

Jornada de Innovación en Materiales y Tecnologías del Plástico.

Organizada por ALLOD.

GAIKER, 28-X-2009.

Metodología de Caracterización de Materiales para el Diseño de Producto.

ponente de LEARTIKER: Aitor Arriaga.



Índice de la presentación

1. Presentación de LEARTIKER.
2. Características de los materiales termoplásticos, elastómeros y termoplásticos-elastómeros.
3. El diseño de producto mediante el MEF.
4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.
 - Características mecánicas de los termoplásticos.
 - Métodos estándares de caracterización mecánica.
 - Métodos no-estándares de caracterización mecánica.
 - Aspectos a tener en cuenta en el MEF.
 - Comportamiento a impacto, ensayos de caracterización y simulaciones.
5. Caracterización mecánica de los materiales elastoméricos y termoplásticos-elastómeros.
 - ❑ Características mecánicas de los elastómeros.
 - ❑ Métodos estándares de caracterización mecánica.
 - ❑ Métodos no-estándares de caracterización mecánica.
 - ❑ Aspectos a tener en cuenta en el MEF.



1. Presentación de LEARTIKER.

1) 1992-2000

- Set-up of the new University Degree of BsC. In Polymer Engineering
- Beginning of the Technical Services for the Industry

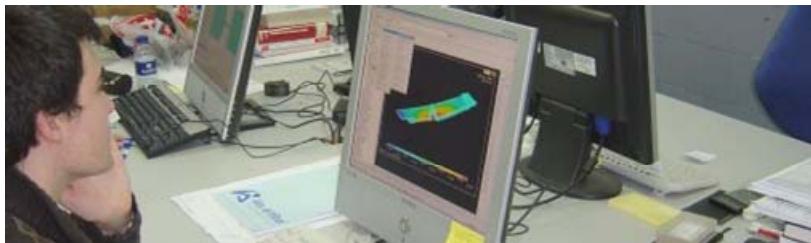
2) 2000-2009

- PhD activity beginning
- Definition of the main Research areas



Human Resources linked to Research in Polymers:

- | | |
|---|------------------|
| • PhD's | 2 |
| • PhD students | 7 |
| • Licenciaturas | 5 |
| • Licenciatura en Polymer Engineering | 3 |
| • Ingenierías superiores | 2 |
| • Ingenierías técnicas | 6 |
| | Total: 25 |
| • More than 140 Polymer Engineers working in industry | |



2. Características de los materiales termoplásticos, elastómeros y termoplásticos-elastómeros.

Generalidades,

- ✓ Los materiales termoplásticos se clasifican en amorfos o semi-cristalinos dependiendo de su estructura molecular. No existen entrecruzamientos entre cadenas.
 - Los termoplásticos amorfos presentan un comportamiento mecánico rígido a temperatura ambiente.
 - Los termoplásticos semi-cristalinos presentan un comportamiento mecánico dúctil a temperatura ambiente.

- ✓ Los materiales elastoméricos son de naturaleza amorfa y poseen cadenas moleculares entrecruzadas.
 - Presentan un comportamiento mecánico elástico a temperatura ambiente.

- ✓ Los termoplásticos-elastómeros se encuentran en un estado intermedio entre ambos comportamientos.
 - Comportamiento elástico similar a los elastómeros a temperatura ambiente, se pueden fundir y reutilizar como los termoplásticos.



2. Características de los materiales termoplásticos, elastómeros y termoplásticos-elastómeros.

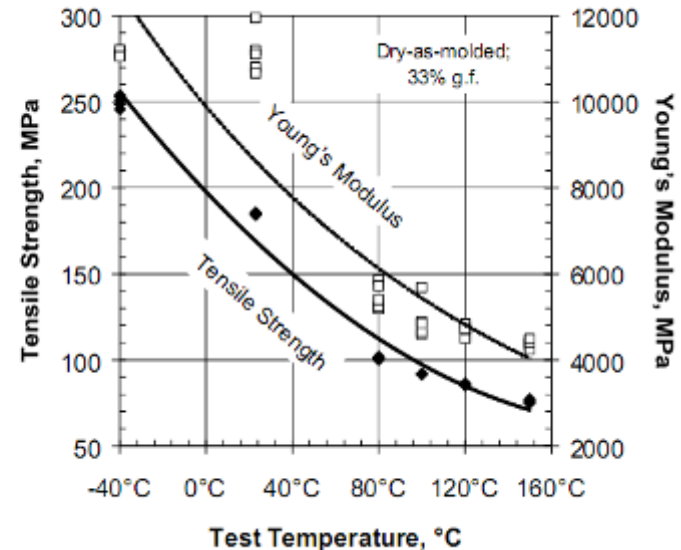
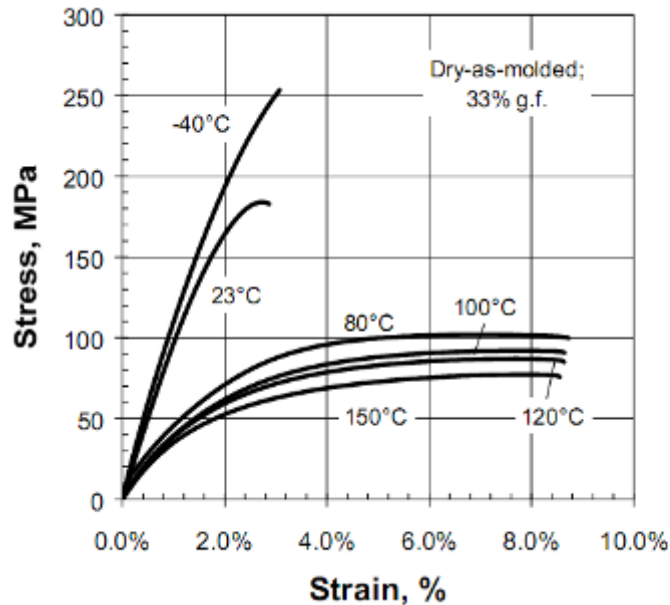
Punto de vista mecánico,

- ✓ La humedad relativa, la temperatura y la velocidad de ensayo son variables a tener en cuenta especialmente en los materiales termoplásticos. Las propiedades mecánicas varían sobremanera. Normalmente se les exige un comportamiento desde el punto de vista de **rigidez y resistencia**.
- ✓ Las **propiedades elásticas**, la **amortiguación** de vibraciones y la **durabilidad** del componente son exigencias primordiales para los elastómeros.
- ✓ Existe una combinación de ambas exigencias para los termoplásticos elastómeros. Normalmente no llegan a las características-límite elásticas de los elastómeros ni a las de rigidez-límite de los termoplásticos pero el comportamiento es competitivo para **exigencias combinadas**.



2. Características de los materiales termoplásticos, elastómeros y termoplásticos-elastómeros.

Termoplástico: poliamida 6, 30% fibra de vidrio.



La disminución de la **temperatura** de ensayo aumenta la tensión de fluencia y el módulo elástico, disminuye la deformación a rotura.

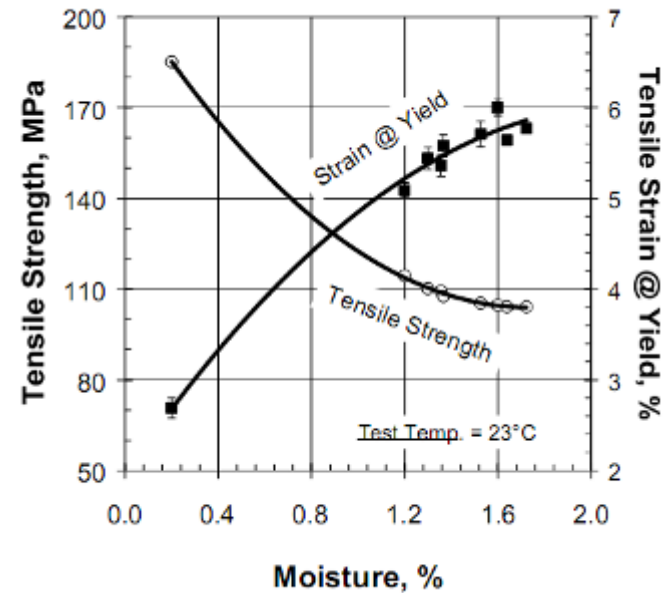
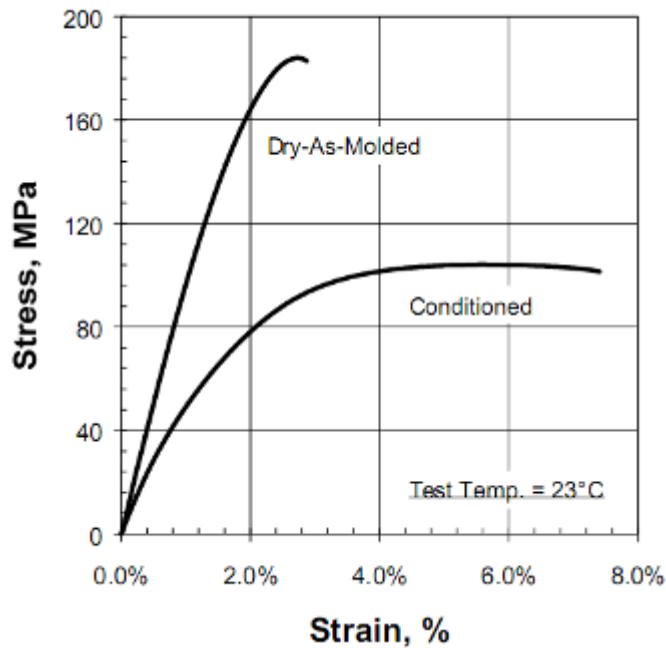
El aumento de la temperatura de ensayo aumenta la deformación a rotura y disminuye la tensión de fluencia y el módulo elástico.

2. Características de los materiales termoplásticos, elastómeros y termoplásticos-elastómeros.

Termoplástico: poliamida 33% fibra de vidrio

A mayor % de **humedad** en el material (conditioned), disminuye el modulo elástico y la tensión de fluencia.

A su vez, aumenta la deformación a rotura.

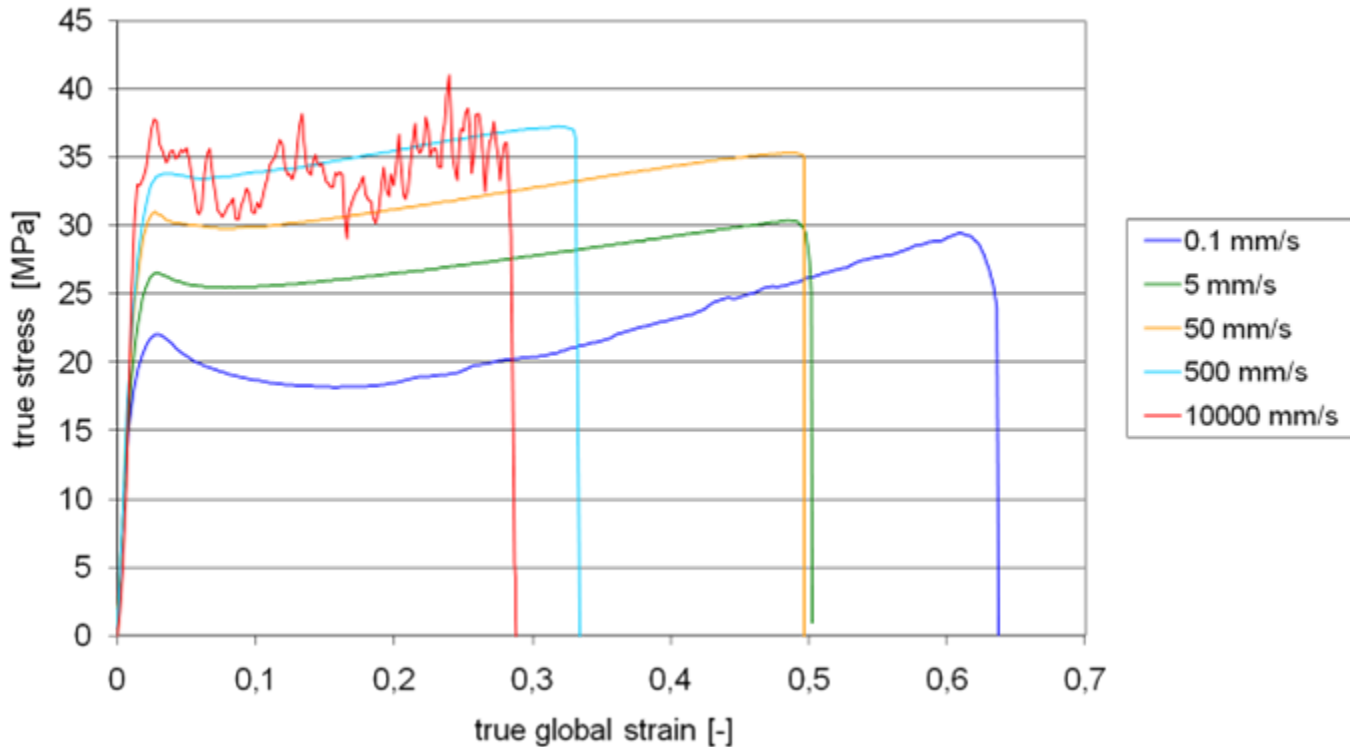


2. Características de los materiales termoplásticos, elastómeros y termoplásticos-elastómeros.

Termoplástico: polipropileno (PP).

Un aumento en la **velocidad de ensayo** aumenta la tensión de fluencia del material y disminuye la deformación a rotura. El módulo elástico permanece prácticamente insensible (para este material).

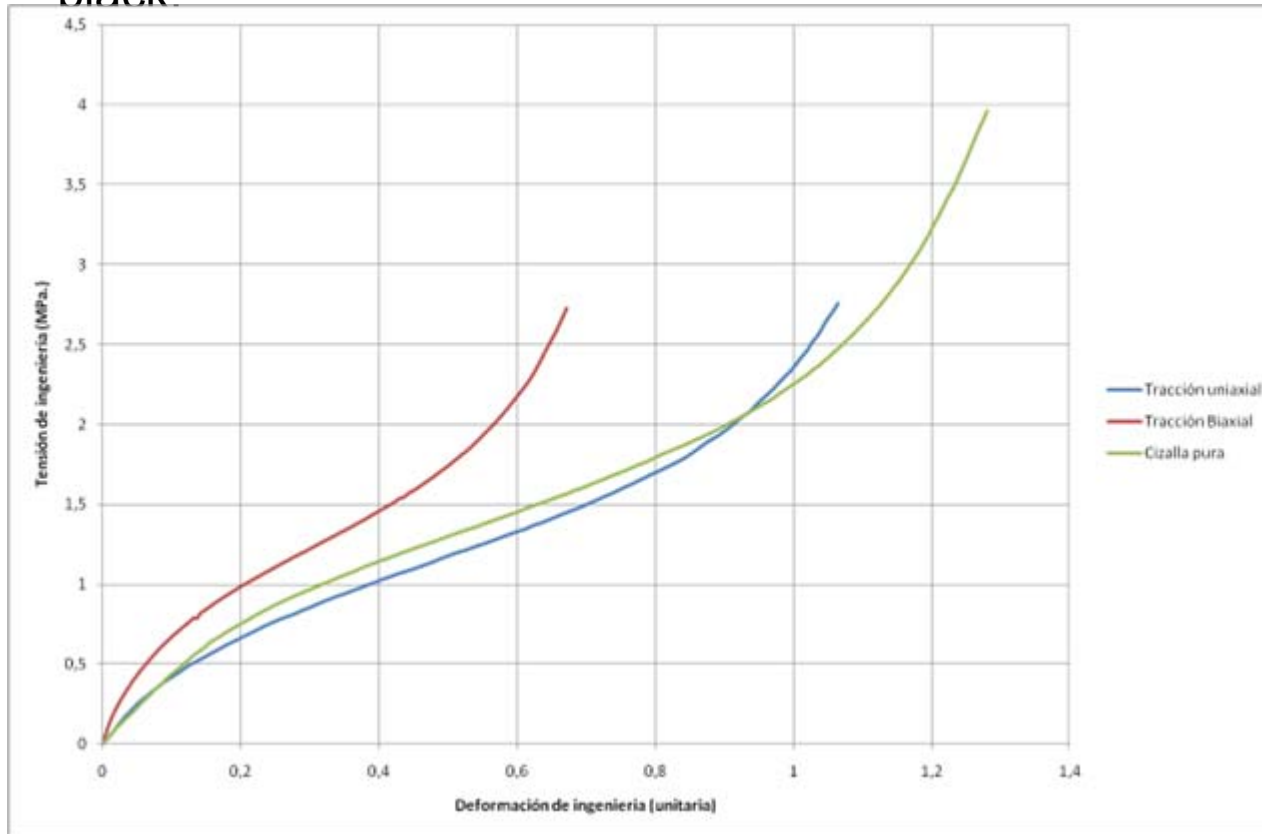
Inspire TF1500 ESU at room temperature



Source: VDA Project "Mechanische Charakterisierung thermoplastischer Kunststoffe für die Crash-Simulation"

2. Características de los materiales termoplásticos, elastómeros y termoplásticos-elastómeros.

Elastómero: caucho natural (NR) 55 pph carbon black

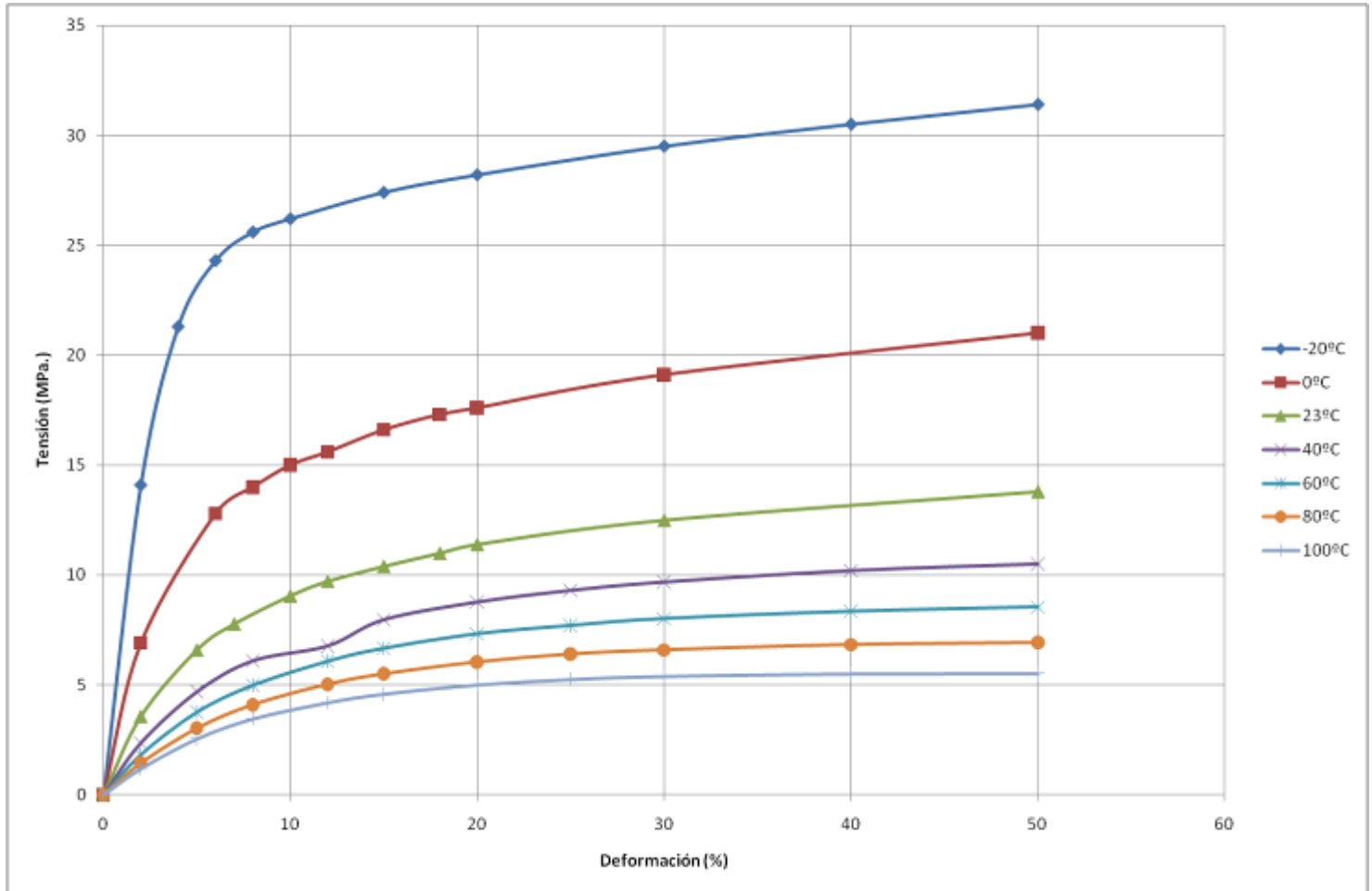


Se observa la influencia del modo de deformación.
Las deformaciones son elevadas y no existe una zona lineal.

2. Características de los materiales termoplásticos, elastómeros y termoplásticos-elastómeros.

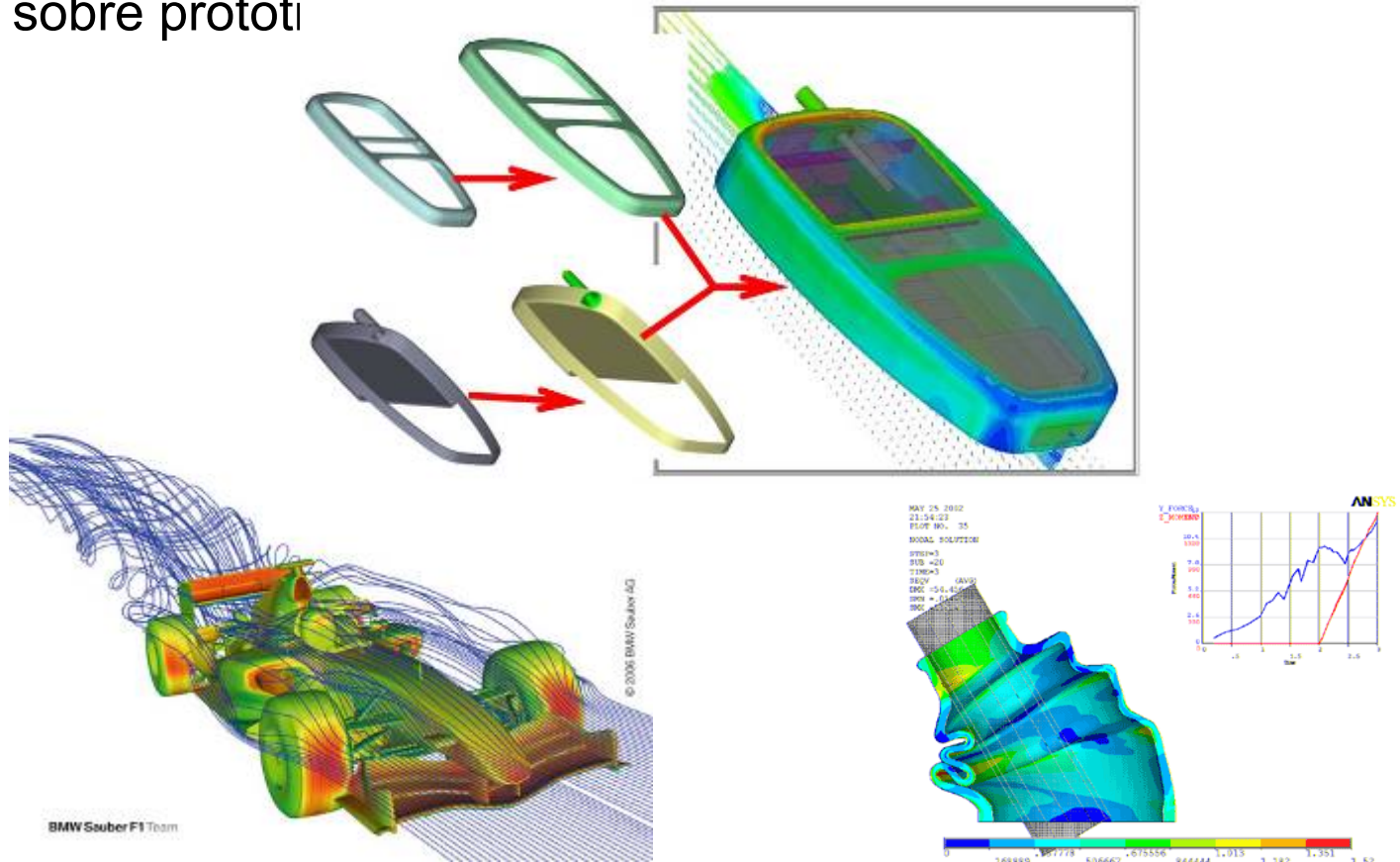
Termoplástico-Elastómero: TPU

Influencia de la temperatura en la curva tensión-deformación.



3. El diseño de producto mediante el Método de Elementos Finitos (MEF).

- ✓ El MEF es un estándar actualmente a la hora de desarrollar componentes fabricados en materiales poliméricos.
- ✓ Acorta la fase de desarrollo reduciendo el numero de ensayos sobre prototi



3. El diseño de producto mediante el Método de Elementos Finitos (MEF).

- ✓ Para que los resultados de simulación correlacionen correctamente con resultados experimentales en componente:
 - Correcta **caracterización mecánica**-reológica del material.
 - Selección-implementación del **modelo constitutivo** adecuado.
 - Adecuada representación de las **condiciones de contorno y cargas** experimentales.
 - Procedimiento de trabajo verificado en el código de simulación: **tipo de malla**, densidad de malla, características del solver, etc.

- ✓ Existe una gran variedad de códigos de cálculo:
 - Implícitos: COSMOS, ANSYS, MSC Software, ABAQUS, ADINA, ALGOR,...
 - Explícitos: MSC.DYTRAN, ABAQUS-EXPLICIT, LS-DYNA, PAM-CRASH, RADIOSS,...

- ✓ La **problemática** actual reside principalmente en la **generación de datos de material** y en la creación-implementación-uso de modelos constitutivos de material

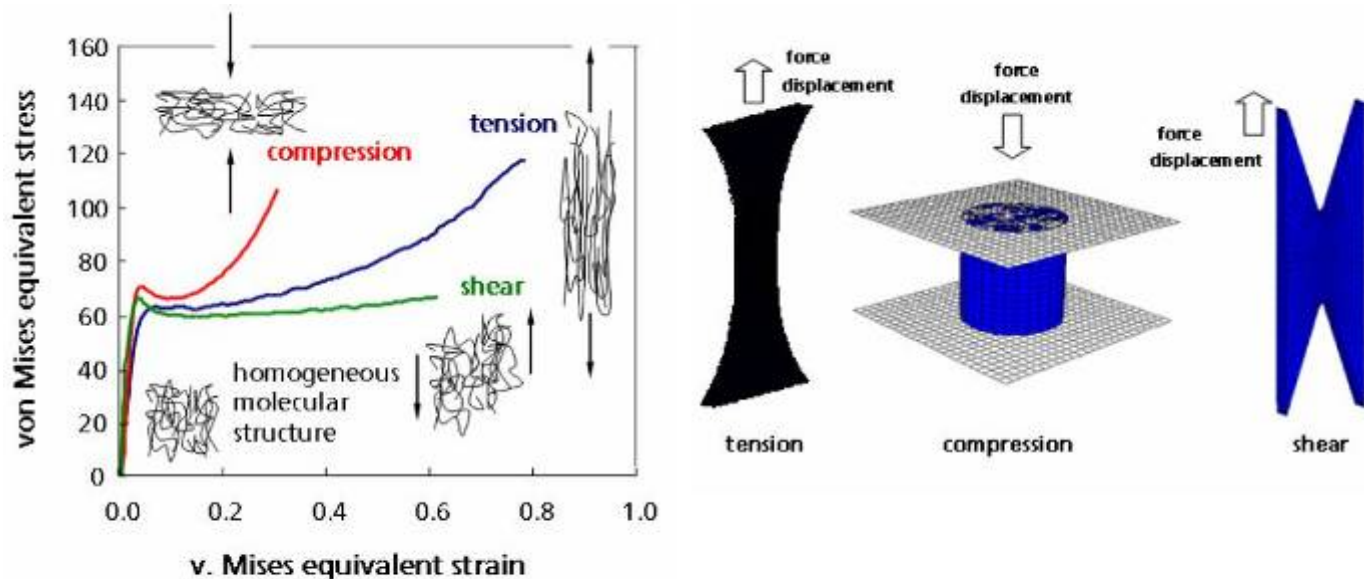
4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.

- ✓ Los termoplásticos de uso común en ingeniería (PP, PE, ABS, PC, PA, POM, PMMA, PS, PBT, PET) abarcan un amplio rango de sectores y aplicaciones.
- ✓ Exigencias diversas: rigidez, resistencia, funcionalidad a largo plazo, estética, resistencia a impactos, precisión, moldeabilidad, reciclabilidad, automatización,...
- ✓ El comportamiento mecánico varía considerablemente entre distintos materiales, además, se suelen modificar las propiedades mediante el uso de plastificantes o cargas reforzantes (fibras de vidrio, talco mineral).
- ✓ Como regla general no pueden competir con materiales metálicos, pero, un diseño adecuado (nervaduras, corrugado, refuerzos metálicos) permite conseguir componentes más ligeros y sustitutivos de piezas metálicas.
- ✓ Desde el punto de vista de **simulación y caracterización** mecánica presentan una serie de retos que habitualmente no se han presentado

4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.

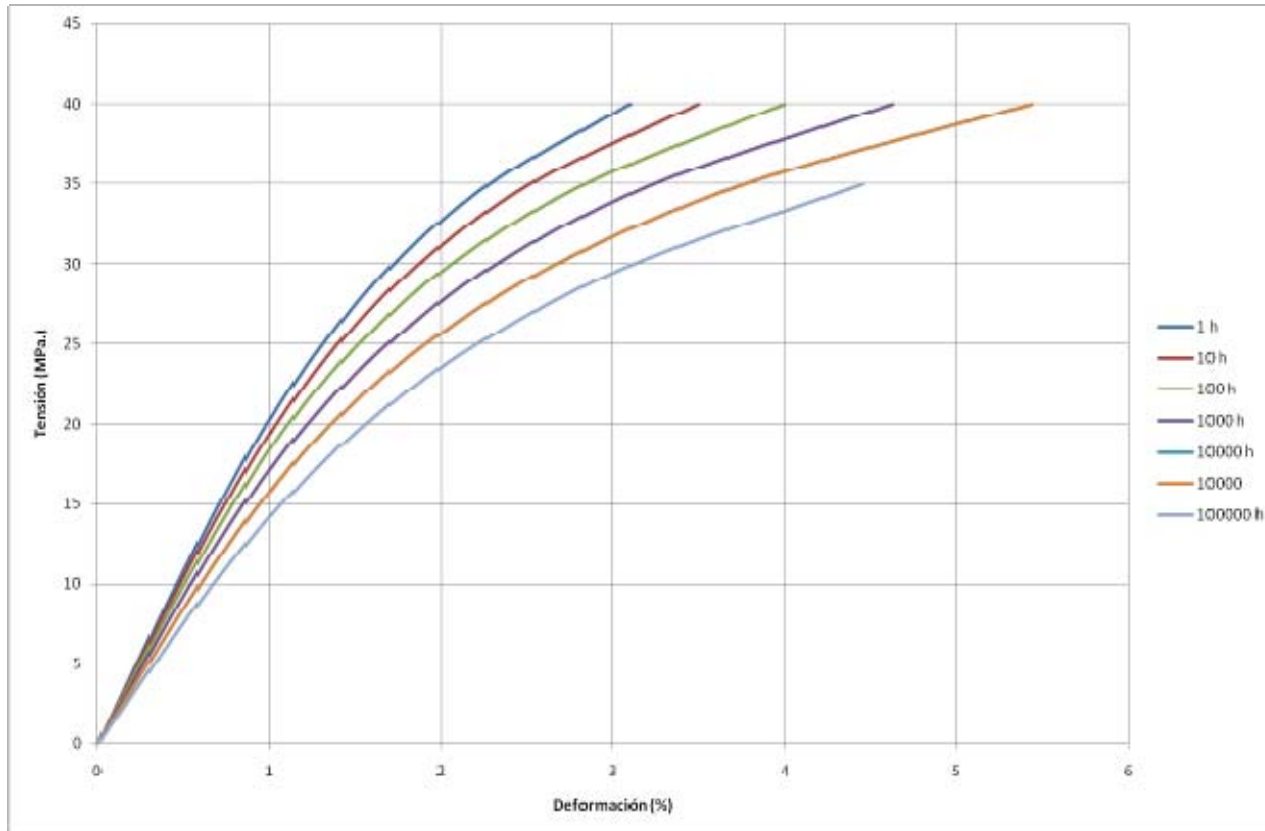
Características mecánicas de los termoplásticos.

- El comportamiento del material depende del modo de deformación. Lo habitual es caracterizar solamente a tracción > error asumible?



4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.

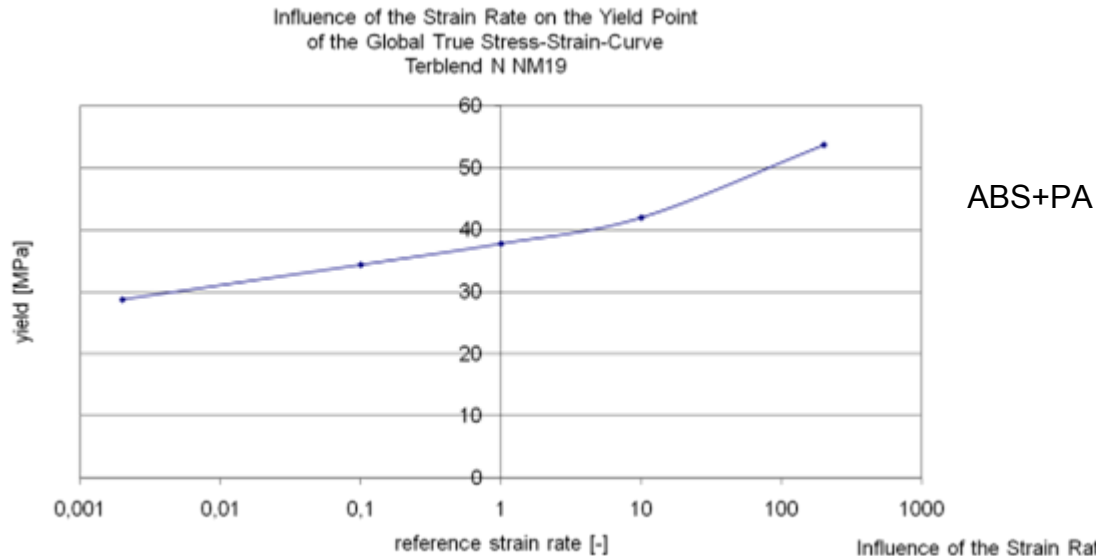
- Fenómenos viscoelásticos (creep, relajación de tensiones, dependencia del módulo elástico con la velocidad de deformación).



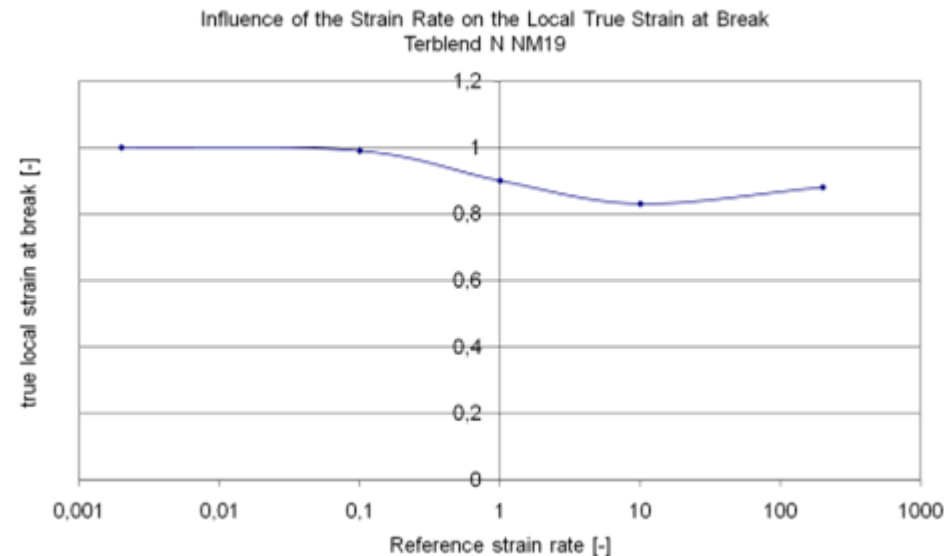
Evolución tensión-deformación con el tiempo para un PC.

4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.

- Fenómenos viscoplásticos, dependencia de la zona plástica de la velocidad de deformación.



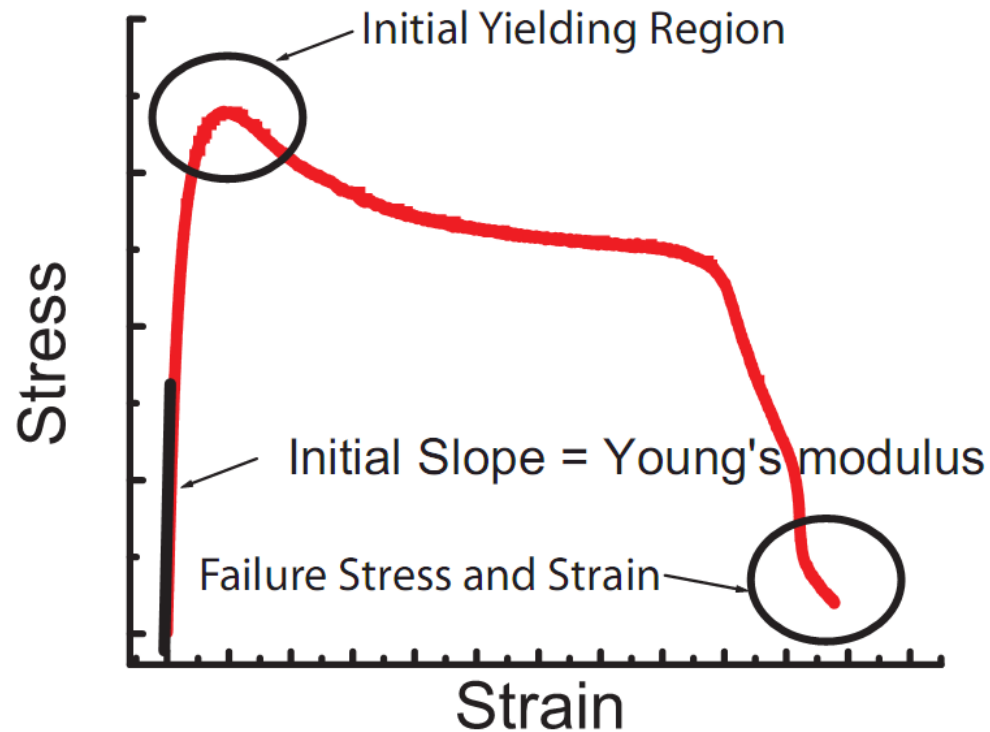
Source: VDA project "Mechanische Charakterisierung thermoplastischer Kunststoffe für die Crash-Simulation"



Source: VDA project "Mechanische Charakterisierung thermoplastischer Kunststoffe für die Crash-Simulation"

4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.

- La curva tensión-deformación es la característica principal a la hora de determinar las propiedades mecánicas necesarias para el análisis por elementos finitos (AEF).



4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.

Métodos estándares de caracterización mecánica.

Normas ISO.

- ISO 10350-1 Plastics - Acquisition and presentation of comparable **single-point data**: Identifies specific test procedures for the acquisition and presentation of comparable data for certain **basic properties of plastics**.

1. Propiedades reológicas.

2. Propiedades mecánicas:

- **Tracción ISO 527.**
- **Flexión ISO 178.**
- **Impacto Charpy ISO 179.**
- **Impacto Penetración-Indentación ISO 6603.**

Propiedades térmicas.

Propiedades eléctricas.

Otras propiedades.



Normas ISO básicas para la generación de datos.

4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.

Métodos estándares de caracterización mecánica.

Adicionalmente,

- Ensayos de Creep: ISO 899-1 (Tracción), ISO 899-2 (Flexión 3 puntos).
- Curvas Isócronas Tensión-Deformación: DIN 53444.
- Relajación de tensiones: DIN 53441.

- ISO 11403-1 Plastics - Acquisition and presentation of comparable **multi-point data**: specifies test procedures for the acquisition and presentation of multi-point data:

Parte 1: Propiedades mecánicas

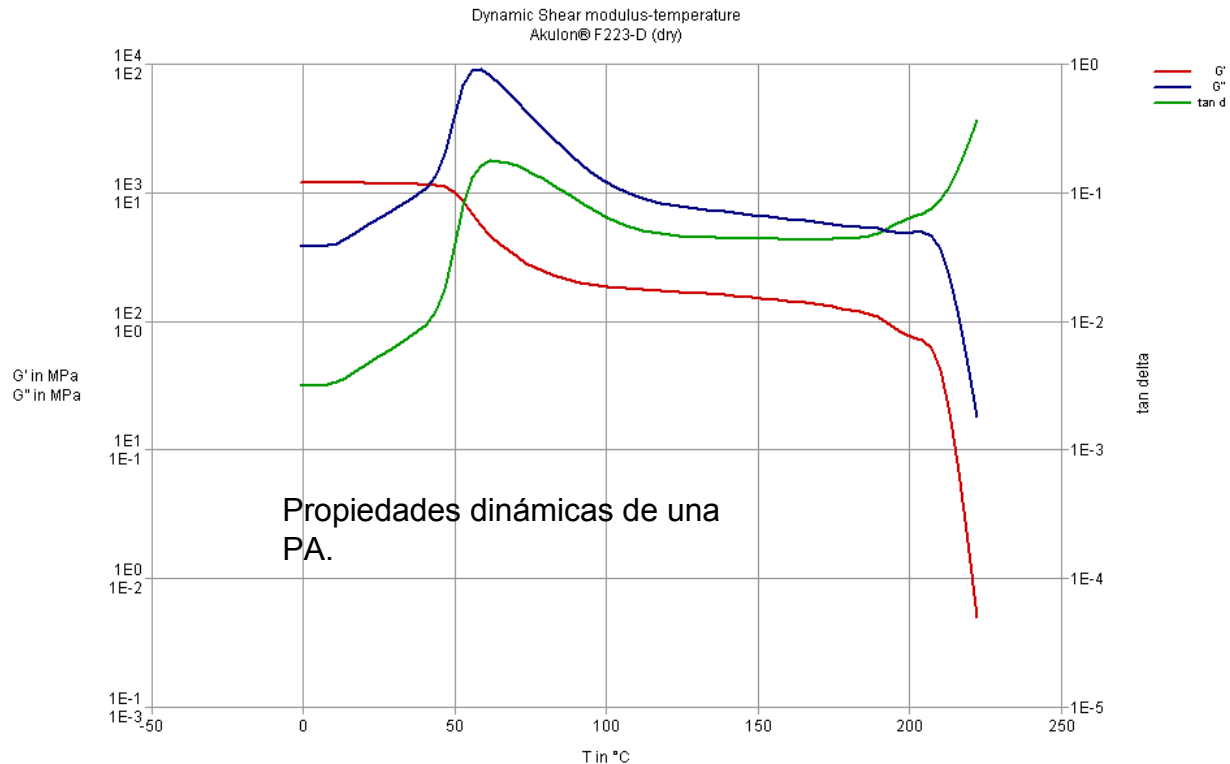
1. Módulo dinámico vs. Temperatura, ISO 6721-2, ISO 6721-4 Elastómeros

2. Propiedades de tracción a velocidad de ensayo constante.

- **a) Tensiones y deformaciones finales.**
- **b) Curva tensión-deformación.**
- 3. Tensile Creep.
- 4. Charpy impact strength.
- 5. Puncture impact behavior.

4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.

- ✓ El ensayo de tracción es prácticamente el único ensayo estándar válido para la generación de datos para AEF.
- ✓ Los ensayos de flexión, Charpy, perforación-indentación se pueden utilizar dentro de una metodología de ensayos para AEF. Procedimiento utilizado en LEARTIKER.
- ✓ Las propiedades dinámicas se pueden utilizar para estudios viscoelásticos, usual para materiales elastoméricos.



4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.

Métodos no-estándares de caracterización mecánica.

- Cuando los requerimientos de simulación abarcan aplicaciones donde hay que tener en cuenta:
 - Amplio rango de velocidades de deformación (ϵ) s-1: hasta 1000 s-1.
 - Amplio rango de temperaturas: -40 – 150°C.Las normas ISO descritas no son aplicables .
- La determinación correcta de las tensiones y deformaciones “verdaderas” (true) es un punto de investigación y discusión hoy en día. En los materiales plásticos es un punto muy importante debido al “necking”.
- No existe un estándar para la generación de datos de material para AEF para velocidades de deformación elevadas,

existen dos “guías de uso”-“estadares”:

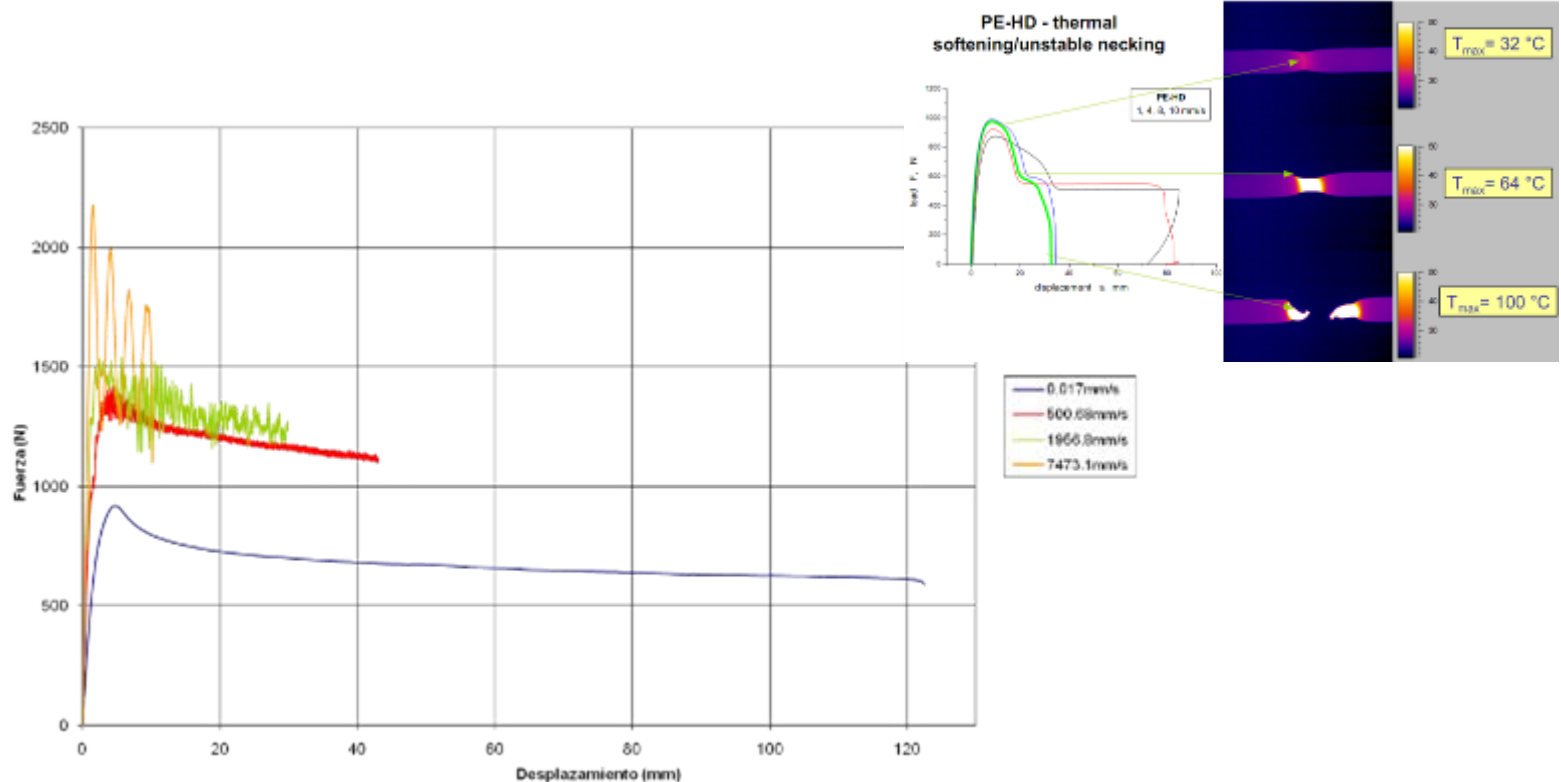
- recommended practice from the SAE (Society of Automotive Engineers), the SAE J-2749 “High Strain Rate Tensile Testing of Polymers” .
- ISO standard, the ISO 18872, “Plastics –Determination of tensile properties at high strain rates”.
- Cada centro de investigación desarrolla sus probetas, sistemas de ensayo, sistemas de medida de esfuerzos y deformaciones, etc.



4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.

Problemática:

- Diferentes probetas para la generación de datos, literatura diferentes centros.
- Al aumentar las velocidades de ensayo, aumentan los efectos de inercia en los datos registrados, baja calidad de las curvas tensión-deformación para EF.
- En materiales plásticos procesos como el necking hacen que:
 - La determinación de tensiones y deformaciones sea complicada.
 - Se genere calor en la probeta, modificando las propiedades del material.



4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.

Aspectos a tener en cuenta en el MEF.

- Introducción de la curva tensión-deformación real del material (ensayo tracción a velocidad baja).
 - Para pequeñas deformaciones y donde la curva sea lineal: utilizar módulo elástico E y coeficiente Poisson elástico, γ .
 - Para el estudio a grandes deformaciones aproximación clásica, elasto-plasticidad.
 - Definir E teniendo en cuenta una tensión de fluencia ficticia.
 - Las deformaciones plásticas calculadas son superiores.
 - Dependiendo del ensayo de tracción realizado la conversión de los valores de ingeniería se puede complicar:
 - Utilizando como medida de deformación la distancia entre mordazas: necesario correcciones.
 - Utilizando extensómetro clip-on: las deformaciones medidas son globales, “promediadas”.
 - Utilizando sistemas ópticos, se pueden determinar deformaciones reales locales, OK!

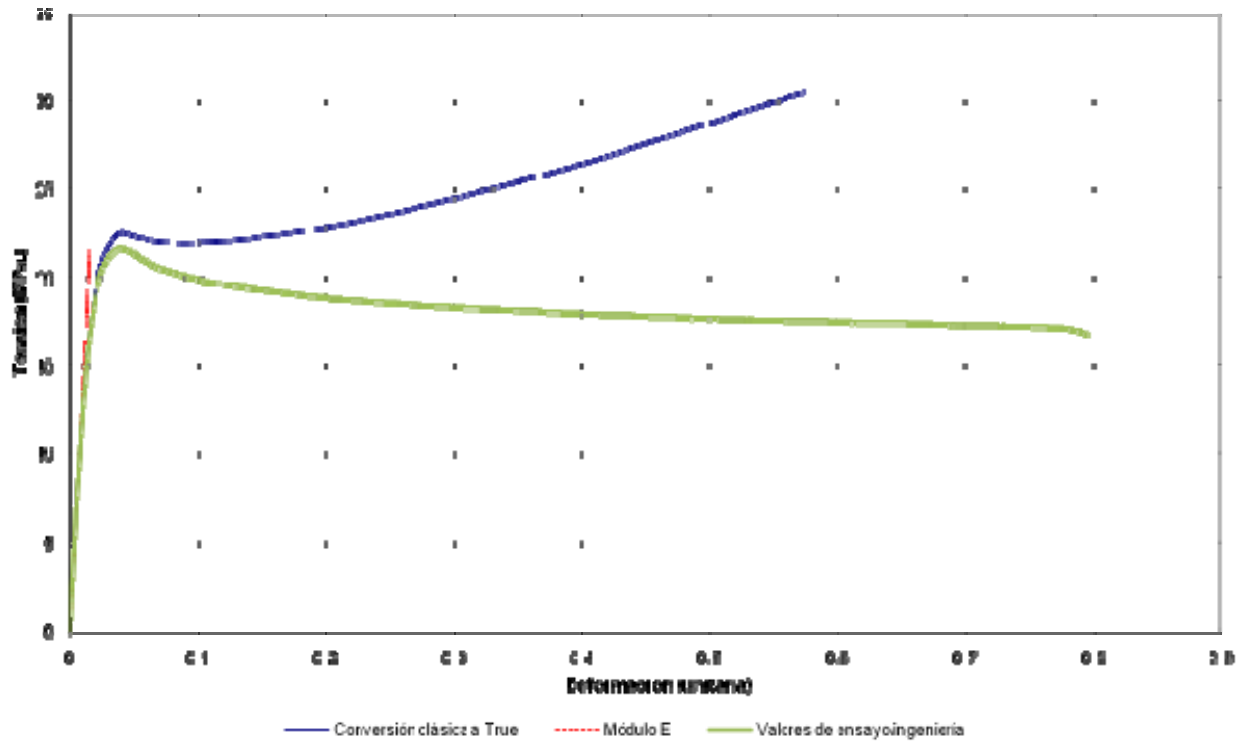
La formula clásica de conversión, uso limitado.



4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.

Adicionalmente,

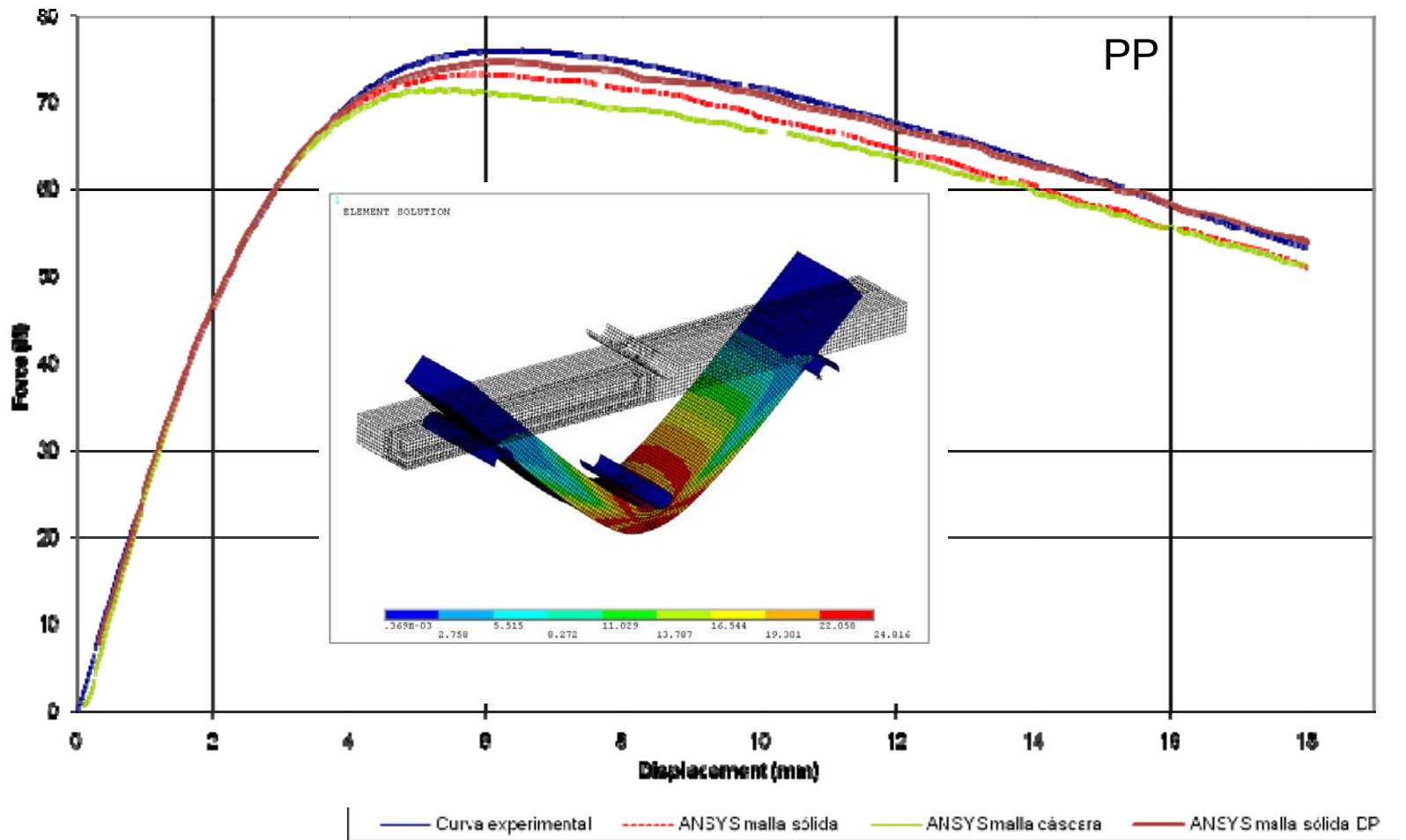
- Comportamiento diferente tracción, cizalla, compresión. No sirve el criterio de Von Mises, utilizamos el modelo de Drucker-Prager.
- Viscoelasticidad/viscoplasticidad, en ANSYS utilizamos el modelo de Perzyna (impacto-alta velocidad).



PP

4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.

Correlación ensayo de flexión experimental-simulación a 5 mm/min.



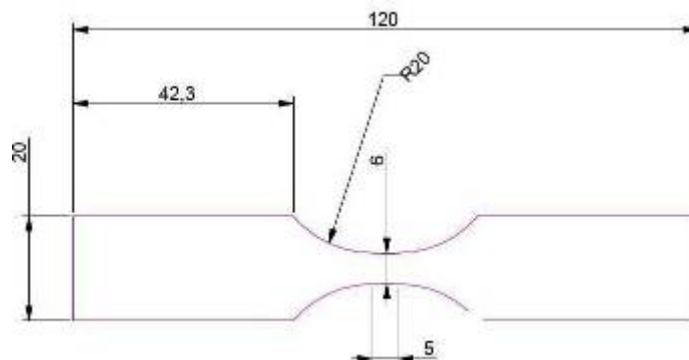
4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.

Comportamiento a impacto, ensayos de caracterización y simulaciones.

- Conocer el comportamiento del material sometido a rangos de diferentes $\dot{\epsilon}$ (s⁻¹) y T (°C).
- A falta de una normativa clara se utiliza el ensayo de tracción, probetas y procedimientos de ensayo basados en normas o “home made”.
- Se utilizan equipos servo-hidráulicos de ensayo para conseguir altas v de ensayo y probetas pequeñas.

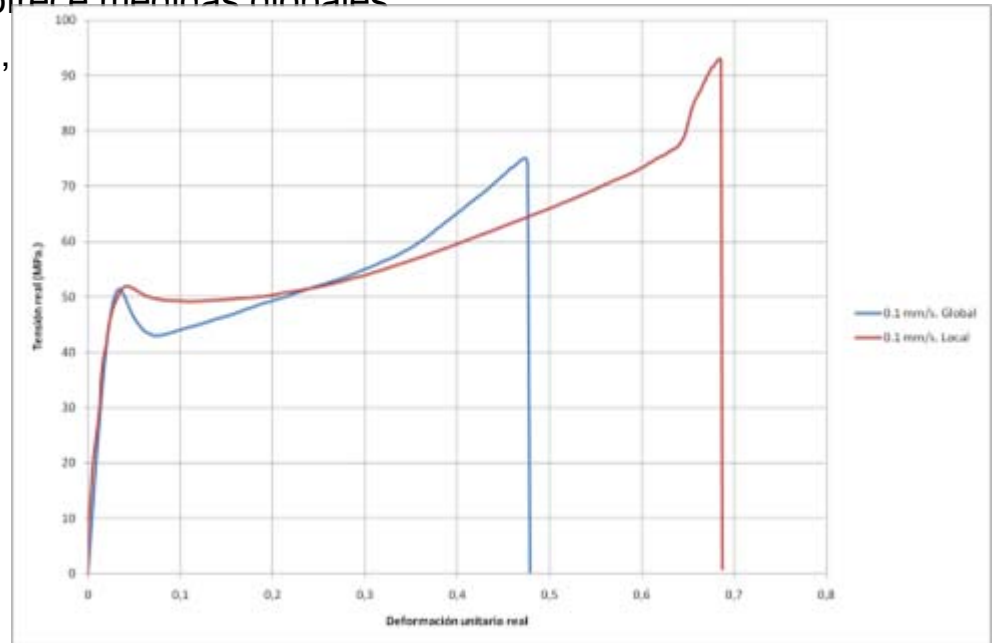
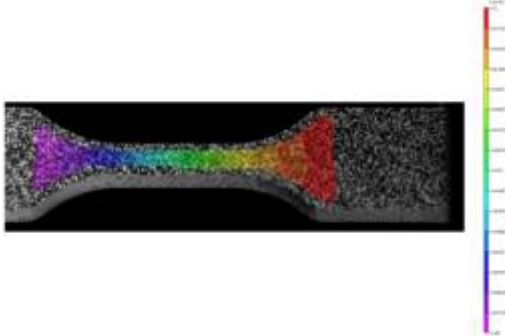
- LEARTIKER,
 - Máquina de ensayos MTS 819.10 High Rate Testing System
 - Velocidad de ensayo hasta 18 m/s. aprox 65 km/h.
 - Célula de carga piezoeléctrica 60 KN (KISTLER).
 - Sensor de desplazamiento del actuador (TEMPOSONICS)
 - Cámara térmica DYCOMETAL -70 a 180°C.
 - Recientemente adquirido sistema de visión artificial:
 - 2 cámaras de alta velocidad PHOTRON FASTCAM 675000 imágenes/seg.
 - Sistema de correlación digital de imágenes y cálculo de deformaciones VIC3D LIMESS.

$$\dot{\epsilon}_{ing} = \frac{v}{L_0}$$

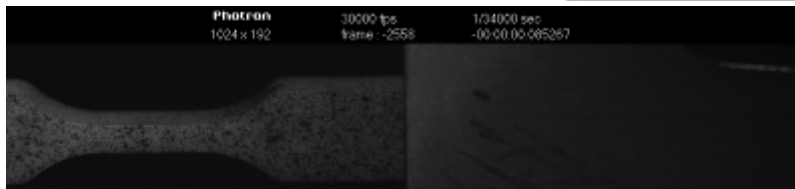


4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.

- Problemática de efectos de inercia en la señal de fuerza \rightarrow diseño rígido y ligero de utillajes, conociendo el comportamiento dinámico de la máquina se pueden realizar filtrados en la señal.
- Medición de deformaciones reales en probeta \rightarrow el “necking” en algunos materiales y las altas velocidades de ensayo hacen dificultosa la utilización de extensómetros habituales:
 - Galgas extensométricas, sólo útiles para deformaciones pequeñas.
 - Láser, puede ser útil pero ofrece medidas globales
 - Sistemas de visión artificial,

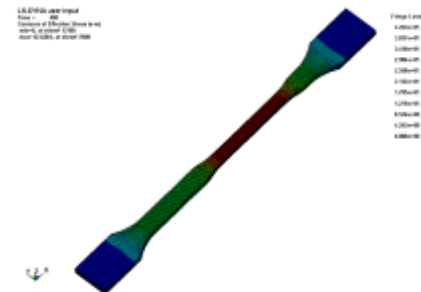
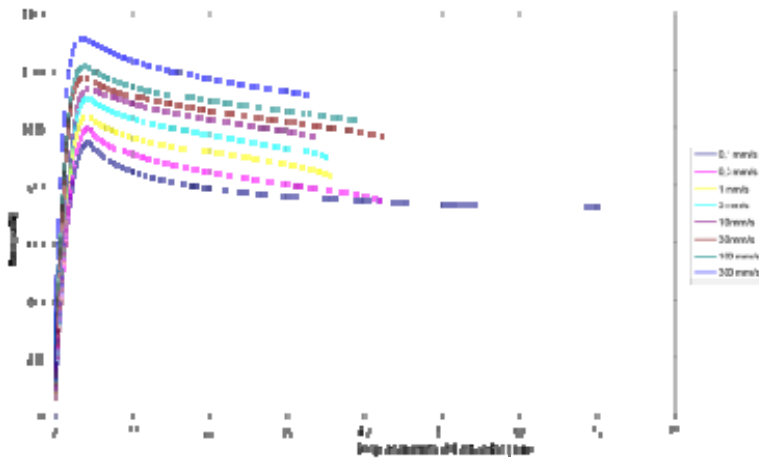


PC+ABS



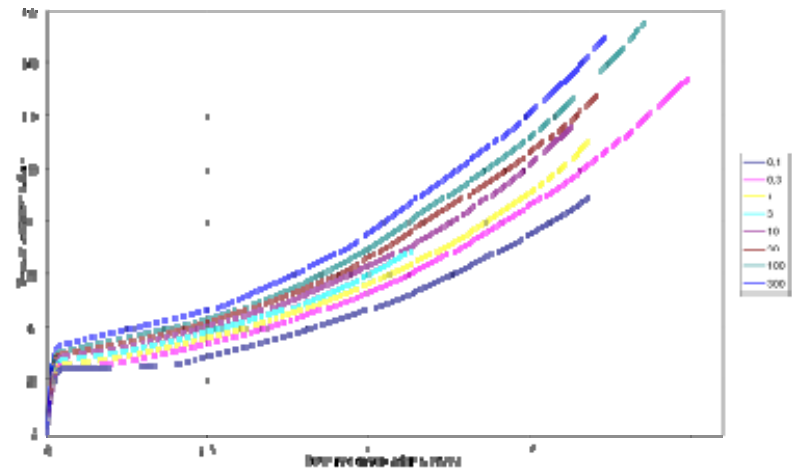
4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.

- Se desarrolló método iterativo para generación de datos tensión-deformación a diferentes velocidades.
- Consiste en el registro de fuerzas y desplazamientos globales y en la simulación del sistema de ensayo. Iterativamente se va corrigiendo la curva de entrada del material hasta ajustarse a la curva F-D experimental.



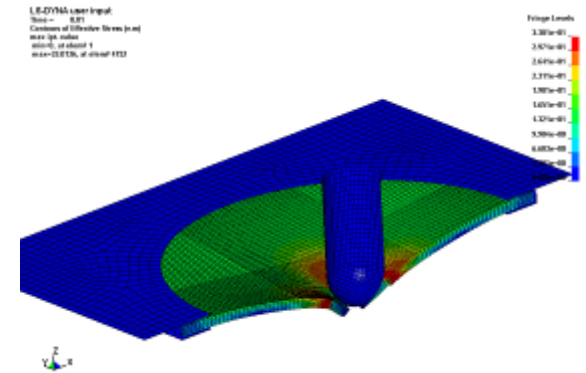
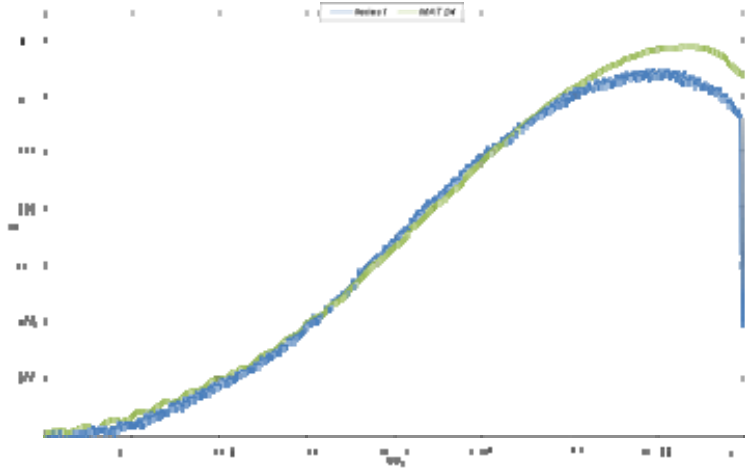
PP

Datos tensión-deformación correlados OK para su introducción en ANSYS y LS-DYNA.



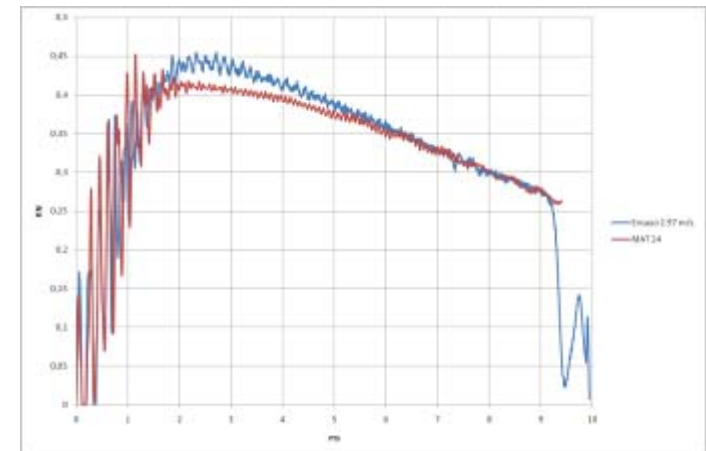
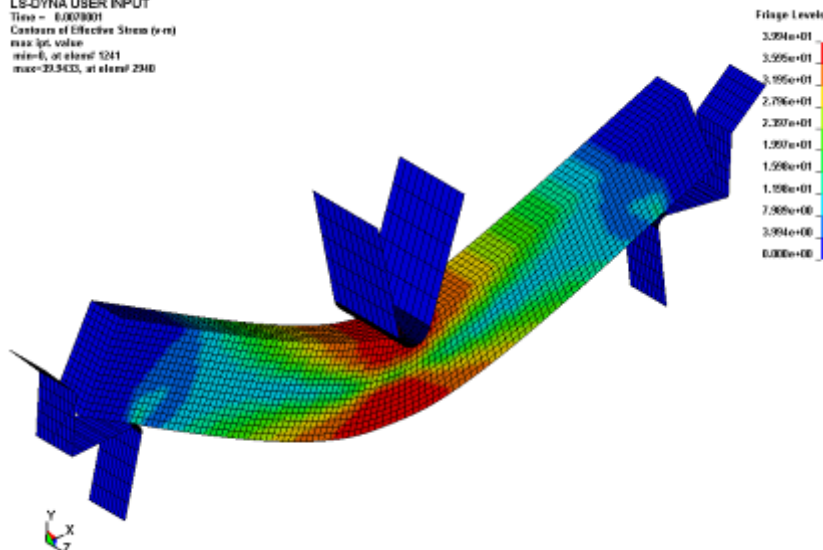
4. Caracterización mecánica de los materiales termoplásticos.

- Los datos obtenidos se validan mediante ensayo-simulación Charpy y perforación por dardo.
- Se utilizan diferentes modelos de material: ANSYS (Perzyna), LS-DYNA (MAT 24, MAT



1 m/s. dardo, PP

LS-DYNA USER INPUT
Time = 0.000001
Contours of Effective Stress (y.m)
max (pt. value)
min=0, at elem# 1241
max=33.9433, at elem# 2340

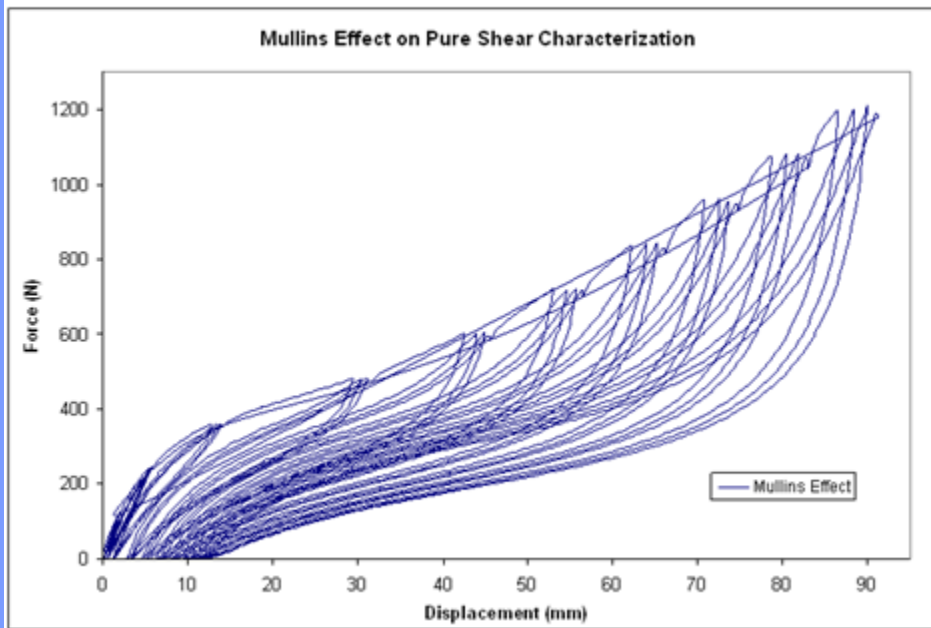


3 m/s. dardo, PC+ABS

5. Caracterización mecánica de los materiales elastoméricos y termoplásticos.

Características mecánicas de los elástómeros.

- ✓ Debido a su capacidad de permitir grandes deformaciones prácticamente recuperables, históricamente tratamiento hiperelástico.
- ✓ No del todo cierto, existe fenómenos como el efecto Mullins o el efecto Payne asociados a fenómenos viscosos relacionados con las cargas en la formulación.



Para un correcto tratamiento hiperelástico en el programa por EF, hay que tener en cuenta estos fenómenos en el ensayo de caracterización.

5. Caracterización mecánica de los materiales elastoméricos y termoplásticos.

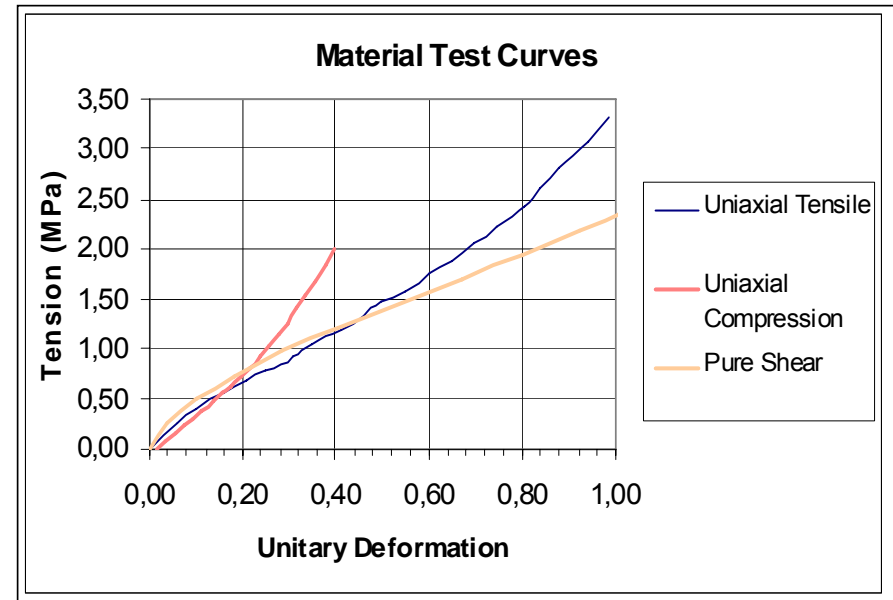
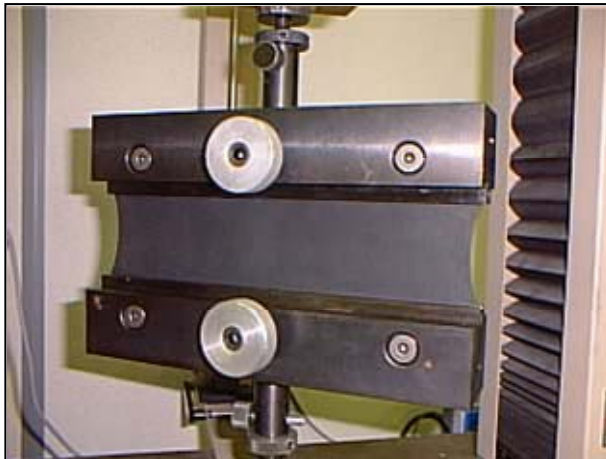
Métodos estándares de caracterización mecánica.

- ✓ Desde el punto de vista de AEF, el ensayo de tracción normalizado se considera útil para generación de datos. ISO 37.

Métodos no-estándares de caracterización mecánica.

Caracterización estática, LEARTIKER.

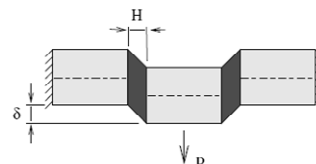
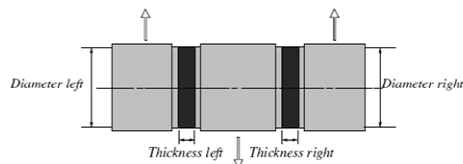
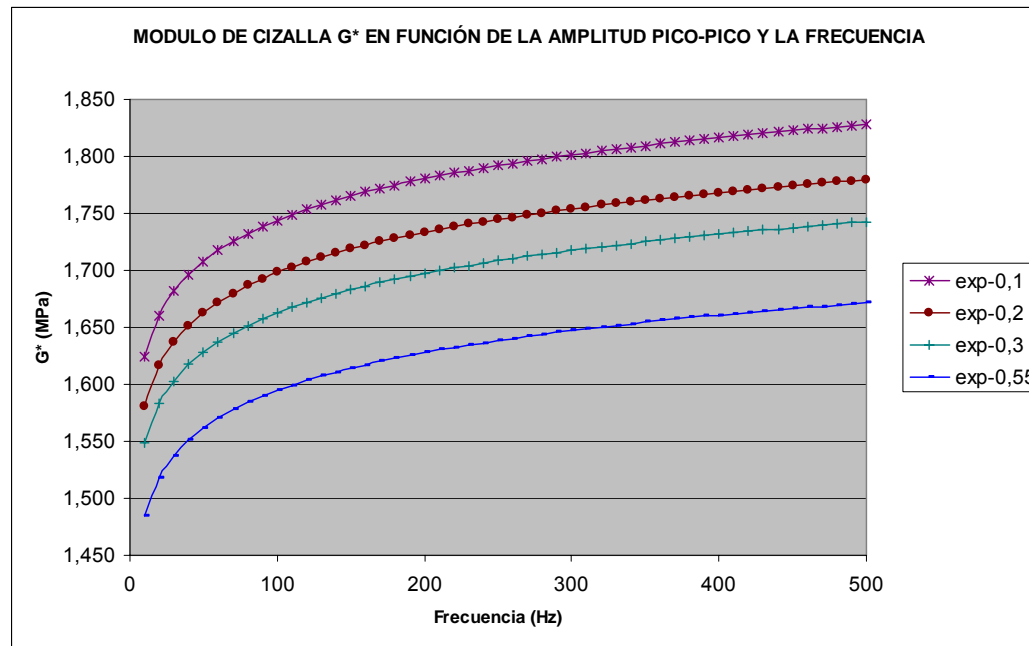
- Ensayo de tracción uniaxial.
- Ensayo de compresión uniaxial.
- Ensayo de cizalla pura.



5. Caracterización mecánica de los materiales elastoméricos y termoplásticos.

Caracterización dinámica, LEARTIKER.

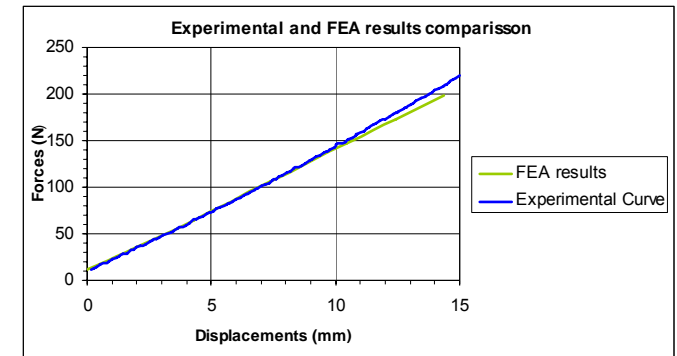
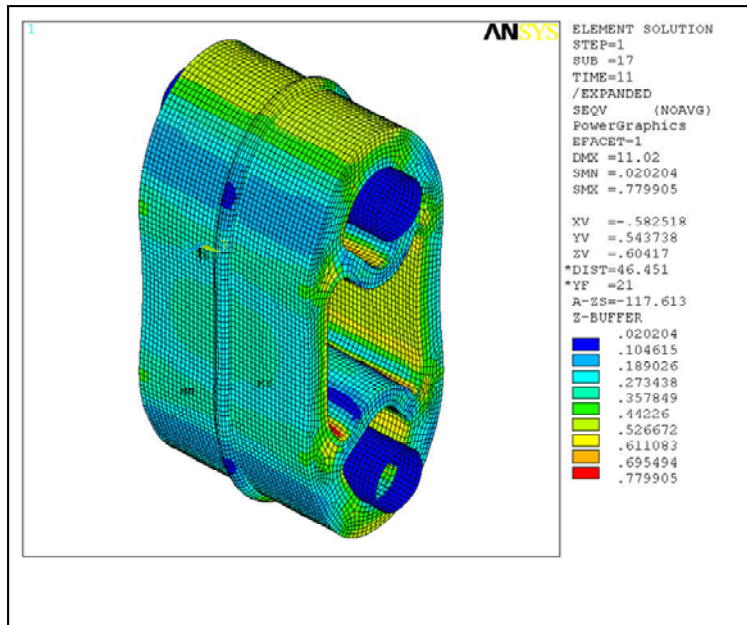
- Máquina de ensayos MTS, hasta 300-400 Hz. dependiendo de amplitud de excitación.
- Objetivo: obtener curvas de Módulo de Cizalla G^* del material en función de la amplitud de la deformación y la frecuencia.



5. Caracterización mecánica de los materiales elastoméricos y termoplásticos.

Aspectos a tener en cuenta en el MEF.

- Los datos de entrada del material (ensayo de tracción, ensayo de compresión, ensayo de cizalla, rigidez dinámica frente a amplitud y frecuencia), se ajustan a modelos hiperelásticos:
 - Modelo de Mooney-Rivlin. $W = C_1(I_1 - 3) + C_2(I_2 - 3)$
 - Modelo de Odgen.
 - Modelo de Yeoh.
 - Modelo de Arruda-Boyce.
 - Etc.
- Se obtienen las constantes de material necesarias para las simulaciones.



ESKERRIK ASKO

RUEGOS Y PREGUNTAS

