

Estudio teórico y experimental de la influencia de los sistemas de distribución y evacuación en la formación de porosidad durante el llenado del molde en procesos de fundición por inyección a presión

DPI2006-07047

Investigador principal:

Félix Faura Mateu

Investigadores:

Joaquín López Rodríguez

Rosendo Zamora Pedreño

Juan José Hernández Ortega

Juan Eugenio Para Conesa



Universidad Politécnica de Cartagena. 2 de junio de 2009

DPI2006-07047

FINANCIACIÓN

Plan Nacional de I+D+I (2004-2007)

Entidad Financiadora: CICYT - FEDER

Costes Directos Totales: 115.555 €

Duración: 1/10/2006 - 30/9/2009

INSTITUCIONES PARTICIPANTES

UPCT

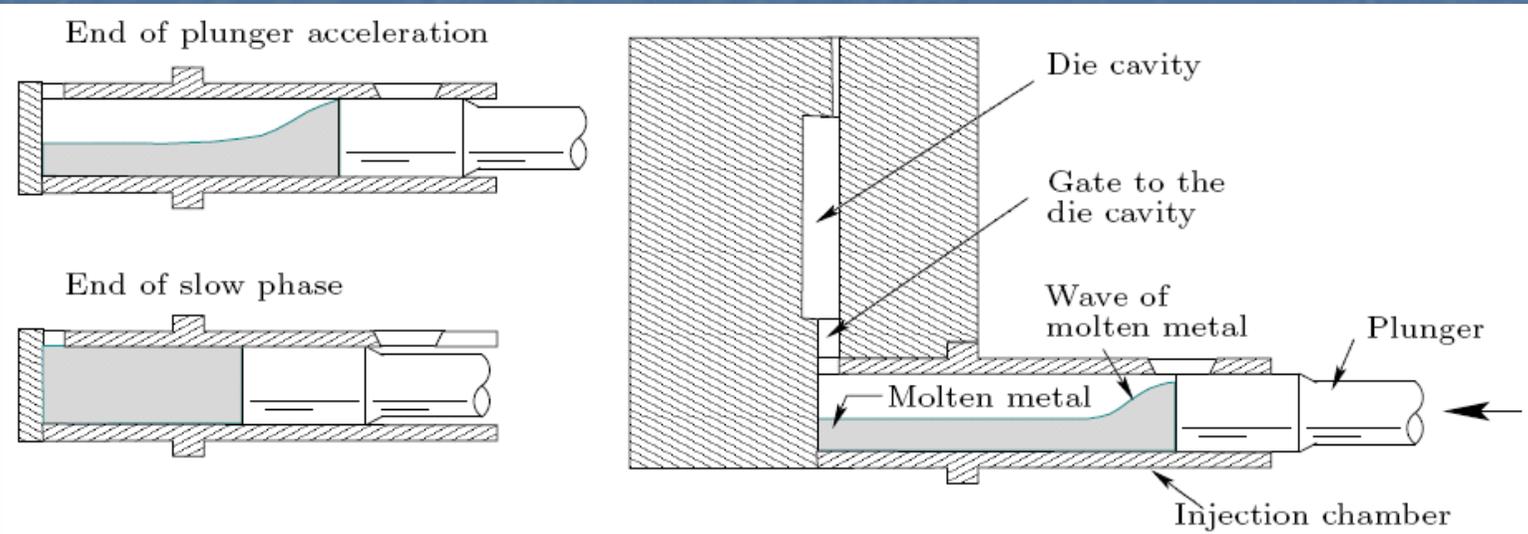
EPO'S

Navantia

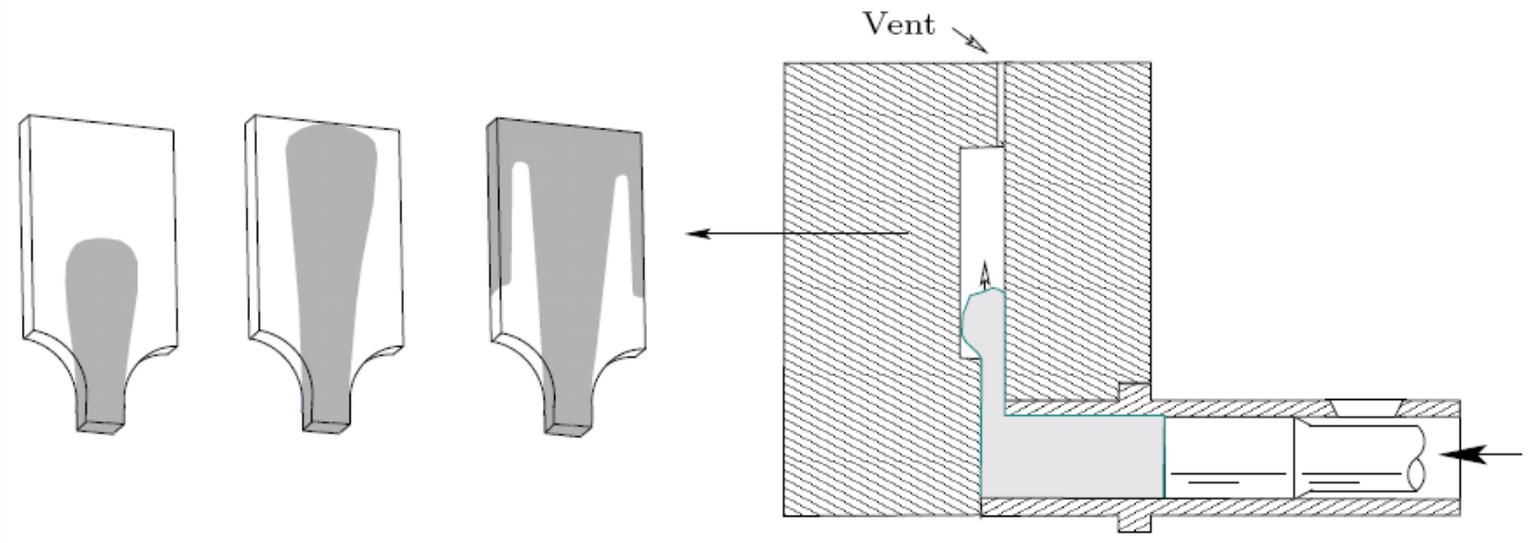
Pretransa

Proceso de inyección en una máquina de fundición a presión con cámara fría horizontal

Fase lenta



Fase rápida



Objetivo principal del proyecto

Conseguir una mejora sustancial del conocimiento de la fase rápida del proceso de inyección (llenado del molde) que reduzca la porosidad por ingestión de aire, especialmente relevante en estos procesos, y que por tanto mejoren la calidad de las piezas fabricadas.

Se pretende establecer:

- Condiciones óptimas de operación
- Criterios generales de diseño de los sistemas de distribución y evacuación

Metodología

Estudio teórico-experimental de la fase de llenado del molde.

El estudio teórico se ha realizado mediante:

- Código comercial (FLOW3D) y
- Técnicas numéricas propias:
 - ✓ modelo no estacionario de evacuación de aire
 - Hernández et al. 2001, *J. Fluids Eng.-T ASME*, 123, 884-892
 - ✓ métodos mejorados de tipo VOF
 - López et. Al, 2009, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 198, pp. 2555-2564
 - López J. et al., 2008, *J. Comput. Phys.*, 227, pp. 5939-5948
 - Hernández et al., 2008, *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, Vol 58 (8), pp. 897-921
 - López J. et al., *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, Vol 58 (8), pp. 923-944

Metodología

Estudio teórico-experimental de la fase de llenado del molde.

Estudio experimental:

- ✓ Experimentos de visualización del llenado del molde en un banco de ensayos
- ✓ Experimentos con metal fundido en una máquina de inyección instalada en el laboratorio de Fabricación de la UPCT

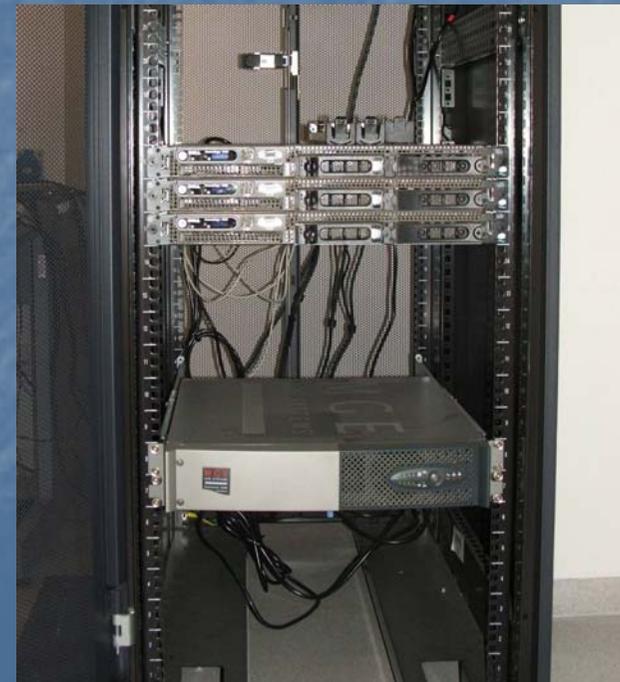
Medios empleados para el estudio teórico

Licencias de Flow3D basado en un método de tipo SIMPLE y un método de tipo VOF

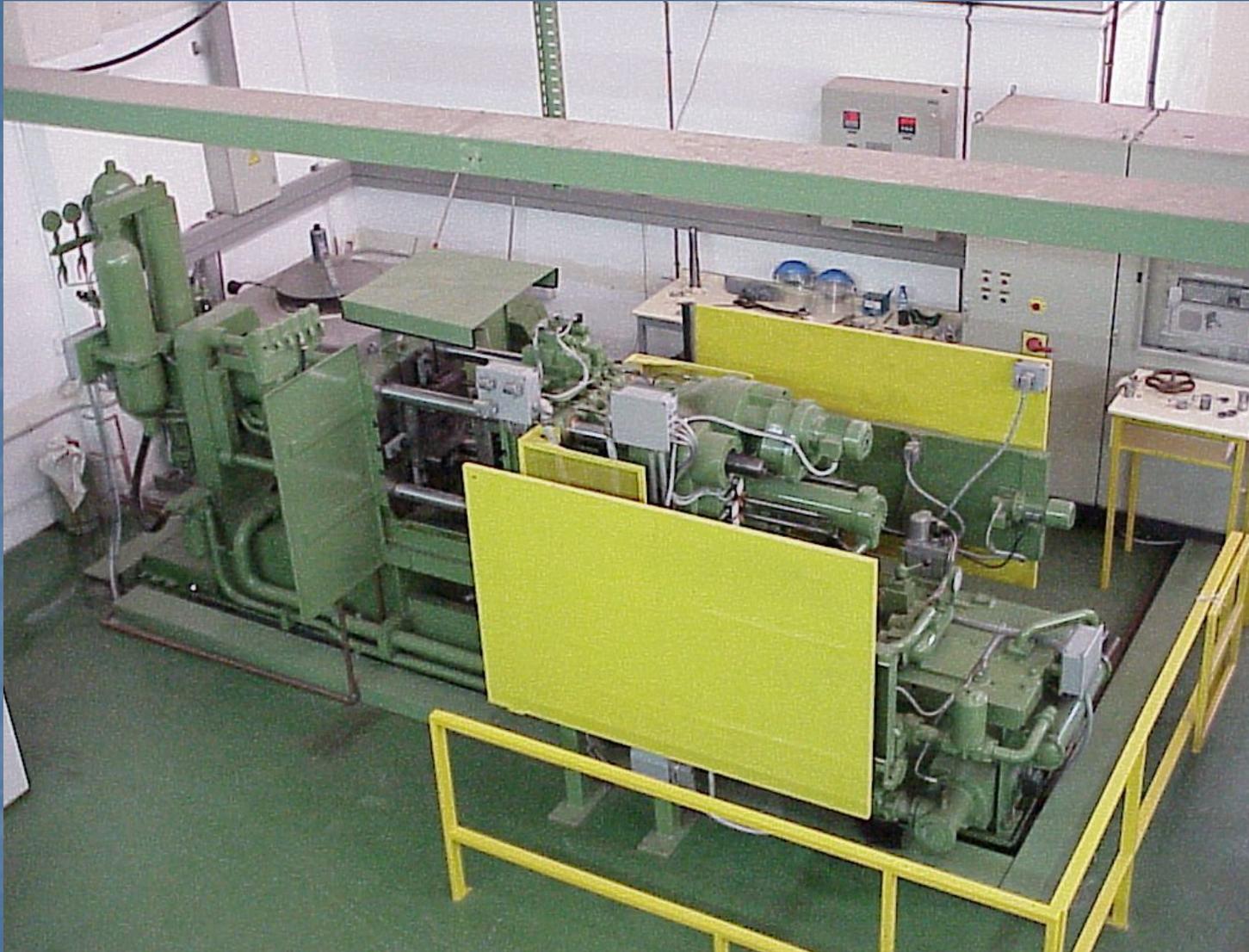


'Cluster' de cálculo en paralelo de 3 nodos

(2 x quad-core 3.0 GHz, 8 GB, 250 GB S-ATA)



Medios empleados para el estudio experimental



Máquina de inyección de 1.500 kN, adquirida en el año 2000
con cargo al proyecto 1FD97-2333

Medios empleados para el estudio experimental

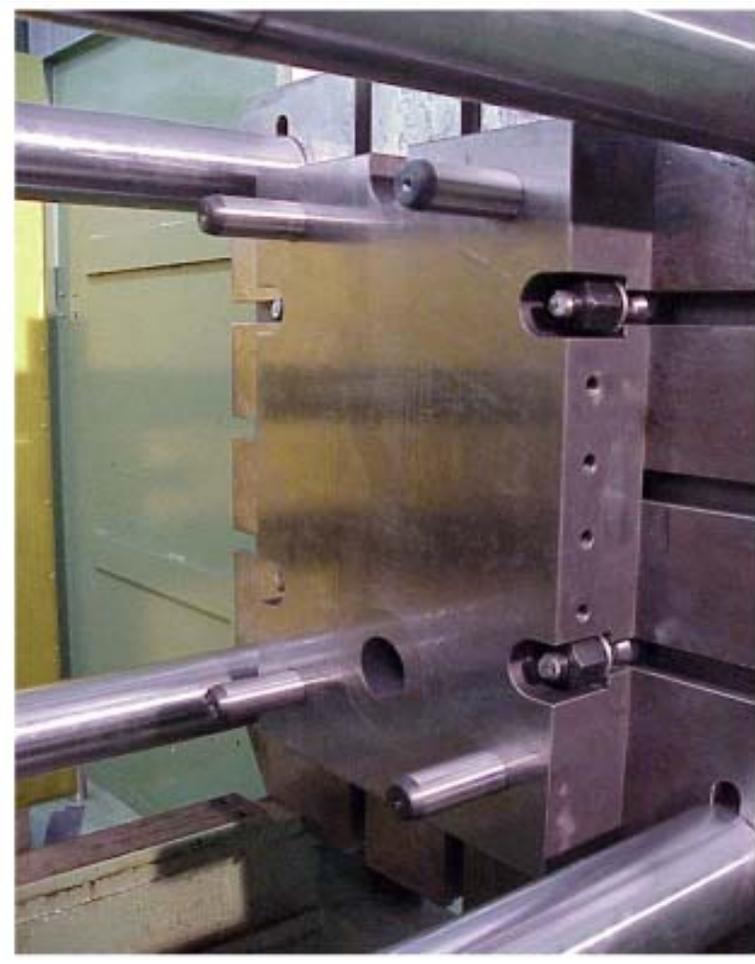


Máquina de fundición y horno de fusión

Medios empleados para el estudio experimental



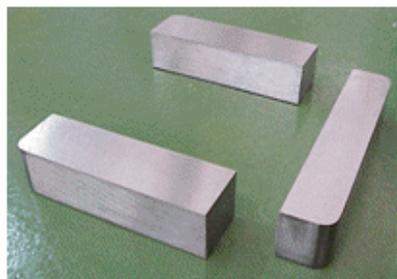
Parte móvil



Parte fija

Geometría del molde

Medios empleados para el estudio experimental

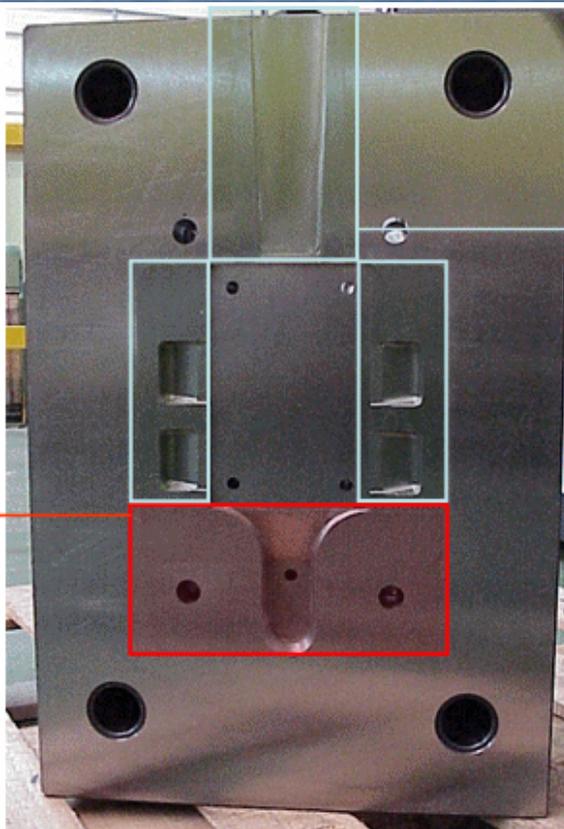


Ejemplo de insertos intercambiables



Sistema de distribución configurable

a)



b)

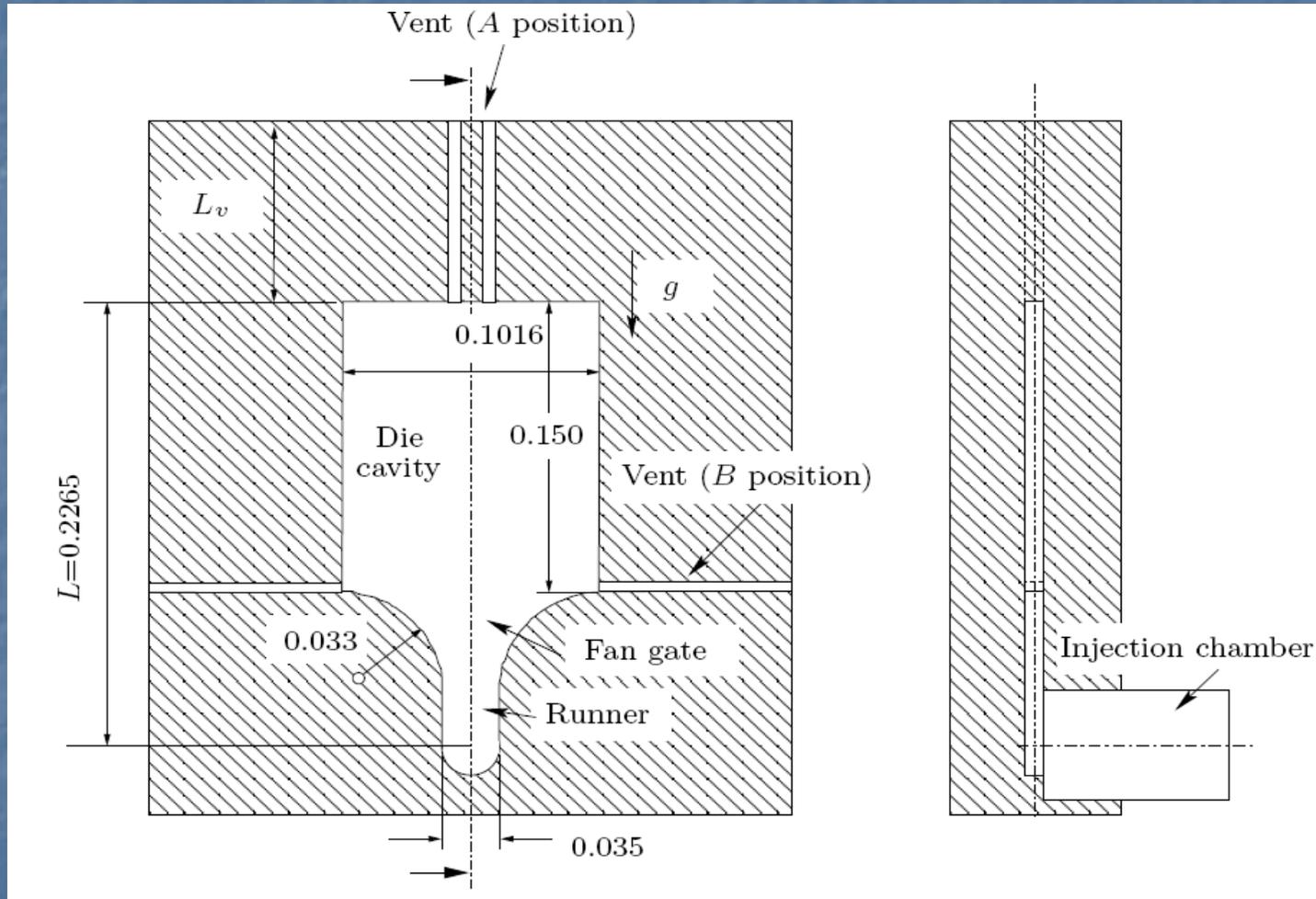


Diferentes vientos para la configuración del sistema de evacuación

c)

Geometría del molde

Medios empleados para el estudio experimental



Dimensiones generales del molde

Medios empleados para el estudio experimental

Cámaras de inyección
(\varnothing 45, 50, 55, 60, 65 y 70 mm)



Casquillo

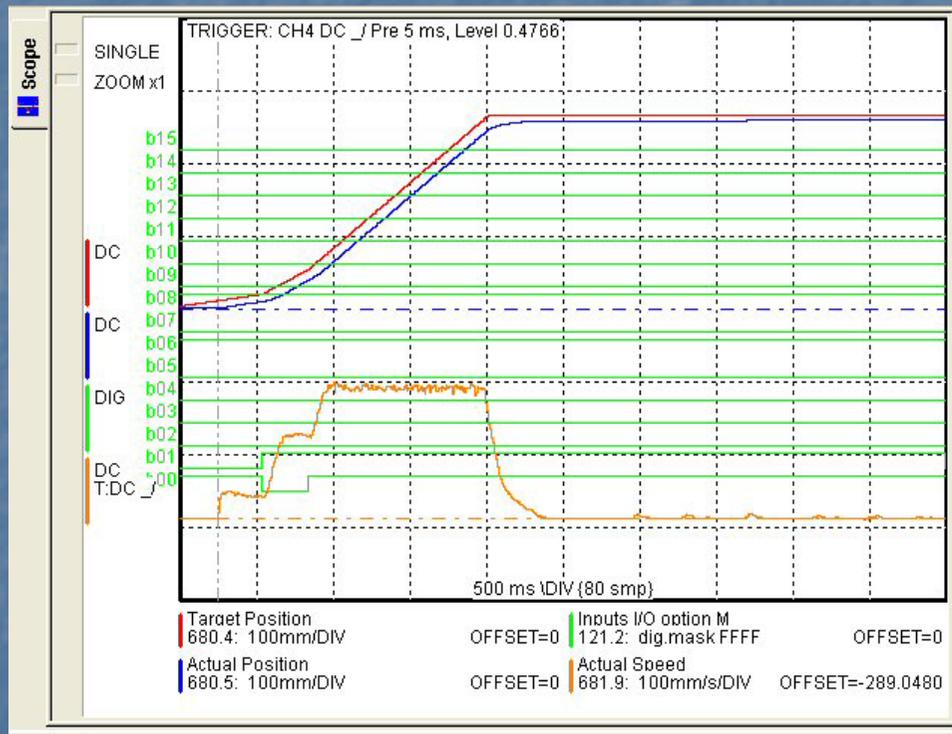
Contenedor

Pistón

Medios empleados para el estudio experimental

Nueva válvula y control de la inyección

Para llevar a cabo el estudio experimental, se han introducido mejoras en el sistema de inyección de la máquina.



Control de la
Válvula (cnc)



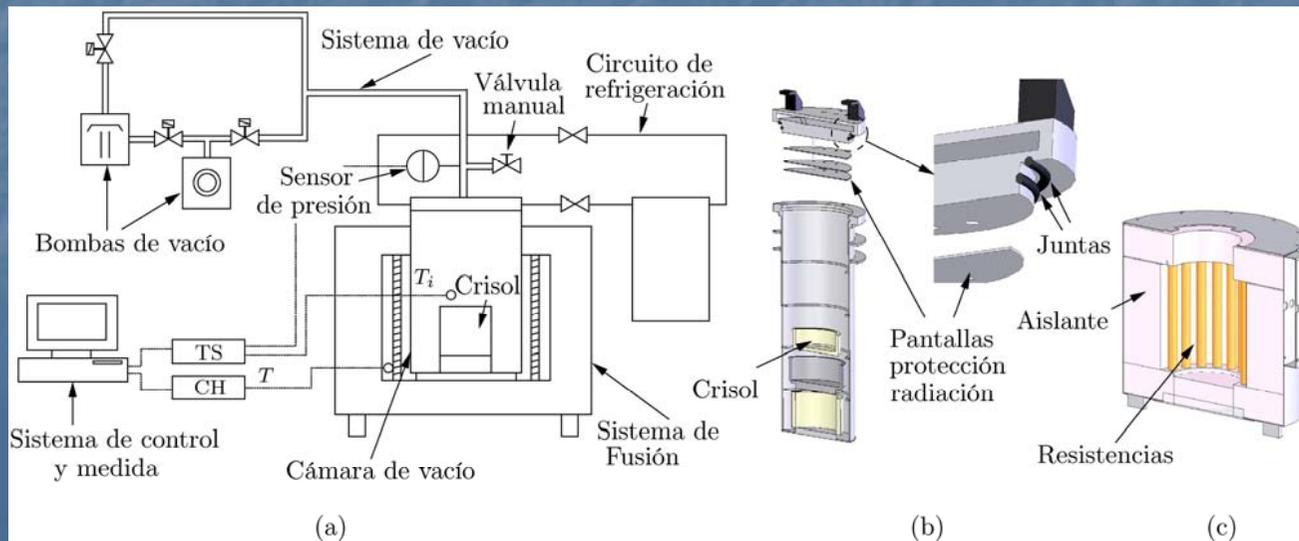
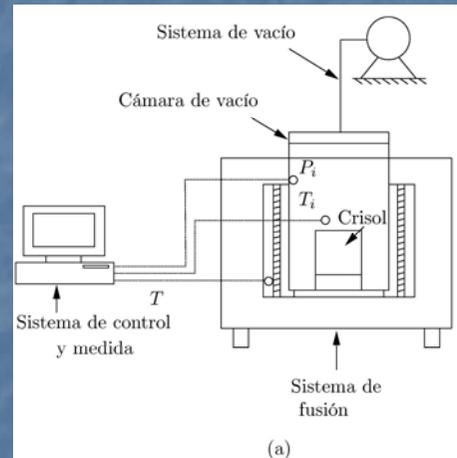
Válvula de
fase lenta

Medios empleados para el estudio experimental

Se ha rediseñado y calibrado el horno de fusión al vacío disponible por el grupo (diseñado y construido con cargo al proyecto DPI2001-1390-C02-01) para determinar con precisión las cantidades de gas atrapado en las piezas fabricadas.

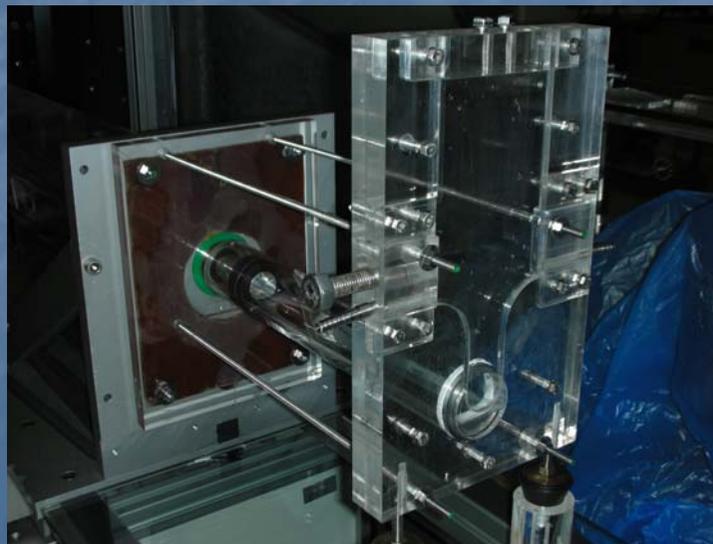
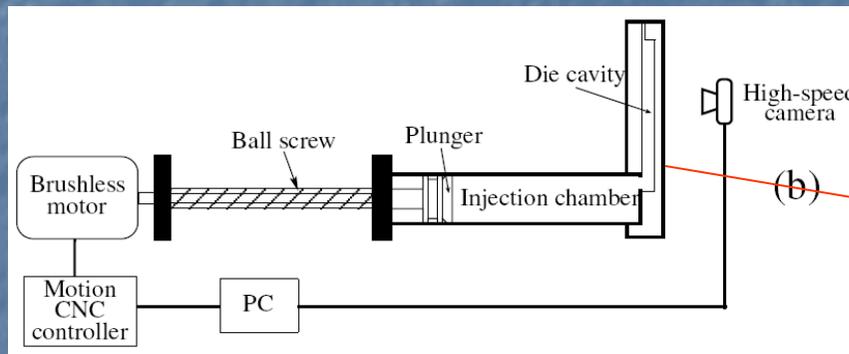
P. Vacío = 5×10^{-6} Torr

Resolución = $0,1 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

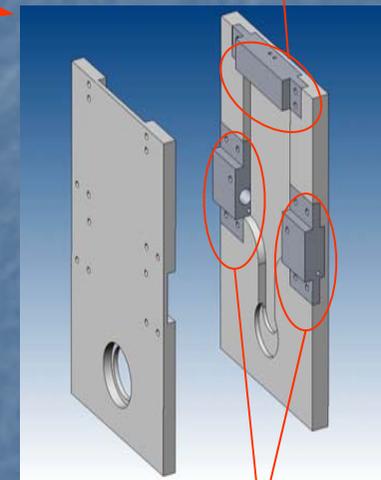


Medios empleados para el estudio experimental

Se ha fabricado un modelo transparente del molde disponible en la máquina de inyección para la visualización, mediante una cámara de alta velocidad, del flujo de agua durante el llenado de la cavidad.



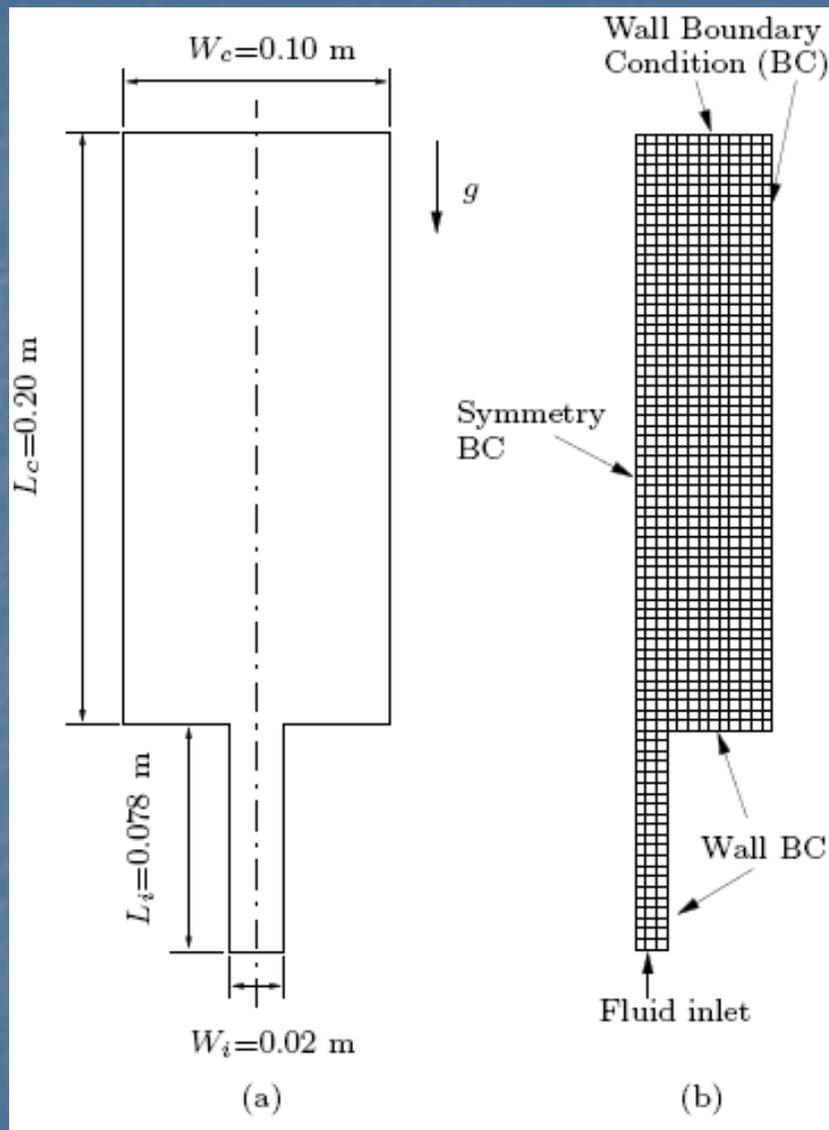
Viento (Posición A)



Viento (posición B)

Banco de visualización

Resultados numéricos

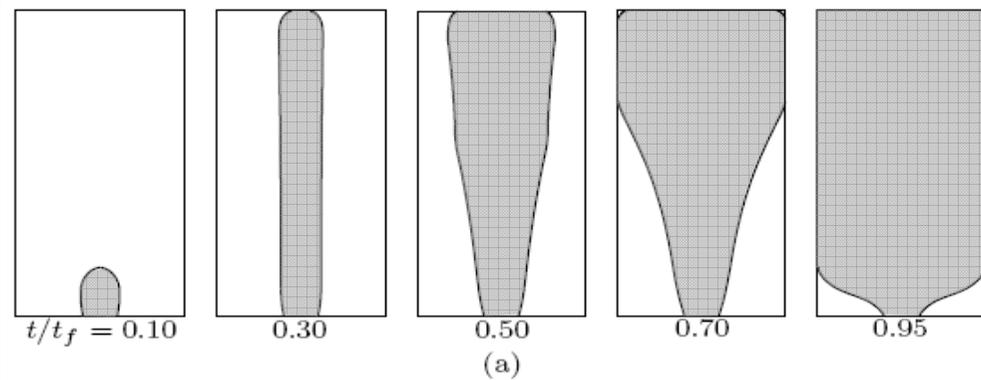


Alexandrou et al. (2001); Ginzburg et al. (2003); Lee et al. (2006), etc.

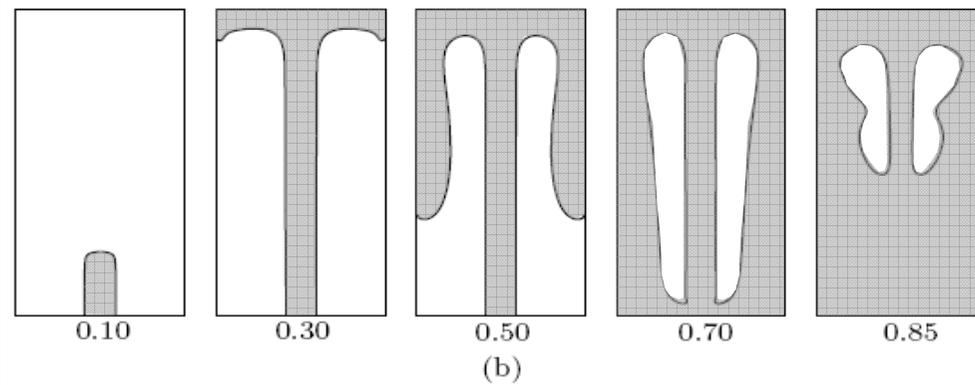
Geometría de la malla empleada

Resultados numéricos

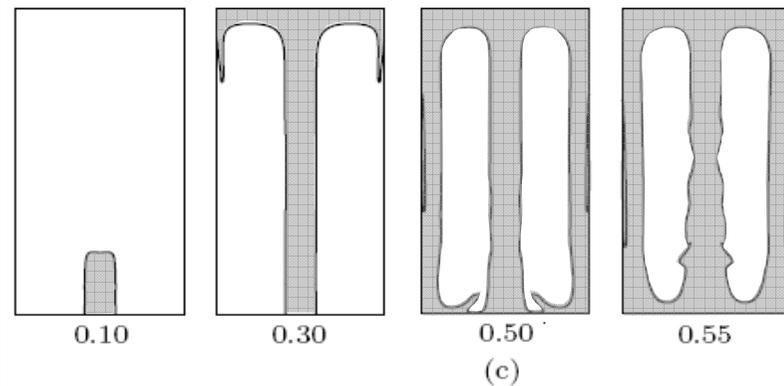
Ejemplo de perfiles de la superficie libre para diferentes Re en ausencia de gravedad ($Fr=0$)



(a) $Re=0.2$



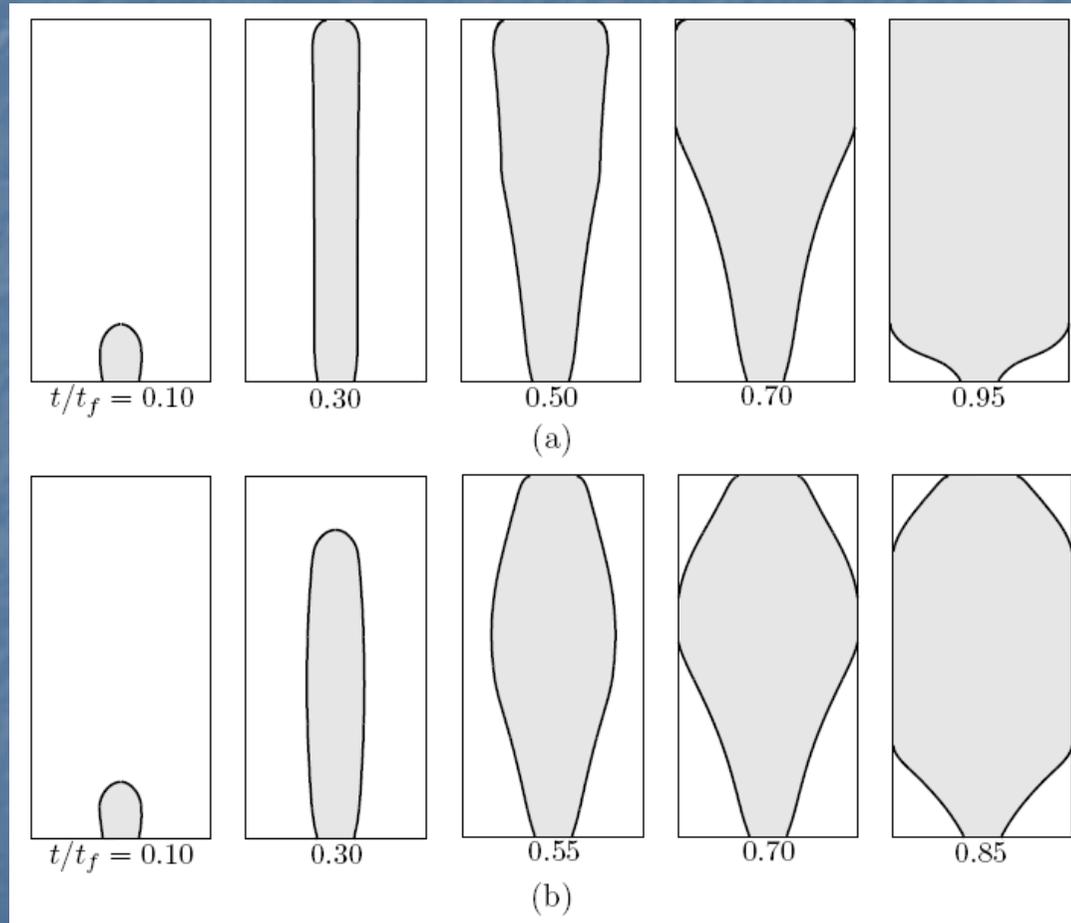
(b) $Re=50$



(c) $Re=500$

Resultados numéricos

Ejemplo de perfiles de la superficie libre para $Re=0.2$ y diferentes números de Froude

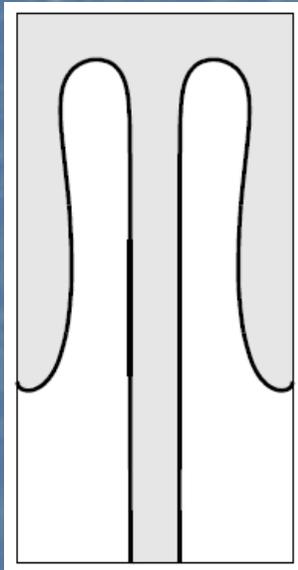


(a) $Fr=0$

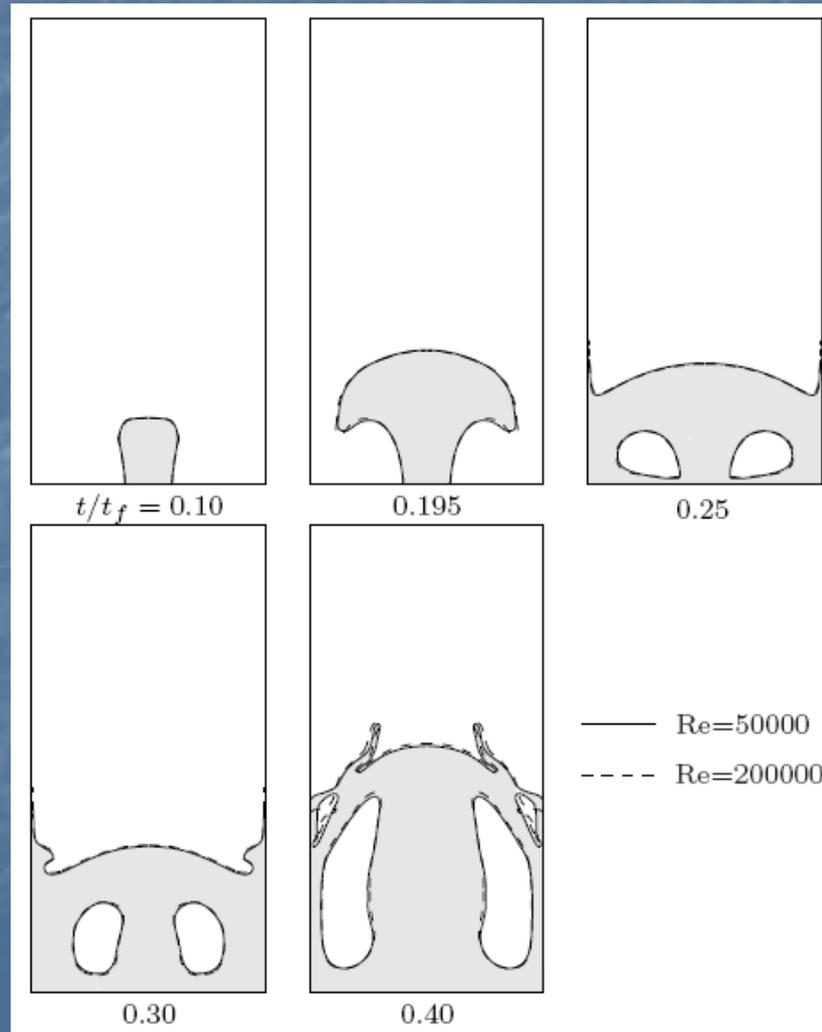
(b) $Fr=2$

Resultados numéricos

Ejemplo de perfiles de la superficie libre para valores altos del número de Reynolds



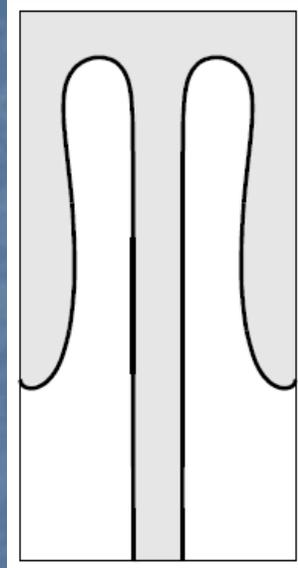
Ejemplo típico de perfil de la superficie libre para $Fr=0$



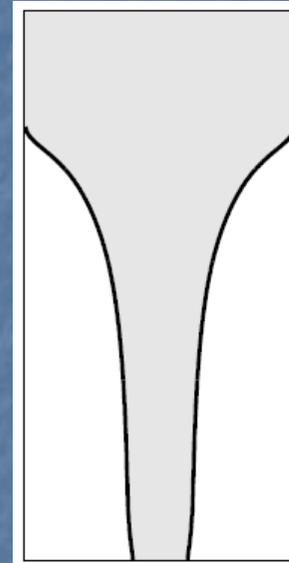
$Fr=2$

Resultados numéricos

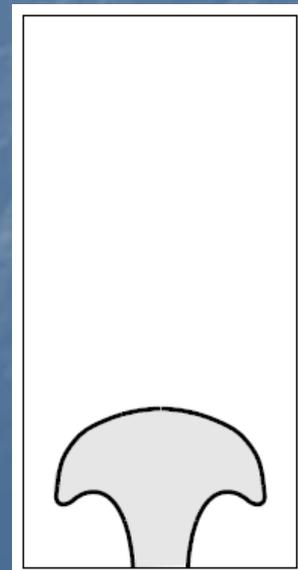
Tipos de patrones de flujo



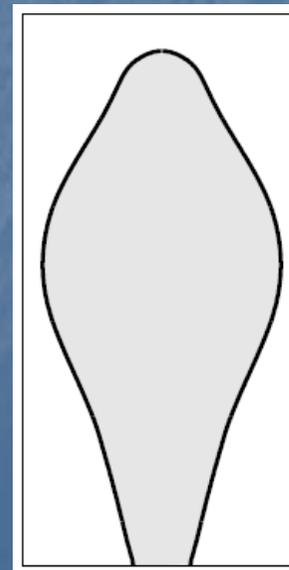
Shell



Mound



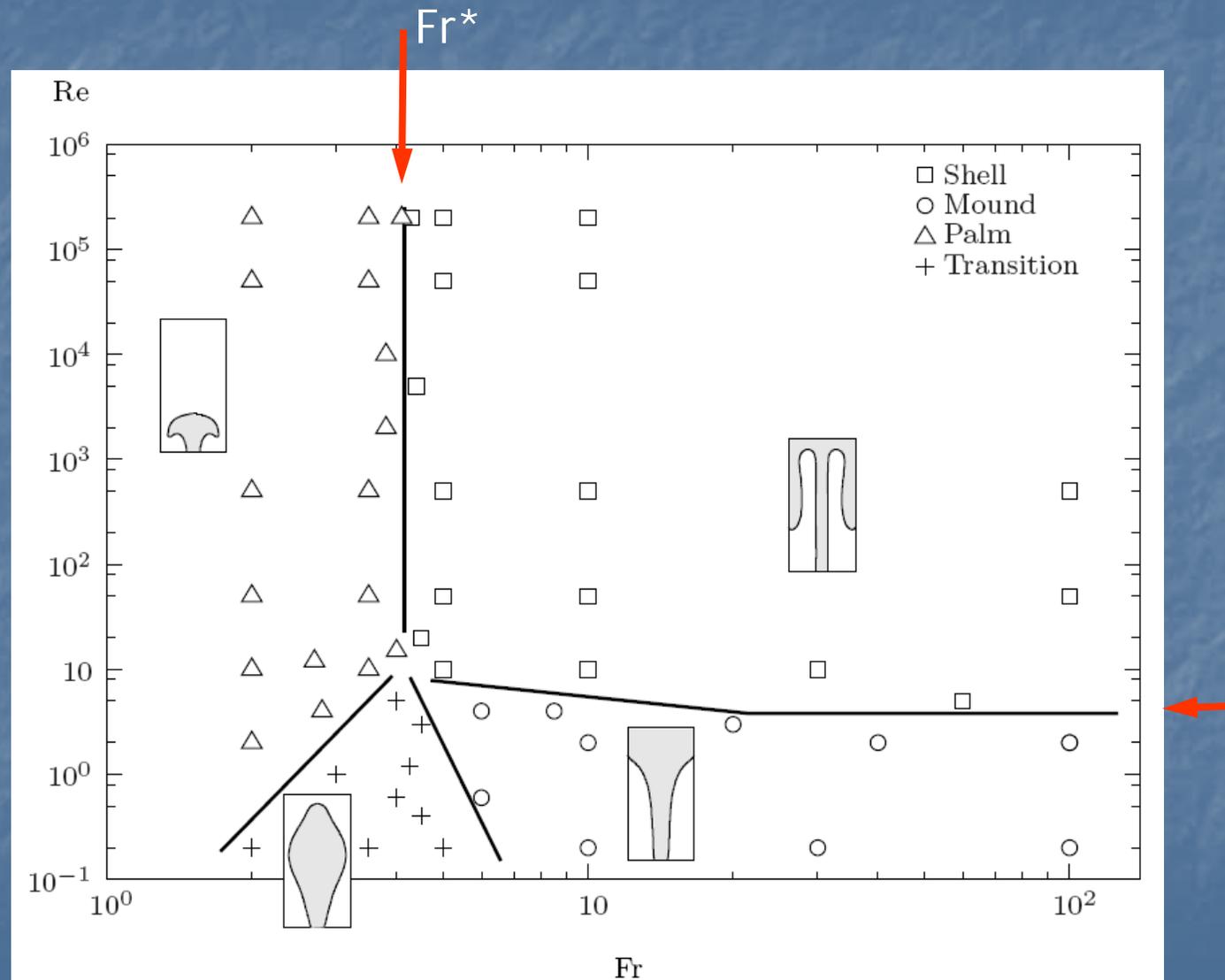
Palm



Transition

Resultados numéricos

Mapa de patrones de flujo en función de los números de Fr y Re



Resultados numéricos

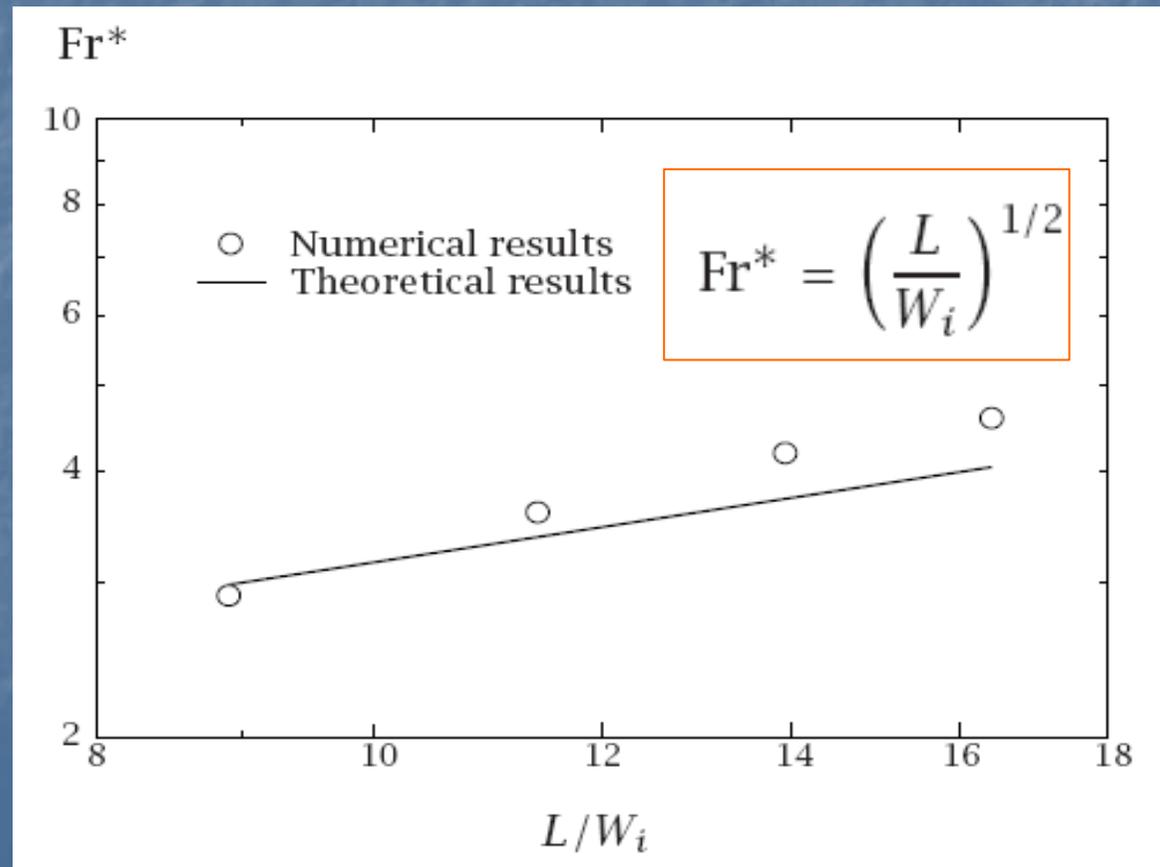
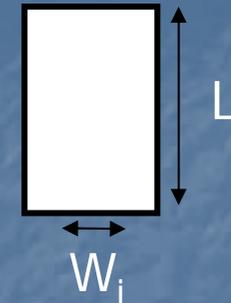
Fuerzas de inercia

$$\rho u^2 W_i,$$

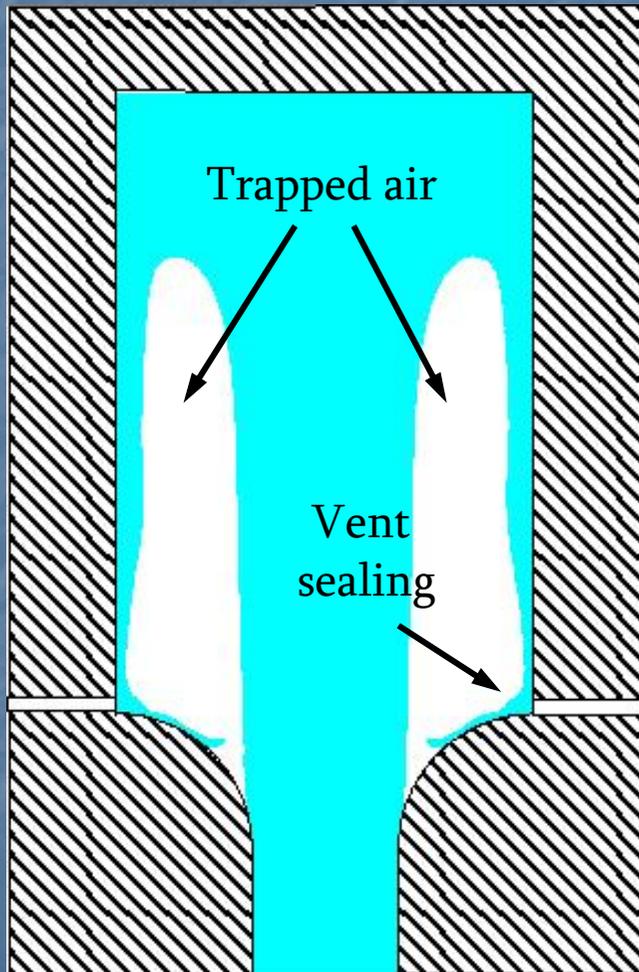
Fuerzas gravitacionales

$$\rho W_i L g,$$

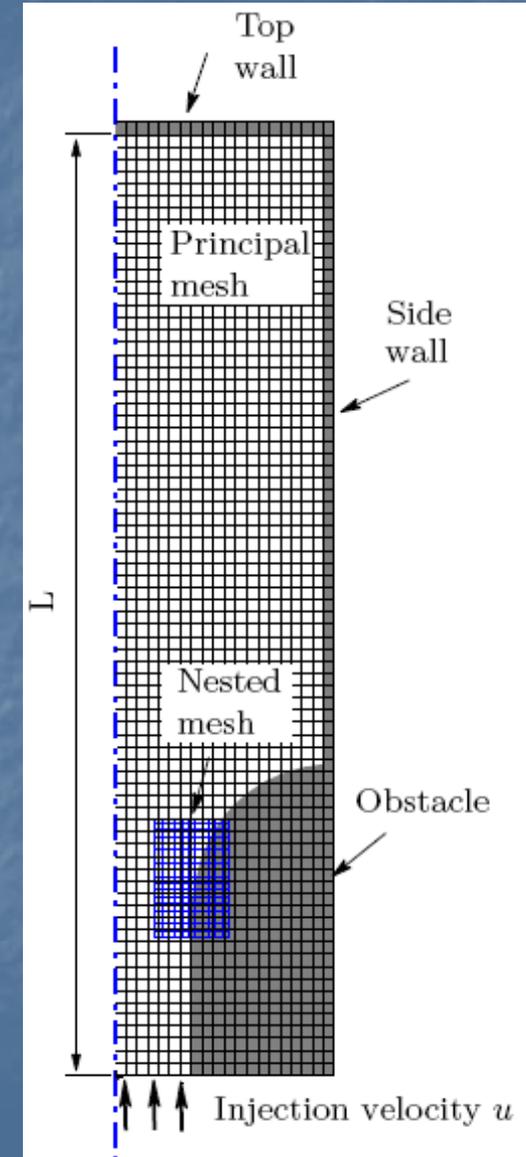
$$\frac{u}{(gL)^{1/2}} = 1.$$



Resultados numérico-experimentales (visualización)



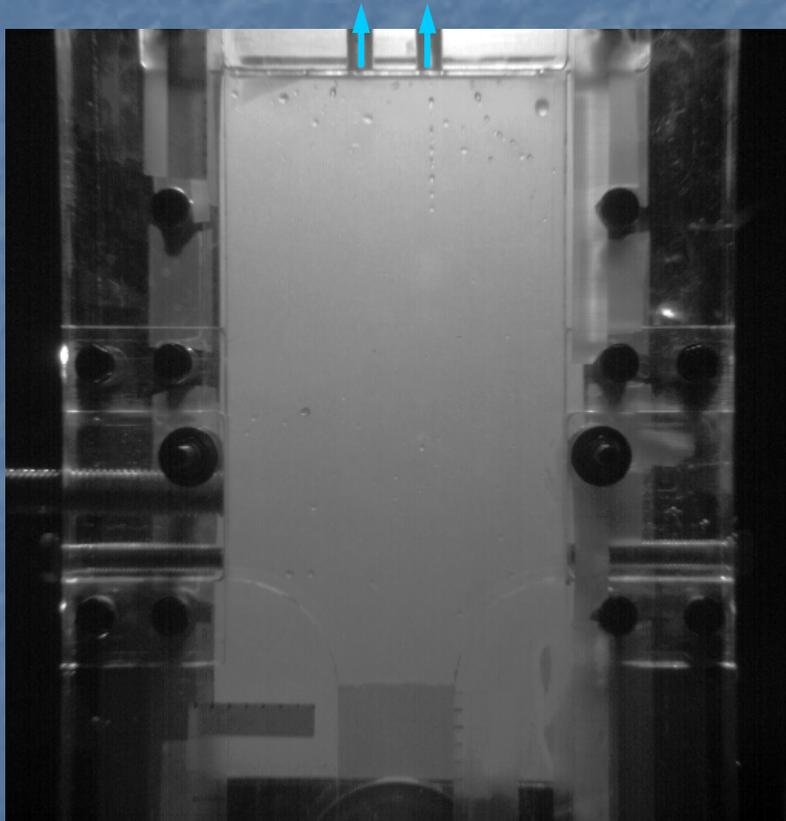
CASOS	u (m s) ⁻¹	$u(g/L)^{1/2}$
I	5.17	3.86
II	4.0	2.98
III	3.22	2.40
IV	2.57	1.91
V	2.43	1.73
VI	1.97	1.47
VII	1.77	1.32
VIII	1.61	1.20
IX	1.33	0.99
X	1.27	0.92



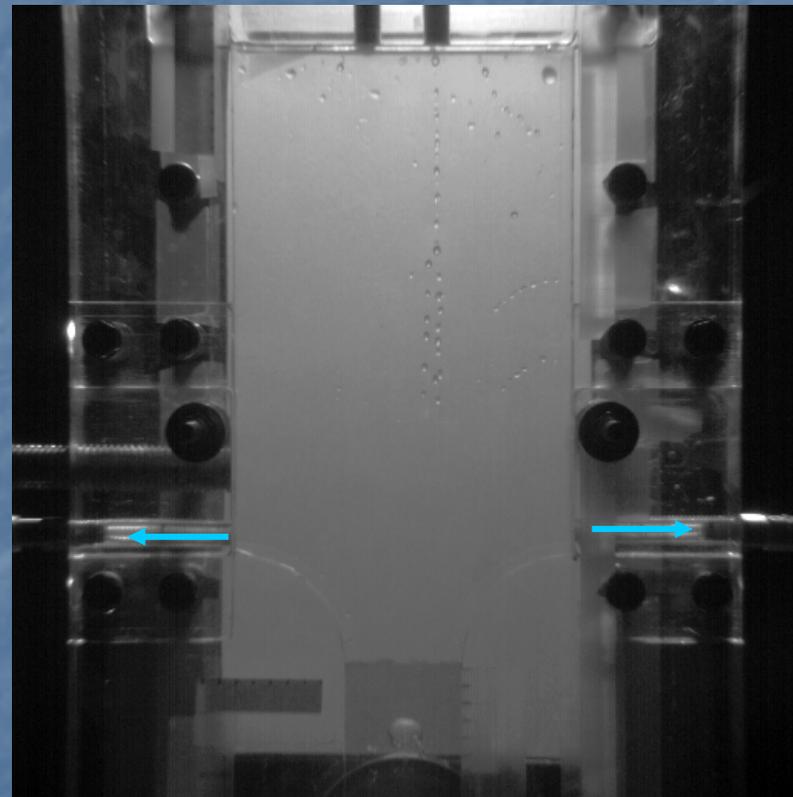
Resultados de visualización

CASO X

$$u(g/L)^{-1/2} = 0.92$$



Viento en posición A

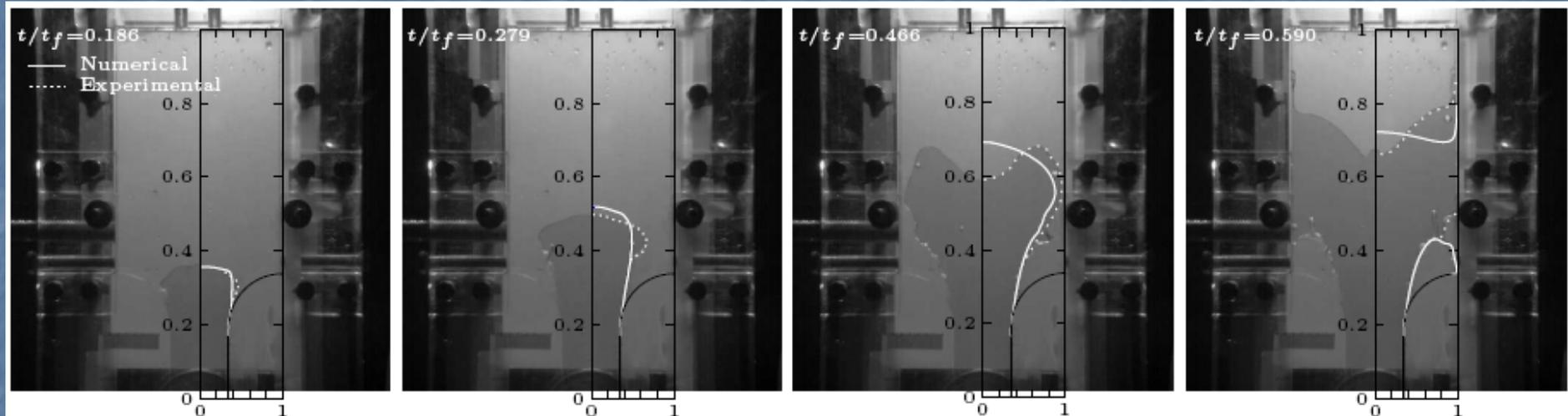


Viento en posición B

Comparación resultados CFD y experimentales del perfil de la superficie libre

CASO X

$$u(g/L)^{-1/2} = 0.92$$

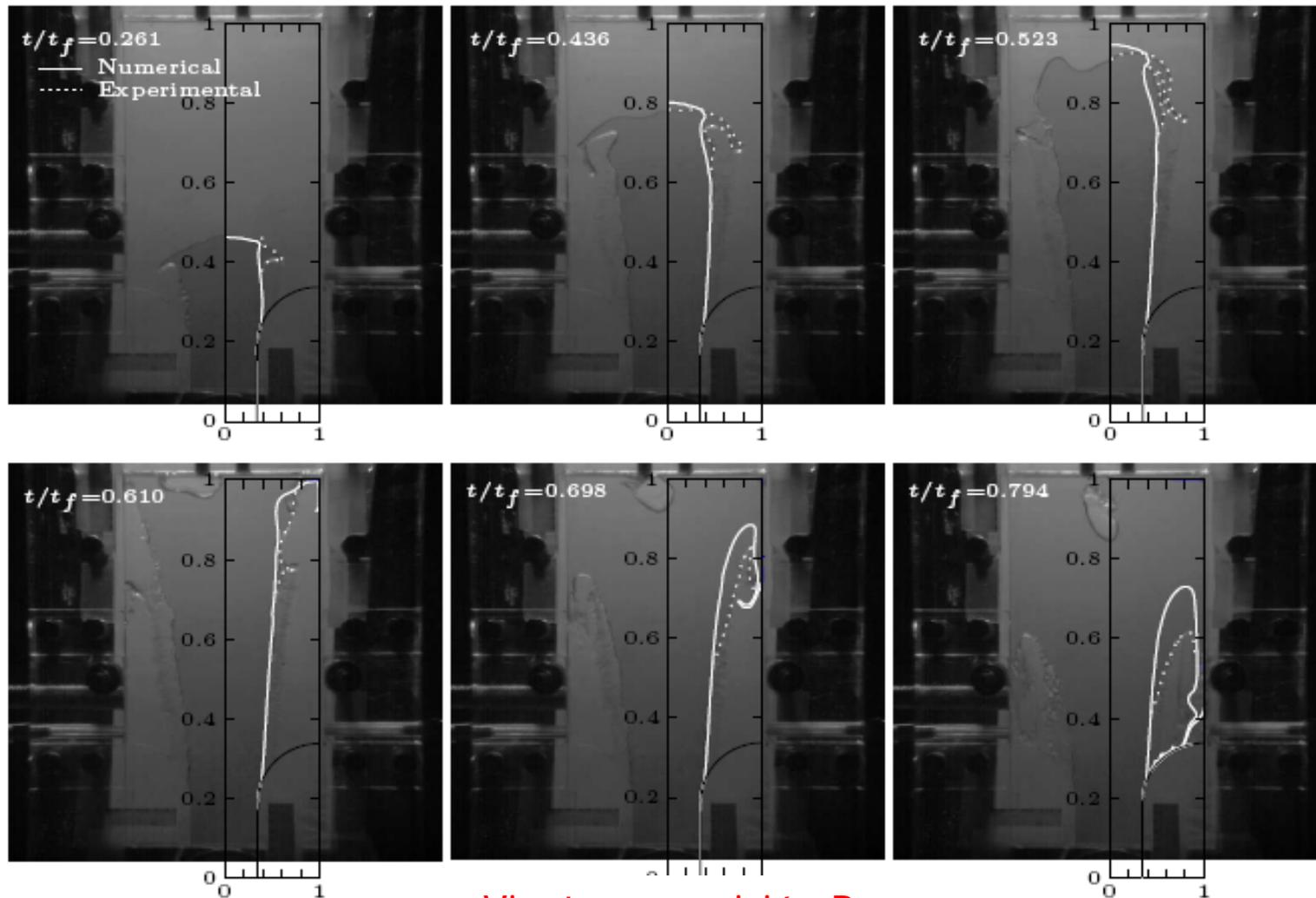


Viento en posición A

Comparación resultados CFD y experimentales del perfil de la superficie libre

CASO V

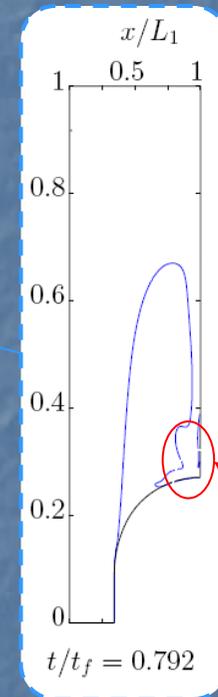
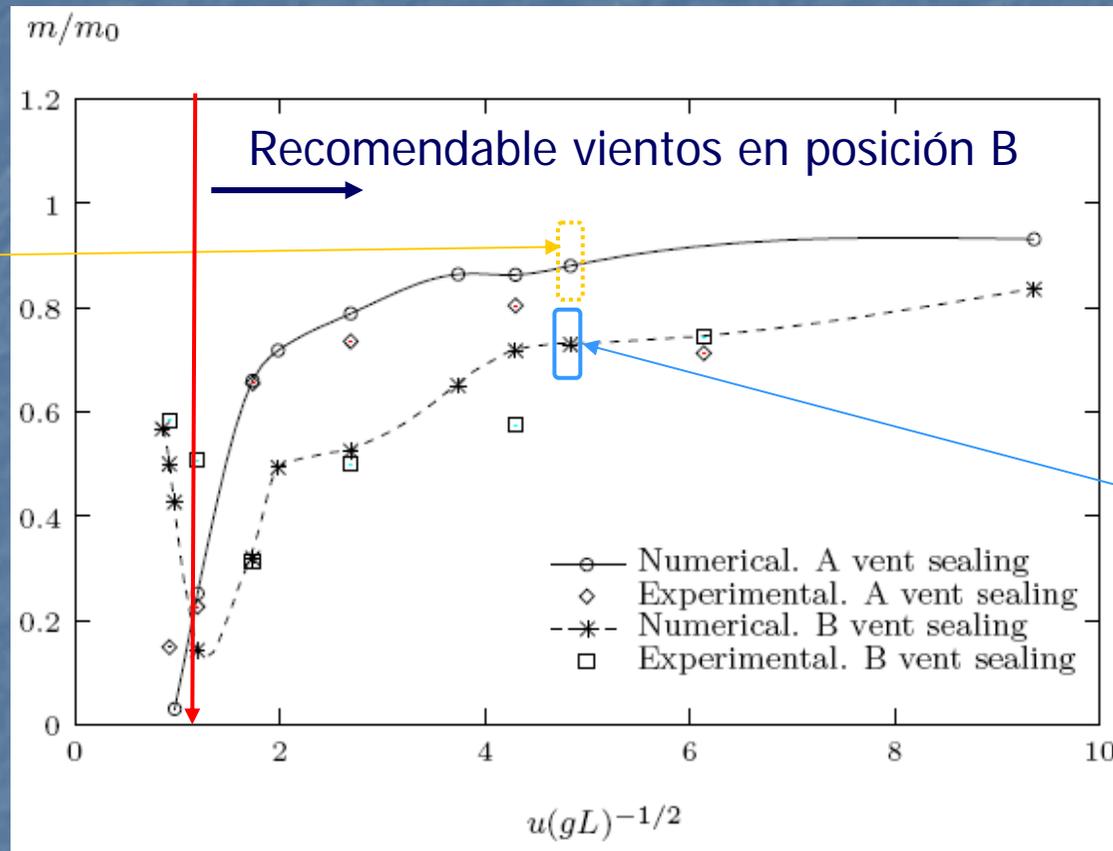
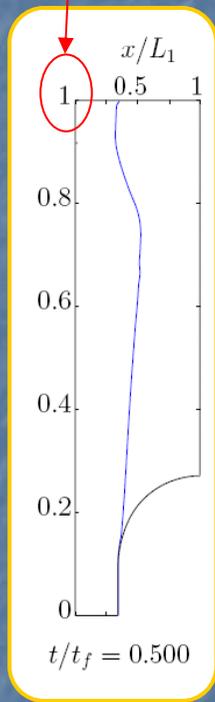
$$u(g/L)^{-1/2} = 1.73$$



Viento en posición B

Determinación de la cantidad de aire atrapado para distintas condiciones de operación

Cierre Viento A

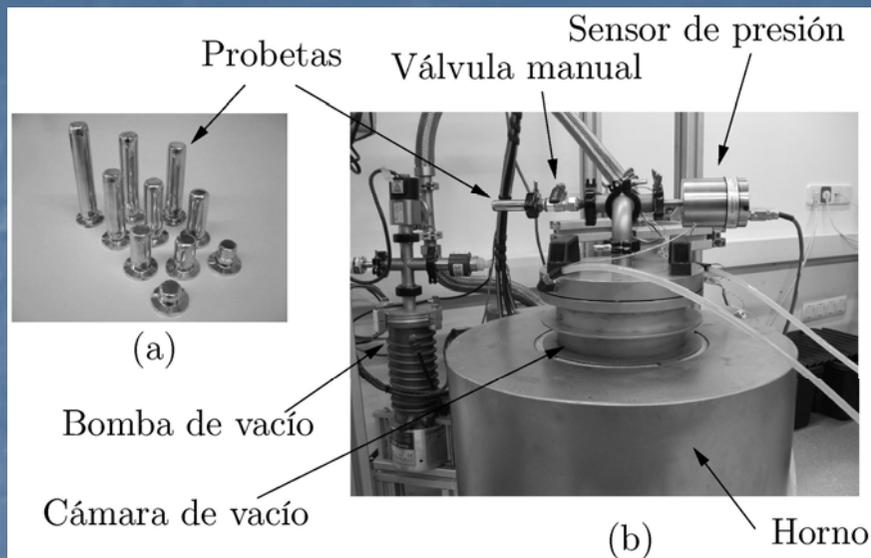


Cierre Viento B

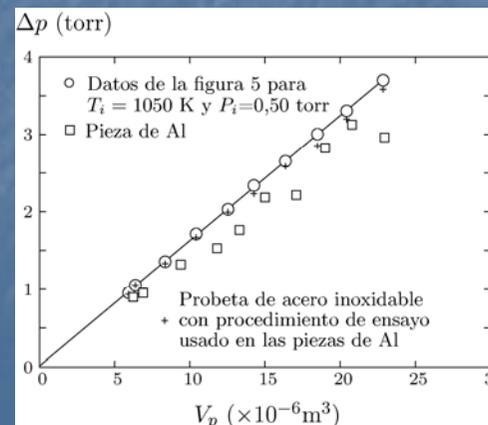
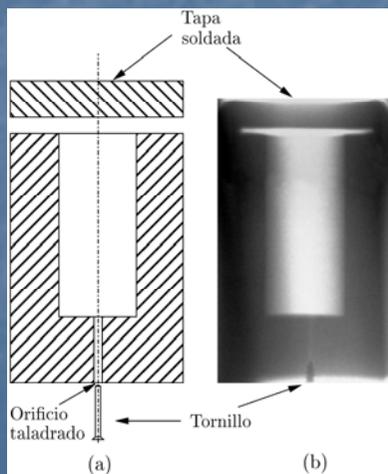
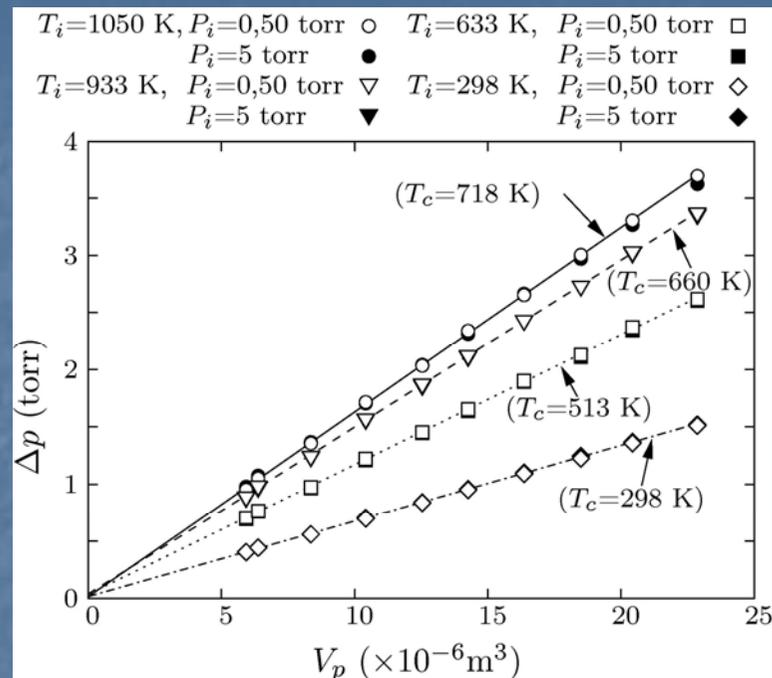
$$u(gL)^{-1/2} > 1$$

- Hay una buena concordancia entre los resultados numéricos y experimentales
- Para este rango de velocidades es conveniente situar el viento en la posición B para reducir considerablemente la cantidad de aire atrapado

Resultados experimentales (aluminio)



Calibración del horno de fusión al vacío



Verificación del horno con piezas de volumen de aire conocido

Resultados experimentales (aluminio)

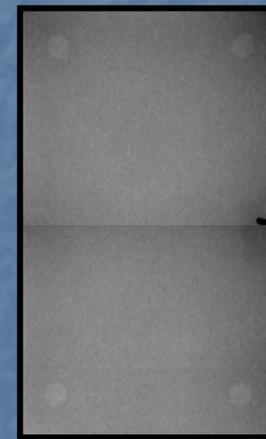


Radiografiado



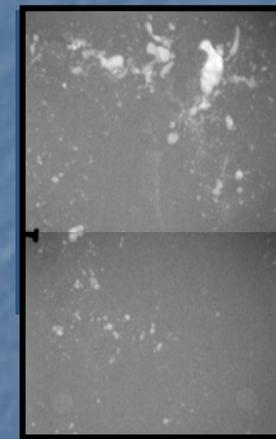
(a)

$u = 5.15 \text{ m/s}$



(b)

$u = 1.61 \text{ m/s}$



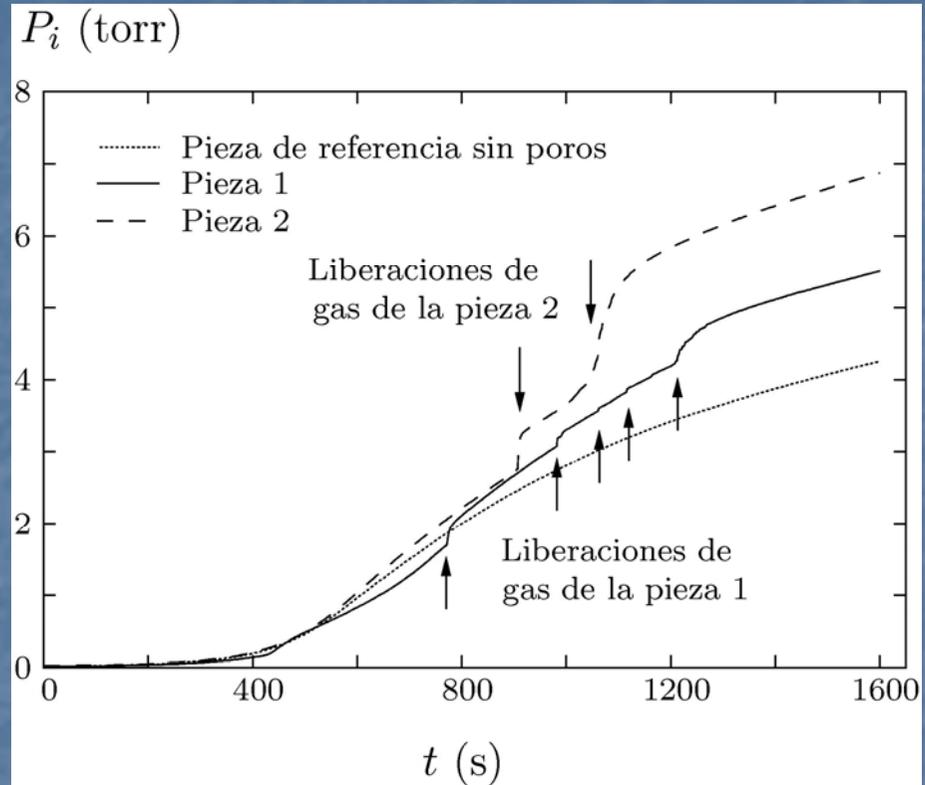
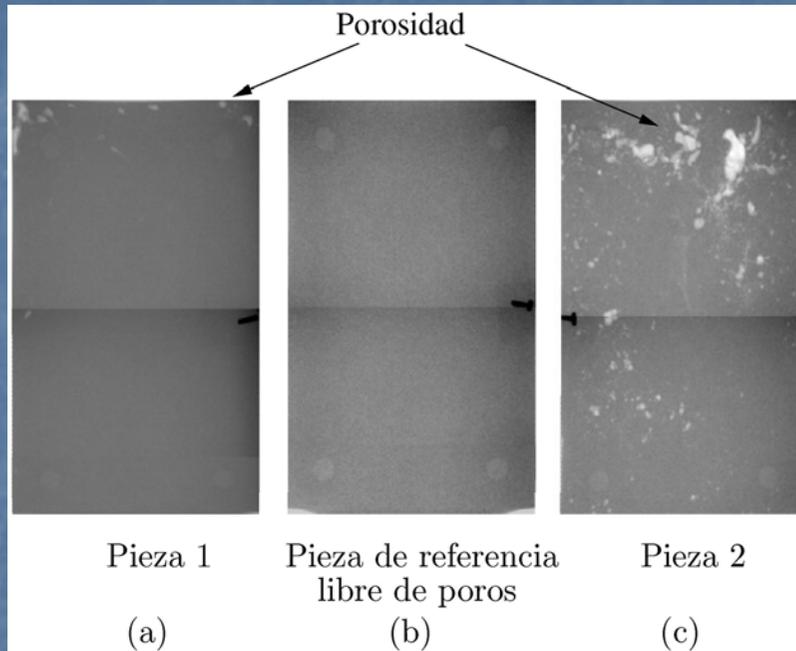
(c)

$u = 1.61 \text{ m/s}$

Con ley de aceleración

Sin ley de aceleración

Resultados experimentales (aluminio)

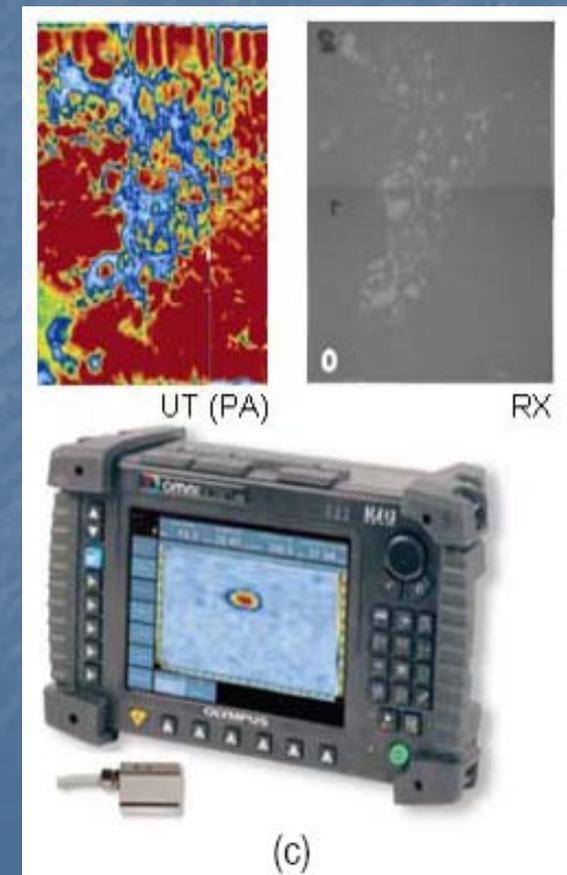


$$V = (6,169\Delta p - 0,094) \times 10^{-6}$$

	Ley de aceleración óptima (Pieza 1)	Ley de aceleración óptima	Sin ley de aceleración (Pieza 2)
Velocidad (m s ⁻¹)	5.15	1.61	1.61
Gas atrapado m/m_0)100	5.78 %	0%	16.83 %

Problemas encontrados y soluciones aportadas

- ✓ La instalación de una nueva válvula para un control más preciso de la fase rápida de inyección ha presentado más problemas de los previstos. Es la primera vez que se instala en este tipo de máquinas. En cualquier caso, se espera completar en breve los experimentos previstos en el proyecto.
- ✓ Con respecto a la instalación en el molde de diferentes sensores de ultrasonidos con el fin de monitorizar el llenado del mismo, debido a los problemas técnicos y operativos que se detectaron durante su implantación, y al disponer de una nueva técnica económicamente abordable, se decidió cambiar la instalación de los sensores en el molde por la adquisición de un equipo de inspección por ultrasonidos que incorpora la tecnología de “phased array”.



Continuidad de la investigación

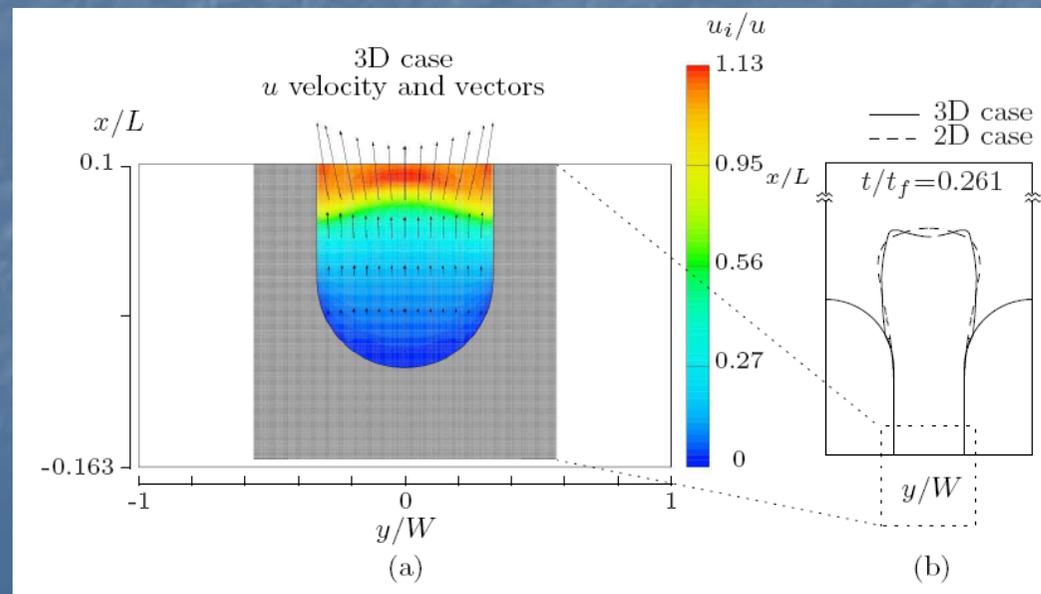
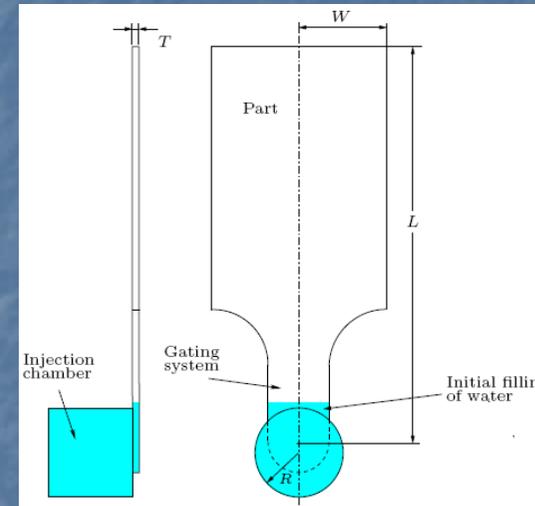
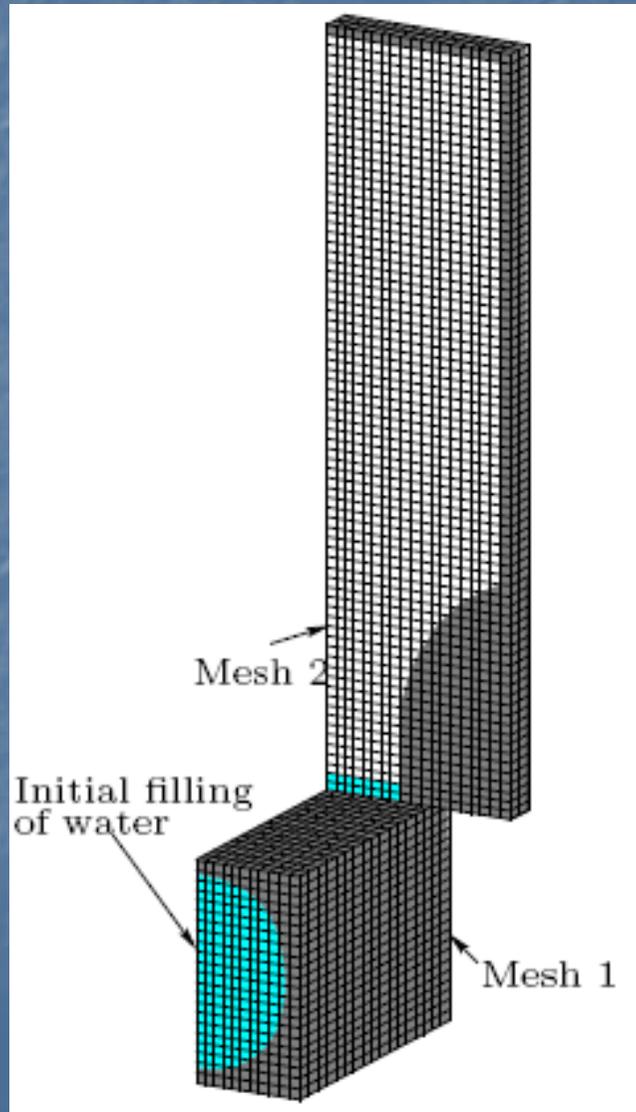
- ✓ Hasta ahora el equipo investigador ha centrado su atención en el estudio desacoplado de la fase lenta y la fase rápida del proceso de inyección en máquinas de fundición a presión. Como continuidad de la investigación, se pretende estudiar de forma acoplada ambas fases de inyección, para lo que se ha pedido financiación de un nuevo proyecto de investigación titulado

“Estudio integrado de las fases de inyección para la selección de variables de proceso en fundición a presión”

(Ref. DPI2009-11788).

- ✓ Así mismo, el equipo investigador continúa con el desarrollo de nuevos métodos de cálculo de superficies de separación entre fases, especialmente relevantes para el estudio de estos procesos, y nuevos modelos de solidificación.

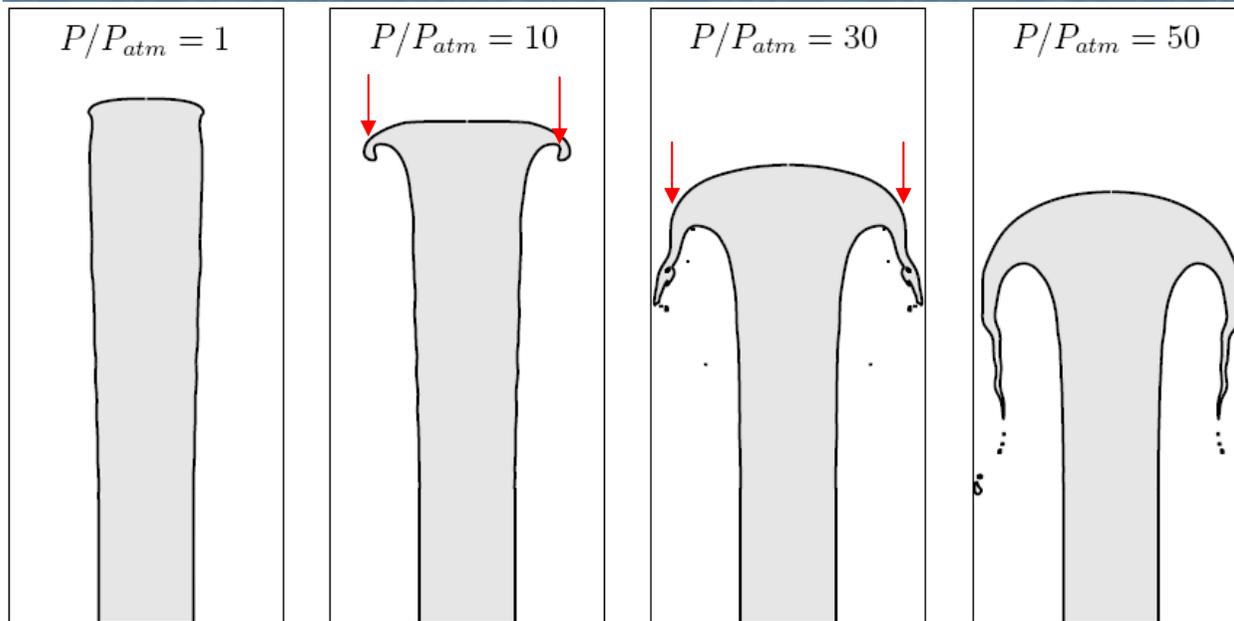
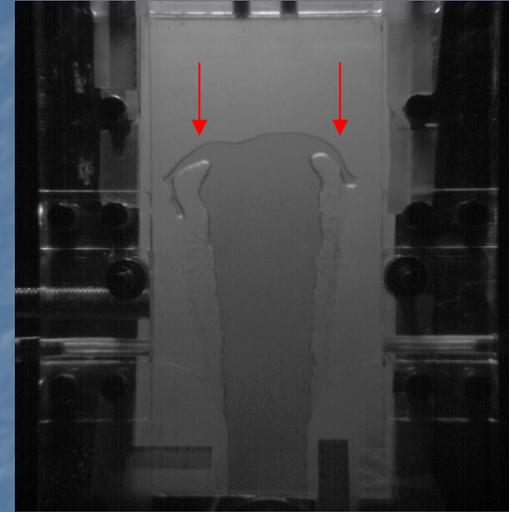
Limitaciones de los modelos numéricos: Efectos 3D (transición cámara-molde y espesor)



Limitaciones de los modelos numéricos: Efectos de la presión del aire

$$u(g/L_2)^{-1/2} = 1.73$$

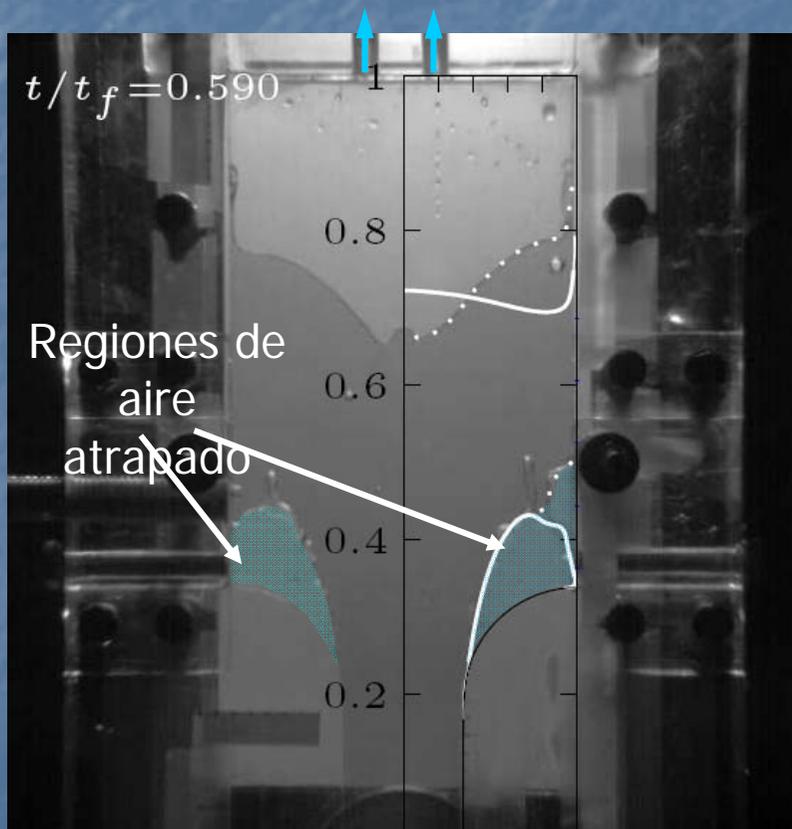
$$t/t_f = 0.436$$



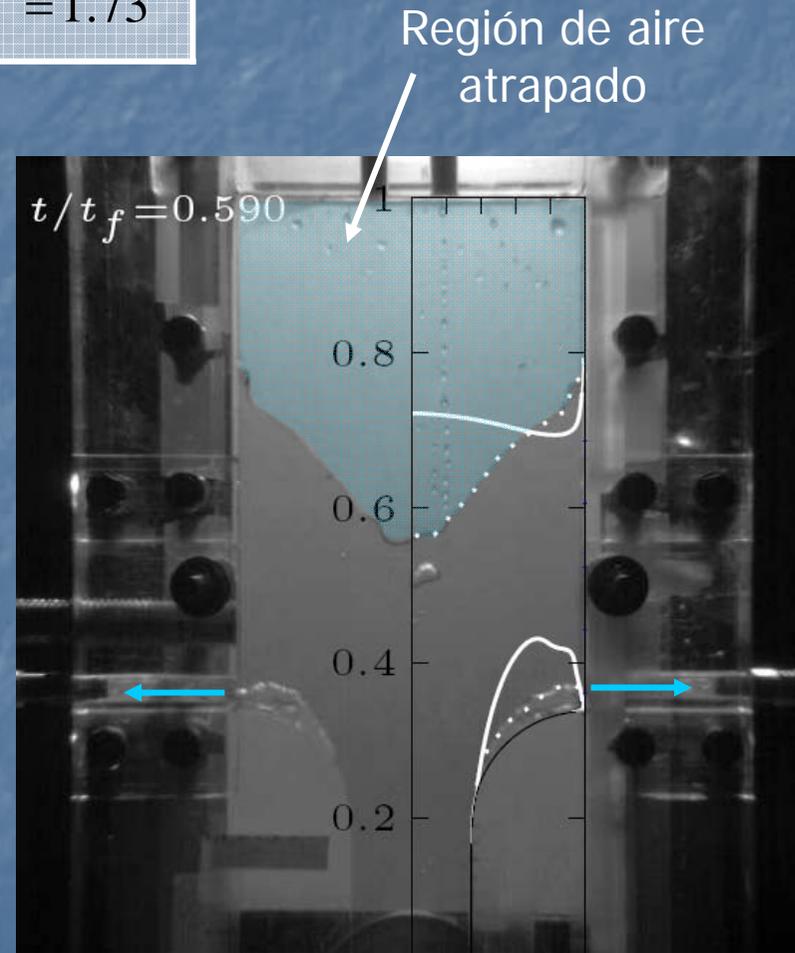
Resultados
“preliminares”
obtenidos con un
nuevo modelo
numérico que
considera los efectos
del aire.

Limitaciones de los modelos numéricos: Efectos de la contrapresión del aire en zonas aisladas

$$u(g/L)^{1/2} = 1.73$$



Viento en posición A



Viento en posición B

Resultados. Publicaciones

Artículos científicos JCR (7)

"Experimental verification of numerical predictions for the optimum plunger speed in the slow-phase of a high-pressure die casting machine",
International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 33 (2007) pp.266-276.

"Experimental investigation of porosity formation during the slow injection phase in high-pressure die casting processes",
Journal of Manufacturing Science and Engineering, ASME, 130 (2008), 051009 (10 pages).

"Analytical and geometrical tools for 3D volume of fluid methods in general grids",
Journal of Computational Physics. 227 (2008), pp. 5939-5948.

"A new volume of fluid method in three dimensions - Part I: Multidimensional advection method with face-matched flux polyhedra,
International Journal for Numerical Methods in Fluids, 58 (2008), pp. 897-921

"A new volume of fluid method in three dimensions - Part II: Piecewise-planar interface reconstruction with cubic-Bézier fit",
International Journal for Numerical Methods in Fluids, 58 (2008), pp. 923-944

Resultados. Publicaciones

Artículos científicos JCR (7)

"Equipo de fusión al vacío para la determinación cuantitativa del gas atrapado en piezas fundidas", *Revista de Metalurgia*, 45 (2009), pp 58-69.

"An improved height function technique for computing interface curvature from volume fractions", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 198, (2009) pp. 2555-2564.

"A Study of Air Entrapment Phenomena During Cavity Filling in Die-Casting Processes"
Journal of Materials Processing Technology, Ref. PROTEC-S-09-00713.

Resultados. Publicaciones

Ponencias en Congresos (7)

“Experimental and numerical study of air entrapment during the filling of a mould cavity in die casting”, *10th ESAFORM Conference on Material Forming*, (2007), Zaragoza. Spain.

“Estudio numérico y experimental sobre el aire atrapado en el llenado del molde de una placa de aluminio mediante fundición por inyección a presión,” *2º Congreso Internacional de la Sociedad de Ingeniería de Fabricación CISIF-MESIC 2007*, Madrid. Spain.

"Direct numerical simulation of the first stages of a plunging breaker using a level set method," *ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting*, (2009), Colorado, U.S.A.

“Validación de un modelo numérico para la simulación de la fase lenta del proceso de fundición por inyección con cámara fría horizontal”, *3º Congreso Internacional de la Sociedad de Ingeniería de Fabricación CISIF-MESIC 2009*.

“Simulación numérica del proceso de rotura de olas mediante un método 'level set' con refinamiento local adaptativo”, Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona.

"Simulation of dendritic growth using a volume of fluid method," *ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting*, (2009) Colorado, U.S.A.

“Simulación de estructuras dendríticas mediante un método de tipo VOF”, Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería, (2009) Barcelona.

Resultados

Tesis Doctoral (1)

J.J. Hernández Ortega, “Estudio teórico y experimental de la influencia de los sistemas de distribución y evacuación en la formación de porosidad durante el llenado del molde en procesos de fundición por inyección a presión”. Universidad Politécnica de Cartagena.

Patente (1)

“ Equipo de fusión al vacío para la determinación cuantitativa del gas atrapado en piezas fundidas” (En estudio)



Universidad Politécnica de Cartagena