



# Microestructura y Propiedades Mecánicas de Compuestos de Polipropileno con Hidróxido de Magnesio y de Aluminio Moldeados por Inyección

**Cédric Morhain** – 10 de Octubre de 2001

Director del trabajo: Dr. José Ignacio Velasco Perero

Universitat Politècnica de Catalunya  
Centre Català del Plàstic

# Microestructura y Propiedades Mecánicas de Compuestos de Polipropileno con Hidróxido de Magnesio y de Aluminio Moldeados por Inyección

Introducción - Objetivos

Materiales

Métodos experimentales

Resultados

Estudio microestructural

Propiedades mecánicas

Resistencia a la fractura

Resumen - Conclusiones

# Introducción

La incorporación de partículas rígidas en matrices poliméricas ha sido el tema de numerosos estudios debido a las modificaciones de las propiedades del polímero.

Este trabajo forma parte de un conjunto de estudios dedicados a los sistemas polímeros cargados con partículas rígidas.

Ventajas de la incorporación de partículas en polímeros:

- ◆ Reducción de costes.
- ◆ Aumento de la productividad.
- ◆ Mejor aspecto superficial.
- ◆ Mejora de las propiedades mecánicas.
- ◆ Adición de propiedades inusuales para polímeros (conductividad eléctrica, resistencia a la llama, ...).

Introducción

Materiales

Procedimientos  
Experimentales

Estudio  
Microestructural

Propiedades  
Mecánicas

Resistencia a la  
Fractura

Resumen

# Introducción

Los hidróxidos de magnesio y de aluminio son cargas ignífugas utilizadas para aumentar la resistencia a la llama de los materiales poliméricos.



- Absorción de la energía disponible para el sistema
- Dilución de los gases combustibles
- Formación de una capa protectora de óxido

*Ventajas:*

- Total inocuidad
- Supresor de humo

*Inconveniente:*

- Alto nivel de carga: 60-65 wt-%

- **La modificación de las propiedades mecánicas de los materiales no es aquí el efecto buscado.**

**En cambio puede limitar las aplicaciones del material**

# Introducción

Introducción

Materiales

Procedimientos  
Experimentales

Estudio  
Microestructural

Propiedades  
Mecánicas

Resistencia a la  
Fractura

Resumen

Las propiedades mecánicas y el comportamiento a la fractura de una pieza de plástico dependen de dos factores:

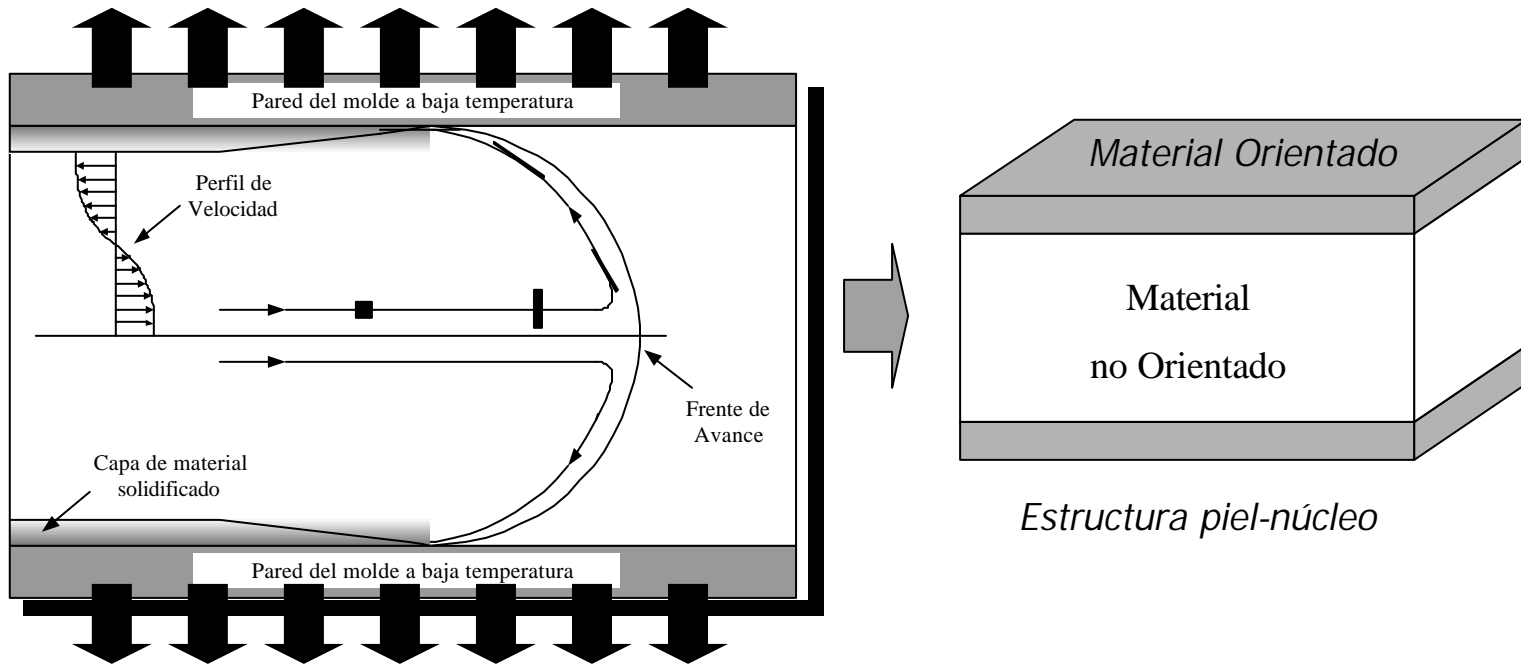
- Propiedades del material
- Condiciones de transformación

Los diferentes aspectos que influyen para sistemas PP/carga:

- naturaleza de la carga
- naturaleza de la matriz
- concentraciones
- morfología de las partículas (tamaño y geometría)
- interacciones entre partículas y matriz
  - Nucleación de la fase cristalina
  - Transmisión de esfuerzos entre fases

# Introducción

El proceso de moldeo por inyección tiene una influencia considerable sobre las propiedades del material.



*Flujo dentro de la cavidad del molde*

*Modelo de Tadmor (1974)*

- Las piezas inyectadas se caracterizan por:
- Alto nivel de orientación
  - Anisotropía de la estructura

# Introducción - Objetivos

- Caracterizar la microestructura de sistemas PP-hidróxido de magnesio/aluminio y la influencia del proceso de moldeo por inyección sobre ella.
- Caracterizar las propiedades mecánicas y determinar los micromecanismos de deformación y de fractura en compuestos de polipropileno con hidróxidos de magnesio y aluminio.
- Contribuir al desarrollo del **método de normalización de la carga** como herramienta útil para caracterizar el comportamiento a la fractura de sistemas polímero/partículas.

Introducción

Materiales

Procedimientos  
Experimentales

Estudio  
Microestructural

Propiedades  
Mecánicas

Resistencia a la  
Fractura

Resumen

# Materiales



# Materiales – Polipropilenos

Se han utilizado dos grados de polipropileno (Repsol Química):

**HPP:** polipropileno homopolímero *Isplen* PP050

**BPP:** polipropileno copolímero en bloque *Isplen* PB140

Se trata de dos matrices apropiadas para el moldeo por inyección y recomendados para usos generales.

Matriz	MFI (g/10min)	T <sub>Vicat</sub> (°C)	E <sub>flex</sub> (GPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	e <sub>y</sub> (%)	Resistencia Izod (J/m)
HPP	5.8	153	1.50	35	8	35
BPP	3.5	151	1.15	28	10	100

# Materiales – Cargas minerales

Introducción

Materiales

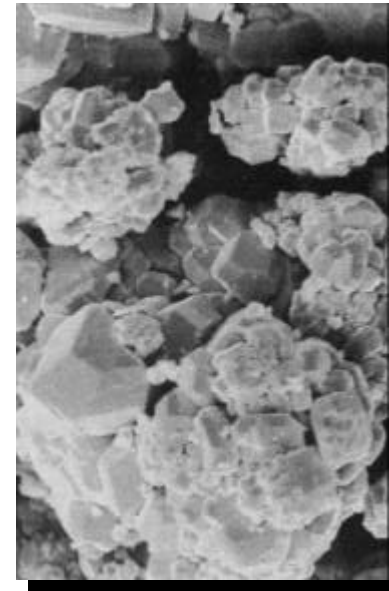
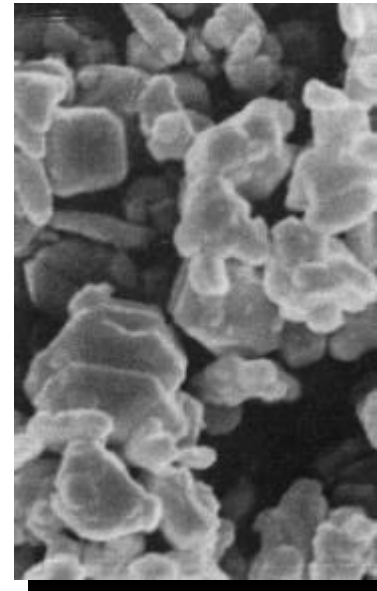
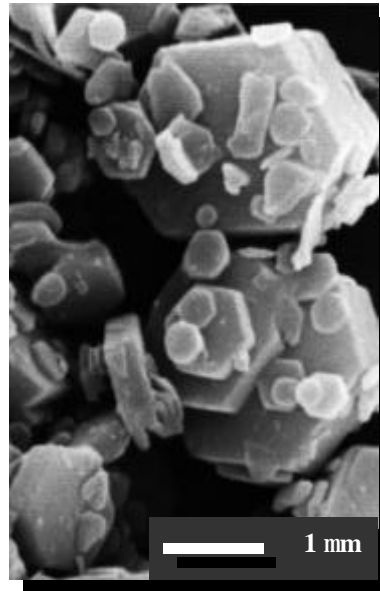
Procedimientos  
Experimentales

Estudio  
Microestructural

Propiedades  
Mecánicas

Resistencia a la  
Fractura

Resumen



**Magnifin H5, H5L y H5KV**

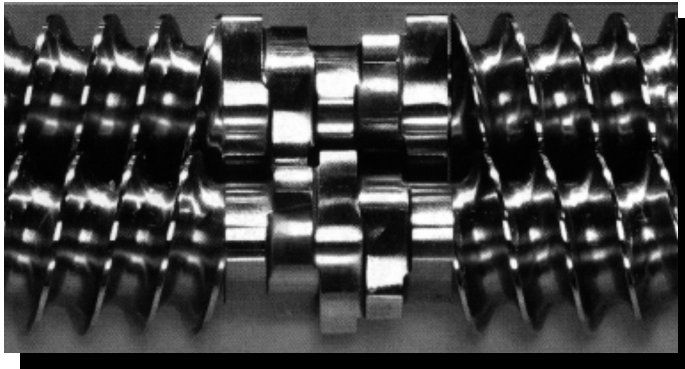
**Martinal OL**

**Martinal ON**

$d_p$ ( $\mu m$ )	1.4	1.6	55
Morfología	Hexagonal laminar	Hexagonal laminar	Pseudo-esférica
Tratamiento superficial	H5: Ninguno H5L: EVA H5KV: PDMS	Ninguno	Ninguno

# Materiales – Preparación de mezclas

Preparación mediante extrusora de doble husillo corrotatoria



Ref.	Matriz	Carga	$W_p$ (%)
HPP	HPP	Magnifin H5	0
H2H5			2
H10H5			10
H20H5			20
H40H5			40
H60H5			60

Ref.	Matriz	Carga	$W_p$ (%)
H40H5L	HPP	Magnifin H5L	40
H40H5KV		Magnifin H5KV	40
H40OL		Martinal OL	40
H40ON		Martinal ON	40

Ref.	Matriz	Carga	$W_p$ (%)
BPP	BPP	Magnifin H5L	0
B40H5L			40
B60H5L			60

Introducción

Materiales

Procedimientos  
Experimentales

Estudio  
Microestructural

Propiedades  
Mecánicas

Resistencia a la  
Fractura

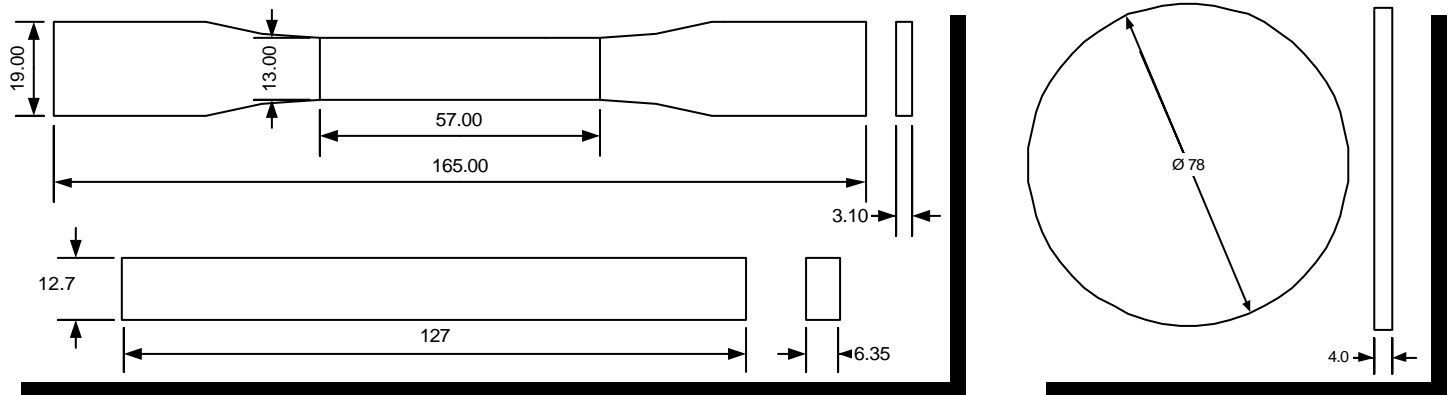
Resumen

# Materiales – Preparación de mezclas

## *Moldeo por Inyección*

Se han utilizado las mismas condiciones de transformación para todos los materiales preparados.

*Molde normalizado según ASTM D-647*



**Recocido:** Todas las probetas han sido recocidas durante 24h a 110°C.

# **Procedimientos experimentales**

# Procedimientos experimentales

## Caracterización Básica

Fracción ponderal y volumétrica, Densidad, Índice de fluidez, Temperaturas HDT y Vicat, Resistencia a la llama (UL94)

## Estudio Microestructural

Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Difracción de los rayos X (WAXD),

Análisis Térmico Mecánico Dinámico (DMTA)

## Propiedades Mecánicas

Tracción a varias velocidades (1-500 mm/min)

Flexión y Indentación a alta velocidad mediante caída de dardo

## Resistencia a la fractura

Impacto Charpy

Fractura a baja velocidad mediante flexión por tres puntos

Introducción

Materiales

Procedimientos  
Experimentales

Estudio  
Microestructural

Propiedades  
Mecánicas

Resistencia a la  
Fractura

Resumen

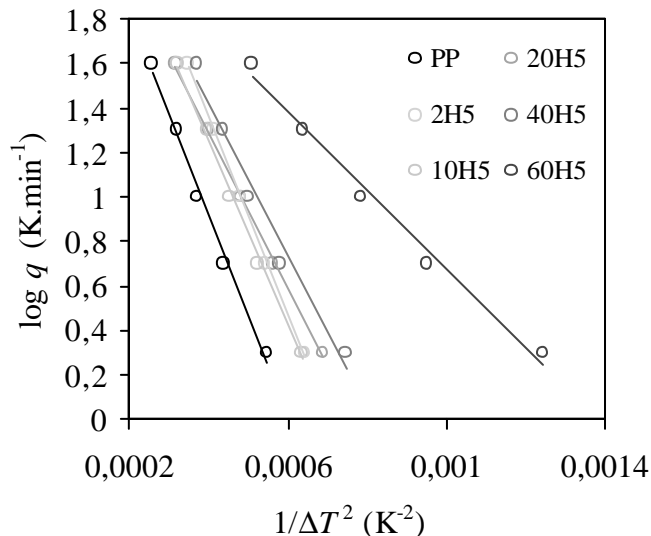
# **Resultados**

## Estudio Microestructural

# Resultados – Estudio Microestructural

## *Efecto de los minerales sobre la cristalinidad del PP (DSC)*

### Ensayos de cristalización dinámica



	$T_m$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$X_c$ (%)	$\phi$
HPP	164.5	47.7	1
H2H5	163.4	47.4	0.99
H10H5	164.1	44.6	0.94
H20H5	164.6	45.3	0.78
H40H5	164.3	51.3	0.76
H60H5	165.0	54.1	0.39

### Actividad de nucleación marcada para el $\text{Mg}(\text{OH})_2$ :

- Reducción del parámetro de nucleación  $f$ .
- Aumento de la temperatura de fusión.
- Aumento del contenido de fase cristalina.

La actividad de nucleación es todavía más pronunciada para materiales obtenidos en condiciones de enfriamiento rápido.



# Resultados – Estudio Microestructural

## *Efecto de los minerales sobre la cristalinidad del PP (DSC)*

Tratamiento superficial: Reducción de la influencia del mineral sobre la matriz (más pronunciado con EVA).

	$T_m$ (°C)	$X_c$ (%)	$\phi$
H40H5	164.3	51.3	0.76
H40H5L	163.7	48.5	0.86
H40H5KV	163.3	49.3	0.81

El  $\text{Al}(\text{OH})_3$  tiene mayor actividad de nucleación que el  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

Un mayor tamaño de partículas conduce a una reducción de la influencia sobre la matriz.

	$T_m$ (°C)	$X_c$ (%)	$\phi$
H40H5	164.3	51.3	0.76
H40OL	165.3	53.1	0.58
H40ON	165.2	50.6	0.60

Introducción

Materiales

Procedimientos  
Experimentales

Estudio  
Microestructural

Propiedades  
Mecánicas

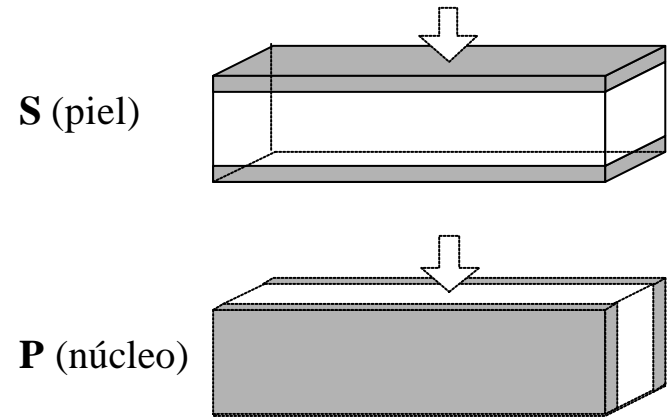
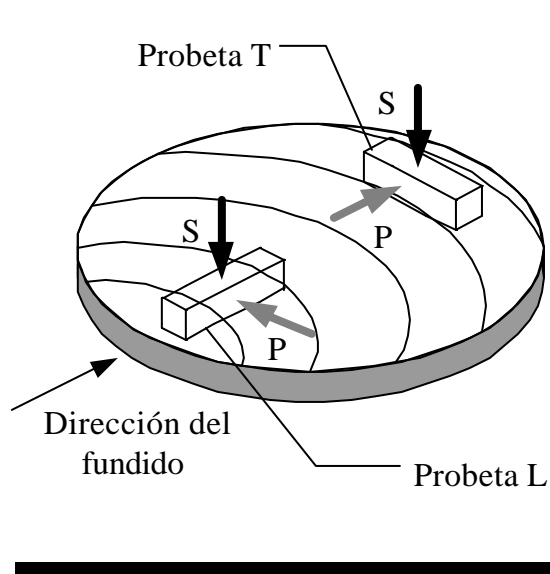
Resistencia a la  
Fractura

Resumen

# Resultados – Estudio Microestructural

## ***Heterogeneidad microestructural*** (WAXD y DMTA)

**Estudio:** de la orientación de la fase cristalina (PP y carga)  
de la anisotropía de los muestras  
de la heterogeneidad de las muestras



*Configuraciones S y P de ensayo*

Introducción

Materiales

Procedimientos  
Experimentales

Estudio  
Microestructural

Propiedades  
Mecánicas

Resistencia a la  
Fractura

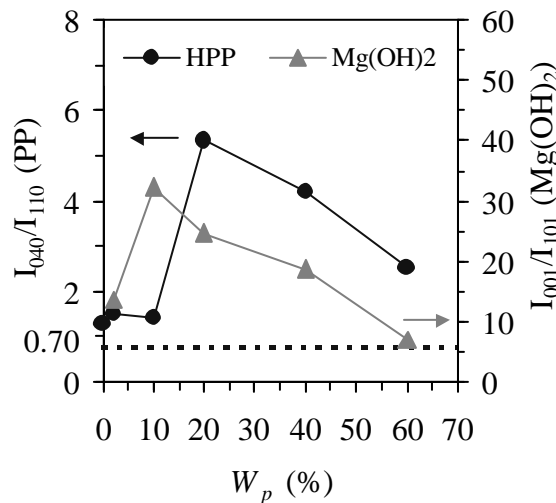
Resumen

# Resultados – Estudio Microestructural

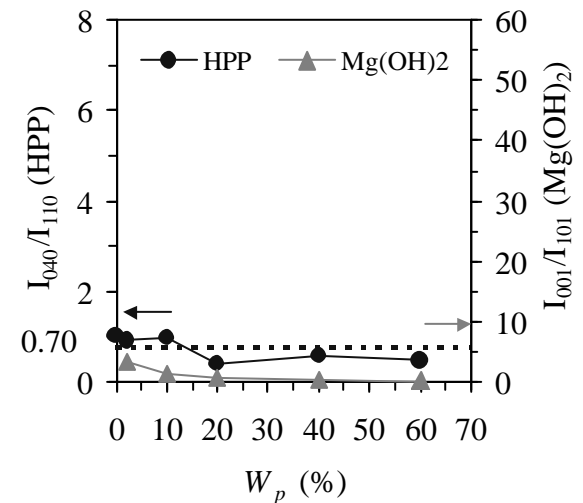
## Difracción de los Rayos X

Evolución de la orientación de las fases cristalinas con la concentración

### Dirección S - piel



### Dirección P - núcleo



Orientación preferencial en la piel y no en el núcleo.

A partir de 20 %, la orientación de la carga en la piel se acompaña por la orientación de la fase cristalina del PP.

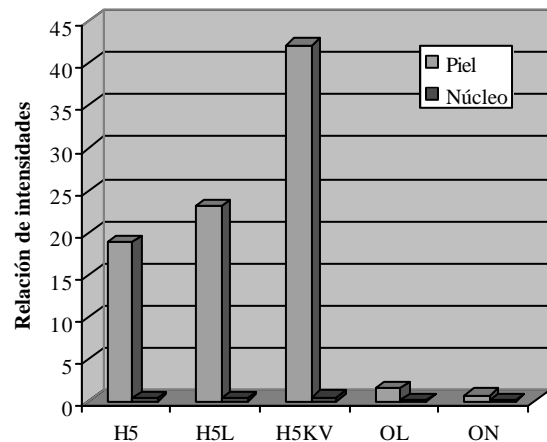
La orientación aumenta con la distancia desde el punto de inyección.

# Resultados – Estudio Microestructural

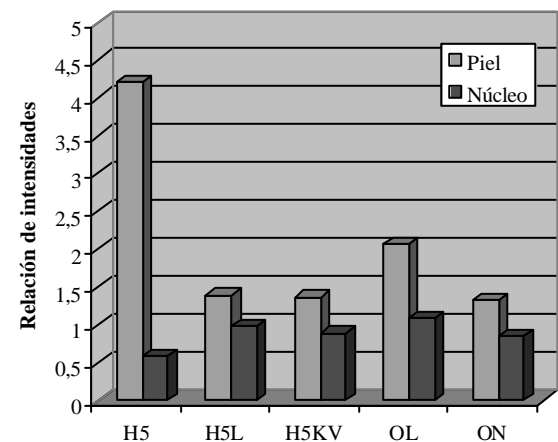
## Difracción de los Rayos X

Evolución de la orientación de las fases cristalinas en función del tipo de carga

**Partículas**



**Polipropileno**



El tratamiento superficial reduce las interacciones entre partículas y matriz: Aumento de la orientación de las partículas pero reducción de la fase cristalina del PP.

La orientación del material es menor con  $Al(OH)_3$  (menor relación de tamaños).

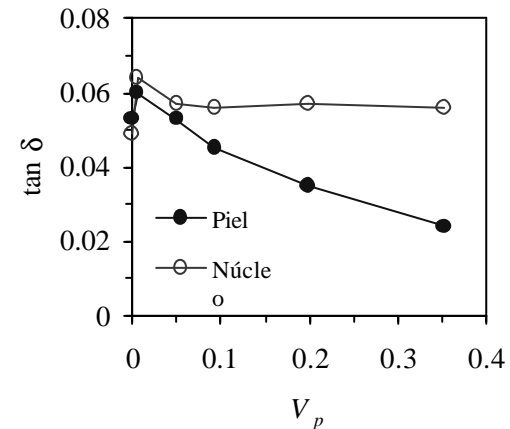
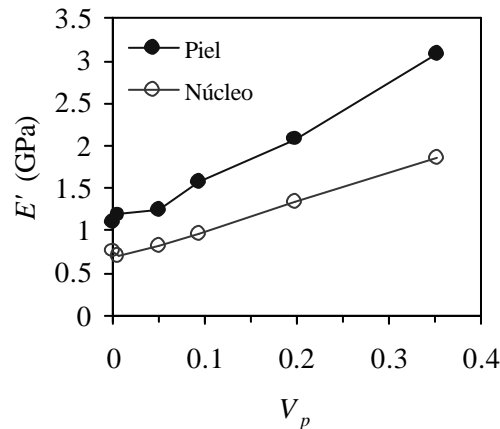
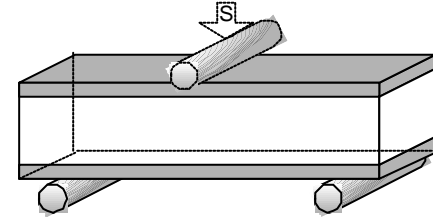
# Resultados – Estudio Microestructural

## Análisis Térmico Mecánico Dinámico

Ensayos de flexión por tres puntos:

$E'$ , Módulo de almacenamiento (respuesta elástica)

$\tan \delta$ , Tangente de pérdidas (comportamiento visco-elástico)



La anisotropía estructural resulta en la anisotropía de la respuesta del material.

La existencia de la piel implica una mayor rigidez y un comportamiento viscoso menos marcado en la dirección S.

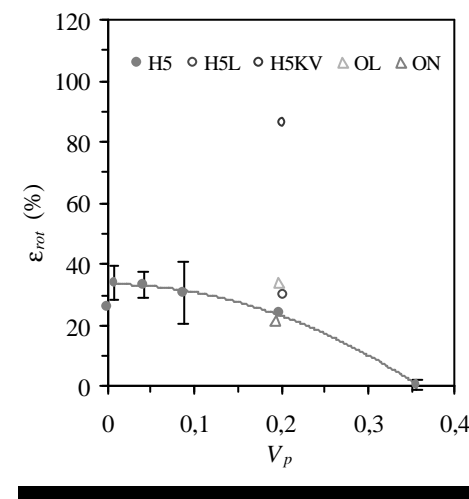
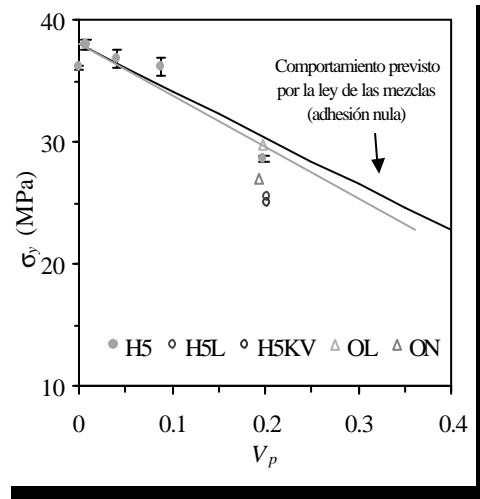
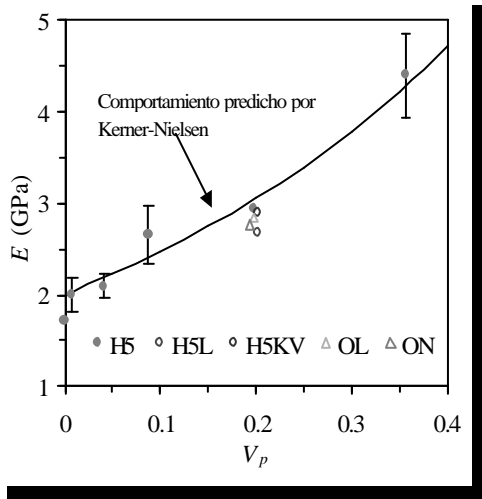
La influencia de la piel es más importante cerca del punto de inyección (mayor espesor de piel).

# **Resultados**

## Propiedades Mecánicas

# Resultados – Propiedades Mecánicas

## *Evolución de las propiedades a tracción*



Modificaciones importantes de las propiedades con un 2% de  $Mg(OH)_2$  debido a la modificación de la matriz.

Dos tendencias:

$W_p < 20\%$ , variaciones limitadas de rigidez, resistencia a la tracción y deformación a la rotura.

$W_p > 20\%$ , el valor de  $E$  aumenta (mayor rigidez de las partículas), el valor de  $\sigma_y$  disminuye (reducción de la sección efectiva de la probeta) y la deformación es más limitada.

# Resultados – Propiedades Mecánicas

## ***Comportamiento en tracción***

Dos mecanismos de deformación plástica:

- Cedencia por cizalla
- Despegue de la interfaz

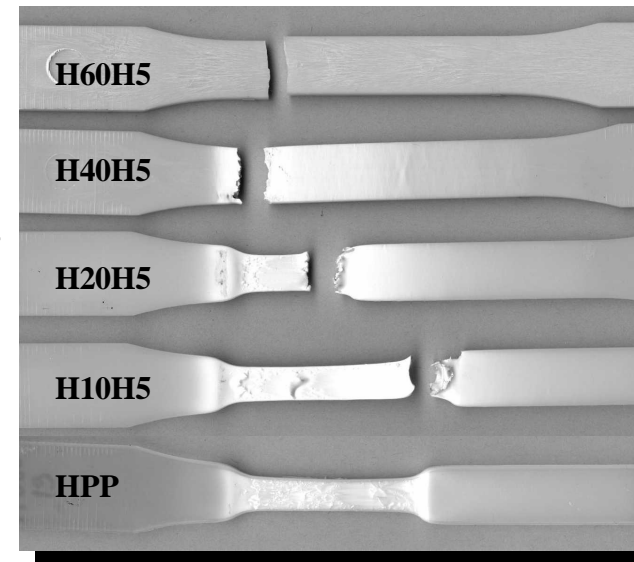
*Probetas ensayadas a 10 mm/min.*

Evolución de los mecanismos de deformación con la concentración de carga:

- Aumento de la contribución del despegue.
- Restricción a la cedencia por cizalla.

Para  $W_p > 20\%$ , fenómeno importante de cavitación alrededor de las partículas y aparición de estructuras parecidas a *crazes*.

Con 60% de carga, no se observa deformación plástica macroscópica.

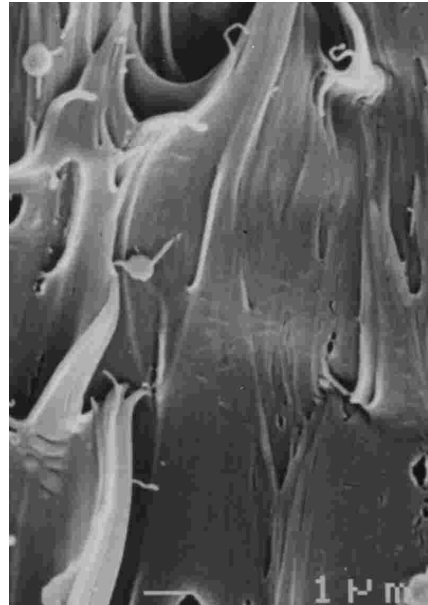




# Resultados – Propiedades Mecánicas

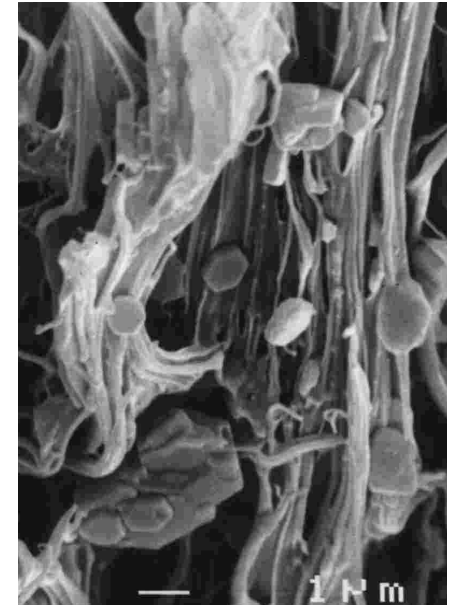
## *Evolución de los mecanismos de deformación*

Observación de la deformación mediante SEM



*0% carga*

- Flujo plástico importante.
- Poca contribución del despegue.



*40% carga*

- Despegue y cavitación importante.
- Flujo plástico limitado.

Introducción

Materiales

Procedimientos  
Experimentales

Estudio  
Microestructural

**Propiedades  
Mecánicas**

Resistencia a la  
Fractura

Resumen

# Resultados – Propiedades Mecánicas

## *Comportamiento en tracción*

El tratamiento superficial limita la restricción al flujo plástico:

- Mayor deformación
- Menor transmisión de esfuerzos

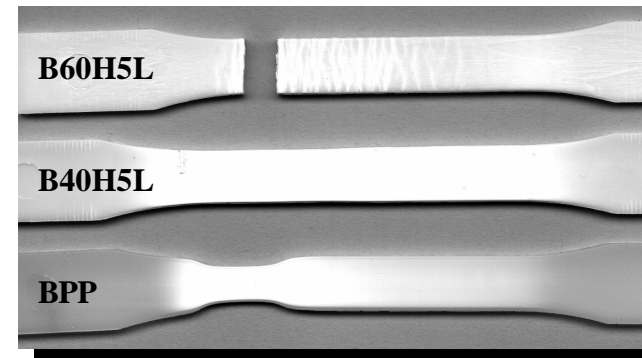
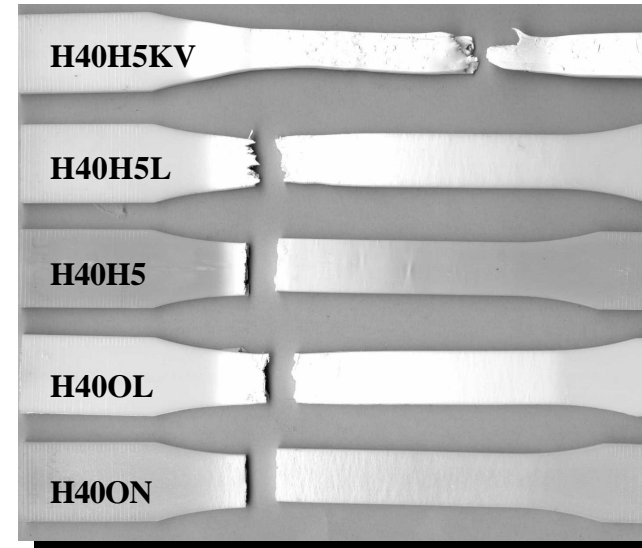
El uso de  $\text{Al}(\text{OH})_3$ : Menor limitación a la deformación.

Materiales con BPP, la restricción al flujo plástico ocurre para concentraciones mayores.

Menor nivel de interacciones partícula/carga.

Mayor deformabilidad de la matriz.

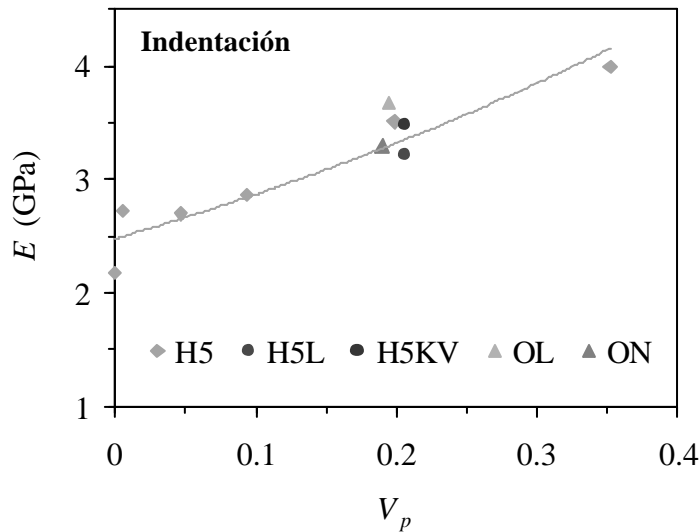
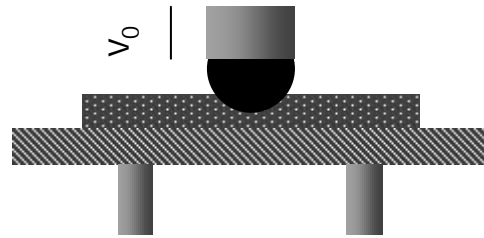
*Probetas ensayadas a 10 mm/min.*



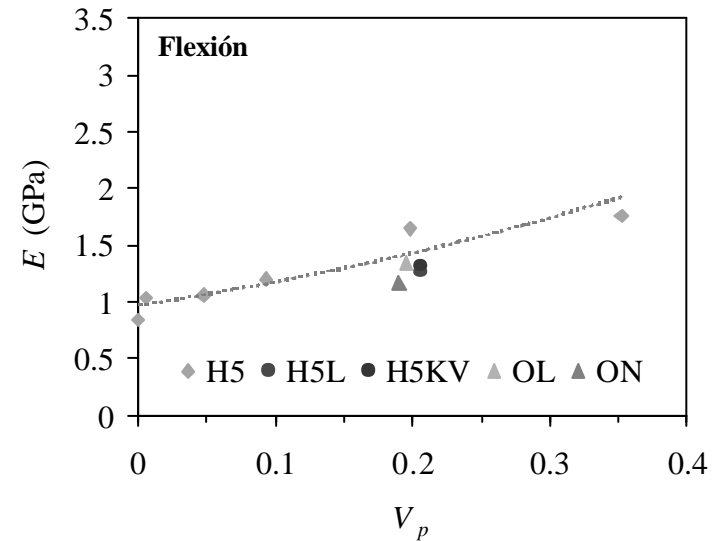
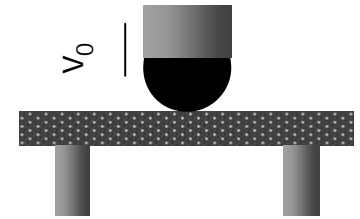
# Resultados – Propiedades Mecánicas

## *Propiedades Mecánicas a Alta Velocidad – Caída de dardo*

### Indentación



### Flexión



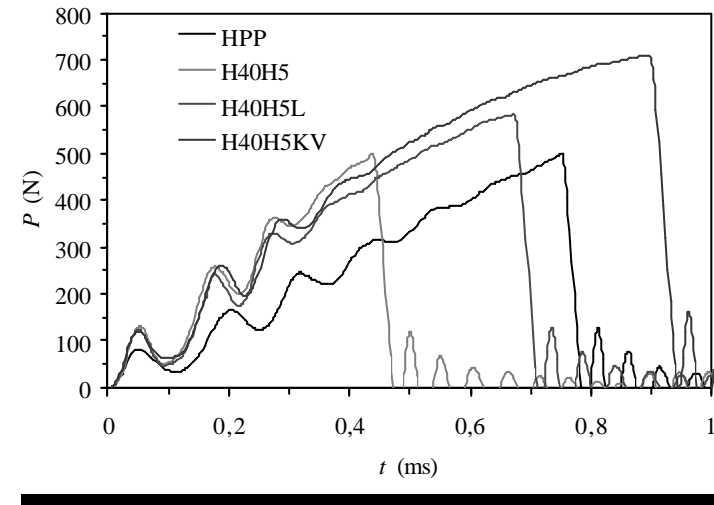
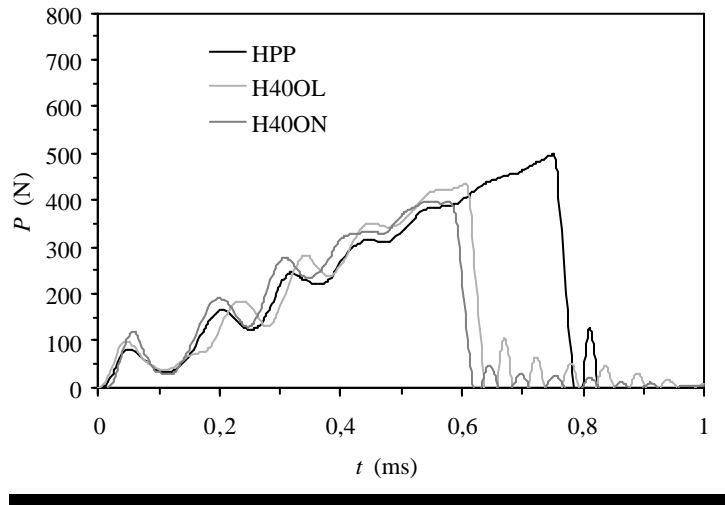
La evolución de la rigidez a alta velocidad es similar a la observada a baja velocidad (tracción).

# **Resultados**

Resistencia a la fractura

# Resultados – Fractura a alta velocidad

## *Ensayos con péndulo Charpy instrumentado*



Linealidad de las curvas fuerza-tiempo:

- un alto nivel de linealidad para materiales con carga no tratada.
- desviación importante para cargas tratadas.

Los criterios de aplicabilidad de la Mecánica de la Fractura Elástica Lineal no se cumplen para los materiales con cargas tratadas (H5L y H5KV).

Introducción

Materiales

Procedimientos  
Experimentales

Caracterización  
Básica

Estudio  
Microestructural

Propiedades  
Mecánicas

Resistencia a  
la Fractura

Resumen

# Resultados – Fractura a alta velocidad

## *Parámetros de resistencia a la fractura a alta velocidad*

	$K_{IC}$ MPa.m <sup>1/2</sup>	$G_{IC}$ kJ/m <sup>2</sup>
HPP	2.36	2.40
H40H5	2.48	1.50
H40OL	2.43	2.07
H40ON	2.22	1.82
H40H5L	2.95	2.65
H40H5KV	3.53	5.12

> Valores no representativos del material

Tenacidad a la fractura: Se ve poco afectada por la presencia de partículas.

Energía de fractura: Reducción debido a la mayor rigidez del material (más pronunciado para partículas anisotrópicas).

Tratamiento superficial: Aumento significativo de la resistencia a la fractura.

Introducción

Materiales

Procedimientos  
Experimentales

Caracterización  
Básica

Estudio  
Microestructural

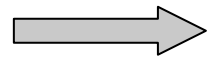
Propiedades  
Mecánicas

**Resistencia a  
la Fractura**

Resumen

# Resultados – Fractura a baja velocidad

A baja velocidad de deformación, los materiales estudiados desarrollan una deformación plástica importante.



Se aplica la Mecánica de la Fractura Elastoplástica (EPFM)

Se caracteriza el comportamiento a la fractura mediante el concepto de la integral  $J$ :

- Construcción de las curvas de resistencia  $J-\Delta a$  o  $J-R$
- Determinación del valor crítico de  $J$

El valor de  $J$  en cada instante viene dado por:  $J_0 = \frac{2U}{B(W - a_0)}$

La principal complicación para construir las curvas de resistencia consiste en determinar el valor de la profundidad de grieta ( $a$ ) en cada momento.

# Resultados – Fractura a baja velocidad

Introducción

Materiales

Procedimientos  
Experimentales

Caracterización  
Básica

Estudio  
Microestructural

Propiedades  
Mecánicas

Resistencia a  
la Fractura

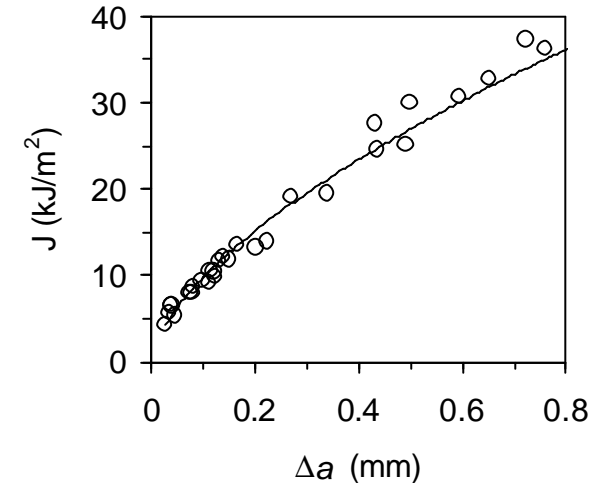
Resumen

## ***Método de múltiple probeta:***

El método más utilizado.

Medición directa de la longitud de grieta  $a$  en la superficie de fractura.

Requiere una gran cantidad de ensayo (muchas probetas para una curva).

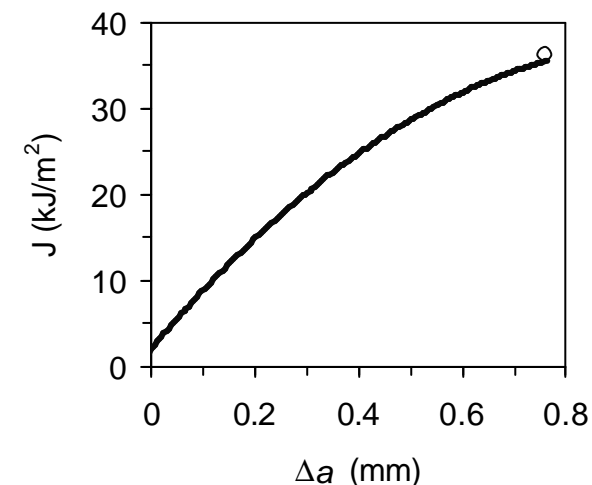


## ***Método de normalización de la carga:***

Método de probeta única de más reciente desarrollo.

Se determina el valor de la longitud de grieta  $a$  a partir de:

- Un único registro  $P-d$  de fractura
- El valor final de  $a$ ,  $a_f$





# Resultados – Método de normalización

El método de normalización está basado en el principio de separación de la carga:

$$P = G(a) \cdot H(n_{pl})$$

$a$ : profundidad de grieta

$v_{pl}$ : desplazamiento plástico

**G, Función de geometría:** Depende únicamente de la longitud de grieta para una geometría dada.

**H, Función de deformación:** Es característica de la deformabilidad del material.

**Si las expresiones de G y H son conocidas, se puede relacionar en cada momento la profundidad de grieta con la carga y el desplazamiento.**

Antes de poder aplicar el método de normalización, se tiene que comprobar la separabilidad de la carga para los materiales estudiados.

Introducción

Materiales

Procedimientos  
Experimentales

Caracterización  
Básica

Estudio  
Microestructural

Propiedades  
Mecánicas

Resistencia a  
la Fractura

Resumen

# Resultados – Método de normalización

## ***Validez de la separación de la carga:***

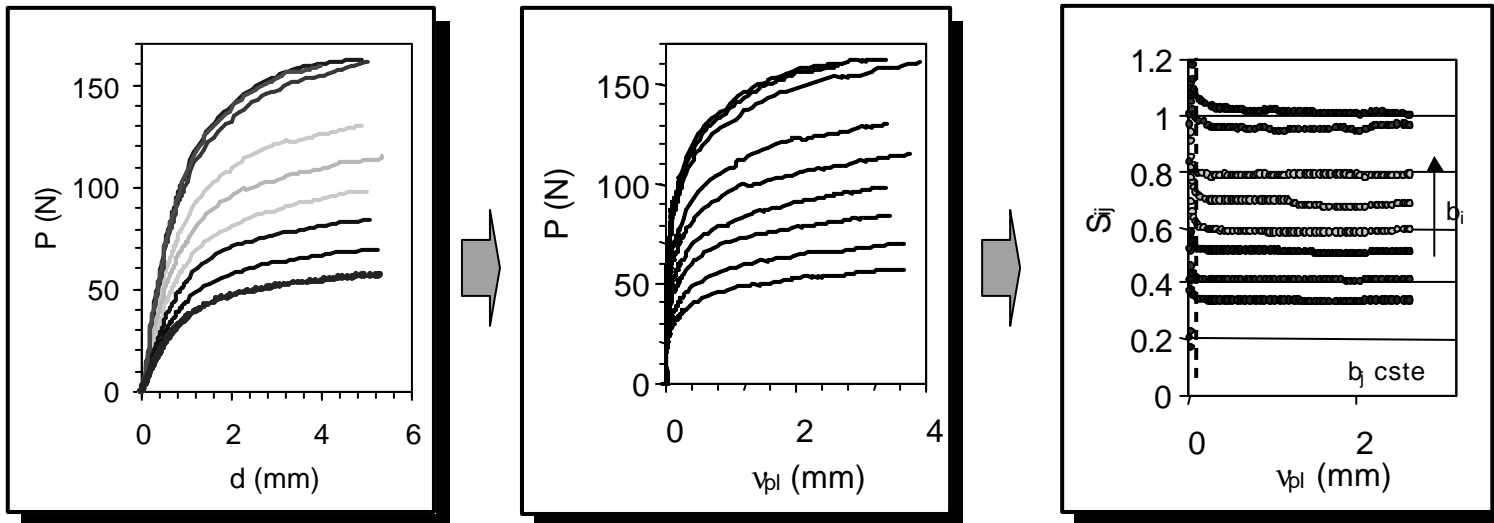
Se define el **parámetro de separabilidad:**

$$S_{ij} = \frac{P(a_i, \mathbf{n}_{pli})}{P(a_j, \mathbf{n}_{plj})} \Big|_{\mathbf{n}_{pl}} = \frac{G(a_i) \cdot H(\mathbf{n}_{pl})}{G(a_j) \cdot H(\mathbf{n}_{pl})} \Big|_{\mathbf{n}_{pl}} = \frac{G(a_i)}{G(a_j)} \Big|_{\mathbf{n}_{pl}}$$

## **Criterio de separación (Sharobeam y Landes – 1991):**

La carga es separable si, para  $a_i$  y  $a_j$  constantes, el parámetro de separabilidad es independiente del desplazamiento plástico.

Se ensayaron varias probetas SENB con entallas romas.



**Validez de la separación de la carga:** La carga es separable excepto a bajo desplazamiento plástico (región de no separación).

# Resultados – Método de normalización

## ***Método de normalización de la carga***

La expresión de la función de geometría,  $G$ , ha sido determinada para las geometrías de probetas más utilizadas.

El método de normalización consiste en determinar la expresión de la función de deformación,  $H$ .

Para ello, se define la carga normalizada:

$$P_N = \frac{P}{G(a)} = H(n_{pl})$$

El método de normalización consiste en:

1. Asumir una forma funcional para la función de deformación.
2. Calibrar esta forma en los puntos donde  $P$ ,  $d$  y  $a$  son conocidos.
3. Determinar el valor de  $a$  para todo el ensayo.

# Resultados – Método de normalización

## ***Método de normalización de la carga***

Procedimiento original (Herrera y Landes –1988):

Se asume que la función de deformación sigue una ley potencial:

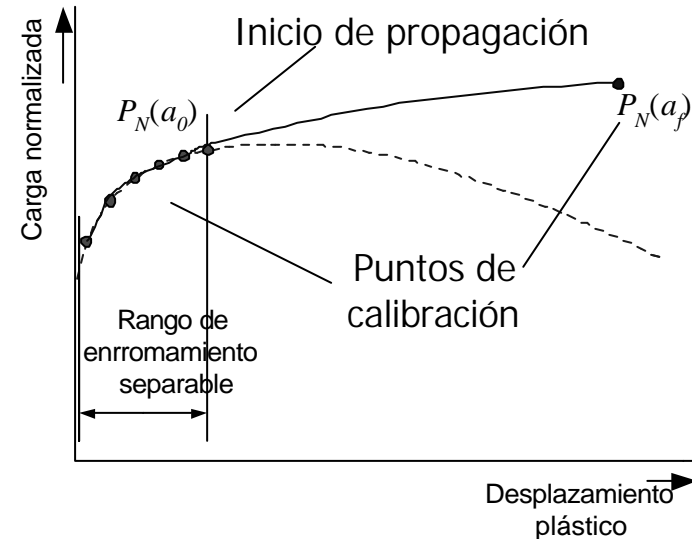
$$P_N = \beta (\Delta_{pl})^n$$

Se determina  $\beta$  y  $n$  mediante los puntos de calibración.

Se determina  $a$  en cada momento.

Se han propuesto varias modificaciones:

- Forma funcional de H.
- Identificación de los puntos de calibración.
- Valor de la longitud de grieta durante el enromamiento.



# Resultados – Método de normalización

Se han determinado las condiciones adecuadas de aplicación del método de normalización para los materiales basados en BPP:

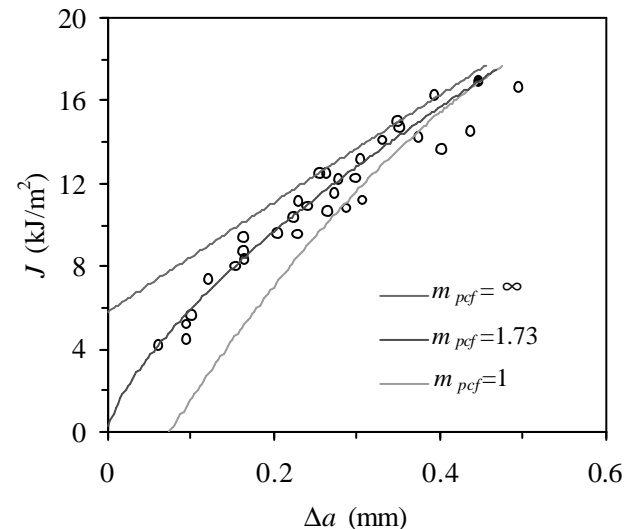
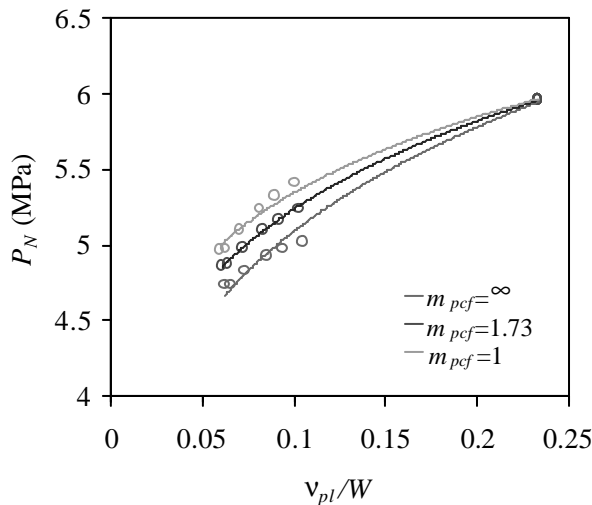
- Referencia: Curva  $J$ - $R$  por múltiple probeta.
- Construcción de curvas  $J$ - $R$  por normalización y comparación.

Ej: Influencia del enromamiento de la punta de la grieta.

Se introduce un incremento de longitud de grieta equivalente:

$$\Delta a_{bl} = \frac{J_0}{2m_{pcf} \sigma_y}$$

$m_{pcf}$ : Factor de restricción plástica



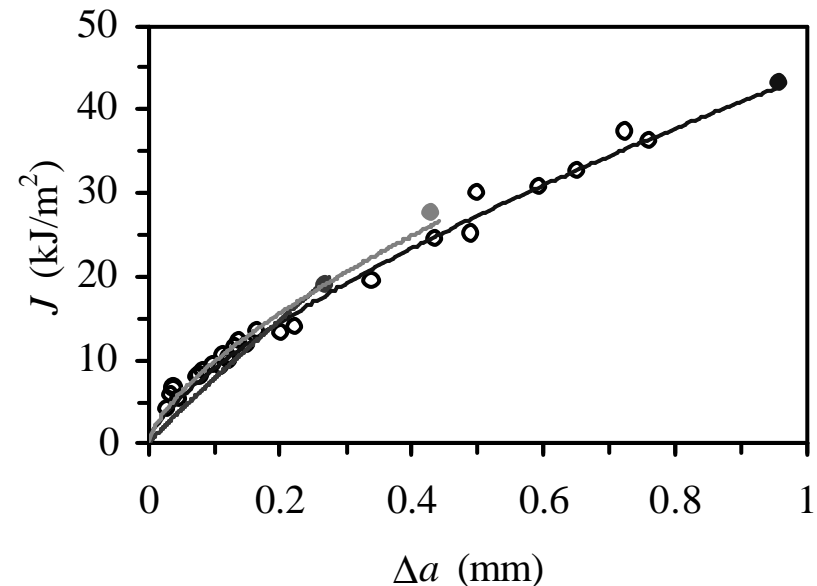
# Resultados – Método de normalización

## Condiciones adecuadas de aplicación del método:

- *Forma funcional:* Ley potencial
- *Calibración de la forma funcional:* 6 puntos de la región de enromamiento con peso 1 y el punto final con peso 6
- *Cuantificación del enromamiento:*  $m_{pcf}=1.73$

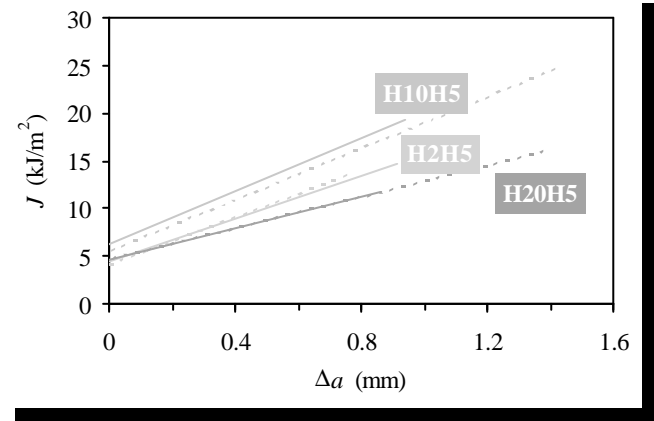
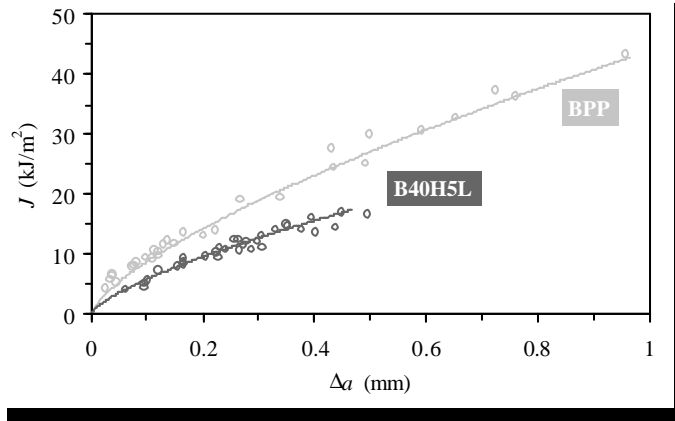
## Criterio de fiabilidad:

Se considera que las curvas  $J$ - $R$  obtenidas son fiables si son independientes del valor de  $\Delta a_f$  de la probeta utilizada.



# Resultados - Fractura a baja velocidad

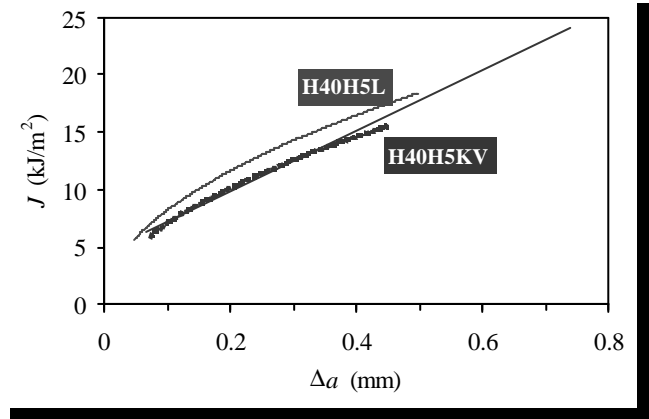
## Construcción de las curvas de resistencia



El método se ha aplicado con éxito excepto para altos contenidos de partículas:

$$W_p \geq 40\% \text{ para H5, OL y ON.}$$

$$W_p > 40\% \text{ para H5L y H5KV.}$$



Para estos materiales, no existe región de enroscamiento separable.

# Resultados – Fractura a baja velocidad

## ***Criterio de no aplicabilidad del método***

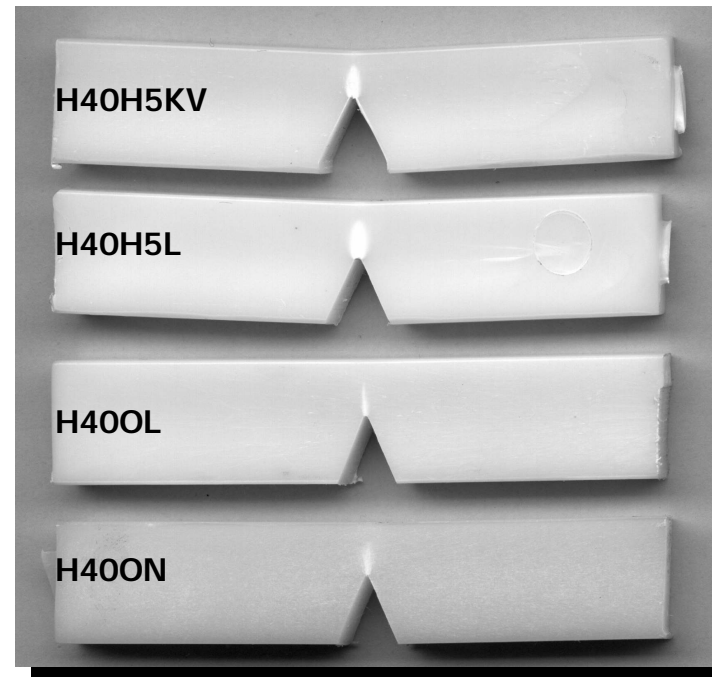
Se ha observado una coincidencia entre la no aplicabilidad del método y la forma de la zona de deformación plástica.

### **Método aplicable:**

- Zona de deformación plástica elíptica y ancha.
- Procesos de fractura y de deformación plástica separados.

### **Método no aplicable:**

- Zona de deformación plástica alargada y estrecha.
- Procesos de fractura y de deformación no dissociables.



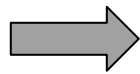
**El método es aplicable únicamente para los materiales donde el crecimiento de grieta y la deformación plástica son separables.**



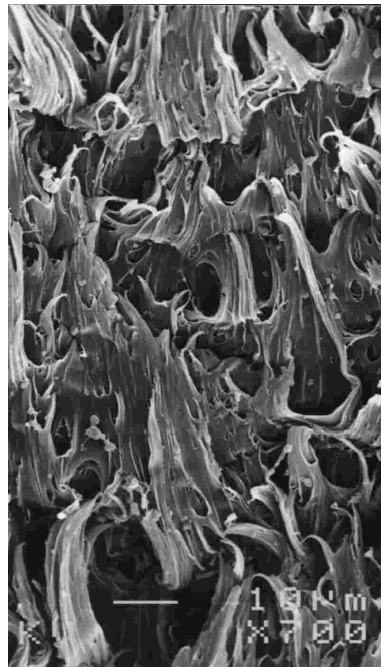
# Resultados – Fractura a baja velocidad

## *Criterio de no aplicabilidad del método*

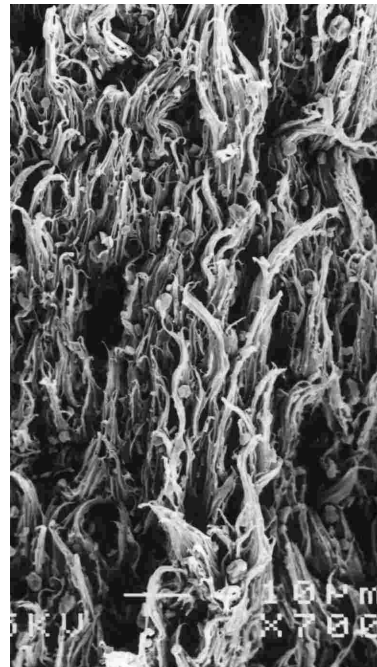
La no separabilidad de los procesos de deformación y de fractura se debe a la importancia de la cavitación.



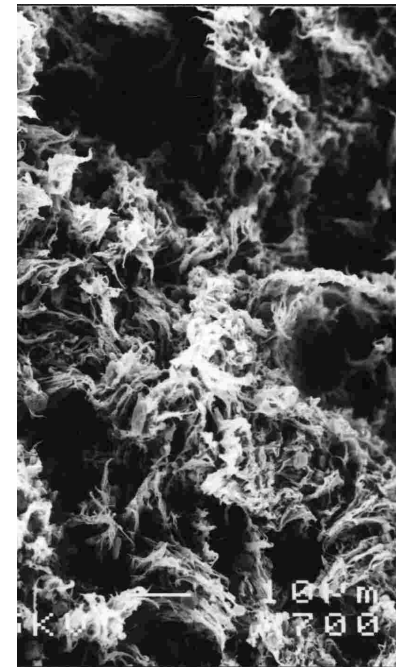
Estructura parecida a una craze (casi una grieta)



0% Carga



40% Carga



60% Carga

Introducción

Materiales

Procedimientos Experimentales

Caracterización Básica

Estudio Microestructural

Propiedades Mecánicas

Resistencia a la Fractura

Resumen

# Resultados – Fractura a baja velocidad

## *Parámetros de fractura*

La evolución similar del valor crítico de  $J$  es independientemente del criterio utilizado.

La resistencia disminuye con el contenido de partículas.

	$J_{0.2}$ (kJ/m <sup>2</sup> )	dJ/da (10 <sup>3</sup> kJ/m <sup>2</sup> )
BPP	14.4	38.5
B40H5L	9.6	32.8
B60H5L	5.5	15.2

La modificación de la estructura cristalina resulta en un aumento de la resistencia para bajos contenidos de carga.

H2H5	6.6	12.5
H10H5	8.2	13.5
H20H5	6.3	8.2

Un tratamiento superficial incrementa la resistencia a la fractura.

H40H5L	11.7	23.0
H40H5KV	9.8	26.7

Introducción

Materiales

Procedimientos  
Experimentales

Caracterización  
Básica

Estudio  
Microestructural

Propiedades  
Mecánicas

**Resistencia a  
la Fractura**

Resumen

# Resumen

# Resumen

Introducción

Materiales

Procedimientos  
Experimentales

Caracterización  
Básica

Estudio  
Microestructural

Propiedades  
Mecánicas

Resistencia a la  
Fractura

Resumen

- Se ha observado una actividad de nucleación marcada de los hidróxidos de magnesio y aluminio sobre la fase cristalina del polipropileno. Por otra parte, el proceso de moldeo por inyección ha generado una estructura multicapa en las piezas, caracterizada por un alto nivel de orientación de las partículas y del polímero en la piel. Esta estructura resulta en un alto grado de anisotropía y de heterogeneidad de la estructura y de las propiedades mecánicas.
- Las propiedades mecánicas se ven considerablemente modificadas por la presencia de carga mineral: aumento de la rigidez y reducción de la resistencia a la tracción y de la deformación. Se ha observado una evolución de los micromecanismos de deformación, con un aumento de la contribución del despegue de la interfaz partícula-matriz, resultando en un fenómeno de cavitación importante.

# Resumen

Introducción

Materiales

Procedimientos  
Experimentales

Caracterización  
Básica

Estudio  
Microestructural

Propiedades  
Mecánicas

Resistencia a la  
Fractura

Resumen

- La resistencia a la fractura se ve considerablemente reducida para altos contenidos de carga mineral, tanto a alta como a baja velocidad de deformación. Se ha visto que un tratamiento superficial permite mejorar la resistencia a la fractura de sistemas PP/hidróxidos. Se han identificado los micromecanismos de fractura para estos materiales.
- El método de normalización de la carga ha resultado ser una herramienta potente para la construcción de las curvas de resistencia de los materiales mediante un único ensayo. Se ha determinado el procedimiento adecuado para su aplicación a los materiales estudiados y se han propuesto varios criterios para juzgar de su validez y de su fiabilidad.

MUCHAS GRACIAS