

# MÉXICO Tecnología de estampado

Serie de Webinars

**martes, 9 de abril de 2024**

**jueves, 11 de abril de 2024**

**martes, 16 de abril de 2024**

**jueves, 18 de abril de 2024**

PRODUCED BY **MetalForming** Magazine | **PMA** PRECISION METALFORMING ASSOCIATION

1

## Ingeniería de Materiales para el Conformado de Lámina Metálica

MC. Benjamin Morales Cervantes

[Benjamin.morales@autoform.mx](mailto:Benjamin.morales@autoform.mx)

Cross Functional Manager

AutoForm Engineering México

2

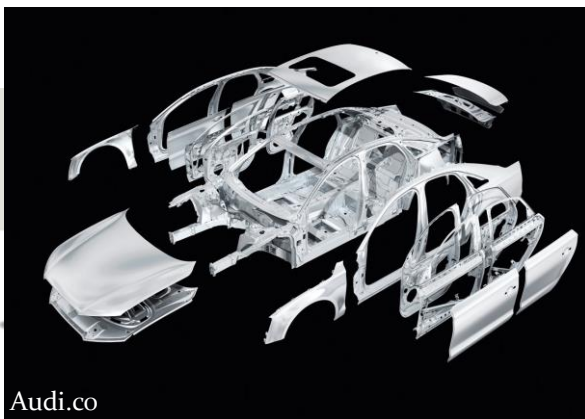
1

## Contenido

- Curva de Esfuerzo-Deformación
- Valor  $n$
- Valor  $r$
- Anisotropía
- Diagrama de Límite de conformabilidad

3

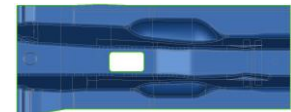
## Funciones dentro del BiW



• Apariencia



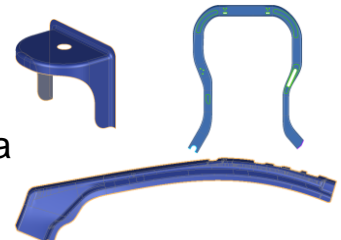
• Estructural



• Soportes

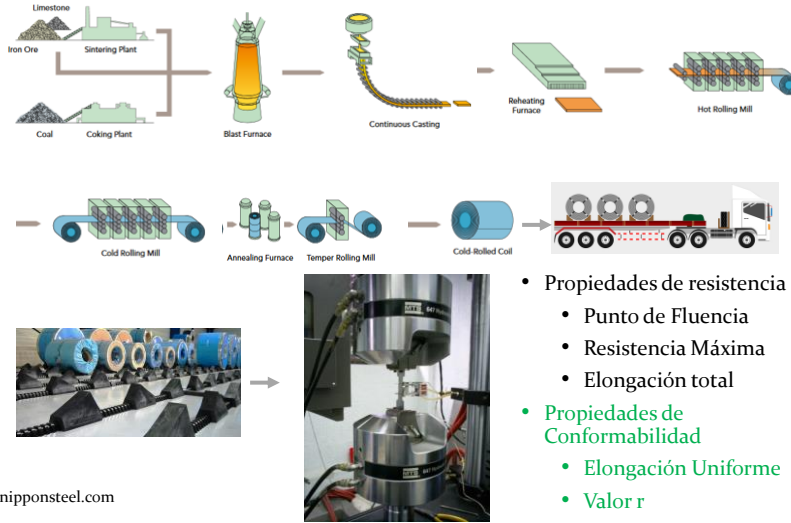


• Resistencia



4

## Producción de Rollos de Acero



nipponsteel.com

- Propiedades de resistencia
  - Punto de Fluencia
  - Resistencia Máxima
  - Elongación total
- Propiedades de Conformabilidad
  - Elongación Uniforme
  - Valor r
  - Valor n



martes, 9 de abril de 2024 • jueves, 11 de abril de 2024 • martes, 16 de abril de 2024 • jueves, 18 de abril de 2024

5

## Tablas de Propiedades de Aceros de Baja Resistencia

¿Qué aceros escogieras para cumplir las siguientes propiedades?

Yield 150 MPa

Resistencia máxima

300 MPa

automotive.arcelormittal.com

ArceMittal name	Generic name	Yield stress Rp0.2 (MPa)	Tensile strength Rm (MPa)	Min. $\epsilon_{0-20}$	Min. $\epsilon_{m-20}$	Min. $\epsilon_{10-20/Ag}$
Acero en lámina	DC01/DX51	150	≥ 270			
Acero comercial	CR1	140 - 300	270 - 410			
Acero para Conformado	CR2	140 - 240	270 - 370	1.3	1.2	0.16
Acero para embutido	CR3	140 - 210	270 - 350	1.8	1.5	0.18
Acero para embutido profundo	CR4	140 - 180	270 - 330	1.9	1.6	0.20
Acero para embutido extra-profundo	CR5	110 - 170	260 - 330	2.1	1.8	0.22
Acero para embutido extra-profundo especial	CR6	110 - 170	260 - 330	2.3	2.0	0.23

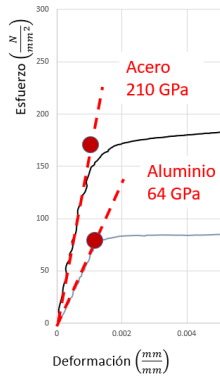


martes, 9 de abril de 2024 • jueves, 11 de abril de 2024 • martes, 16 de abril de 2024 • jueves, 18 de abril de 2024

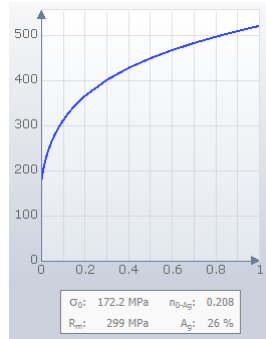
6

## Comportamiento del Material

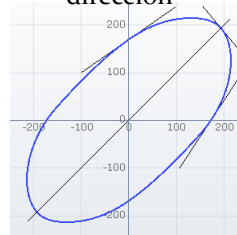
Elástico



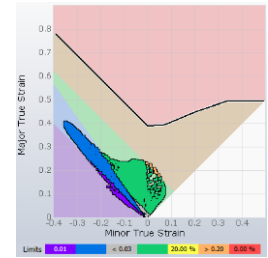
Plástico



Multi-dirección

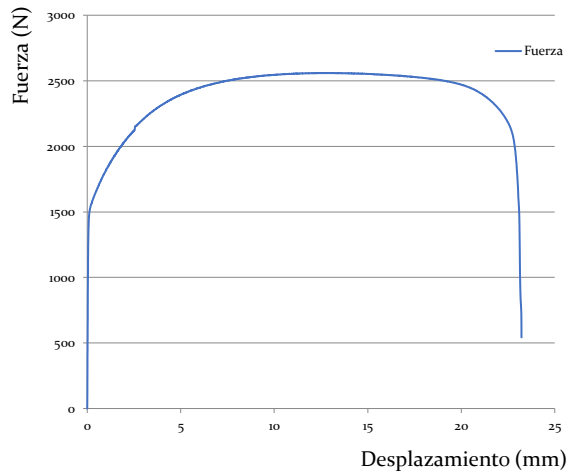


Evaluación



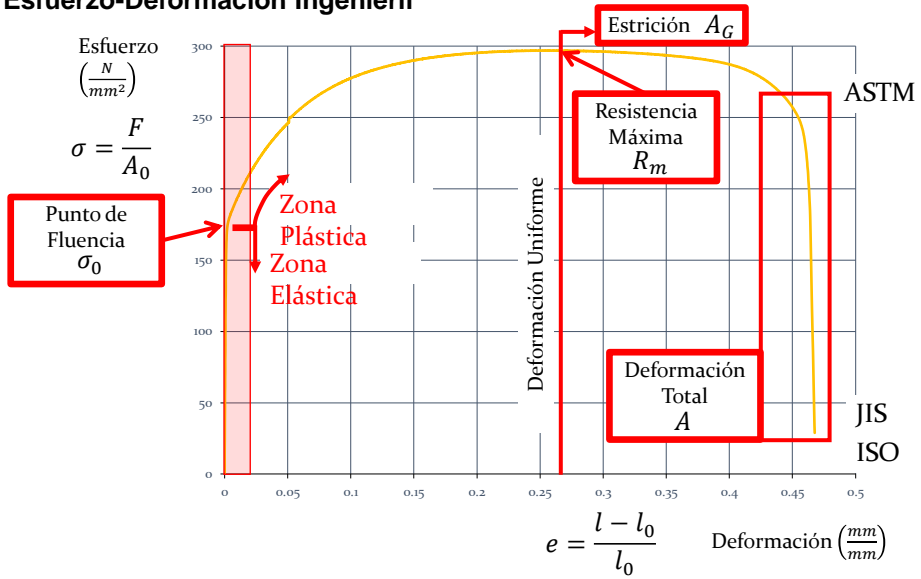
7

## Prueba de Tensión, DX53D



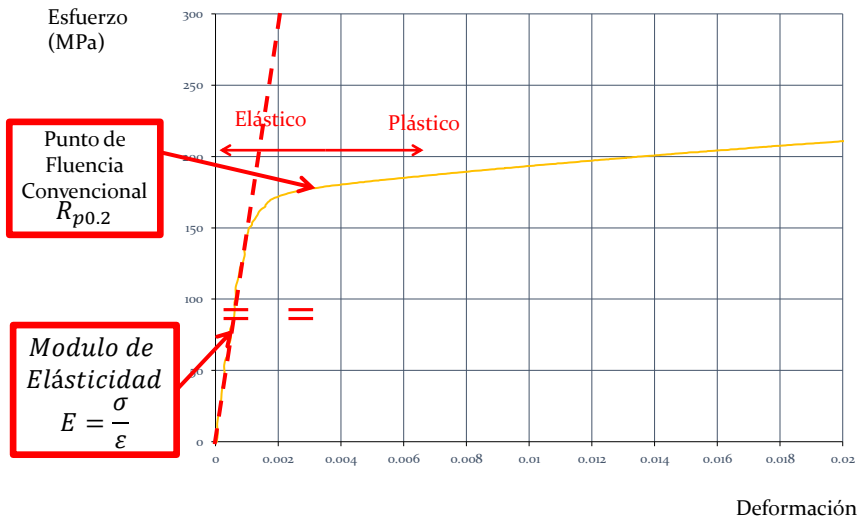
8

### Curva de Esfuerzo-Deformación Ingenieril



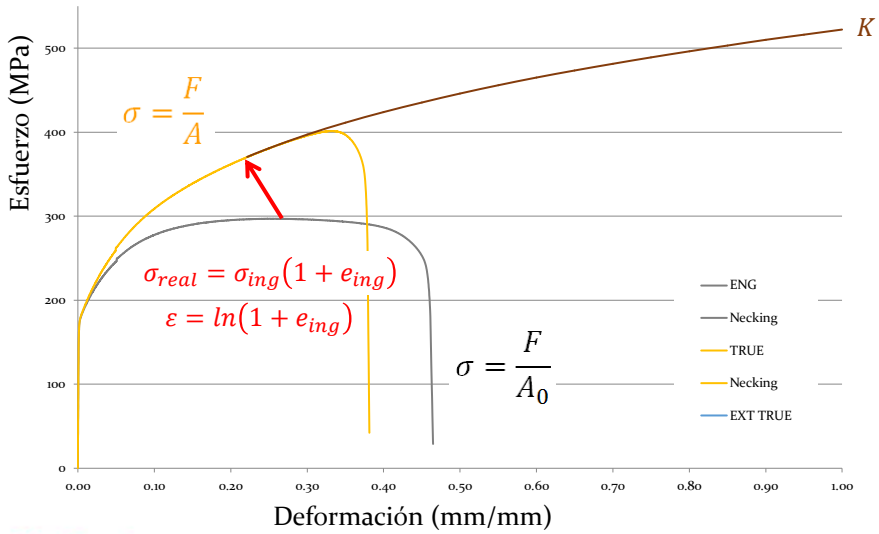
9

### Punto de Fluencia Convencional



10

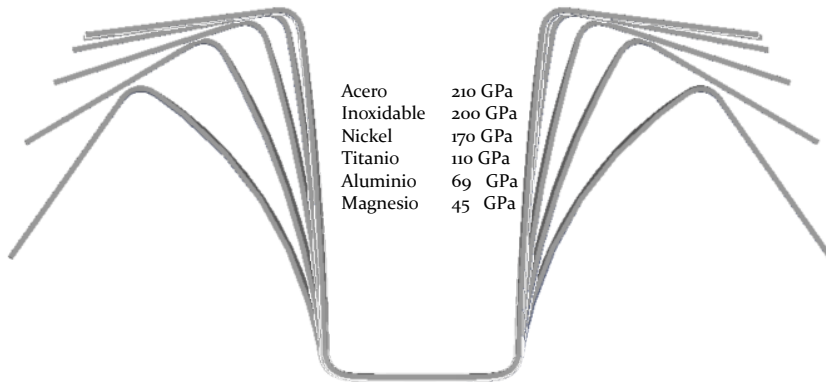
## Curva de Esfuerzo-Deformación Real



11

## Módulo de Elasticidad y Recuperación Elástica

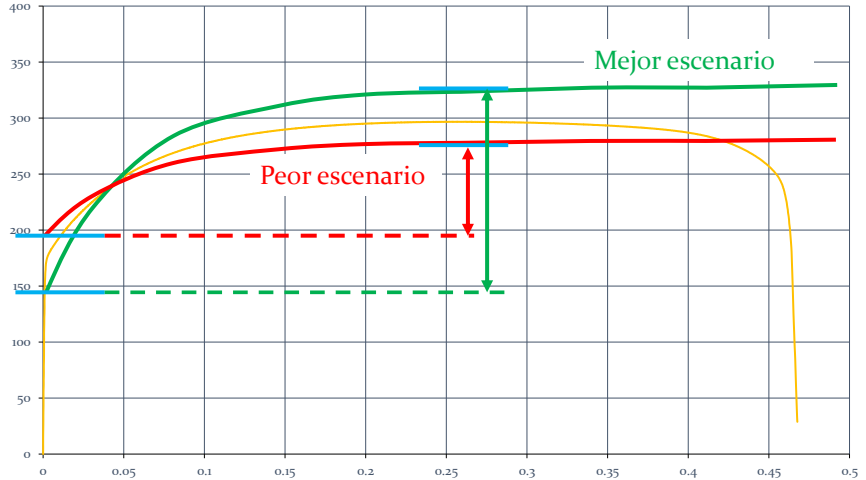
La recuperación elástica de los materiales es inversamente proporcional a su módulo de elasticidad



12

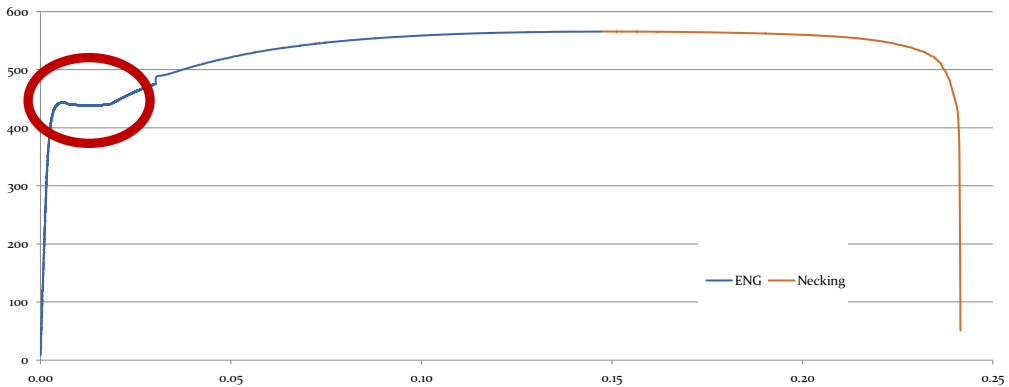
## Escenarios de Conformabilidad

Se puede decir en general, que entre menor sea el punto de fluencia y mayor sea la resistencia máxima el material tiene mejor conformabilidad



13

## Punto de Fluencia Extendido, HSLA and Aluminio



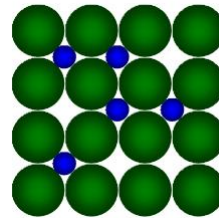
14

## Acero para la industria Automotriz

- **Aceros de baja resistencia**
  - Low Strength Steels (LSS)
  - No más de 0.2% de Carbono.
  - Con un punto de fluencia de hasta 210 MPa
- **Aceros convencionales de alta resistencia**
  - Conventional High Strength Steels (HSS)
  - Con un punto de fluencia de entre 210 MPa y 550 MPa
- **Aceros Avanzados de Alta Resistencia**
  - Advanced High Strength Steels (AHSS)
  - Con un punto de fluencia de entre 550 Mpa y 900 MPa
- **Aceros de Ultra Alta Resistencia**
  - Ultra High Strength Steels (UHSS)
  - 0.12% de carbono es el máximo en Aceros automotrices
  - Con un punto de fluencia a partir de 900 MPa

## Aceros de baja Resistencia

- Según el estándar VDA, estos aceros presentan un punto de fluencia bajo y alta capacidad de conformabilidad y son adecuados para la producción de piezas complejas
- IF
  - Acero libre de intersticios (Interstitial Free Steel)
- Acero dulce (Comercial)
  - Mild Steels
- IS
  - Acero isotrópico (Isotropic Steels)





## Aceros Convencionales de Alta Resistencia

- IF HS
  - Acero libre de intersticios de alta resistencia (Interstitial Free High Strength Steel)
- BH
  - Acero para endurecimiento en horno (Bake Hardening Steel)
- CMn
  - Aceros Carbón-Manganeso (Carbon-manganese steel)
- HSLA
  - Acero de Alta Resistencia de Micro Aleación (High-Strength Low-Alloy Steels)

## Aceros Avanzados de Alta Resistencia

En Aceros, la microestructura ejerce una mayor influencia en las propiedades del material que la composición química (Adib Becker)

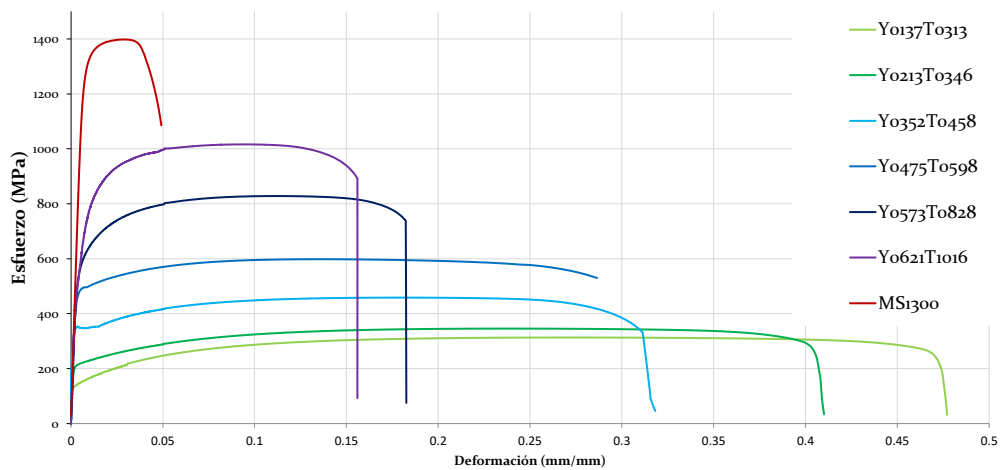
- DP
  - Aceros con doble fase (Dual Phase)
- CP
  - Aceros con múltiples fases (Complex Phase)
- TRIP
  - Transformación inducida por deformación (Transformation-Induced Plasticity Steel)

## Aceros de Ultra Alta Resistencia

- MS
  - Aceros martensíticos (Martensitic Steel)

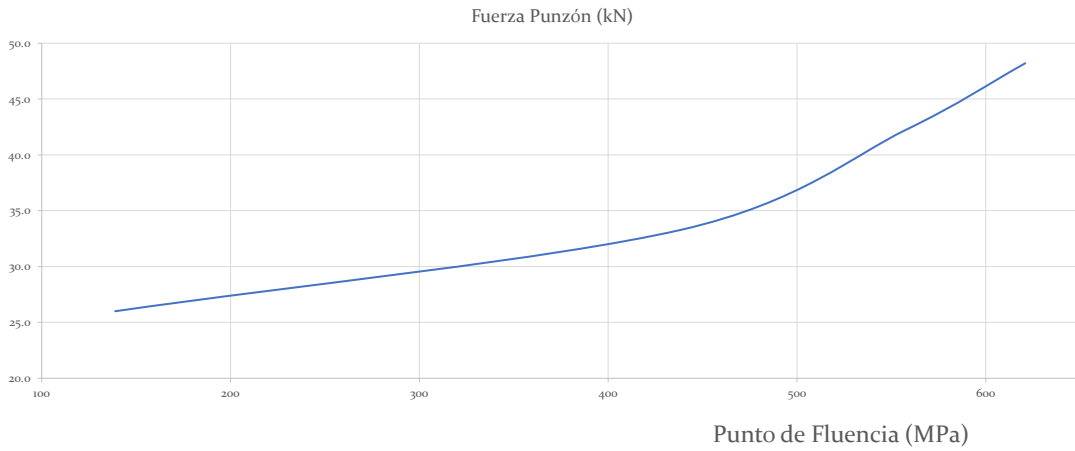
19

## Curvas de Esfuerzo-Deformación para diferentes Aceros



20

## Fuerza de Conformado



21

## Tabla de Propiedades del Acero



AcelorMittal name	Generic name	Yield stress Rp0.2 (MPa)	Tensile strength Rm (MPa)	Min. r <sub>0-20</sub>	<i>n<sub>10-20/Ag</sub></i>		
CR	DC01/DX51	140 - 300	270 - 370	1.3	1.2	0.16	
CR1	CR1	140 - 300	270 - 370	1.3	1.2	0.16	
CR2	CR2	140 - 300	270 - 370	1.3	1.2	0.16	
CR3	CR3	140 - 270	270 - 350	1.8	1.5	0.18	
CR4	CR4	140 - 180	270 - 330	1.9	1.6	0.20	
CR5	CR5	110 - 170	260 - 330	2.1	1.8	0.22	
CR6	CR6	110 - 170	260 - 330	2.3	2.0	0.23	

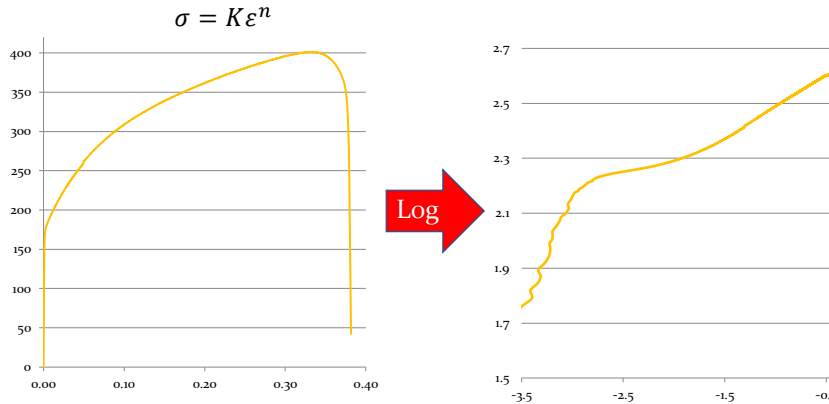
automotive.arcelormittal.com

22

## Valor n

- El valor n (Exponente de endurecimiento por deformación) caracteriza el comportamiento del endurecimiento de un material deformable

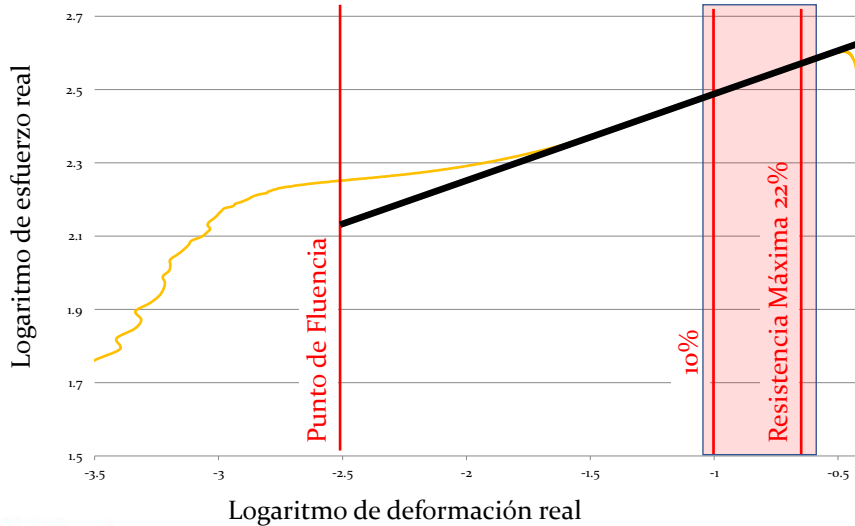
$$n = \frac{\ln\left(\frac{l + \epsilon_2}{l + \epsilon_1}\right) + \ln\left(\frac{F_2}{F_1}\right)}{\ln\left(\frac{l + \epsilon_2}{l + \epsilon_1}\right)}$$



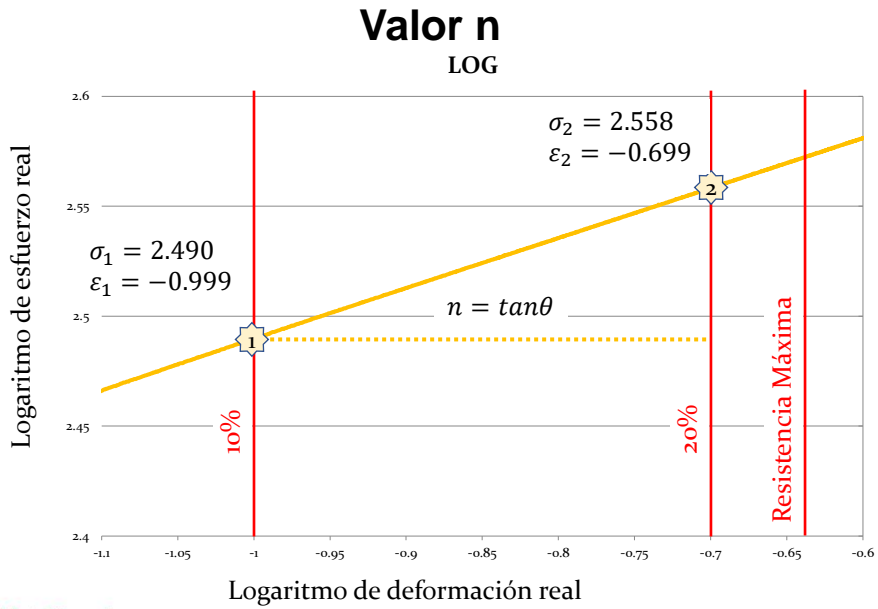
23

## Logaritmo de La Curva

LOG

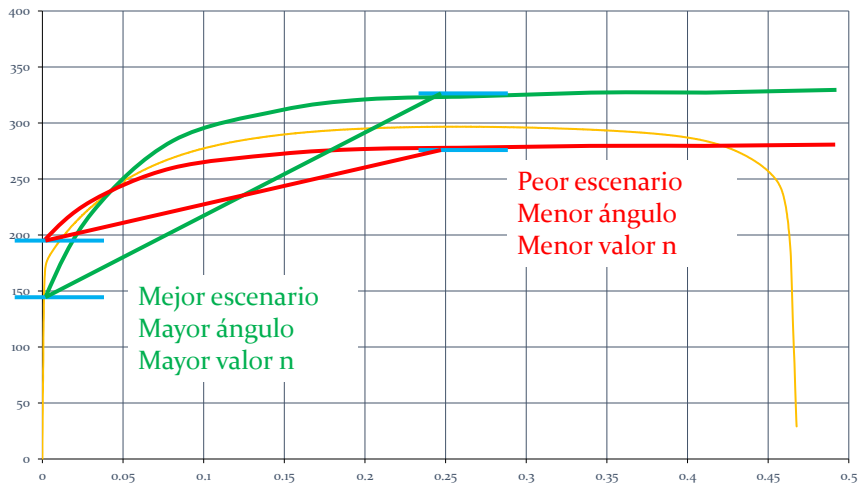


24



25

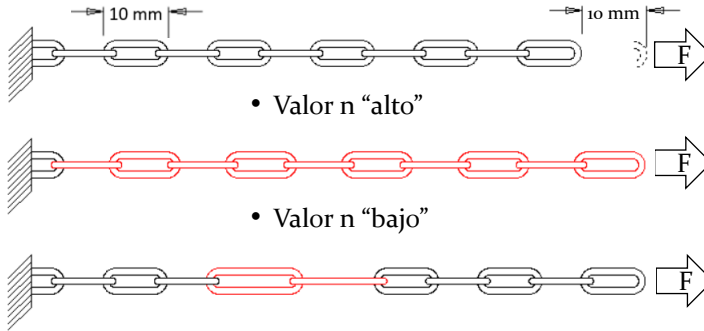
## Escenarios de Conformabilidad



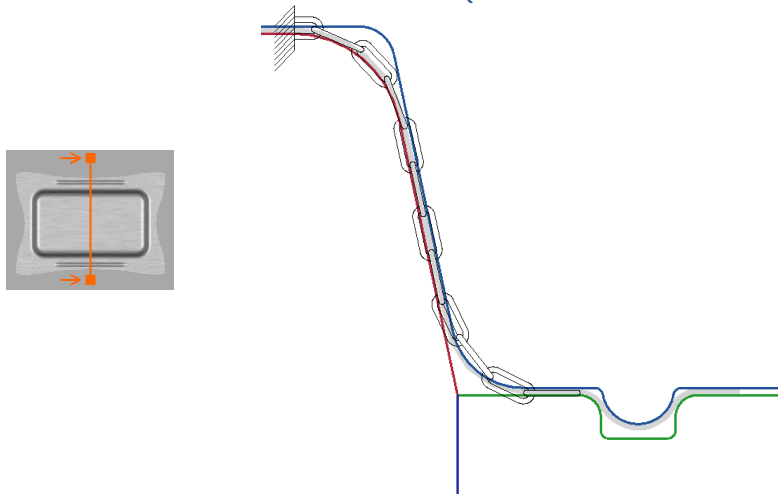
26

## Analogía del Valor n

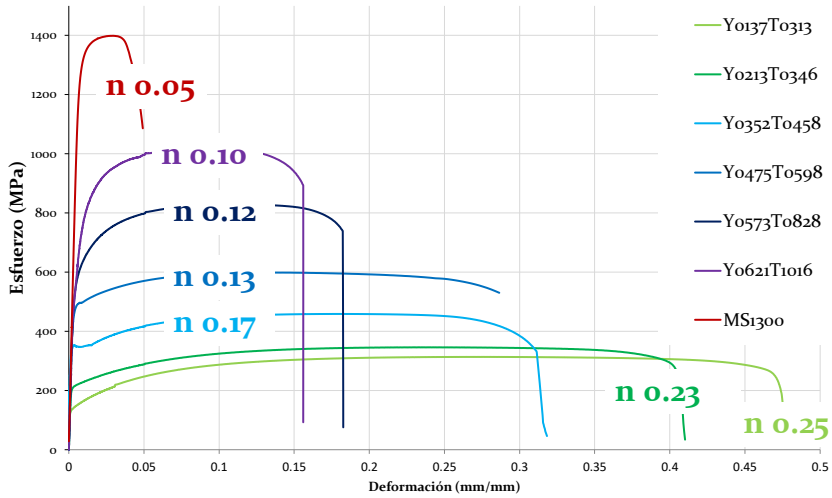
- Materiales con un valor elevado de  $n$  es capaz de tener una gran magnitud de elongación uniforme y una mejor deformación en frío



## Analogía sobre un Embutido



## Valor n para diferentes



29

## Tabla de Propiedades del Acero

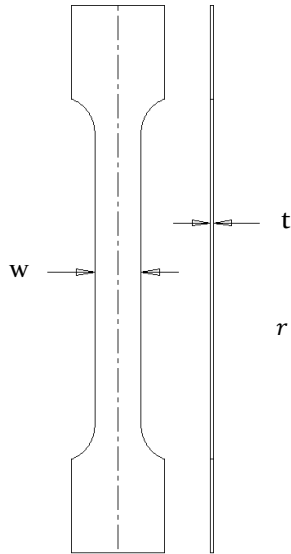


ArcelorMittal name	Generic name	Yield stress Rp0.2 (MPa)	Tensile strength Rm (MPa)	Min. $r_{0-20}$	Min. $r_{m-20}$	Min. $n_{10-20/Ag}$
CR	DC01/DX51					
CR1	CR1	140 - 300	270 - 370			
CR2	CR2	140 - 180	270 - 370	1.3	1.2	0.16
CR3	CR3	140 - 200	270 - 350	1.8	1.5	0.18
CR4	CR4	140 - 180	270 - 350	1.9	1.6	0.22
CR5	CR5	110 - 170	260 - 330	2.1	1.8	0.22
CR6	CR6	110 - 170	260 - 330	2.3	2.0	0.23

automotive.arcelormittal.com

30

## Valor r



$$r = \frac{\text{Ancho}}{\text{Espesor}} = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_t} = \frac{\ln\left(\frac{w_0}{w}\right)}{\ln\left(\frac{L \cdot w}{L_0 \cdot w_0}\right)} = \frac{\ln(1 + \Delta w)}{\ln(1 + \Delta t)}$$

31

## Efectos del Valor r

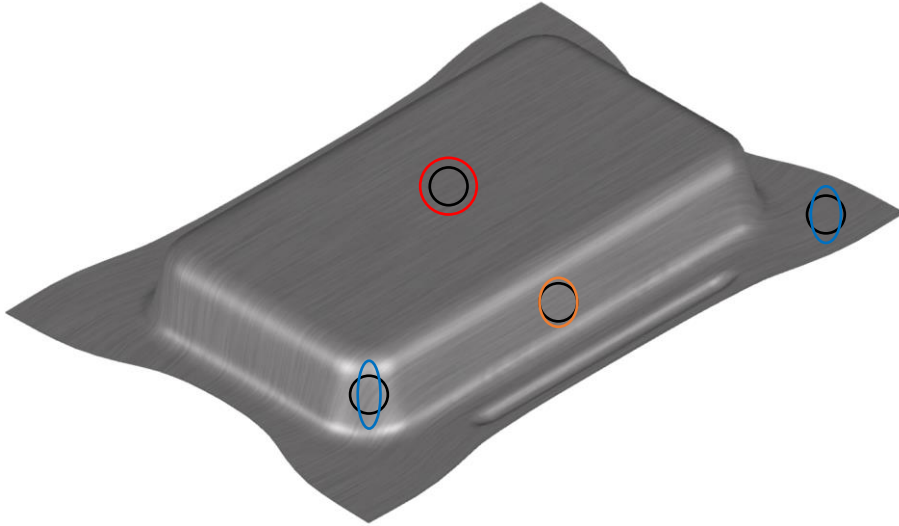
$$\varepsilon_L + \varepsilon_w + \varepsilon_t = 0 \quad r = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_t}$$

Material	Valor r	Largo	Ancho	Espesor
Acero para embutido profundo	2.3	0.15	-0.10	-0.05
Acero convencional de alta resistencia	1.6	0.15	-0.09	-0.06
Acero Avanzado de alta resistencia	0.9	0.15	-0.07	-0.08
Aluminio	0.7	0.15	-0.06	-0.09

32

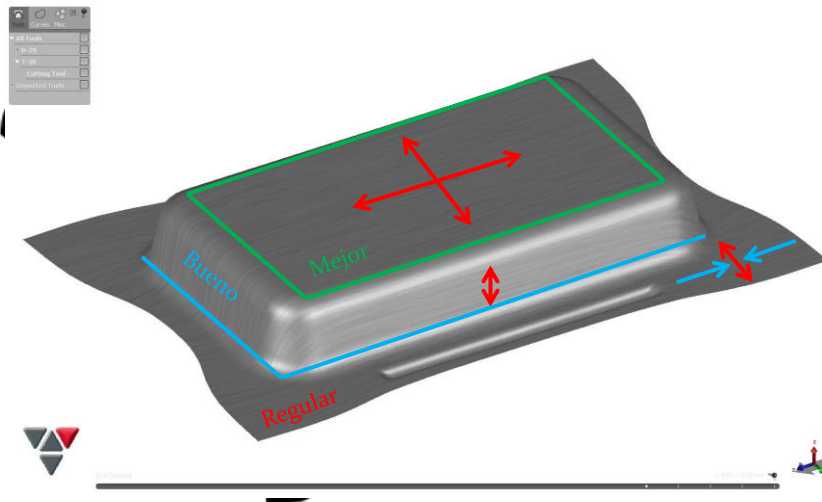


## Deformaciones en un Proceso de Conformado



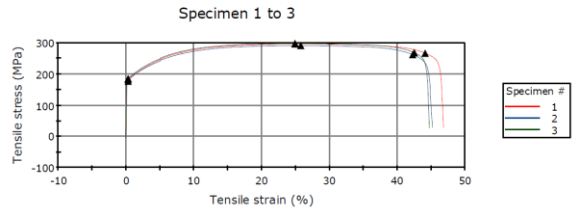
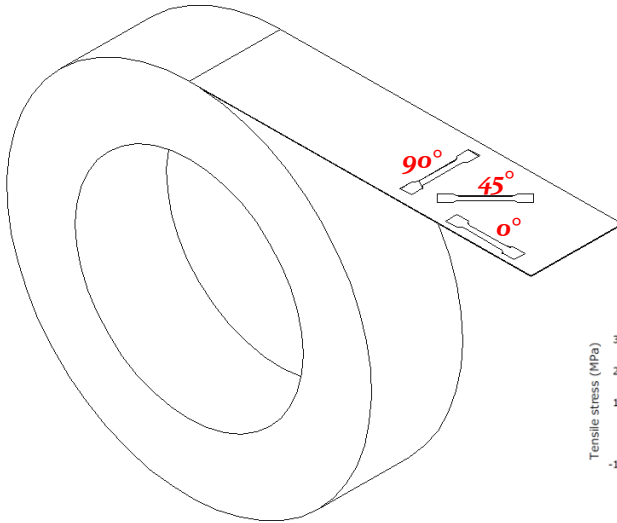
33

## Deformación del material

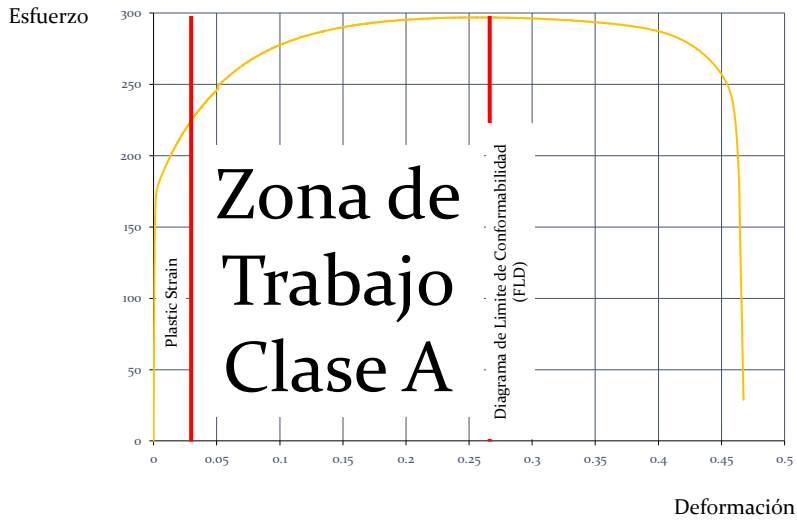


34

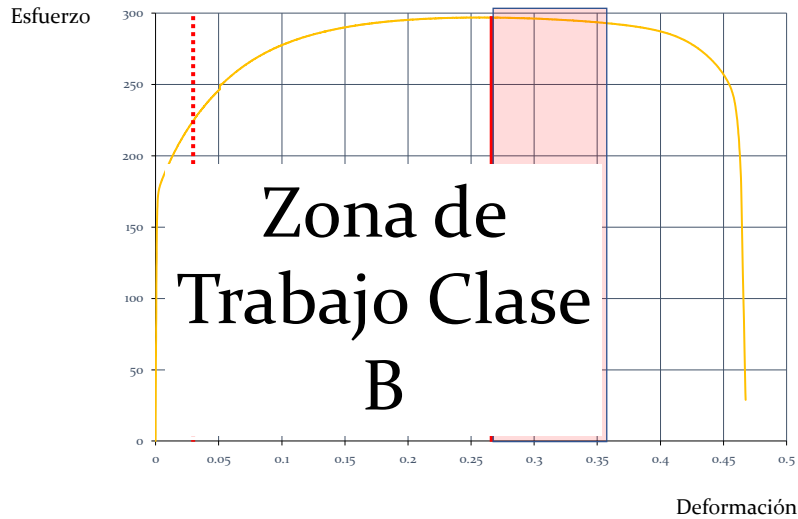
# Anisotropía



# Criterios de Aceptación; Clase A

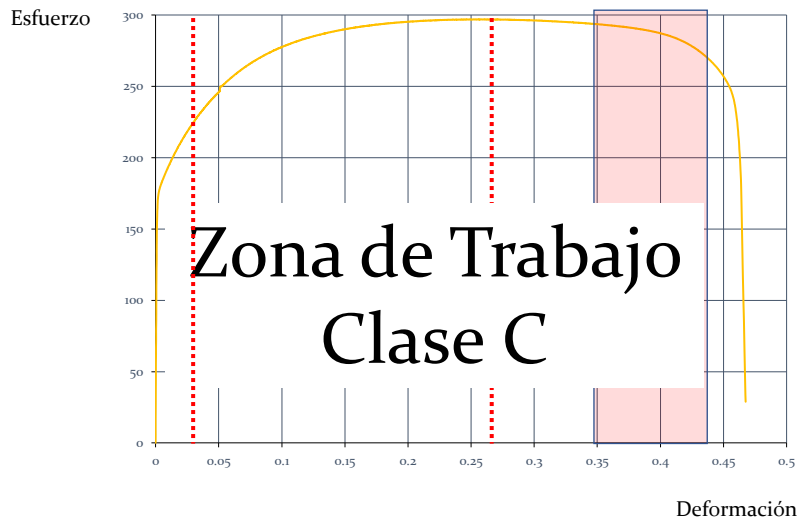


## Criterios de Aceptación; Clase B



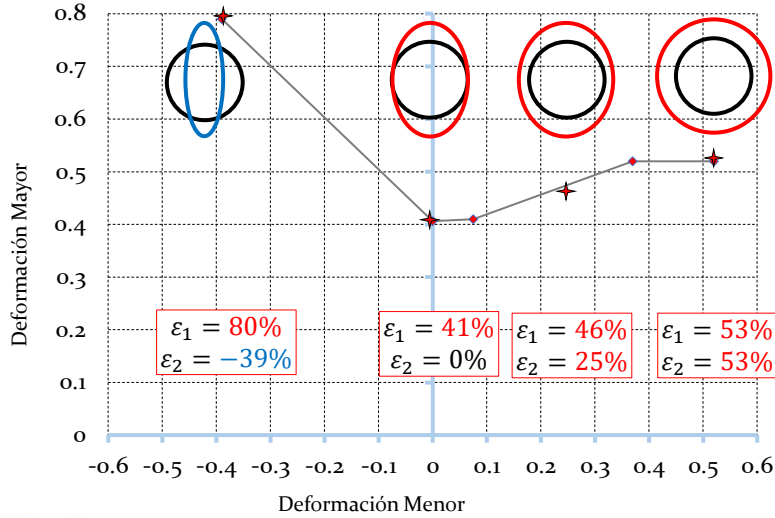
37

## Criterios de Aceptación; Clase C

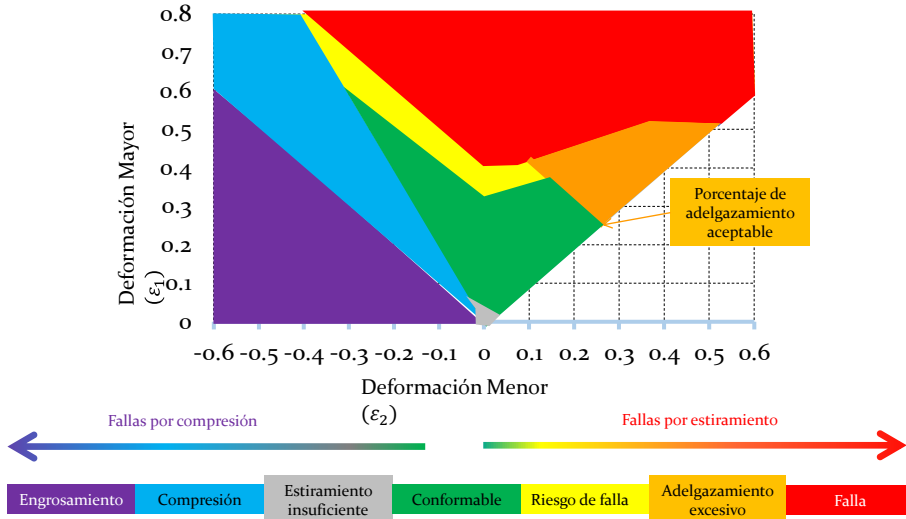


38

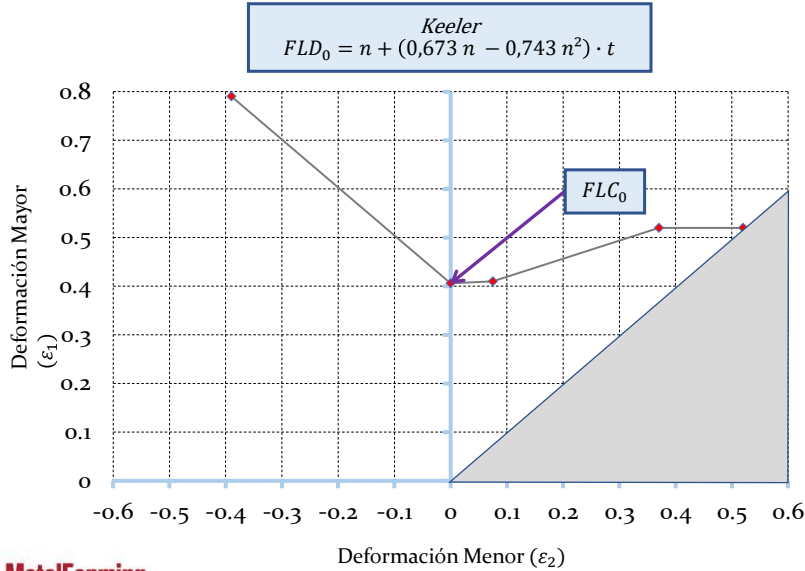
## Diagrama de Límite de Conformabilidad (FLD)



## Conformabilidad basada en la FLD

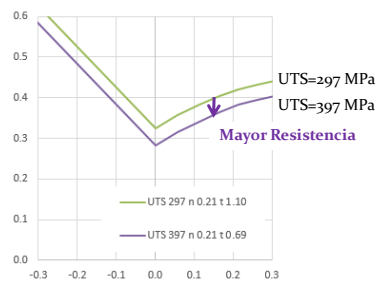
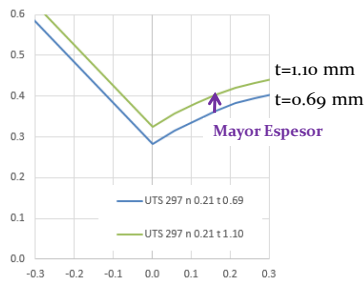
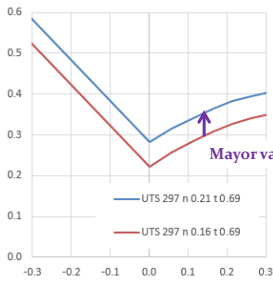


## Puntos de interés sobre la FLD



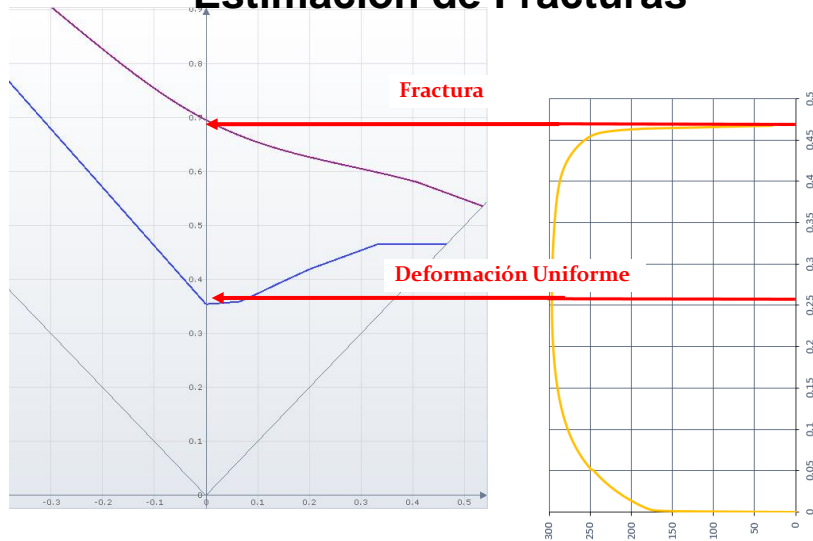
41

## Factores que influyen en la altura de la FLC



42

## Estimación de Fracturas



# Muchas gracias

MC. Benjamin Morales Cervantes

[Benjamin.morales@autoform.mx](mailto:Benjamin.morales@autoform.mx)

Cross Functional Manager

AutoForm Engineering México