viabilidad del resultado Pérdida de presión. Una gran pérdida de presión también puede indicar indecisión o alguna otra dificultad para llenar un área en particular de la pieza.

Cosas que buscar

Están disponibles las siguientes opciones para mejorar el resultado:

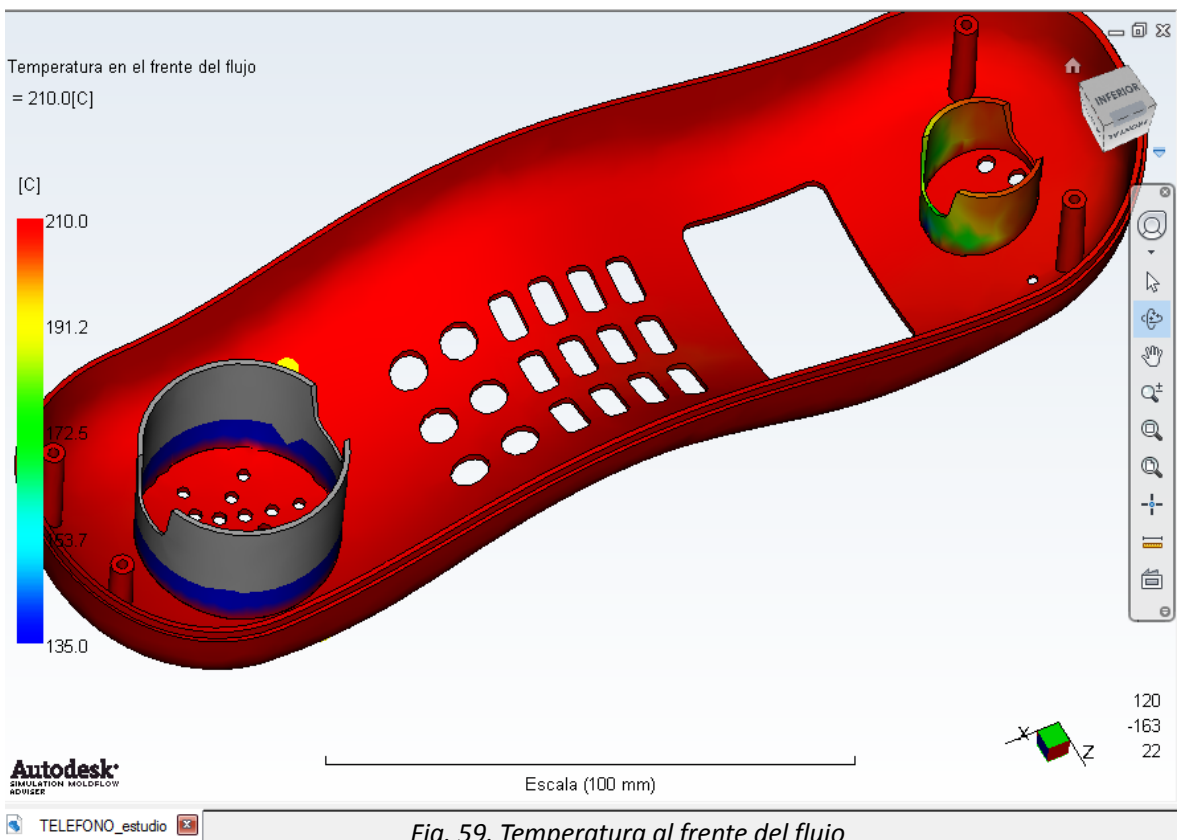
- Incrementar la presión máxima de inyección para mejorar la confianza de llenado.
- Mover los puntos de inyección del polímero más cerca del área problemática o añadir puntos de inyección adicionales para mejorar la probabilidad de que se llenen todas las secciones de la pieza.
- Modificar la geometría de la pieza; una geometría fina y compleja puede crear dificultades de llenado que requieran una presión de inyección alta para completar el llenado.
- Seleccionar un material diferente con un índice de fluidez más alto, de manera que se necesite menos presión de inyección para llenar la pieza.
- Aumentar la temperatura de la masa fundida para reducir su viscosidad y permitir que fluya más fácilmente en el interior del molde.

La Confianza de llenado se determina a partir de la pérdida de presión y la temperatura de masa fundida. Es posible que tenga que ajustar ambas condiciones de procesamiento para obtener un resultado aceptable de confianza de llenado.

Temperatura del frente de flujo (front flow temp.)

## TEMPERATURA AL FRENTE DEL FLUJO

Aquí podemos observar la temperatura que posee el frente del flujo de material conforme va llenando la pieza, como es sabido, el material se va enfriando conforme va deslizándose por el molde, es importante evaluar el gradiente de temperatura entre la entrada de material (temperatura máxima) y la zona más fría, pues a partir de ahí podremos evaluar cambios sustanciales en la viscosidad del material y en qué zonas de la pieza se producen. También es importante saber en qué zonas se enfriará el material más rápidamente que el resto. Una observación interesante en nuestra pieza, es que la temperatura del frente de material se incrementa en la última zona de llenado con respecto al resto de la parte inferior.



En resumen el resultado Temperatura en el frente de flujo, que se obtiene mediante un análisis de llenado, muestra la temperatura del polímero cuando el frente de flujo alcanza un punto especificado, en el centro de la sección transversal del plástico.

Tal como se muestra en el siguiente diagrama, el resultado Temperatura en el frente de flujo utiliza un intervalo de colores para indicar desde la región de menor temperatura (de color azul) hasta la región de mayor temperatura (de color rojo). Los colores representan la temperatura del material en cada punto, a medida que se va llenando. El resultado muestra los cambios de la temperatura del frente de flujo durante el llenado.

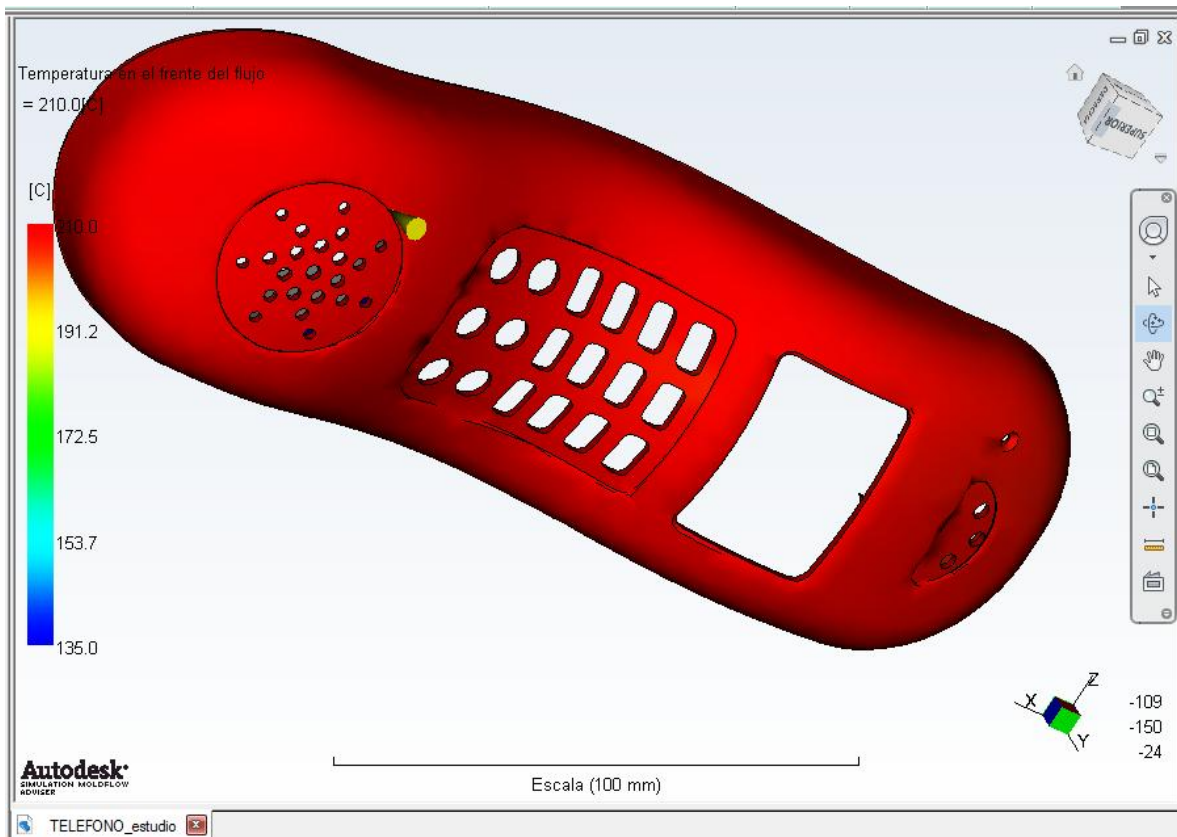


Fig. 60. Temperatura al frente del flujo

La temperatura en el frente de flujo no debe bajar más de 2°C a 5°C durante la fase de llenado. Un cambio mayor suele indicar que el tiempo de inyección es demasiado corto o que hay áreas de indecisión. Si la temperatura del frente de flujo es demasiado baja en un área fina de la pieza, puede producirse indecisión en una inyectada corta. En las áreas en las que la temperatura del frente de flujo aumenta en varios grados, puede producirse la

degradación del material y pueden aparecer defectos superficiales.

#### Cómo usar este resultado

Minimice la variación de temperatura del frente de flujo en la fase de llenado a un valor por debajo de 2 °C a 5 °C. Las variaciones pequeñas de temperatura causan menos problemas.

Si el resultado Confianza de llenado no es bueno, use el resultado Temperatura en el frente de flujo para ver si los problemas se deben a temperaturas de masa fundida bajas.

Nota: El resultado Confianza de llenado se determina a partir de la temperatura de masa fundida del material y la presión de inyección. Puede ser necesario ajustar ambas condiciones de procesamiento para obtener un resultado aceptable de confianza de llenado.

Intente cambiar los siguientes valores de configuración para mejorar el resultado; para ello, utilice la información de la tabla siguiente para comprobar si un cambio ha creado otros problemas.

<b>Problema</b>	<b>Cambiar</b>	<b>Problemas posibles</b>
Temperatura demasiado baja	Reducir el tiempo de inyección.	Puede causar un exceso de cizalla en la entrada si es restrictiva. Un exceso de cizalla puede provocar degradación y defectos superficiales.
	Aumente la temperatura de masa fundida.	

Problema	Cambiar	Problemas posibles
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede aumentar el tiempo del ciclo.</li> <li>• Puede provocar la degradación del material. Mantenga la temperatura dentro de los límites de temperatura especificados en la información del material de la base de datos.</li> </ul>
	Aumente la temperatura del molde.	Puede aumentar el tiempo del ciclo.
	Aumente el espesor en el área para permitir el flujo.	Puede provocar un problema funcional en el diseño y aumentar el coste.
	Aleje la entrada de las áreas con indecisión.	Puede provocar indecisión u otros problemas en otra región de la pieza.
Temperatura demasiado alta	Aumente el tiempo de inyección.	Puede provocar indecisión.

Tabla 6. Problemas Comunes

Al analizar el resultado Temperatura en el frente de flujo, tenga en cuenta en lo siguiente:

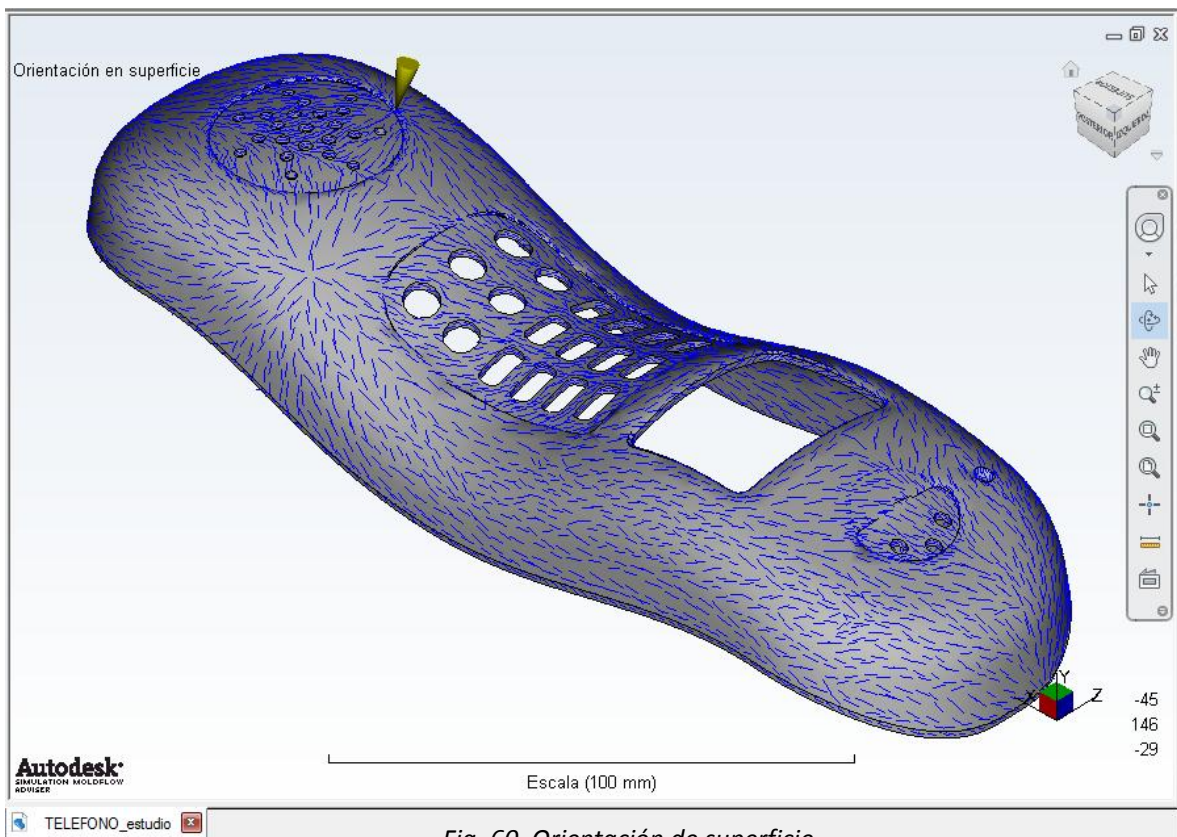
- Zonas calientes; suelen encontrarse alrededor de la entrada y en áreas en las que se produce un calentamiento excesivo por efecto de la cizalla.
- Zonas frías; indican indecisión.
- Compruebe si el material presenta un enfriamiento o calentamiento excesivo por efecto de la cizalla.



## ORIENTACIÓN EN SUPERFICIE

El resultado Orientación en superficie proporciona una buena indicación de cómo se orientarán las moléculas en el exterior de la pieza, y muestra la dirección de alineación principal media para toda la superficie local al final del llenado.

Como la masa fundida se solidifica rápidamente cuando entra en contacto con el molde por primera vez, el vector de velocidad proporciona la orientación molecular más probable en la superficie.



*Fig. 60. Orientación de superficie*

Las magnitudes de estos vectores se normalizan a la unidad y se muestran multiplicadas por el factor de escala especificado. La orientación en superficie se determina a partir del

sentido de la velocidad cuando el frente de masa fundida llega a una ubicación determinada por primera vez.

El resultado Orientación en superficie es útil para estimar las propiedades mecánicas de una pieza. Por ejemplo, la resistencia al impacto suele ser mucho más alta en la dirección de orientación molecular en la superficie. Al usar polímeros cargados con fibra, la resistencia a la tracción también es más alta en la dirección de orientación en la superficie, ya que las fibras de la superficie están alineadas en esa dirección. La orientación en superficie suele representar la dirección de resistencia. Para piezas de plástico que deben resistir grandes impactos o fuerzas, se puede diseñar la ubicación de la entrada de forma que proporcione una orientación en superficie en la dirección del impacto o la fuerza.

La contracción lineal de una pieza también depende de la orientación en superficie. Para polímeros sin carga, la contracción en la dirección de orientación en superficie o de flujo es mayor que en la dirección de orientación básica o transversal. Esta situación se puede invertir utilizando polímeros cargados con fibra, dada la baja contracción y rigidez de las fibras en la dirección de orientación en superficie.

Compare el resultado Orientación en superficie con el resultado Tiempo de llenado para identificar flujos no equilibrados en la pieza.

Es importante orientar correctamente las moléculas para garantizar la calidad mecánica de una bisagra. Los puntos de inyección deben colocarse en posiciones que produzcan una orientación molecular coherente, como se indica en el siguiente diagrama de la izquierda. El diagrama de la derecha muestra una orientación molecular incoherente, lo que reduce la calidad de la pieza.

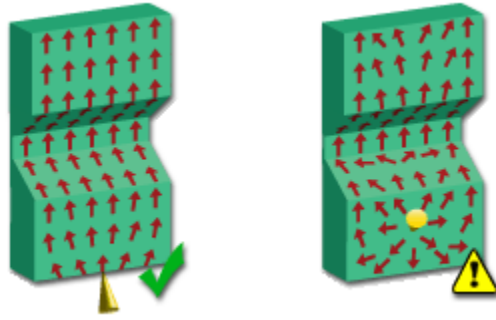


Fig. 61. Temperatura al frente del flujo

Al analizar el resultado Orientación en superficie, tenga en cuenta lo siguiente:

- Flujo no equilibrado
- Orientación incoherente

Nota: Se pueden obtener predicciones más precisas de la orientación de fibras realizando un análisis de fibras en Autodesk Simulation Moldflow Insight.

## TEMPERATURA MEDIA

El resultado Temperatura media muestra la temperatura media de masa a lo largo del espesor de la pieza al final del llenado. La temperatura de masa fundida del polímero cambia no sólo con el tiempo y la ubicación, sino también con el espesor durante todo el ciclo de moldeo por inyección. Es difícil ilustrar todos estos cambios en una sola visualización. En lugar de ello, se utiliza la temperatura media para indicar su peso a largo del espesor. La Temperatura media representa la energía que se transporta a través de una ubicación determinada en un momento específico. Las zonas calientes, que se deben a un calentamiento viscoso excesivo durante la fase de llenado, se indican en el contorno de temperatura media.

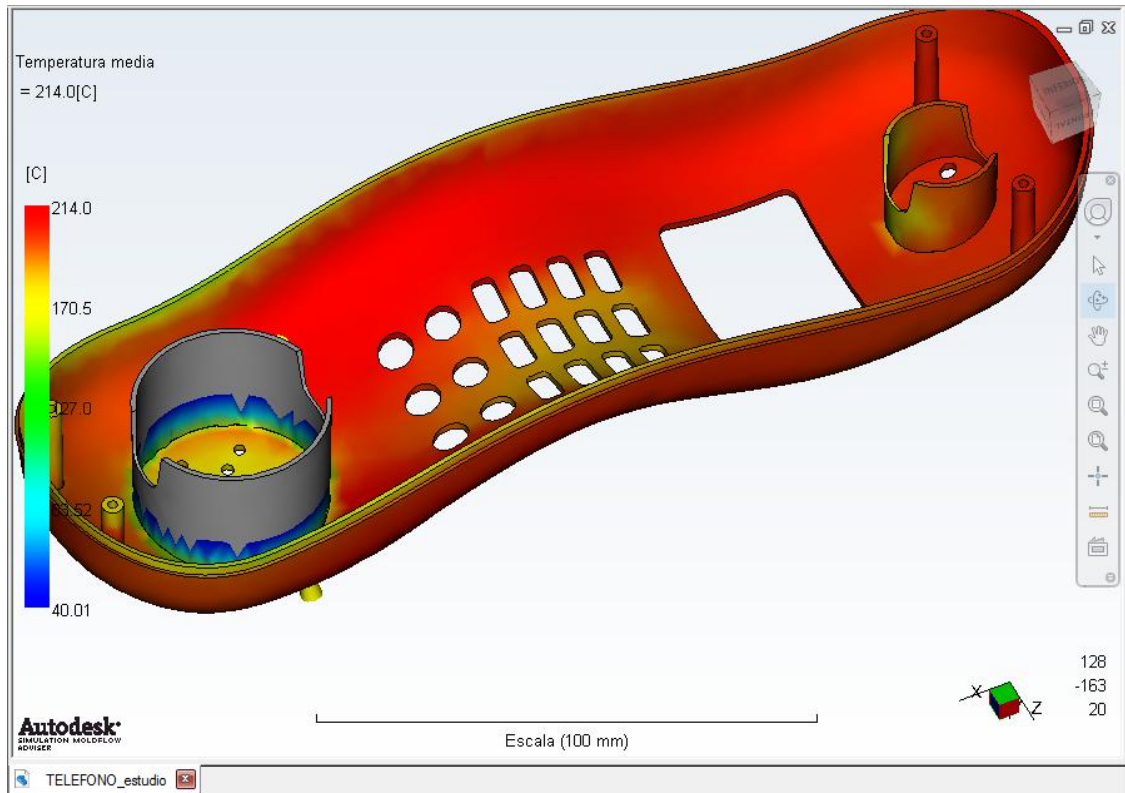


Fig. 62. Temperatura Media

Puede usar el resultado Temperatura media como una manera alternativa de examinar la distribución de flujo. Las áreas con flujo continuo (convección térmica) suelen tener una temperatura media más alta, que cae rápidamente cuando el flujo se detiene en esa área. Si la temperatura media es demasiado baja en un área fina de la pieza, puede producirse indecisión o inyectadas cortas. Si la temperatura media es demasiado baja en un área con líneas de soldadura, éstas pueden empeorar. En áreas en las que la temperatura media es demasiado alta, pueden producirse defectos superficiales y degradación del material. Para mejorar el resultado, asegúrese de que la temperatura media está siempre dentro del intervalo de temperaturas recomendado para el polímero que está usando. También puede considerar la posibilidad de rediseñar la geometría de la pieza cerca de la zona caliente o cambiar las condiciones del proceso. Las diferencias de temperatura también pueden provocar contracción y deformación irregulares.

El resultado Temperatura media debe ser examinado junto con el resultado Fracción de capa solidificada al final del llenado. Las secciones del molde con una temperatura media inferior a la temperatura de transición del material y un porcentaje solidificado superior al 25% pueden no compactarse correctamente, lo que puede provocar problemas de contracción y deformación.

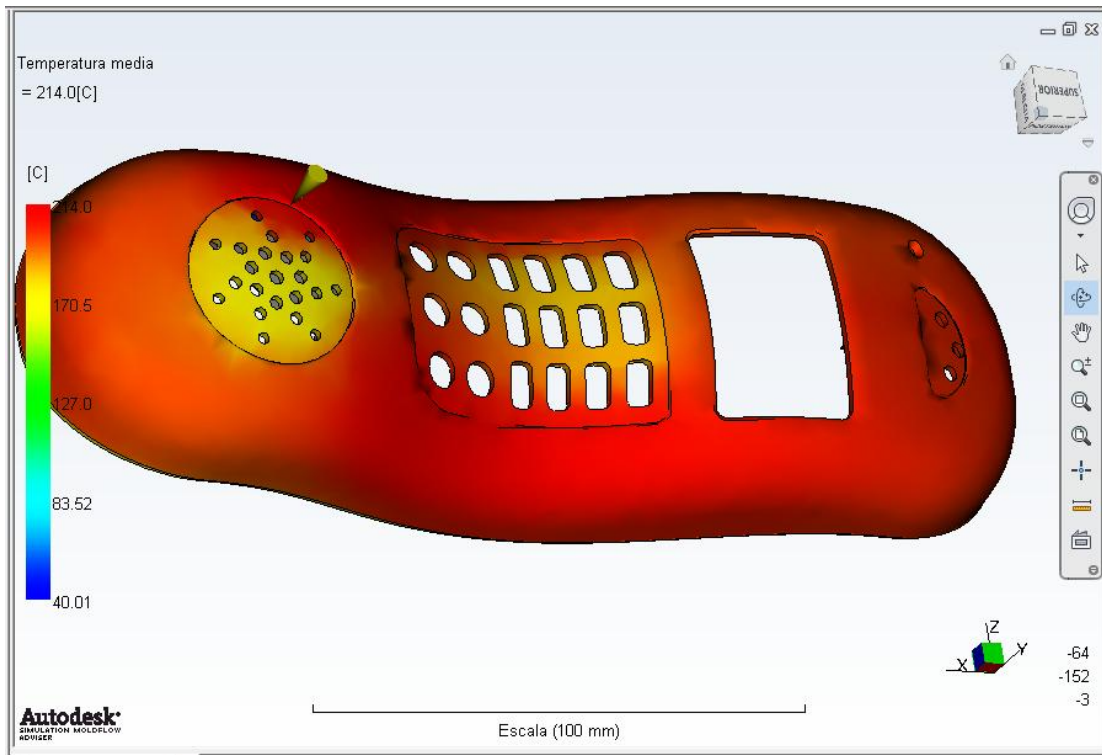


Fig. 63. Temperatura Media

Cosas que buscar

Hay varias opciones disponibles para mejorar este resultado. Normalmente las alteraciones tienen efectos secundarios, así que al realizar un cambio, debe comprobar si éste ha causado otros problemas.

<b>Temperatura demasiado baja</b>	<b>Problemas posibles</b>
Aumente la temperatura de masa fundida.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede aumentar el tiempo del ciclo.</li> <li>• Puede provocar la degradación del material. Mantenga la temperatura dentro de los límites de temperatura especificados en la información del material de la base de datos.</li> </ul>
Aumente la temperatura del molde.	Puede aumentar el tiempo del ciclo.
Reducir el tiempo de inyección.	Puede causar un exceso de cizalla en la entrada si es restrictiva. Un exceso de cizalla puede provocar degradación y defectos superficiales.
Aumente el espesor en el área para permitir el flujo.	Puede provocar un problema funcional en el diseño y aumentar el coste.
Para la indecisión en áreas finas.	Consulte Indecisión.
Aleje la entrada del área de indecisión.	Puede provocar indecisión u otros problemas en otra región de la pieza.
<b>Temperatura demasiado alta</b>	<b>Problemas posibles</b>
Aumente el tiempo de inyección	Puede aumentar el tiempo del ciclo.

Tabla 7. Problemas Comunes

## TIEMPO PARA ALCANZAR LA TEMPERATURA DE EXPULSIÓN

El resultado Tiempo para alcanzar la temperatura de expulsión muestra el tiempo requerido para alcanzar la temperatura de expulsión, que se mide desde el inicio del llenado. Si la pieza no se ha solidificado al final del tiempo del ciclo proporcionado, se mostrará en el resultado un tiempo previsto hasta la solidificación. Para un análisis Dual Domain, el valor que se muestra es el tiempo necesario para que el 100% del espesor local alcance la temperatura de expulsión. Para el flujo 3D, el valor que se muestra es el tiempo máximo sobre el espesor local, asignado a partir del interior de la superficie de la pieza.

Este resultado tiene en cuenta la dinámica de la fase de compactación y dónde entra el material nuevo caliente en la cavidad. Este material nuevo caliente afecta al tiempo de refrigeración.

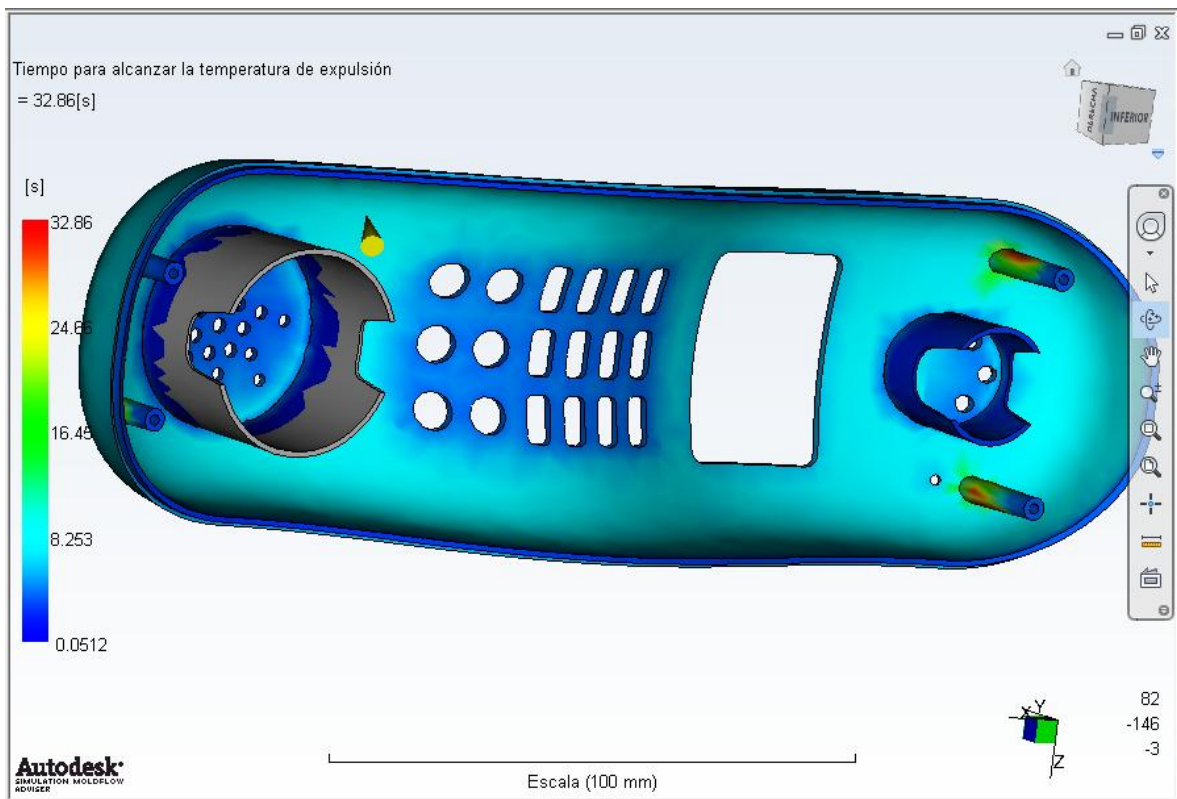


Fig. 64. Temperatura para la expulsión

## Cosas que buscar

- ¿Está la pieza lo suficientemente solidificada al final del tiempo del ciclo y de compactación?
- ¿Se ha solidificado la entrada demasiado pronto para que la cavidad pueda compactarse adecuadamente?
- ¿Se han solidificado las regiones más delgadas antes de que las regiones mucho más gruesas por lo que impide que las regiones más gruesas se compacten adecuadamente?

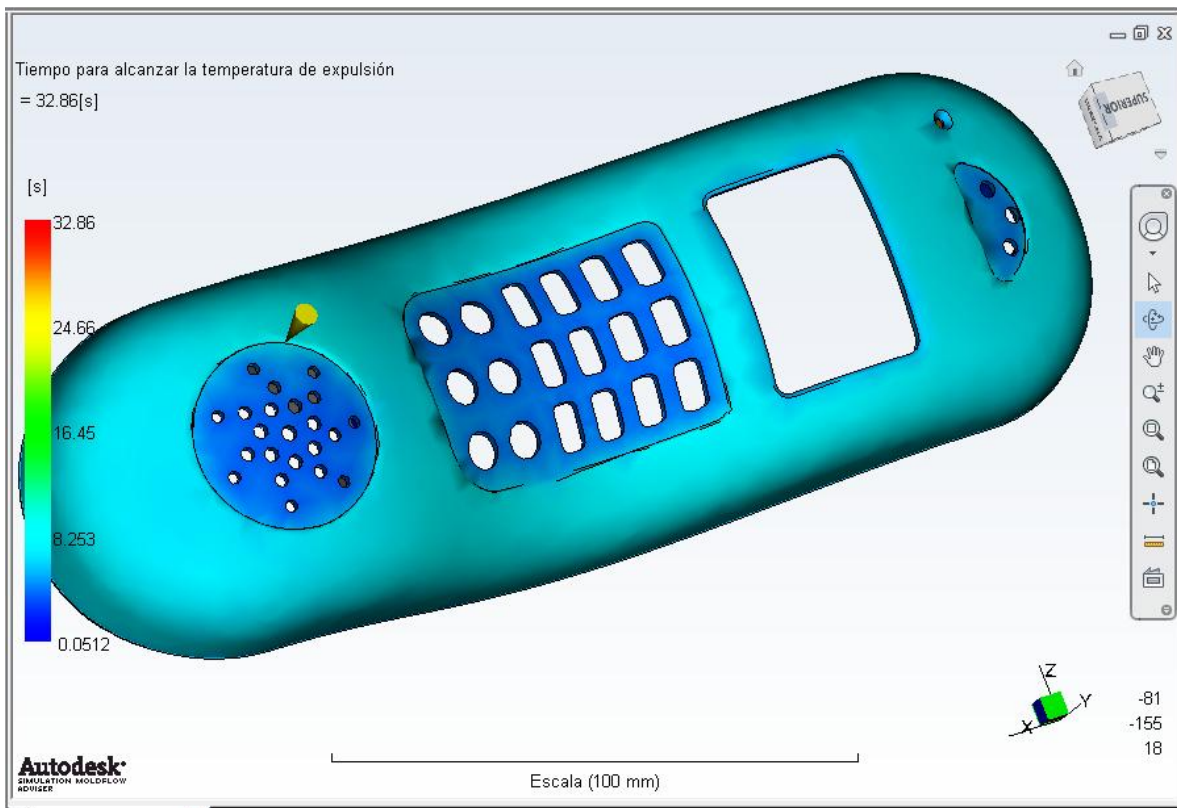


Fig. 65. Temperatura para la expulsión

Si el periodo de tiempo para alcanzar la temperatura de expulsión es largo a causa de áreas gruesas de la pieza, considere la posibilidad de rediseñar la pieza. Puede ser difícil reducir los periodos de tiempo largos debidos a la cizalla. Reducir el efecto del calor de cizalla



puede hacer que el tiempo para alcanzar la temperatura de expulsión afecte negativamente a la contracción volumétrica y la deformación de la pieza. También se puede usar el resultado Tiempo para alcanzar la temperatura de expulsión junto con el resultado Varianza de tiempo de refrigeración para diagnosticar una refrigeración desigual. Si los valores globales resultantes para la pieza son altos, pueden ser necesarias medidas para reducir el tiempo del ciclo, como reducir las temperaturas del molde y de la masa fundida.

Este resultado le ayudará a diseñar una distribución de la refrigeración para un análisis detallado de la refrigeración de la pieza mediante el análisis de refrigeración. Después puede consultar el resultado Tiempo para alcanzar la temperatura de expulsión para ver la acción correctora sugerida.

## FRACCIÓN DE CAPA SOLIDIFICADA AL FINAL DEL LLENADO

El resultado Fracción de capa solidificada al final del llenado representa la fracción del espesor de la capa solidificada al final de llenado. Varía entre 0,0 y 1,0. Un valor más alto indica una capa solidificada más gruesa (o un flujo de capa más delgado) y una resistencia de flujo más alta. Se considera que un polímero está solidificado cuando la temperatura cae por debajo de la temperatura de transición ( $T_{trans}$ ). Durante el llenado, la capa solidificada debe mantener un espesor constante para las áreas con flujo continuo, ya que la pérdida de calor por la pared del molde se equilibra con la masa fundida caliente del flujo entrante. Cuando el flujo se detiene, la pérdida de calor a través del espesor domina completamente en esa área. La consecuencia es un aumento rápido del espesor de la capa solidificada. La fracción de capa solidificada tiene efectos muy significativos en la resistencia de flujo. La viscosidad aumenta exponencialmente con la disminución de la temperatura. El espesor de la capa de flujo también se reduce a medida que el espesor de la capa solidificada aumenta.

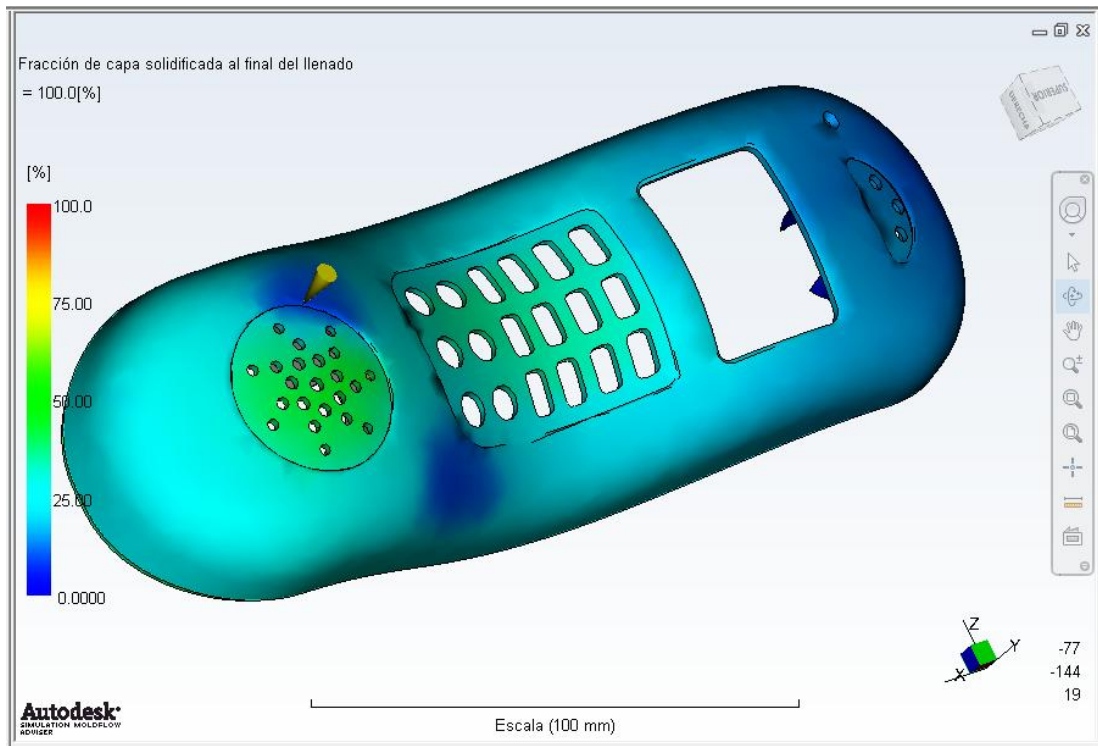


Fig. 66. Capas solidas en el llenado

El efecto de la reducción de espesor se puede estimar de forma aproximada a partir de la definición de fluidez y de una velocidad de cizalla representativa. La fluidez es proporcional a la potencia cúbica del espesor de la pieza. Una reducción del 50% en el espesor de la pieza reduce la fluidez en un factor de ocho (o aumenta la resistencia de flujo en un factor de ocho). Además, una reducción del 50% en el espesor de los canales reduce la fluidez en un factor de 16. No es sorprendente que sea necesaria una presión muy alta para llenar piezas en las que la indecisión se produce muy pronto en la fase de llenado. La capa de flujo es muy delgada en las áreas de indecisión, que son las últimas en llenarse.

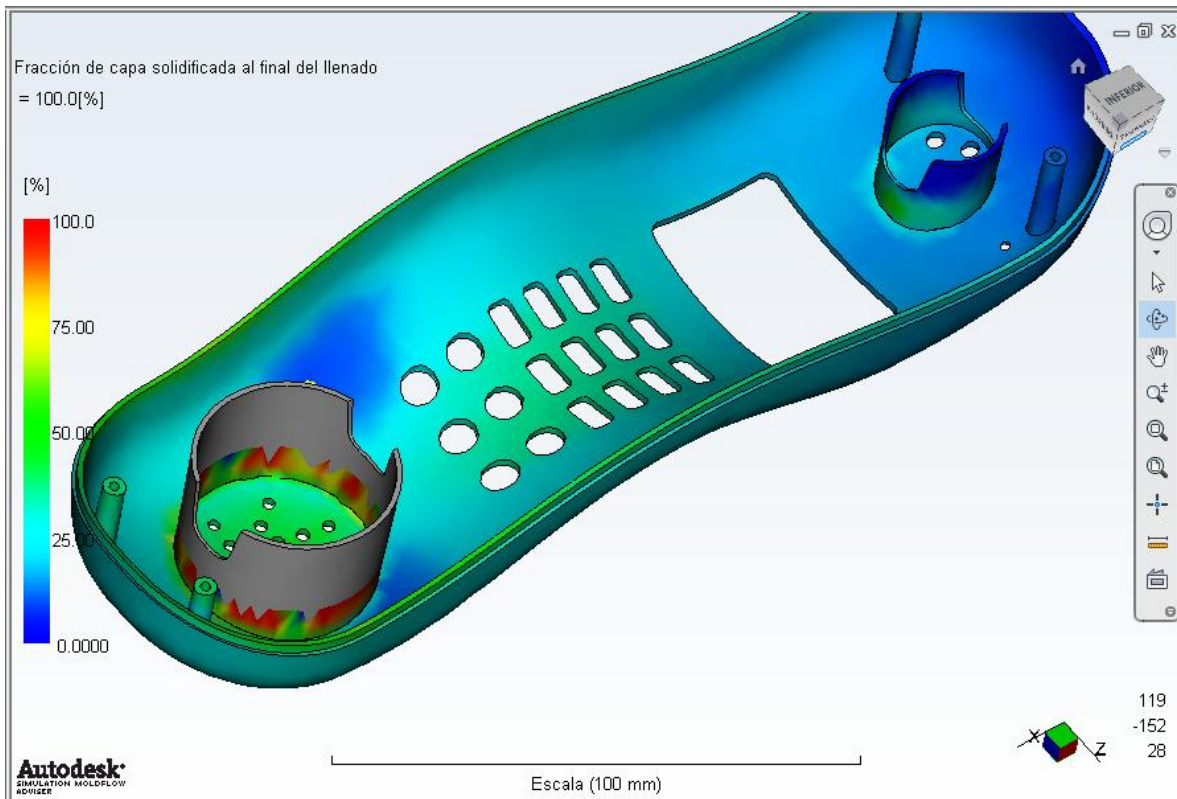


Fig. 67. Capas solidas en el llenado

En general, la fracción de capa solidificada será muy pequeña cerca del punto de inyección y el final de llenado. La fracción máxima de capa solidificada al final del llenado debe ser menor que 0,20 - 0,25. Los valores más altos harán que sea difícil compactar la pieza. Las

áreas del molde que se llenan pronto en el ciclo y posteriormente reciben poco flujo suelen tener la mayor fracción de capa solidificada.

#### Cosas que buscar

- Ninguna parte de la pieza debe tener una fracción de capa solidificada mayor que 0,20 - 0,25 al final del llenado. Un tiempo de inyección más rápido reducirá la fracción de capa solidificada.
- Resultado Tiempo para alcanzar la temperatura de expulsión.
- Si se crean zonas calientes, busque maneras de cambiar el diseño del circuito de refrigeración.

## ATRAPAMIENTOS DE AIRE

Un atrapamiento de aire se produce cuando la masa fundida atrapa y comprime una burbuja de aire o gas entre dos o más frentes de flujo convergentes, o entre el frente de flujo y la pared de la cavidad. Normalmente, el resultado es un agujero pequeño o un defecto en la superficie de la pieza. En casos extremos, la compresión aumenta la temperatura hasta un nivel que hace que el plástico se degrade o se queme. Los atrapamientos de aire, a menudo causados por frentes de flujo convergentes, suelen deberse a efectos de indecisión o racetrack, o a patrones de llenado no uniformes o no lineales. Incluso cuando la pieza tiene rutas de flujo equilibradas, una salida de aire inapropiada puede causar atrapamientos de aire al final de las rutas de flujo.

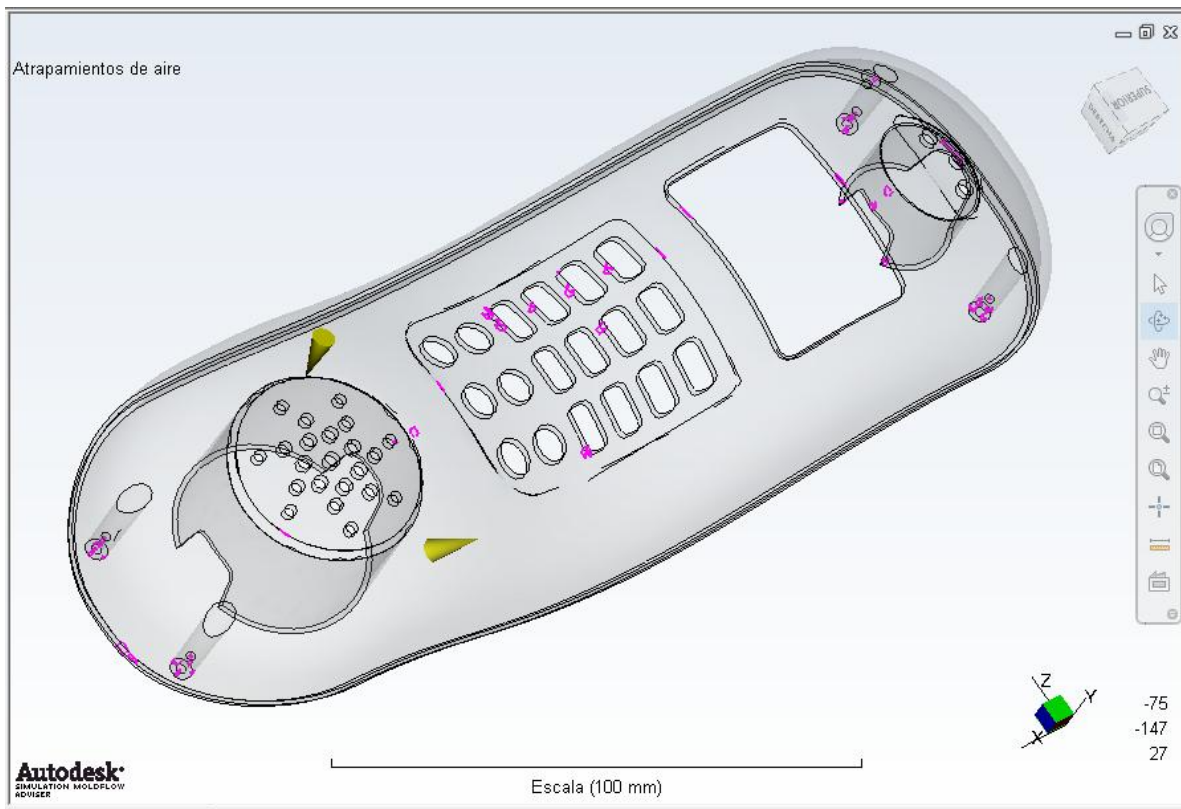


Fig. 68. Atrapamientos de Aire

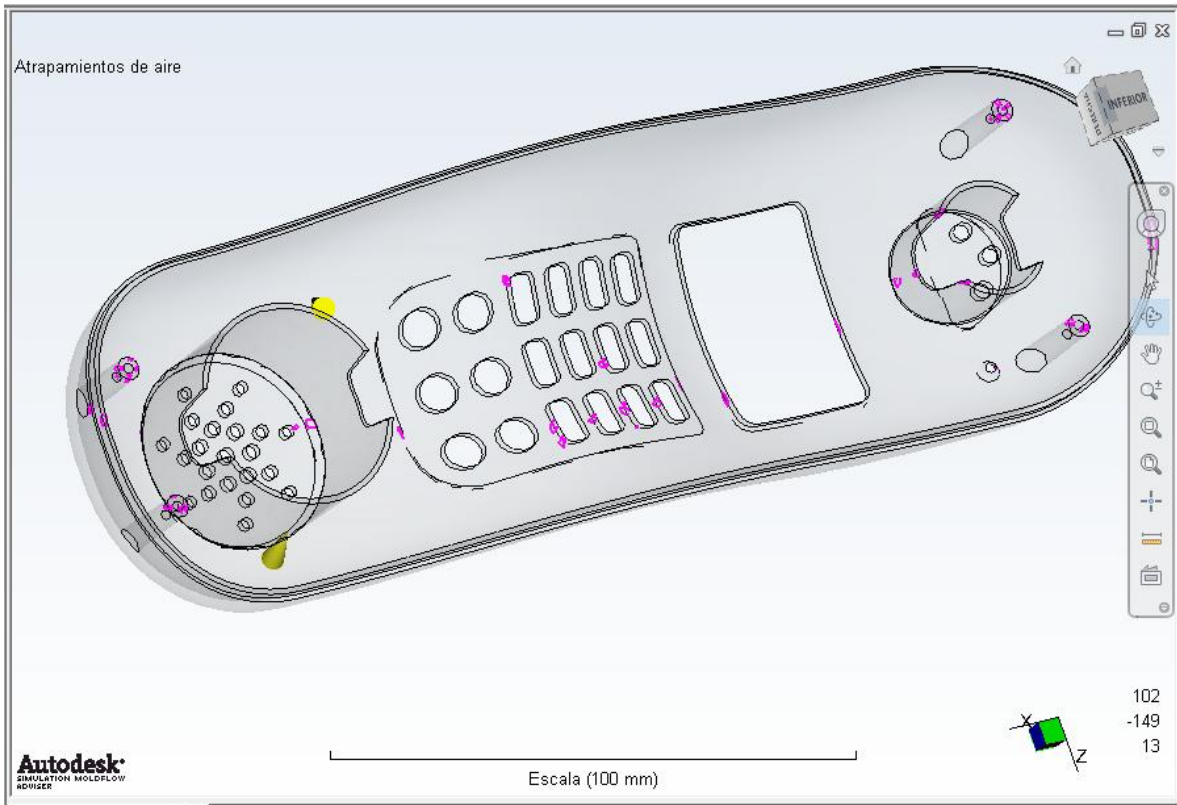


Fig. 69. Atrapamientos de Aire

Para un modelo Dual Domain, el resultado Atrapamientos de aire muestra una línea fina continua donde es probable que se produzca un atrapamiento de aire. Para modelos 3D muestra un área con un color sólido donde es probable que se produzca un atrapamiento de aire.

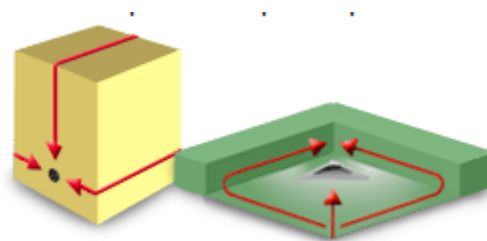


Fig. 70. Atrapamientos de Aire

El resultado Atrapamientos de aire indica la gravedad de los atrapamientos de aire y dónde es más probable que se produzcan en la pieza. Los atrapamientos de aire pueden ser aceptables si se producen en una superficie cuya apariencia no tiene que ser perfecta.

El resultado Tiempo de llenado se usa junto con el resultado Atrapamientos de aire para confirmar el comportamiento de llenado y evaluar la probabilidad de que surjan atrapamientos de aire.

El gráfico de atrapamientos de aire se usa para determinar la probabilidad de que se produzca un atrapamiento de aire en una ubicación determinada. Un valor más alto indica mayor probabilidad de que se produzca un atrapamiento de aire y un valor más bajo indica menor probabilidad de que éste se produzca.

El resultado Atrapamientos de aire puede revelar los siguientes problemas en la pieza:

- Marcas de quemadura producidas a causa de un atrapamiento de aire que se inflama con la presión y quema el plástico.
- Inyectadas cortas causadas por el llenado incompleto de la pieza; si un atrapamiento de aire no tiene salida y no se comprime lo suficientemente rápido para crear una marca de quemadura, puede provocar una inyectada corta o dejar burbujas de aire o gas en la pieza de plástico.
- Otros defectos superficiales provocados por atrapamientos de aire.

Puede usar los siguientes métodos para evitar atrapamientos de aire:

- Use guías o deflectores de flujo.
- Aumente la velocidad de inyección para eliminar los atrapamientos de aire provocados por indecisión o frentes de flujo convergentes.
- Reduzca la velocidad de inyección para disminuir los atrapamientos de aire causados por una salida de aire deficiente y evitar marcas de quemadura.

- Disminuya la proporción de espesor de la pared para reducir el efecto racetrack.
- Mueva los puntos de inyección de forma que los atrapamientos de aire se formen en áreas fáciles de ventilar, como en el plano de partición.

## LÍNEAS DE SOLDADURA

El resultado Líneas de soldadura muestra el ángulo de convergencia cuando se encuentran dos frentes de flujo. La presencia de líneas de soldadura puede indicar fragilidad estructural o un defecto superficial.

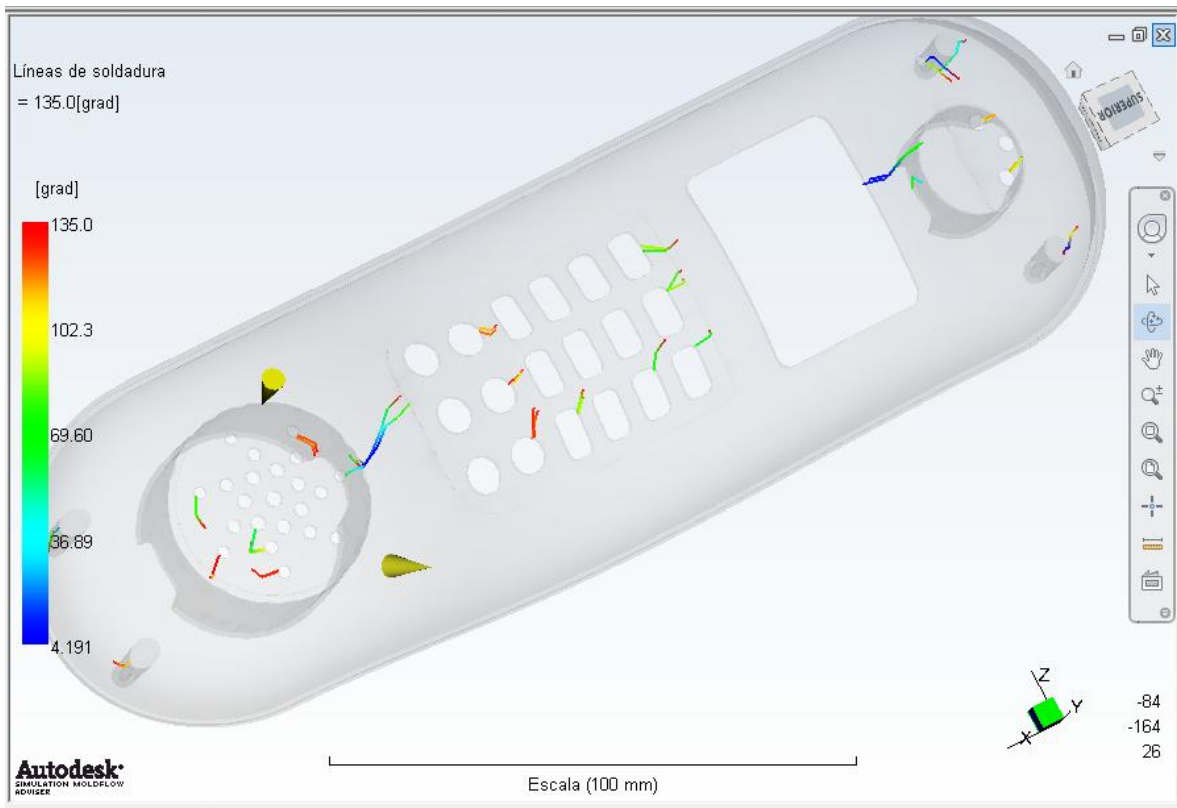
Consejo: Si superpone el resultado Tiempo de llenado y recorre la animación, puede ver cómo convergen los frentes de flujo.

El término "línea de soldadura" se suele usar para hacer referencia tanto a líneas de soldadura como a líneas de flujo. La única diferencia entre ellas es el ángulo en el que se forman; las líneas de soldadura se forman en ángulos más pequeños que las líneas de flujo. Las líneas de soldadura pueden provocar problemas estructurales y hacer que el aspecto de la pieza no sea aceptable, pero son inevitables cuando el frente de flujo se divide y vuelve a juntarse alrededor de un orificio, o si la pieza tiene varias entradas.

Se deben tener en cuenta las condiciones de procesamiento y la posición de las líneas de soldadura para decidir si las líneas de soldadura serán de alta calidad. Se debe procurar



evitar las líneas de soldadura y las líneas de flujo. Las líneas de soldadura deberían evitarse especialmente en áreas que precisen de resistencia o una apariencia uniforme.



*Fig. 71. Líneas de Soldadura*

Las condiciones de procesamiento ayudan a determinar la calidad de las líneas de soldadura o las líneas de flujo. La resistencia de una línea de soldadura depende de la temperatura a la que se forma y de la presión ejercida en la soldadura hasta que la pieza se solidifica; la presión es 0 en la línea de soldadura. Por lo general, una "buena" soldadura se produce si la temperatura de la masa fundida en la línea de soldadura no se encuentra, como máximo, 20°C por debajo de la temperatura de inyección cuando se forma.

## Cómo usar este resultado

Se pueden mover líneas de soldadura cambiando el patrón de llenado para hacer que los frentes de flujo se encuentren en un lugar distinto. Para mover líneas de soldadura:

- Modificar las posiciones de entrada.
- Cambiar el espesor de la pieza.

Para mejorar la calidad de las líneas de soldadura:

- Aumente la temperatura de masa fundida, la velocidad de inyección o la presión de compactación. Esto permitirá que los frentes de flujo se suelden de manera más eficaz.
- Aumente los diámetros de las entradas y canales, para facilitar la compactación de la pieza.
- Mueva los puntos de inyección para hacer que las líneas de soldadura se formen más cerca de las entradas. Entonces, la línea de soldadura se crea con una temperatura de frente de flujo más alta y se compacta con más presión.
- Mueva los puntos de inyección para que los frentes de flujo se encuentren de forma más oblicua, convirtiendo la línea de soldadura en una línea de flujo.
- Optimice el diseño del sistema de canales.
- Reduzca las dimensiones de los canales y mantenga la misma velocidad de flujo. Se puede usar el calentamiento por efecto de cizalla con el fin de aumentar la temperatura de masa fundida en el frente de flujo.

La solución de un problema introduce otros problemas en el proceso de moldeo por inyección. Debe tener muy en cuenta todos los aspectos relevantes de la especificación del diseño del molde antes de elegir una opción.

## Cosas que buscar

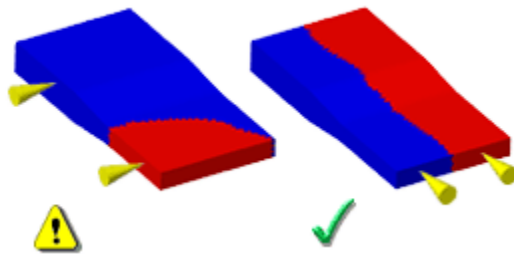
El resultado Líneas de soldadura ayuda a identificar los siguientes problemas:

- Problemas estructurales: es más probable que la pieza se fracture o deforme en una línea de soldadura, especialmente si la línea de soldadura es de baja calidad. Esta fragilidad es un problema más serio en las áreas de la pieza que están sometidas a tensión.
- Defectos visuales: una línea de soldadura puede crear una línea, muesca o cambio de color en la superficie de la pieza. Este problema no es de gran importancia si la línea de soldadura está en una superficie no crítica de la pieza, como la parte inferior.

## RESULTADO CRECIMIENTO DESDE

El resultado Crecimiento desde, que se obtiene mediante un análisis de llenado, muestra las áreas que se llenan desde cada entrada en las piezas con varias entradas, lo que permite determinar si hay un flujo equilibrado dentro de la pieza.

Un resultado Crecimiento desde que muestra un llenado uniforme está equilibrado. Un resultado Crecimiento desde que muestra que distintas entradas intentan llenar la misma sección de la pieza, no está equilibrado. En los diagramas siguientes se muestra un llenado no uniforme (izquierda) y un llenado uniforme (derecha).



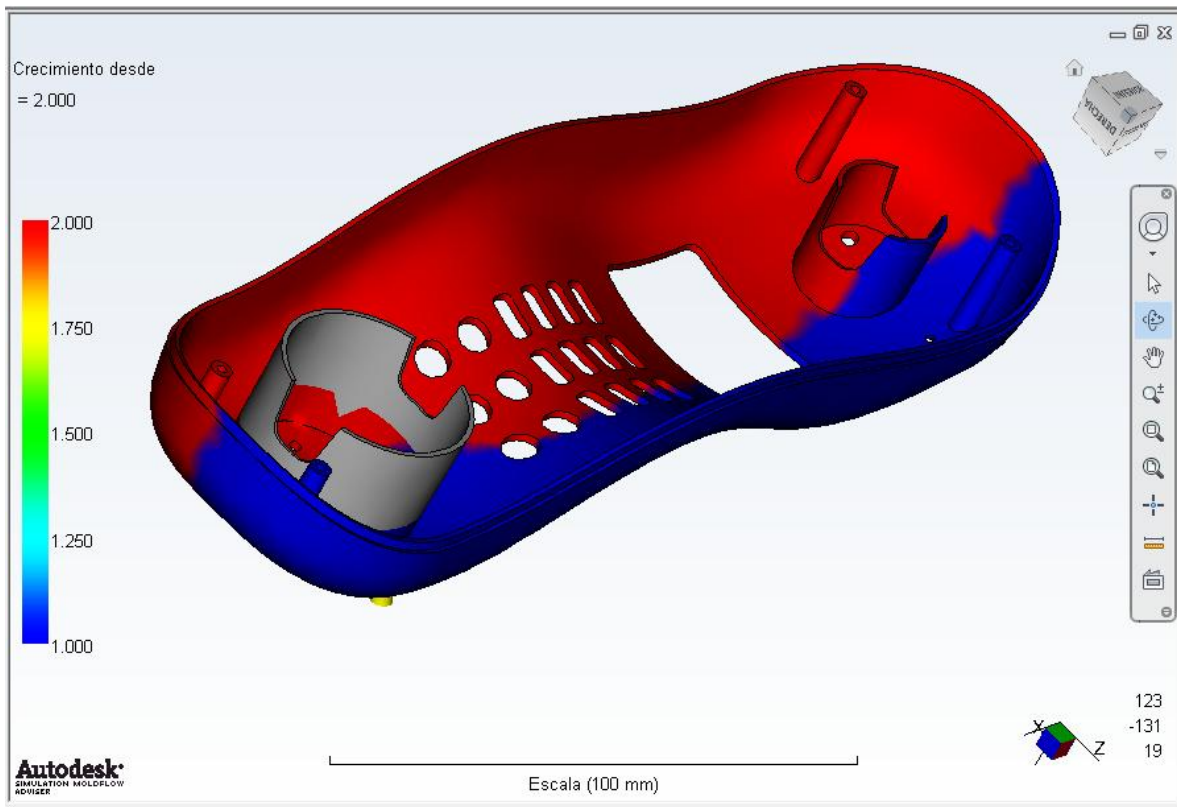


Fig. 72. Crecimiento desde

El resultado Crecimiento desde utiliza números para identificar la entrada en la que se inyectó el polímero. Cuando se completa el análisis de llenado, el resultado Crecimiento desde indica el patrón de llenado de la pieza y muestra las áreas de la pieza que se llenaron desde cada entrada.

#### Cómo usar este resultado

Un análisis de posición de la entrada puede determinar las posiciones de entrada más apropiadas para el modelo y el resultado Crecimiento desde se puede mejorar de varias maneras. Normalmente las alteraciones tienen efectos secundarios, así que al realizar un cambio, debe comprobar si éste ha causado otros problemas.

<b>Problema</b>	<b>Resolución</b>
<p>Los patrones de flujo no equilibrados pueden deberse a que:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• el llenado de polímero es más rápido desde una entrada</li> <li>• el polímero proveniente de dos entradas intenta llenar una misma sección en la pieza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambie los puntos de inyección para obtener un patrón de llenado equilibrado.</li> <li>• Rediseñe la geometría del modelo en el área problemática.</li> </ul>
<p>Hay una línea de soldadura o una línea de flujo en un área crítica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modifique las posiciones de entrada.</li> <li>• Cambie el espesor de la pieza.</li> <li>• Aumente la temperatura de masa fundida y la temperatura del molde.</li> <li>• Aumente la velocidad de pistón.</li> <li>• Optimice el diseño del sistema de canales.</li> </ul>

*Tabla 9. Problemas Comunes*

Cosas que buscar

Un resultado que muestra una distribución de colores igual también tendrá un patrón de llenado uniforme y estará equilibrado. Si la distribución de colores no es igual, el flujo no estará equilibrado.

## CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA EN LA EXPULSIÓN

El resultado Contracción volumétrica en la expulsión muestra la contracción volumétrica para cada área, expresada como un porcentaje del volumen moldeado original. La contracción volumétrica en la expulsión es la disminución de volumen local desde el final de la fase de refrigeración hasta el momento en que la pieza se ha enfriado a la temperatura ambiente de referencia (el valor predeterminado es 25 °C/77 °F). La fase de compactación incluye tanto el tiempo de compactación como el de refrigeración (mantenimiento). Para obtener una interpretación inequívoca del resultado Contracción volumétrica en la expulsión, desactive la opción de visualización Media nodal. Haga clic con el botón secundario del ratón en el nombre del resultado y seleccione Propiedades, después seleccione la ficha Configuración opcional y desactive Media nodal.

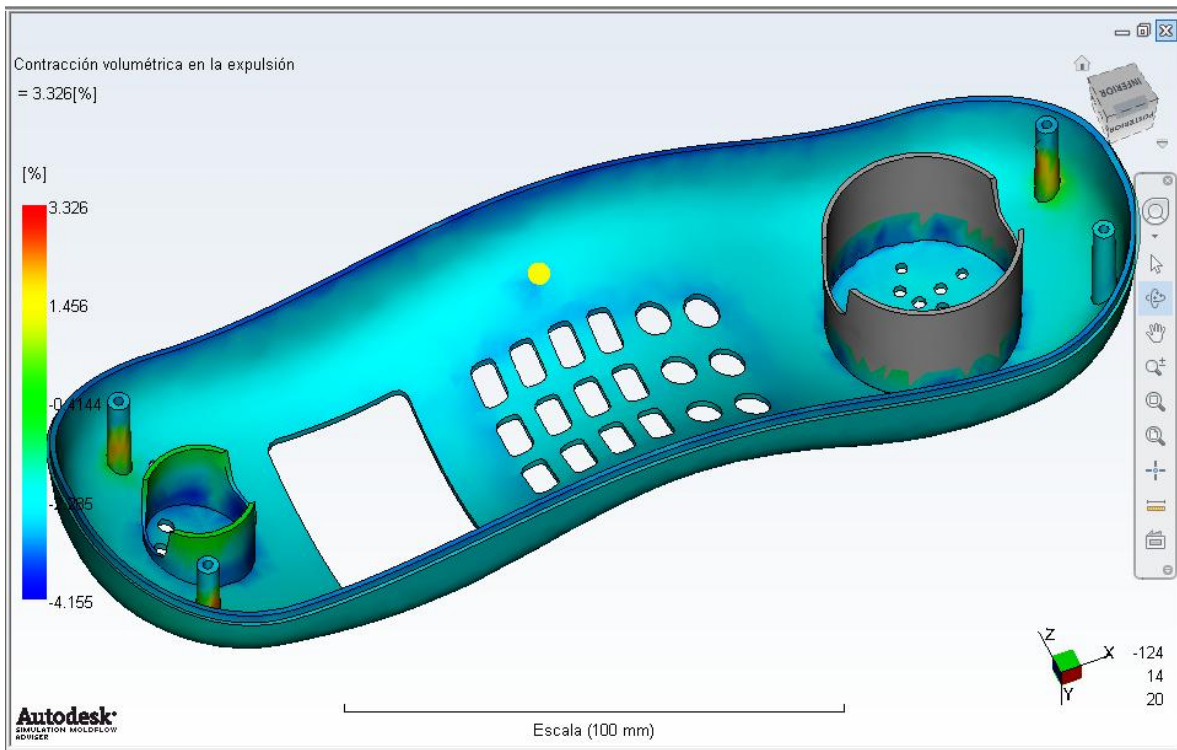


Fig. 73. Contracción Volumétrica

Este resultado se puede utilizar para detectar rechupes en el modelo. Unos valores de contracción elevados podrían indicar rechupes o vacíos dentro de la pieza. La contracción volumétrica debe ser uniforme a lo largo de toda la pieza para reducir la deformación. Para materiales termoplásticos, la contracción volumétrica debe ser menor que el valor máximo observado para el material. Puede buscar información sobre contracción del material en la base de datos de materiales termoplásticos. Haga clic con el botón secundario sobre el material en el panel Tareas del estudio y seleccione Detalles. Se abre el diálogo Material termoplástico. Seleccione la ficha Propiedades de contracción. Los valores de contracción máxima observados están en la sección Contracción observada.

La contracción volumétrica se puede controlar mediante el uso de perfiles de compactación.

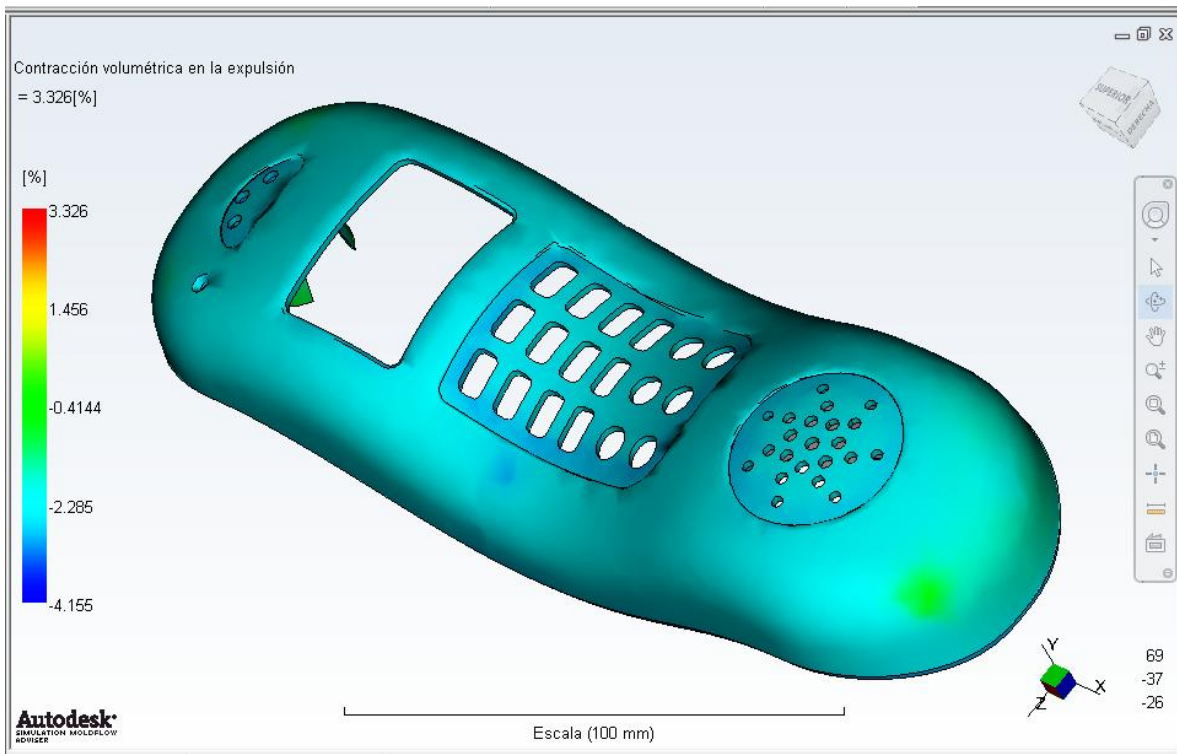


Fig. 74. Contracción Volumétrica



## Cosas que buscar

Al ver el resultado Posición óptima de la entrada, debe observar varias cosas:

- Las áreas localizadas de contracción elevada pueden provocar vacíos internos o rechupes cuando la pieza se enfría.
- Los valores de contracción deben ser uniformes por toda la pieza. Esto es importante para una correcta compactación del material, ya que garantiza una integridad estructural y visual correcta de la pieza. Use un perfil de compactación para lograr una contracción más uniforme.
- Los valores volumétricos negativos indican expansión en lugar de contracción. Evite una contracción negativa en nervios, ya que esto podría provocar problemas de expulsión.
- Compruebe que los valores están dentro del intervalo esperado para el material y tenga en cuenta los siguientes factores:
  - Los materiales que se contraen de forma isotrópica tienen una contracción lineal que es aproximadamente un tercio de la contracción volumétrica.

Para materiales moldeados, las contracciones lineales en el espesor, el flujo y las direcciones transversales dependen de los efectos de relajación y orientación.

- Para geometrías de tipo recubrimiento, la contracción en la dirección del espesor debe ser mayor que la contracción en el plano de la pieza. La contracción en la dirección del espesor es probablemente mayor que un tercio de la contracción volumétrica y la contracción en plano debe ser menor que un tercio de la contracción volumétrica. Muchas características del molde actúan como restricciones en la contracción en plano. Cuando se utiliza material cargado con fibra, la orientación de las fibras en el plano de la pieza limitará la contracción en esta dirección. La contracción en la dirección del espesor está relativamente poco restringida

## ESTIMACIÓN DE RECHUPES Y RECHUPES SOMBREADOS

Los resultados Estimación de rechupes y Rechupes sombreados muestran rechupes simulados en la pieza. Son dos interpretaciones visuales distintas del mismo resultado. El resultado Estimación de rechupes muestra las profundidades calculadas de rechupes en la pieza y proporciona una leyenda para interpretar las diferencias de profundidad. El resultado Rechupes sombreados muestra los rechupes en el modelo para representar el aspecto que tendrá la pieza, tal como se indica en el siguiente diagrama.

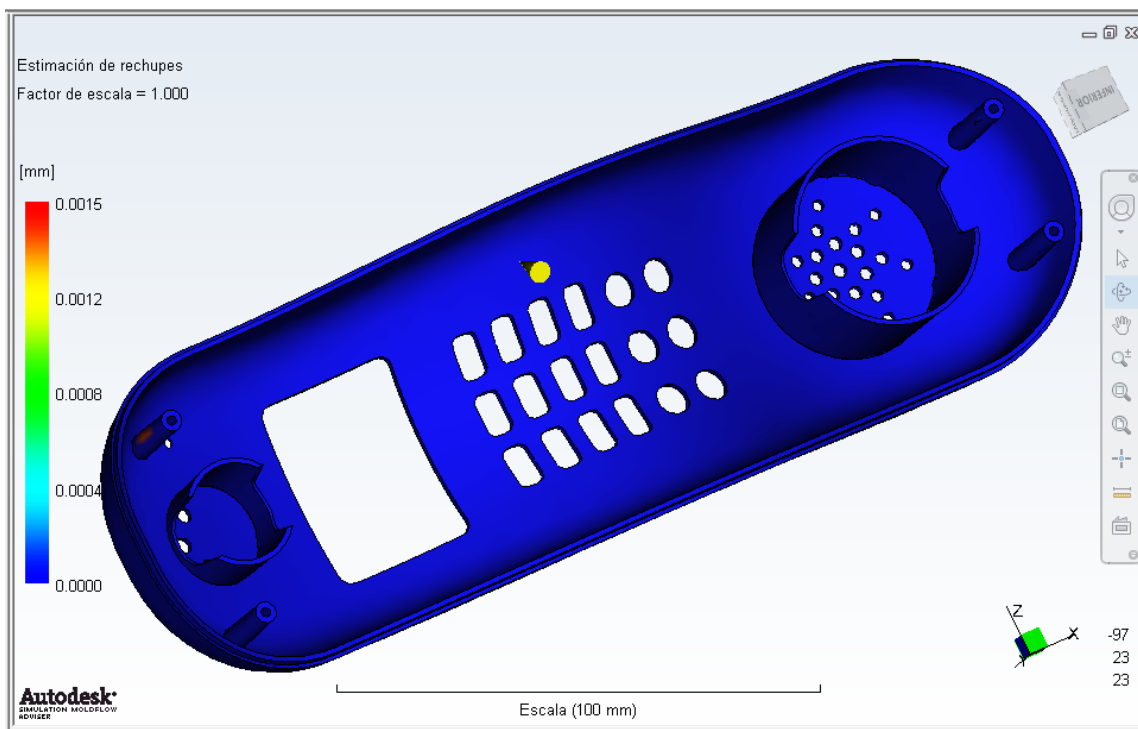
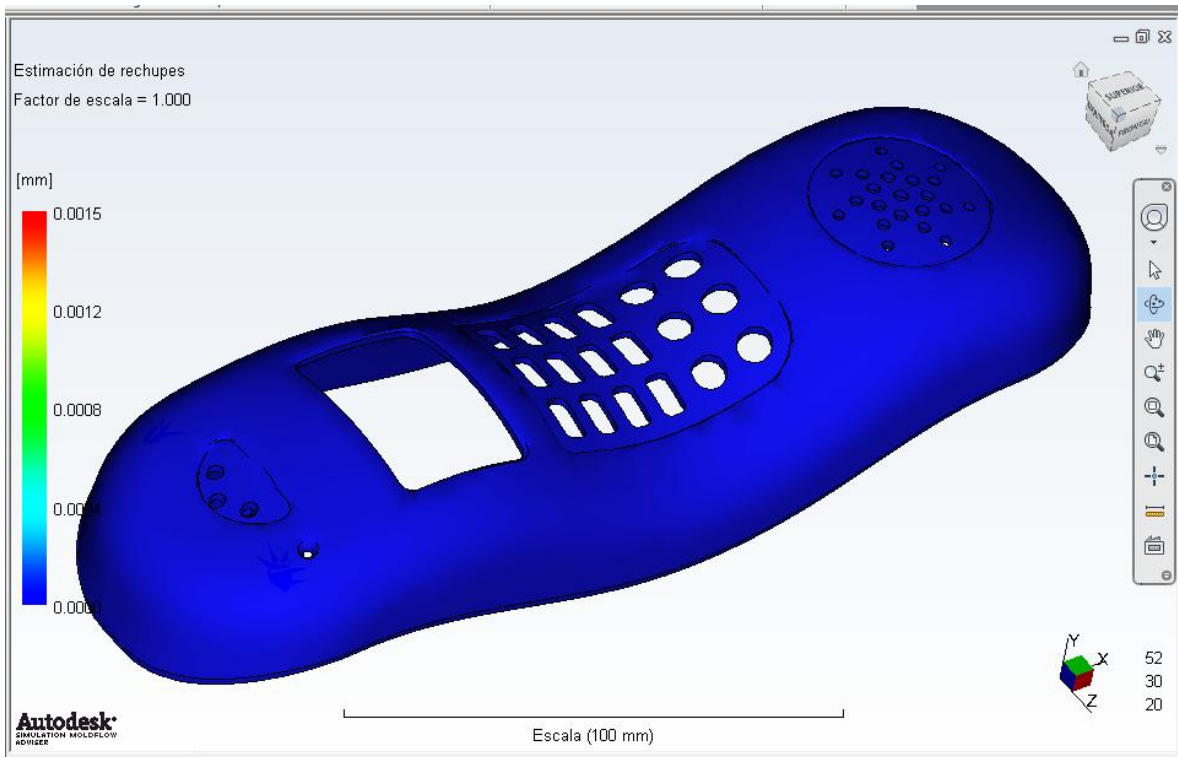


Fig. 74. Resultado de Rechupes

Estos resultados de rechupes indican la presencia y la ubicación de rechupes y vacíos que podrían deberse a características de la cara opuesta de la superficie. Los rechupes suelen aparecer en moldeados con secciones más gruesas o en ubicaciones con nervios opuestos, refuerzos o redondeos internos. Estos resultados no indican los rechupes provocados por regiones localmente gruesas. Aunque el resultado no puede predecir si se ha producido un rechupe o un vacío, los rechupes son la opción más probable.



*Fig. 75. Resultado de Rechupes*

Dado que los rechupes son un defecto visual, no estructural, el resultado debe evaluarse teniendo en cuenta las especificaciones de diseño visual de la pieza. Los colores más claros y las superficies texturizadas hacen que los rechupes sean menos visibles.

En general, si el espesor del nervio es menor o igual al 60% de la sección de la pared principal, no es probable que se produzcan rechupes significativos.

Si no es posible quitar o reducir un rechupe, puede disimularlo. Esto se puede hacer agregando una característica de diseño, como una serie de estriaciones en el área en que se produce.

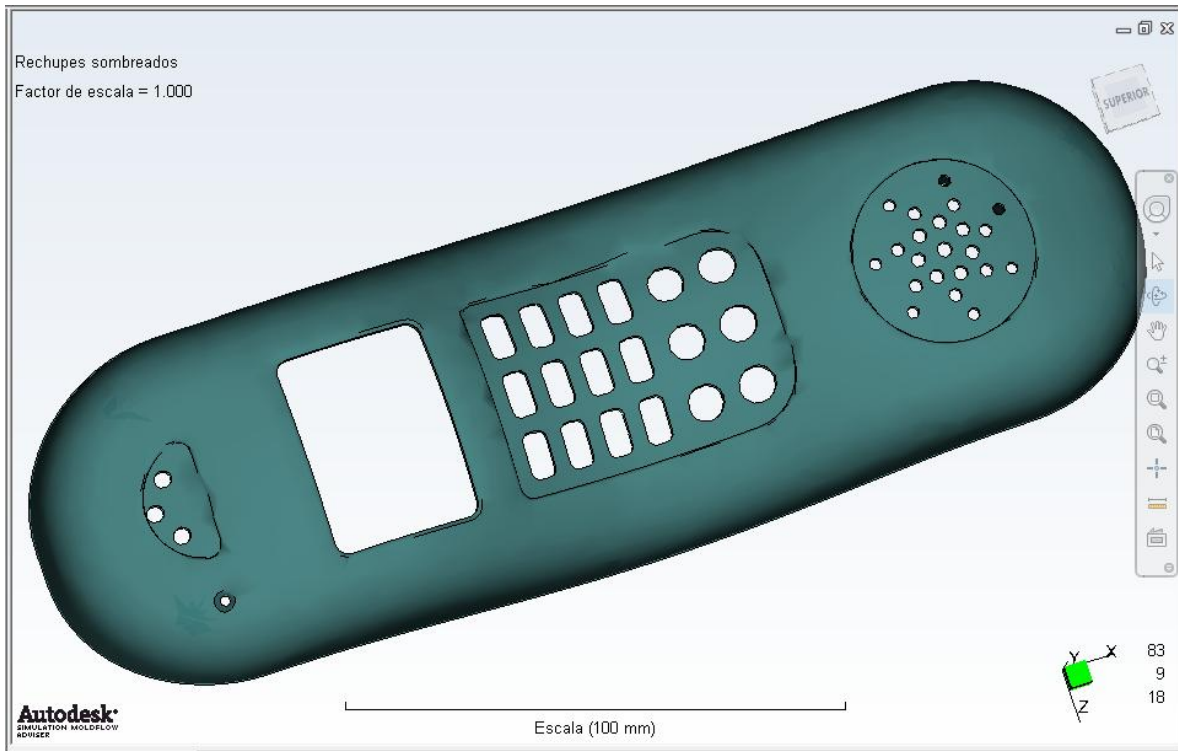


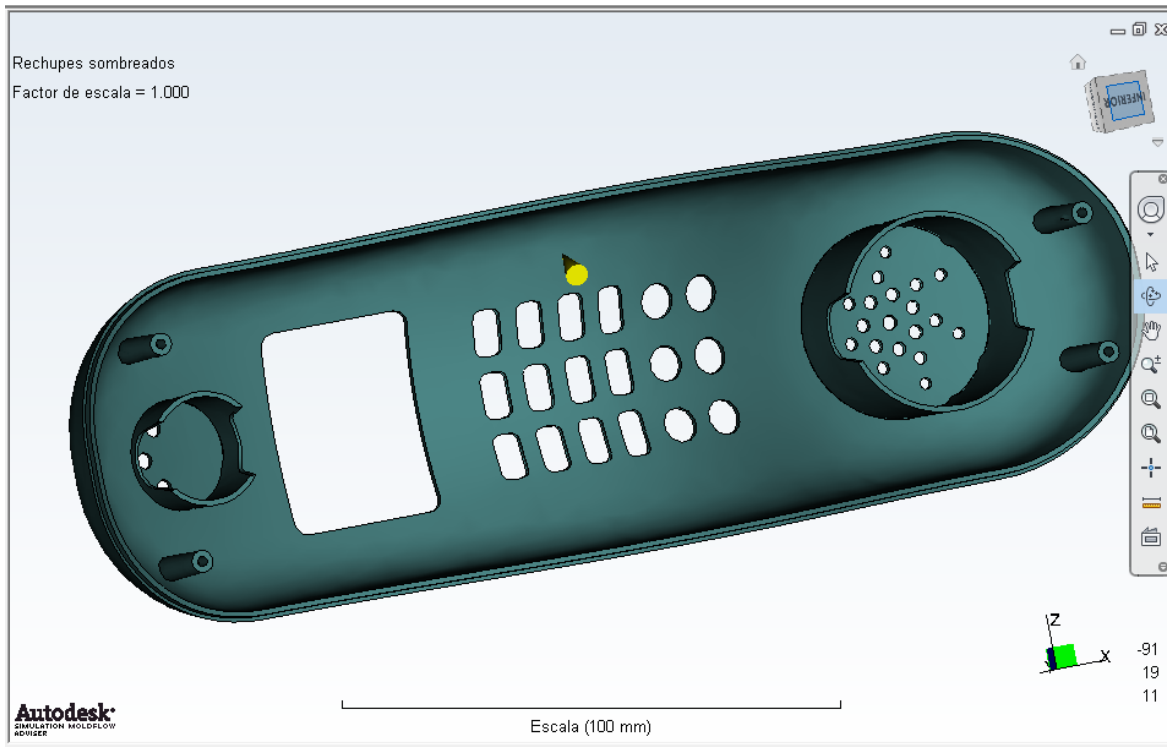
Fig. 76. Resultado de Rechupes

### Cosas que buscar

Las siguientes opciones pueden reducir la incidencia de rechupes:

1. Modifique el diseño de la pieza para evitar secciones gruesas y reduzca el espesor de las entidades que se crucen con la superficie principal.
2. Reubique la entrada en las áreas problemáticas (o cerca de ellas). Esto permite compactar estas secciones antes de que se solidifiquen las secciones más finas entre la entrada y las áreas problemáticas.
3. Aumente el tamaño de las entradas y los canales para retrasar el tiempo de solidificación de la entrada. Esto permite compactar más material en la cavidad.
4. Puede ser suficiente reducir la temperatura de la masa fundida y la temperatura del molde. Como alternativa, se puede usar una masa fundida menos viscosa.

Dado que los rechupes se producen durante la compactación, la manera más eficaz de reducirlos o eliminarlos es controlar la presión de compactación correctamente. Para determinar los efectos de la compactación en los rechupes, use un programa de simulación más completo, como Autodesk Simulation Moldflow Insight



*Fig. 77. Resultado de Rechupes*

## VARIANZA DE TEMPERATURA

El resultado Varianza de temperatura resalta áreas en las que la geometría y el sistema de refrigeración de la pieza harán que la temperatura superficial sea distinta de la temperatura media de la pieza, que se mide al final del ciclo.

El color rojo indica áreas que están más calientes que la media y el color azul indica áreas que están más frías que la media.

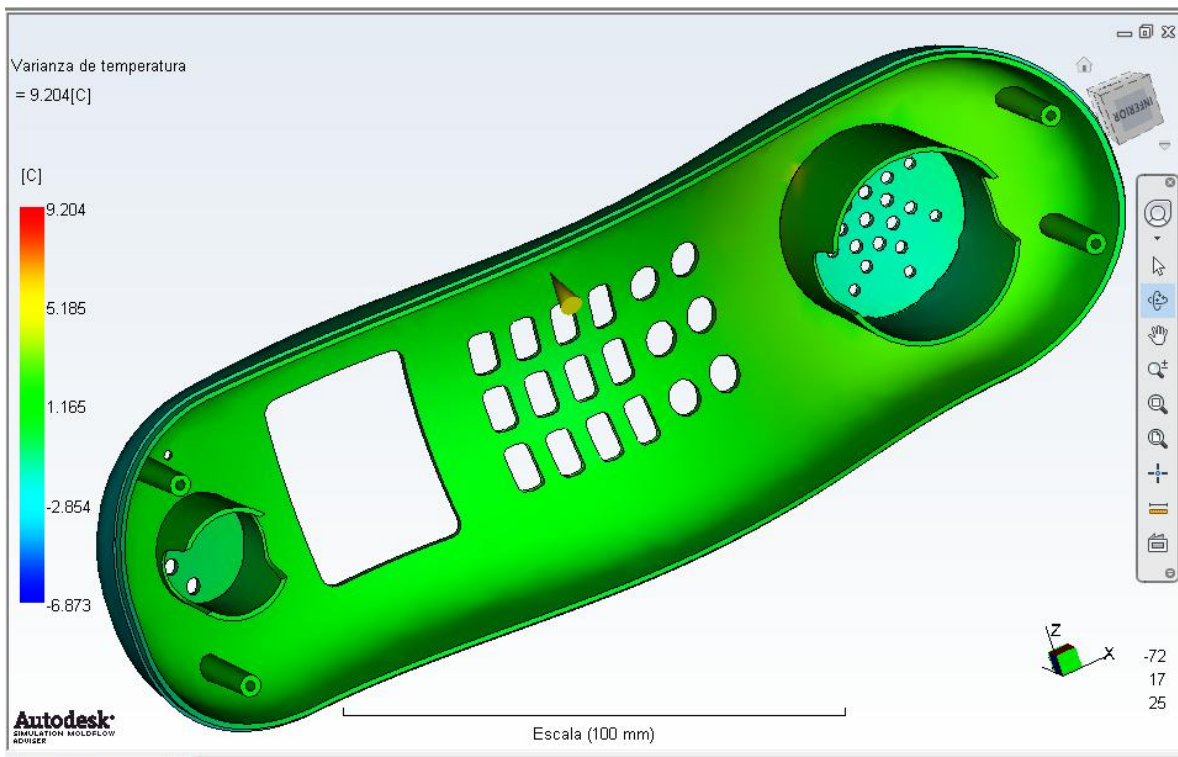


Fig. 78. Varianza de Temperatura

El resultado Varianza de temperatura muestra el efecto de la forma de la pieza en su temperatura superficial. Las secciones gruesas y atrapamientos de calor, como pequeñas áreas limitadas, también pueden tener un efecto en la manera en que el polímero se enfría y, por tanto, este resultado debe leerse junto con el resultado Varianza de tiempo de refrigeración.

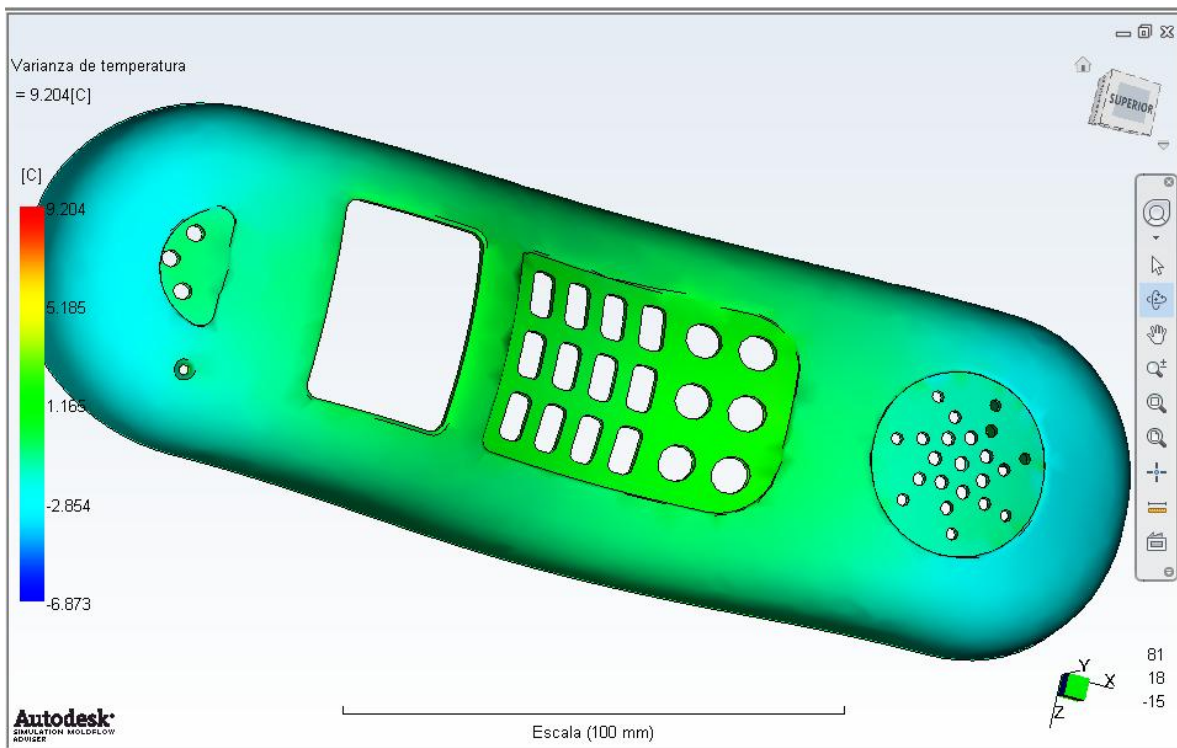


Fig. 79. Varianza de Temperatura

## Cosas que buscar

Las áreas de color rojo del resultado Calidad de refrigeración pueden deberse a grandes variaciones de temperatura superficial. En este caso, use el resultado Varianza de temperatura y las siguientes sugerencias para investigar la causa.

<b>Varianza de temperatura considerablemente negativa</b>	<b>Problemas posibles</b>
Aumente el espesor en el área para reducir la velocidad de refrigeración.	Puede causar un problema funcional del diseño y aumentar el tiempo que tarda en solidificarse.
Si el problema se debe a indecisión, elimine las causas de la indecisión.	Puede ocasionar un problema funcional del diseño.
Considere la posibilidad de utilizar un refrigerante más caliente en esta región.	
<b>Varianza de temperatura considerablemente positiva</b>	<b>Problemas posibles</b>
Reduzca el espesor de la pieza localmente.	Puede ocasionar un problema funcional del diseño.
Considere la posibilidad de añadir más canales de refrigeración o utilizar un refrigerante más frío en esta región.	

*Tabla 10. Problemas Comunes*



## VARIANZA DEL TIEMPO DE REFRIGERACIÓN

El resultado Varianza del tiempo de refrigeración muestra la diferencia entre el tiempo que el polímero tarda en solidificarse en cualquier región de la pieza y el tiempo medio de solidificación de toda la pieza.

El tiempo medio de solidificación se calcula en función de la superficie y los canales de refrigeración existentes.

Las áreas que se representan gráficamente como valores positivos (color rojo) tardan más en solidificarse que el tiempo medio de solidificación. Las áreas que se representan gráficamente como valores negativos (color azul) tardan menos en solidificarse que el tiempo medio de solidificación. El valor cero en este resultado indica el tiempo medio de solidificación.

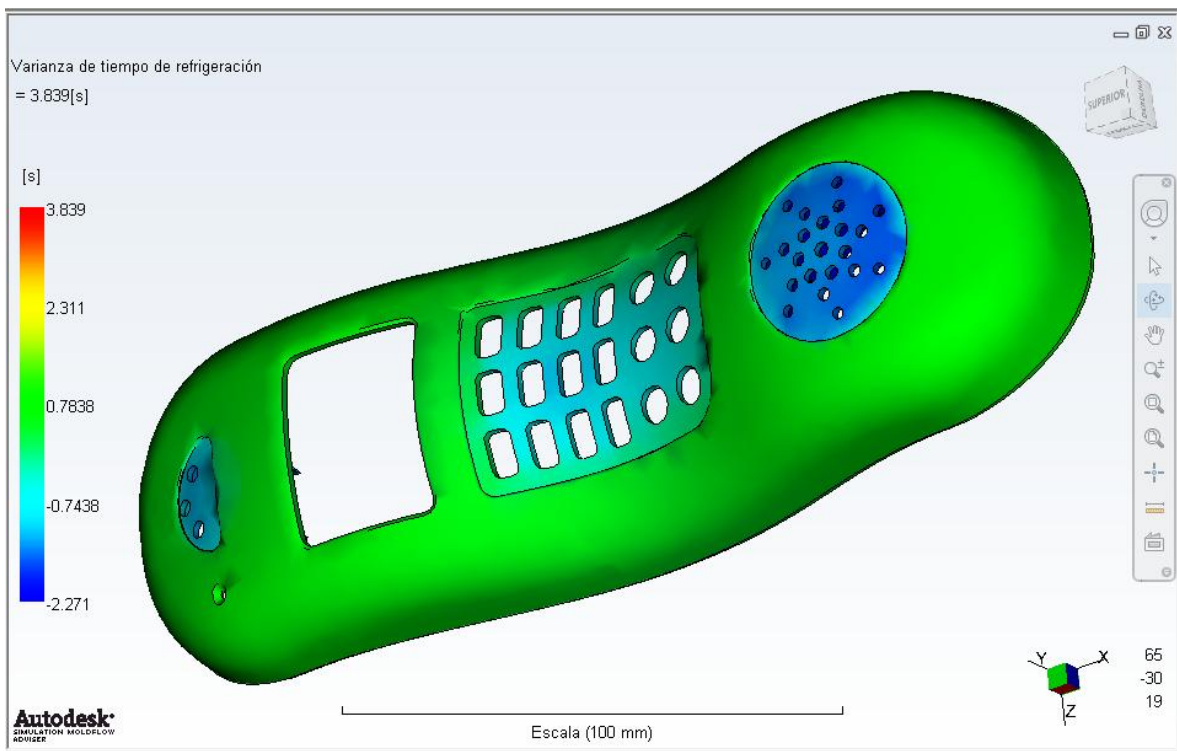


Fig. 80. Varianza en la refrigeración

Las áreas de color rojo indican temperaturas más altas que la temperatura media de la pieza y esto es una señal de que el área requiere más refrigeración.

Si se analizan conjuntamente, los resultados Varianza de la temperatura y Varianza del tiempo de refrigeración indican zonas de la pieza que podrían requerir un rediseño (como cambiar el espesor de una pared), una extensión o modificación del sistema de refrigeración existente, o alejar la refrigeración de las áreas de refrigeración rápida.

Las estimaciones del tiempo del ciclo se basan en el 90% del espesor de la pieza que se está solidificando, que es el umbral normal de expulsión de la pieza. El resultado Varianza del tiempo de refrigeración se basa en el tiempo requerido para que cada parte del modelo se solidifique completamente. Este resultado permite decidir si se debe ampliar el tiempo del ciclo estimado de forma que las áreas críticas de la pieza se solidifiquen completamente antes de la expulsión.

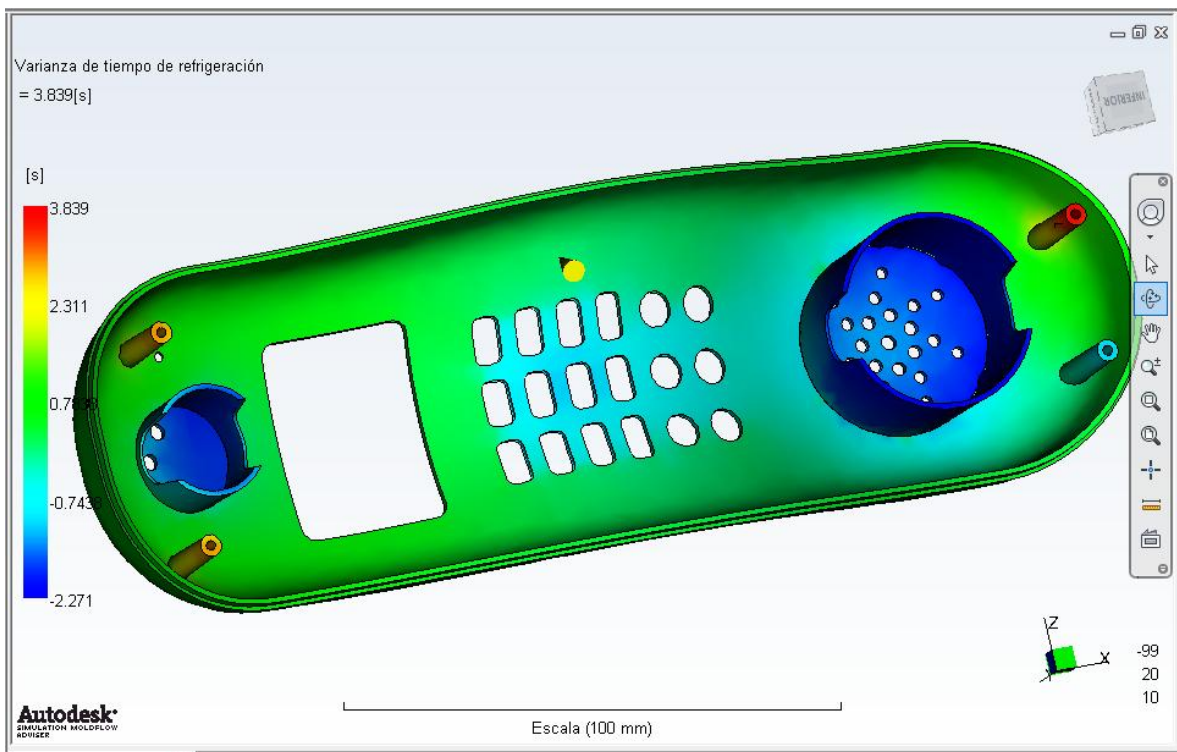


Fig. 81. Varianza en la refrigeración

## Cosas que buscar

Hay varias opciones de diseño de la pieza que permiten mejorar la uniformidad del tiempo de solidificación de la pieza. Normalmente, las alteraciones tienen efectos secundarios, así que al realizar un cambio, compruebe si éste ha causado otros problemas.

<b>Varianza del tiempo de refrigeración considerablemente baja</b>	<b>Problemas posibles</b>
Aumente el espesor en el área para aumentar el tiempo de solidificación.	Puede provocar un problema funcional de la pieza.
Aumente la temperatura de masa fundida.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede aumentar el tiempo del ciclo.</li> <li>• Puede provocar la degradación del material. Mantenga la temperatura dentro de los límites de temperatura especificados para el material en la base de datos.</li> </ul>
<b>Varianza del tiempo de refrigeración considerablemente alta</b>	<b>Problemas posibles</b>
Reduzca el espesor en el área para reducir el tiempo de solidificación.	Puede provocar problemas funcionales en el diseño o reducir la resistencia estructural.

*Tabla 11. Problemas Comunes*

## CALIDAD DE REFRIGERACIÓN

El resultado Calidad de refrigeración muestra dónde tiende a permanecer el calor en una pieza a causa de su forma, espesor y los efectos de circuitos de refrigeración existentes. Este resultado se deriva de los resultados de refrigeración y varianza de la temperatura. El resultado Calidad de refrigeración describe gráficamente una pieza con áreas de color verde, amarillo y rojo. Las áreas de color verde indican un nivel alto de refrigeración, las áreas de color amarillo indican un nivel de refrigeración medio y las áreas de color rojo indican un nivel de refrigeración bajo. Este resultado es una combinación del resultado Varianza de la temperatura (análisis de refrigeración), que depende principalmente de la forma, y el resultado Varianza del tiempo de refrigeración (análisis de refrigeración), que depende principalmente del espesor. El siguiente gráfico de resultado muestra que se puede refrigerar la mayor parte de la pieza de forma efectiva, pero que puede haber problemas con la parte fina central y con los nervios finos.

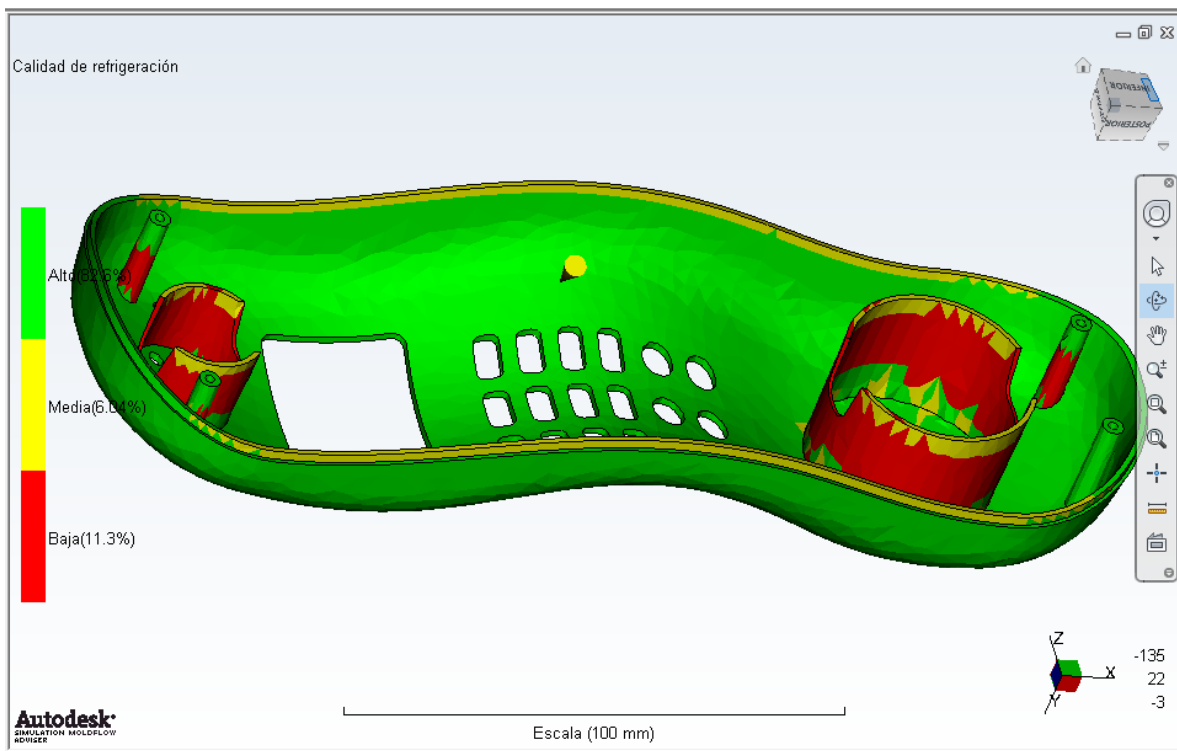


Fig. 82. Calidad de refrigeración

## Cosas que buscar

Si la calidad de la refrigeración es baja en un área fina de la pieza a causa de que el resultado Varianza de la temperatura o Varianza del tiempo de refrigeración es considerablemente más bajo que la media, puede producirse indecisión o una inyectada corta, y el resultado mostrará un área de color rojo. Pueden ser necesarias paredes más gruesas o una temperatura de masa fundida más alta. Por la misma razón, la calidad de refrigeración puede ser baja en un área donde las líneas de soldadura se aprecien visualmente y la pieza sea más débil desde el punto de vista estructural. En áreas en las que la calidad de refrigeración es baja porque la varianza de la temperatura o la varianza del tiempo de refrigeración son considerablemente más altas de lo normal, pueden producirse defectos superficiales o deformaciones, a menos que se amplíe o mejore el sistema de refrigeración. Asegúrese de que la temperatura en el frente de flujo está siempre dentro del intervalo de temperaturas recomendado para el polímero que está usando.

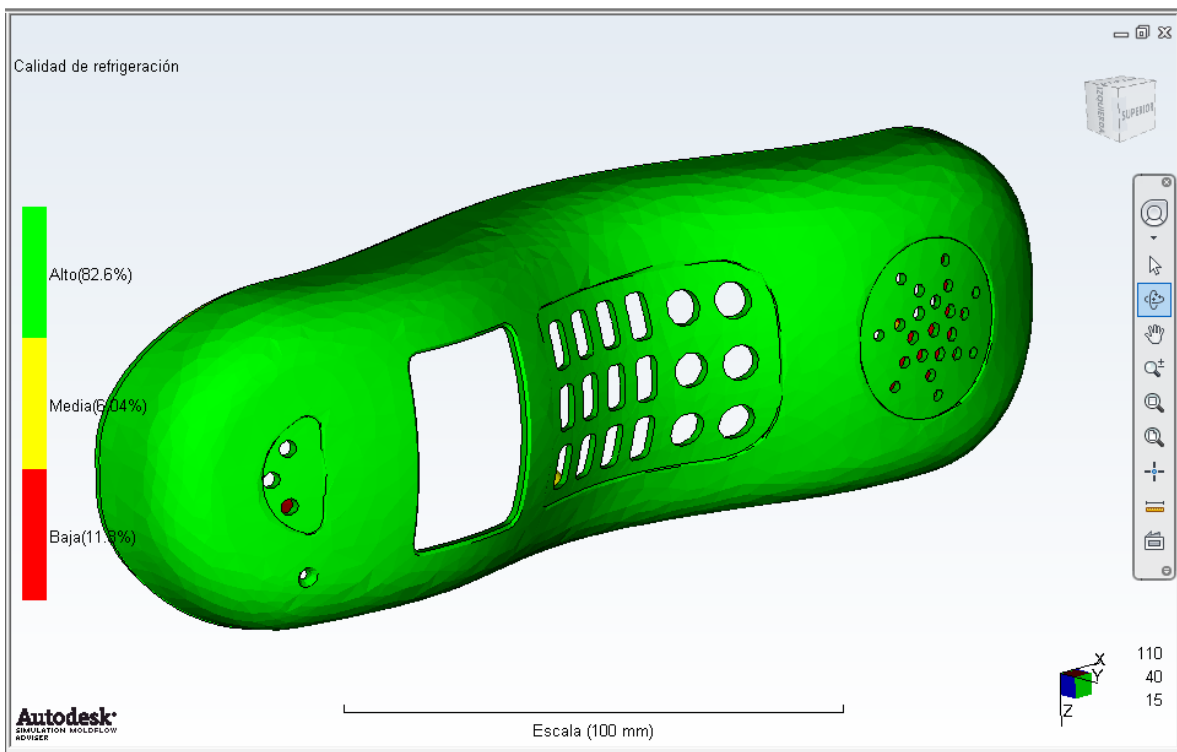


Fig. 83. Calidad de refrigeración

Los resultados de calidad de refrigeración de color amarillo o rojo pueden estar causados por los siguientes factores:

- Resultados Varianza del tiempo de refrigeración considerablemente más cortos o largos que el tiempo medio de solidificación
- Valores del resultado Varianza de temperatura demasiado bajos o demasiado altos

Si una pieza tiene un resultado Calidad de refrigeración de color amarillo o rojo, examine los resultados Varianza del tiempo de refrigeración y Varianza de la temperatura, para investigar la causa.

## INDICADOR DE DEFORMACIÓN

El resultado Indicador de deformación, todos los efectos resalta las áreas de la pieza en las que las deflexiones fuera del plano se acercan o superan al valor especificado de deflexión máxima nominal (NMD).

Este resultado se basa en una técnica de "ajuste perfecto", en la que la geometría original y la geometría deformada se superponen de manera que se ajusten perfectamente, o se alineen en un plano de anclaje definido.

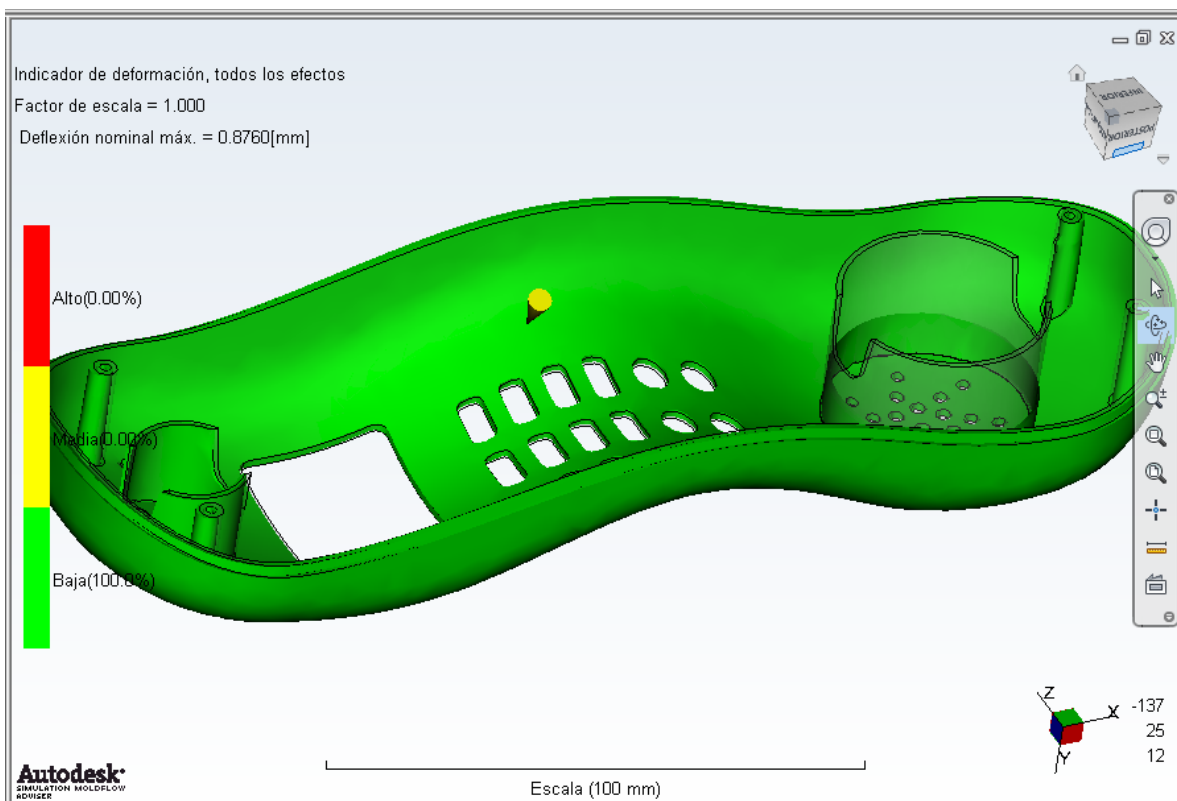


Fig. 84. Cantidad de deformación

Los colores mostrados en este gráfico se basan en los siguientes criterios de valoración.

<b>Color (valoración)</b>	<b>Explicación</b>
Verde (baja)	Las deflexiones fuera del plano son inferiores al 80% del NMD especificado. La deformación en esta área es baja.
Amarillo (media)	Las deflexiones fuera del plano están entre el 80% y el 120% del NMD especificado. La deformación en esta área es significativa y debe tomar medidas para reducirla.
Rojo (alta)	Las deflexiones fuera del plano son superiores al 120% del NMD especificado. La deformación en esta área es alta, por lo que es muy recomendable tomar medidas correctoras.

*Tabla 12. Problemas Comunes*



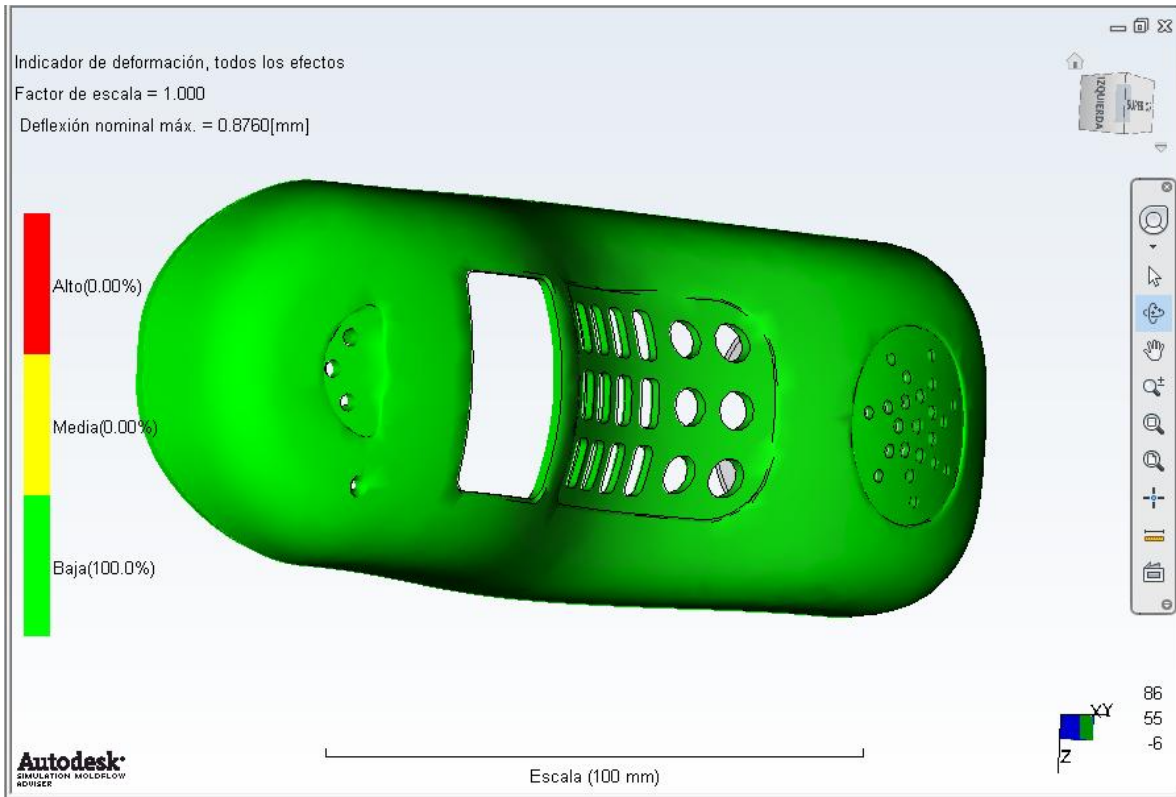


Fig. 85. Cantidad de deformación

### Cosas que buscar

La deformación total de la pieza está causada por uno o varios de los tres factores siguientes:

- Contracción diferencial causada por la variación de la contracción de una región a otra.
- Refrigeración diferencial causada por las diferencias de temperatura de un lado del molde al otro.
- Efectos de orientación causados por las variaciones de la magnitud de contracción en las direcciones paralela y perpendicular a la dirección de orientación del material.

Si hay áreas de la pieza con una deformidad excesivamente alta, analice los tres gráficos del indicador de deformación correspondientes a los factores anteriores para identificar la causa

de la deformación.

En el caso de las piezas 3D, para obtener los resultados de Contracción diferencial, Refrigeración diferencial y Efectos de orientación debe deshabilitar la agregación antes de realizar el análisis de deformación.

## CONCLUSIONES

La industria del plástico es una industria que ha tenido un desarrollo muy acelerado en nuestro país los últimos años, es una industria con constantes cambios en donde la innovación es una constante, todo derivado de la cantidad de usos que tienen hoy en día los plásticos, están presentes en nuestra vida cotidiana y muchos de ellos tienen usos muy importantes como por ejemplo en nuestros vehículos, todo esto nos conduce sin duda a querer tener los mejores plásticos al menor precio, por tal motivo los conocimientos en esta industria brindan a los ingenieros la oportunidad de desarrollar múltiples innovaciones.

A lo largo de este trabajo hemos conocido una pequeña parte de todos los factores que influyen en la producción de una pieza plástica, y por supuesto toda pieza plástica debe comenzar con el diseño, y como parte del diseño nosotros proponemos en nuestra tesina la inclusión de la simulación de la inyección apoyándonos de las herramientas tecnológicas como lo son los diferentes software de simulación y diseño y el uso de aditivos de ingeniería que están disponibles en el mercado todo esto lo tenemos a nuestro alcance son tópicos que aprendimos en el diplomado de procesamientos plásticos impartido por la UAQ.

Como ya se observo estas herramientas pueden ahorrarnos una cantidad de recursos impresionante, y lo más importante asegurar el éxito de nuestra pieza detectando problemas oportunamente, así pues esperamos plasmar en esta tesina una guía meramente ilustrativa de cómo usar estas herramientas, un panorama de lo aprendido en nuestro curso y un de las oportunidades que esta industria presenta

## BIBLIOGRAFIA

\*\* 1 *“Iniciación a la Química de los Plásticos” Gnauk y Fründt, Hanser editorial, Barcelona, 1989.*

*“Plastics Engineering”, 3<sup>rd</sup> ed., R. J. Crawford, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999*

*“PVC Plastics”, W. V. Titow, Elsevier Sci. Publishers, New York, 1990.*  
*“Handbook of Plasticizers”, G. Wypych, Ch. 5.*

*“Mechanism of Plasticizers Action”, A. Marcilla and M. Beltrán, ChemTec Publishing, New York, 2004.*

*“The Technology of Plasticizers”, J.K. Sears and J.R. Darby, John Wiley & Sons, New York, 1982.*

*“Introducción a la Química de los Polímeros”, Raimond B. Seymour & Charles E. Carraher, Editorial Reverté, SA, Barcelona 1995.*



Centro Universitario, Diciembre del 2013.

### A QUIEN CORRESPONDA:

Hago constar que el (os) pasante (s) de la Licenciatura de Ingeniería en Automatización **C. OLINSSER RICARDO ARANA BAUTISTA** aprobó (n) la **TESINA** del **DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE PROCESOS PLÁSTICOS** impartido por el Centro de Educación Continua para lo cual presenta (n) el trabajo titulado: **"ANÁLISIS DE UNA PIEZAS PLÁSTICA Y SU SIMULACIÓN EN MODFLOW"**.

Aprobada con fines de Titulación.

  
**DR. JUAN JOSÉ MÉNDEZ PALACIOS**  
ASESOR DE TESINA



Centro Universitario, Diciembre del 2013.

## A QUIEN CORRESPONDA:

Hago constar que el (os) pasante (s) de la Licenciatura de Ingeniería en Automatización **C. OLINSSER RICARDO ARANA BAUTISTA** aprobó (n) la **TESINA** del **DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE PROCESOS PLÁSTICOS** impartido por el Centro de Educación Continua para lo cual presenta (n) el trabajo titulado: **“ANÁLISIS DE UNA PIEZAS PLÁSTICA Y SU SIMULACIÓN EN MODFLOW”**.

**Aprobada con fines de Titulación.**

  
**DR. JUAN JOSE MÉNDEZ PALACIOS**  
**ASESOR DE TESINA**