

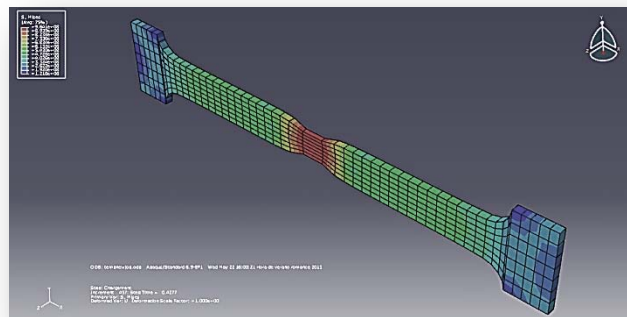


UNIVERSITE DE LORRAINE, METZ

ESTUDIO Y SIMULACIÓN NUMÉRICA DE ENSAYOS DE TRACCIÓN EN ACEROS

UFR MATHÉMATIQUES INFORMATIQUE ET MÉCANIQUE

Año 2012/2013



LEM3
LABORATOIRE D'ÉTUDE DES MICROSTRUCTURES
ET DE MÉCANIQUE
DES MATÉRIAUX

Autor : Ana CANO

Tutores : Marion MARTINY
Sébastien MERCIER

Cotutor uc3m : Xavier SOLDANI

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar me gustaría dar las gracias a mis dos supervisores Sébastien Mercier y Marion Martiny por toda su ayuda, incluso cuando mi francés era difícil de entender, y que han sido las personas más importantes para el éxito de este proyecto.

También agradezco a mi cotutor de la Universidad Carlos III de Madrid, Xavier Soldani, por solucionarme todos los problemas que he encontrado rápidamente.

Finalmente gracias a mi compañero y amigo Carlos por haberme ayudado siempre cuando lo necesitaba y por todos los buenos momentos trabajando juntos.

INDICE:

1. Resumen
2. Abstract
3. Introducción
4. Base teórica
 - 4.1. Deformación elástica
 - 4.2. Deformación plástica
 - 4.2.1. Endurecimiento por deformación
 - 4.2.2. Inestabilidad plástica
 - 4.2.3. La influencia de la deformación plástica en la temperatura
 - 4.2.3.1. Incremento de la temperatura debido a la deformación elástica
 - 4.2.3.2. Incremento de la temperatura debido a la deformación plástica
 - 4.3. Transmisión de calor
 - 4.3.1. Conducción
 - 4.3.2. Convección
 - 4.3.3. Radiación
5. Simulación ABAQUS
 - 5.1. Efecto del mallado
 - 5.2. Efecto del coeficiente de convección
 - 5.3. Efecto del coeficiente de Quinney-Taylor
 - 5.4. Efecto de la radiación
6. Conclusión
7. Referencias bibliográficas

1. Resumen

Este informe del estudio discute las implicaciones del cambio de los distintos parámetros involucrados en un ensayo de tracción simple a temperatura ambiente. El objetivo era analizar todos estos cambios para comprender el comportamiento de los aceros en este contexto.

Respecto a la simulación, este estudio tiene cuatro partes principales que son los cambios de unos parámetros elegidos observando las variaciones. Habiendo entendido estos resultados, se puede usar esta información para futuros ensayos de tracción en aceros.

2. Abstract

This study report talks about the implications of the change of various parameters who involve the simple traction testing with ambient temperature. The objective of this study is to analyse every changes for understand better the performance of steels with this context.

In relation to the simulation, this study has four main parts that talk about the changing parameters selected. After have understand the results, we can use this information for futures traction test for steels.

3. Introducción

Una herramienta muy utilizada para las simulaciones de ensayos de carácter general en el campo de estudio de los materiales es el software ABAQUS. Es un software que soluciona los problemas de diversos campos mediante la técnica de elementos finitos.

Este estudio se basa principalmente en ABAQUS y los resultados encontrados y falta comparar con los ensayos reales para respaldar bien los hechos aquí expresados.

Nos centraremos en los resultados para la temperatura, deformación y tensión en la prueba de resistencia a la tracción estudiada. Pero también podríamos mirar otros parámetros para encontrar algunas soluciones.

Para empezar vamos a explicar los conceptos teóricos necesarios para entender el siguiente estudio. Ya que no vamos a tener en cuenta todas las consecuencias físicas y mecánicas, hay que mostrar cuáles son las bases teóricas que nos afectan.

4. Base teórica

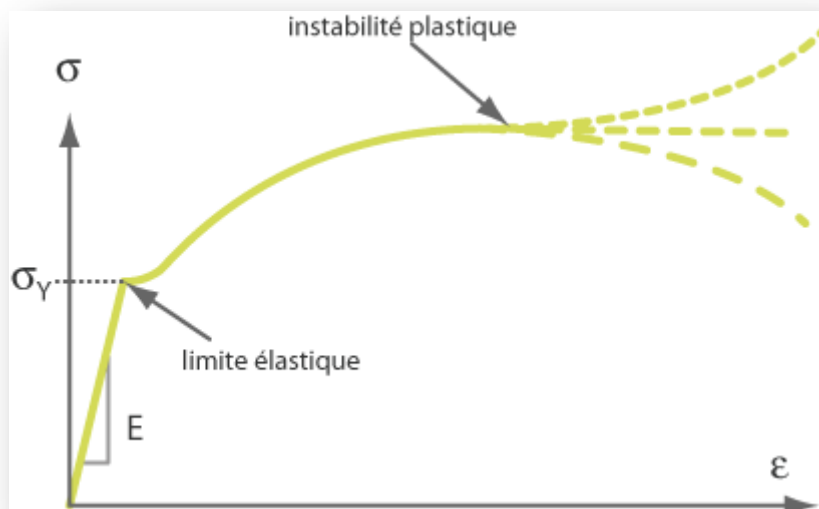
Para entender todo lo que sucede en la prueba de resistencia a la tracción, necesitamos algunas nociones teóricas respecto al comportamiento de los materiales que utilizamos para las simulaciones.

La simulación de ABAQUS fue hecha solamente para un acero cualquiera, así que vamos a analizar la respuesta de este tipo de material a la deformación.

Los materiales metálicos tienen diferentes fases durante sus deformaciones, que se explica en este apartado.

4.1. Deformación elástica :

Todos los metales tienen una parte elástica al principio de su deformación. Es fácil encontrarla en los ensayos reales porque, durante esta fase la deformación y la tensión son proporcionales.



La característica principal que demuestra que el metal está en esta fase es la capacidad del metal de volver a su estado de deformación inicial, sin tener ninguna tensión residual. Es decir, que vuelve a su estado de tensiones original.

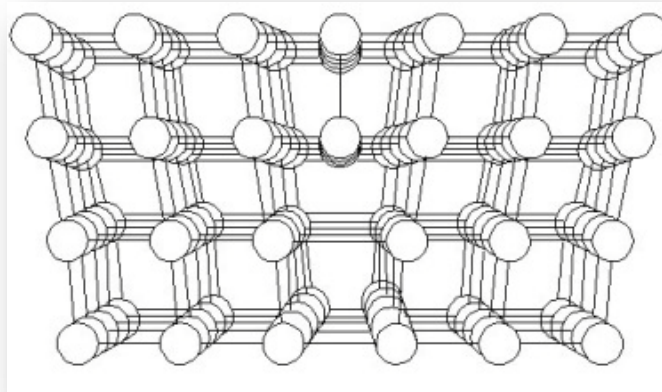
En la zona elástica, el orden de tensiones aplicadas al material no es indispensable para comprender y predecir su comportamiento.

4.2. Deformación plástica:

La fase siguiente de deformación de materiales metálicos es la parte plástica. Esta fase es la más interesante en nuestro estudio ya que es la parte que provoca la creación de calor que nos incumbe.

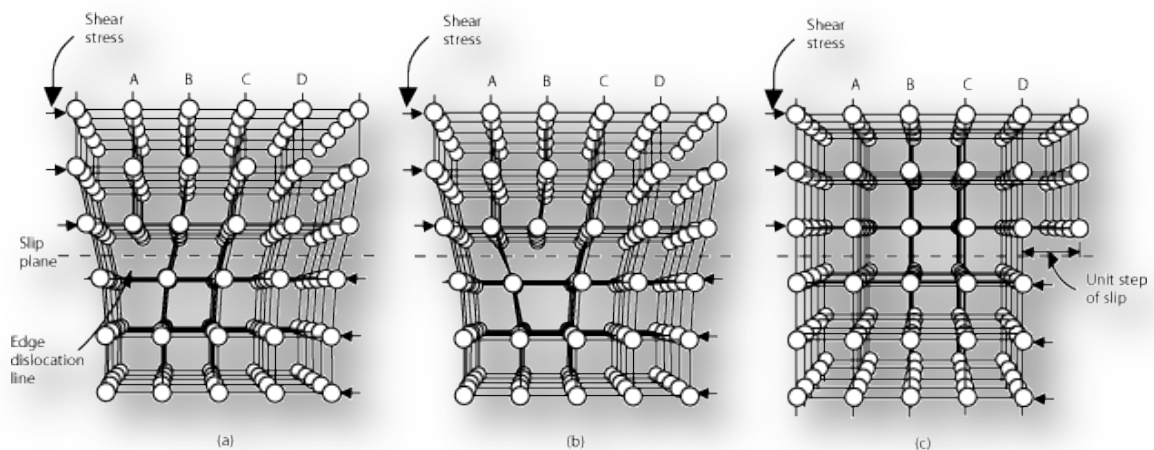
Se van a explicar algunos conceptos que intervienen en el proceso de deformación plástica de un sólido y que tienen relación con la variación de energía térmica.

Una dislocación es un defecto lineal alrededor de átomos que están desalineados. Esto provoca un plano sobrante de átomos en la estructura cristalina.



Todos los materiales tienen dislocaciones, por diferentes razones, como las tensiones debidas a un enfriamiento rápido o simplemente las creadas en un proceso de solidificación.

La deformación plástica corresponde al movimiento de un gran número de dislocaciones. Esto se llama deslizamiento y es debido al esfuerzo cortante.



Movimiento de dislocaciones en el material.

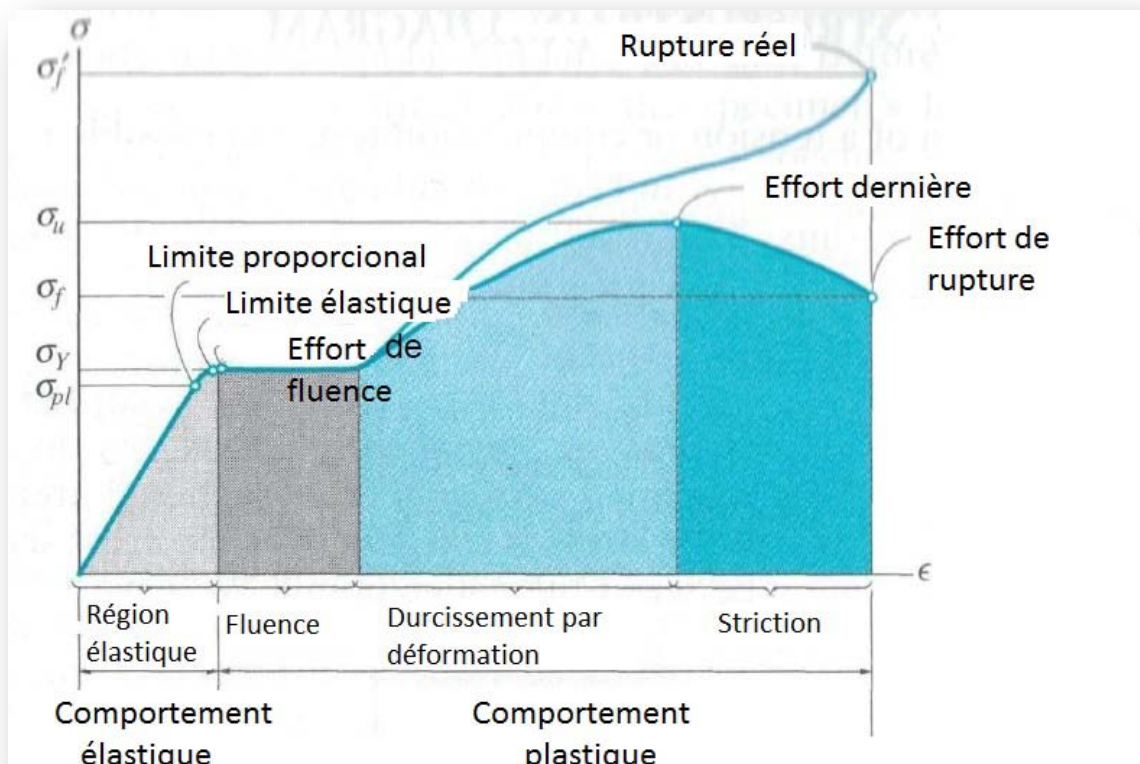
La capacidad del metal a deformarse plásticamente depende de la densidad de dislocaciones en éste. Si el número de dislocaciones es muy pequeño, el material metálico será frágil como un material cerámico.

Así que la posibilidad de movimiento de las dislocaciones es muy importante en el material para saber su ductilidad y el proceso de su ruptura. Si el movimiento de dislocaciones es fácil, el material será muy dúctil y menos resistente, por otro lado, si las dislocaciones están bloqueadas, el material será muy resistente y duro.

3.2.1 Endurecimiento por deformación :

El endurecimiento por deformación es un fenómeno que transforma el material en uno más duro y resistente a la deformación plástica. La causa es la interacción entre las dislocaciones.

Cuando la densidad de dislocaciones aumenta por la deformación, la distancia entre ellas disminuye impidiendo su propio movimiento y crecimiento.

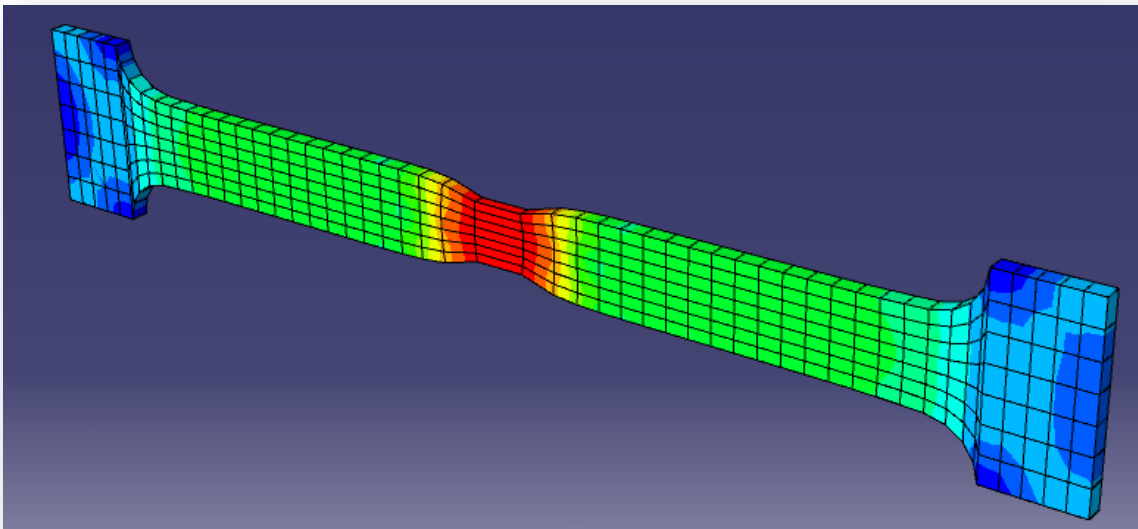


Evolución tensión-deformación

3.2.2 Inestabilidad plástica :

En un ensayo de tracción, una vez que llegamos a un valor específico, las deformaciones se acumulan generalmente en la parte central de la probeta, provocando una gran disminución de la sección. Esto se llama estricción. A partir de este momento, la acumulación será mayor cada vez hasta la rotura completa de la probeta.

Si el material es frágil, la rotura será inmediata y la probeta romperá bruscamente.



3.2.3 La influencia de la deformación en la temperatura :

Generalmente la solución a un problema termomecánico consiste en obtener los campos de desplazamientos, tensiones y deformaciones, así como la variación de energía, haciendo un balance de energía mecánica transmitida y la energía calorífica recibida y dada.

3.2.3.1 Incremento de la temperatura debido a la deformación elástica :

En la fase de elasticidad, asumimos que la deformación plástica es nula. Y de la ecuación de propagación de calor obtenemos una expresión que pone en relación la temperatura por deformación elástica con la tensión hidrostática.

$$c\dot{T} - K\Delta T = \left(T \frac{\partial \sigma[\varepsilon^e, T]}{\partial T} : \dot{\varepsilon}^e \right)$$

De donde:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial T} = - \left(\frac{E\alpha}{1-2\nu} \right) \delta_{ij} \quad (i = j)$$

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial T} = 0 \quad (i \neq j)$$

Como la deformación axial es adiabática, $K\Delta T = 0$, entonces nos queda sólo la expresión :

$$\Delta T = - \left(\frac{E\alpha}{1-2\nu} \right) \frac{T_0 \Delta T r(\varepsilon)}{C}$$

Como el calor creado por deformación elástica es despreciable respecto al calor creado por deformación plástica realmente no vamos a tener en cuenta esta fórmula.

3.2.3.2 Incremento de la temperatura debido a la deformación plástica :

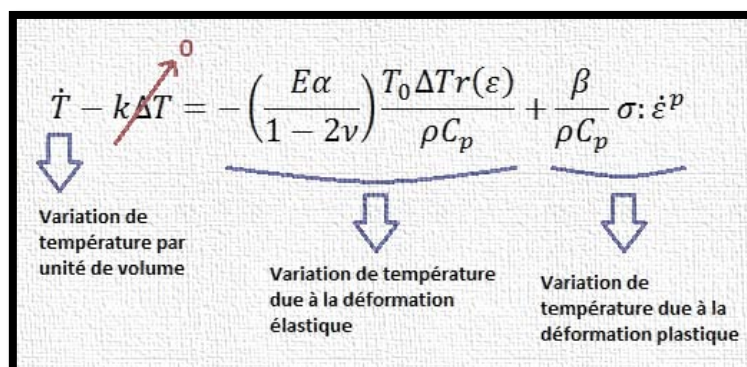
En el campo de a plasticidad, las variables que buscamos son la temperatura, la tensión y también las deformaciones elástica y plástica.

EN este caso, la ecuación de propagación del calor se puede simplificar, llegando a esta fórmula:

$$\dot{T} - k\Delta T = - \left(\frac{E\alpha}{1-2\nu} \right) \frac{T_0 \Delta T r(\varepsilon)}{\rho C_p} + \frac{\beta}{\rho C_p} \sigma : \dot{\varepsilon}^p$$

Donde C_p es el calor específico a presión constante, ρ la densidad, k la difusividad térmica, α el coeficiente de expansión térmica, E el módulo elástico y ν el coeficiente de Poisson.

En esta ecuación, podemos diferenciar cada término conociendo la temperatura debida a la deformación elástica:



Finalmente, integrando la temperatura, obtenemos la ecuación:

$$\Delta T = \int \frac{\beta}{\rho C_p} \sigma : d\varepsilon^p$$

Coefficiente de Quinney-Taylor :

El coeficiente de Quinney-Taylor, β , es la fracción de trabajo plástico que se transforma en calor durante el proceso de deformación.

Generalmente, es una aproximación admitida decir que β es constante, por el contrario β depende de su evolución precedente.

4.3. Transmisión de calor :

En nuestro estudio, vamos a tener en cuenta la transmisión de calor en la probeta, y para comenzar hay que explicar los diferentes tipos de transmisión: la conducción, la convección y la radiación.

4.3.1. Conducción :

La conducción es la transmisión de calor por choque de moléculas en un material cualquiera.

La ecuación que rige esta transmisión de calor es la ley de Fourier, que sostiene que el flujo de calor es proporcional a la conductividad térmica y al gradiente de temperatura.

$$\vec{q}'' = -K \vec{\Delta T}$$

Donde q'' es el flujo de calor en el material, y K es la conductividad térmica, que es una propiedad intrínseca del material y nos da una idea de la buena transmisión de calor que tiene este material.

La conductividad es función del tiempo y también del flujo de calor (su dirección) pero no de la posición dentro del material.

Los sólidos son los mejores conductores de calor por conducción ya que sus partículas están muy próximas entre sí y el choque se produce más fácilmente.

4.3.2. Convección :

La convección es la transmisión de calor por movimiento de un fluido. Esto es un modo de transferencia que implica un desplazamiento de materia en el medio.

Existen dos diferentes tipos principales de transmisión por convección:

- Convección natural :

La convección natural es un fenómeno que se produce cuando un gradiente induce un movimiento dentro del fluido. El gradiente puede ser de diferente naturaleza, como por ejemplo la temperatura.

La masa volumétrica es en general función de la temperatura y un gradiente de temperatura implica una diferencia de masa volumétrica en el fluido. Esta diferencia implica un cambio de la presión de Arquímedes et esto crea un movimiento en el fluido.

- Convección forzada :

La convección forzada es provocada por una circulación artificial (bomba, turbina) de un fluido. La transferencia es más rápida que en el caso de convección natural.

La transmisión de calor por convección se produce en una superficie, y se explica por la ley de enfriamiento de Newton:

$$q'' = hA_S(T_S - T_\infty)$$

Donde h es el coeficiente de convección, A_S es el área de la superficie en contacto con el fluido, T_S es la temperatura en la superficie dicha, y T_∞ es la temperatura del fluido lo suficientemente lejos del cuerpo.

4.3.3. Radiación :

La radiación es la transmisión de calor por ondas electromagnéticas, y no necesita un medio de propagación. La energía propagada se desplaza a la velocidad de la luz.

La ecuación que representa el calor transportado es :

$$q'' = \varepsilon\sigma(T_1^4 - T_\infty^4)$$

Donde ε es la emisividad del cuerpo, por ejemplo $\varepsilon = 1$ para un cuerpo negro (La emisividad depende del color del cuerpo), σ es la constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4}$), T_1 es la temperatura del cuerpo, y T_∞ es la temperatura lo suficientemente lejos del cuerpo.

5. Simulación ABAQUS

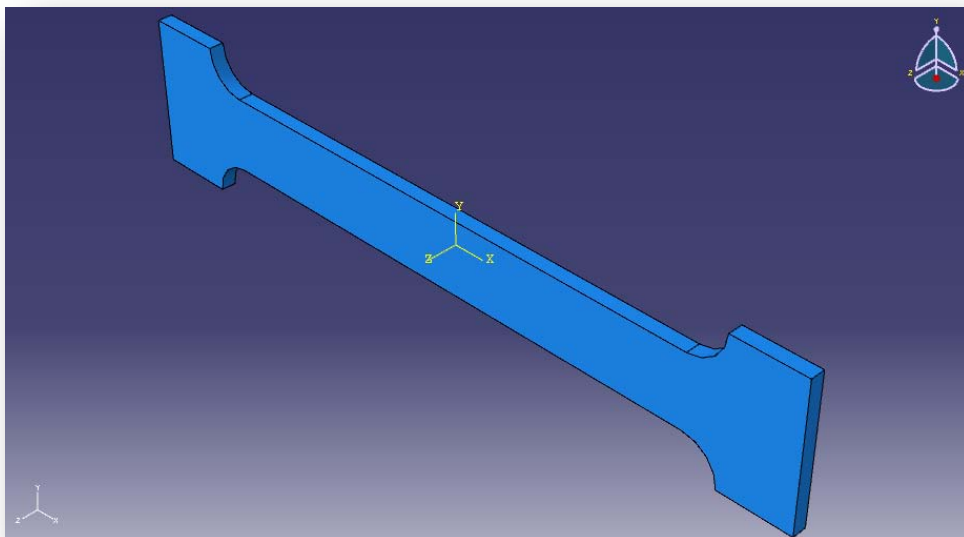
Para la simulación de este ensayo fue utilizado el software de simulación por elementos finitos ABAQUS. Este programa es muy importante en el campo de las simulaciones para obtener resultados de diversas variables, y poder comprender el comportamiento de los materiales.

Durante este estudio, cambiaremos diferentes parámetros para conocer el efecto de éstos en los resultados numéricos obtenidos.

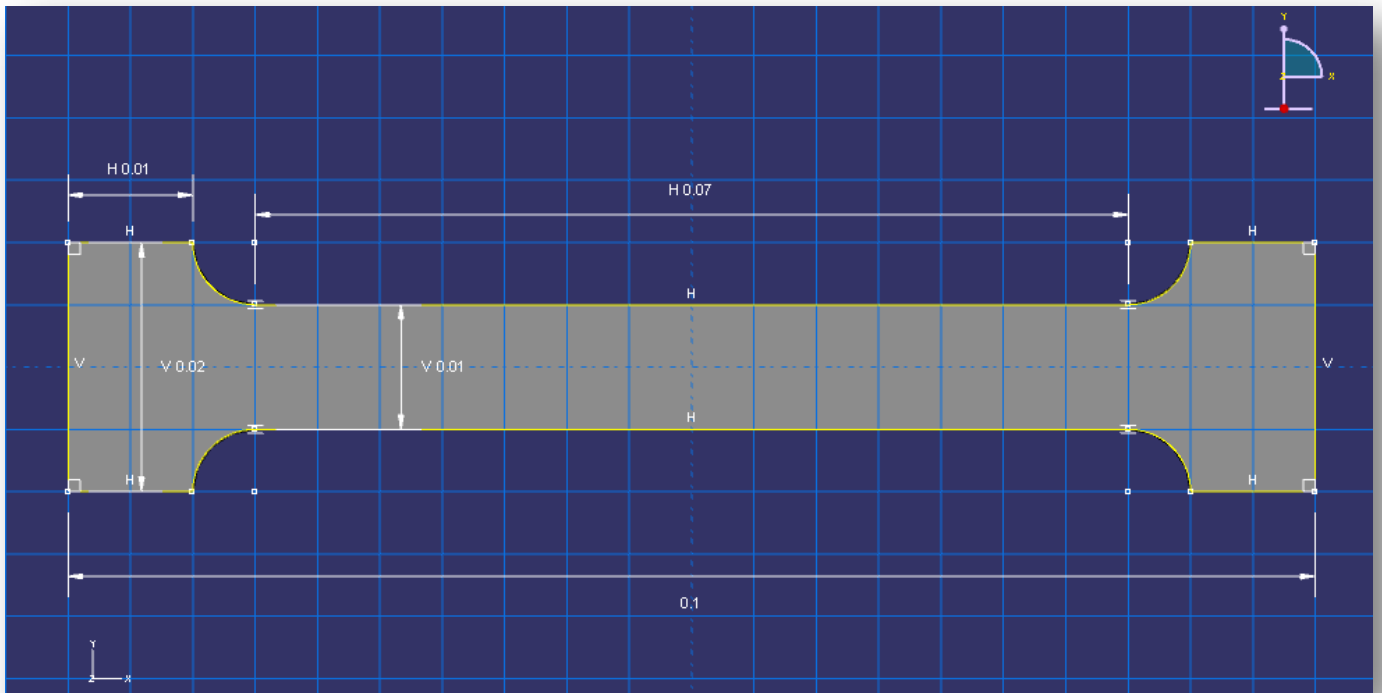
Los parámetros elegidos en este estudio son el mallado, el coeficiente de convección, el coeficiente de transmisión de calor de Quinney-Taylor y finalmente el hecho de tener en cuenta o no la radiación en la frontera de la probeta.

Para comenzar, hay que comentar que la geometría de la probeta a sido simplificada por su octava parte, ya que es simétrica respecto a los tres ejes principales (X, Y, Z).

La geometría completa de la probeta esta representada en la siguiente imagen:

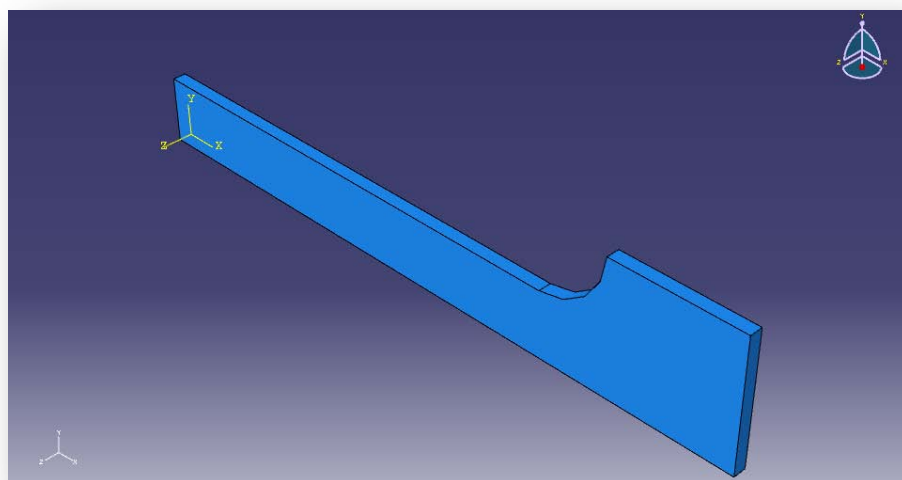


Y las dimensiones son:



Todas las dimensiones están expresadas en metros y el espesor es $e = 0.002 \text{ m}$

Una vez simplificada por su octava parte, el resultado es:



Esta segunda probeta tiene un espesor que es la mitad de su predecesora.

EN lo que sigue de este estudio, los resultados numéricos obtenidos tienen lugar en el punto de deformación máxima de la probeta. En esta probeta, es en el centro, justo en el medio.

También, después de toda la información que concierne al comportamiento de los materiales, podemos deducir que la estricción se producirá en el centro, donde se concentran todas las tensiones.

Para poder analizar más fácilmente los resultados, el código propuesto para nombrar los diferentes ejemplos es:

Ejemplo	Convección	Radiación	Tamaño Mallado	Tipo Mallado	Coef. Quinney-Taylor
1-A	Sin conv.	Sin radiación	0.0015	Hexaedro/Sweep	$\beta = 0.9$
1-B	Sin conv.	Sin radiación	0.0008	Hexaedro/Sweep	$\beta = 0.9$
1-C	Sin conv.	Sin radiación	0.0006	Hexaedro/Sweep	$\beta = 0.9$
1-D	Sin conv.	Sin radiación	0.0008	Hexaedro/Struct.	$\beta = 0.9$
1-E	Sin conv.	Sin radiación	0.0008	Tetraedro/Free	$\beta = 0.9$
2-A	h = 10	Sin radiación	0.0015	Hexaedro/Sweep	$\beta = 0.9$
3-A	h = 50	Sin radiación	0.0015	Hexaedro/Sweep	$\beta = 0.9$
4-A	h = 200	Sin radiación	0.0015	Hexaedro/Sweep	$\beta = 0.9$
2-beta00	h = 10	Sin radiación	0.0008	Hexaedro/Sweep	$\beta = 0$
2-beta03	h = 10	Sin radiación	0.0008	Hexaedro/Sweep	$\beta = 0.3$
2-beta09	h = 10	Sin radiación	0.0008	Hexaedro/Sweep	$\beta = 0.9$
2-beta10	h = 10	Sin radiación	0.0008	Hexaedro/Sweep	$\beta = 1$
1-C-conv	h = 20	Sin radiación	0.0006	Hexaedro/Sweep	$\beta = 0.9$
1-C-rad	Sin conv.	$\epsilon = 1$	0.0006	Hexaedro/Sweep	$\beta = 0.9$
1-C-rc	h = 20	$\epsilon = 1$	0.0006	Hexaedro/Sweep	$\beta = 0.9$

5.1. Efecto del mallado :

Para analizar el efecto del mallado en un primer momento vamos a cambiar el parámetro del tamaño de los elementos, que en el programa se llama *Approximate global size* (en el cuadro llamado tamaño mallado).

En este caso, los otros parámetros del estudio son constantes, los cuales están representados en la tabla siguiente:

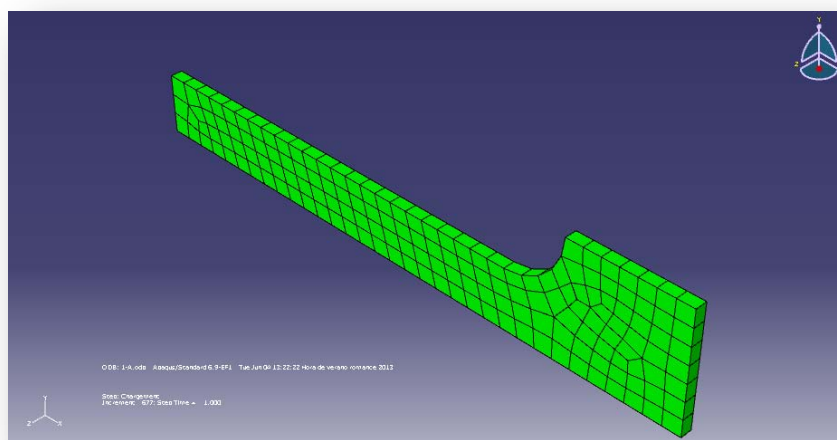
Parámetros	
Convección (coeficiente h)	Sin convección
Radiación	Sin radiación
Coefficiente Quinney-Taylor	$\beta = 0.9$

Para la primera comparación de mallado utilizaremos los tipos de elemento *Sweep*, que nos dan un mallado de hexaedros, y ordena los hexaedros por el método de barrido que es relativamente aleatorio.

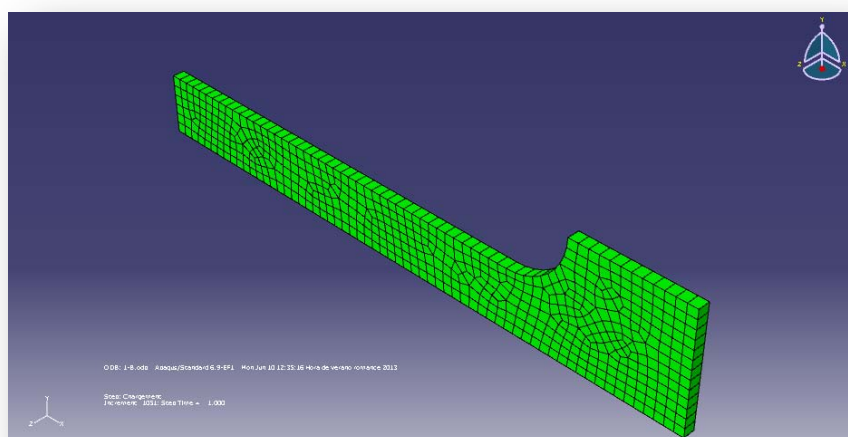
Los diferentes valores de *Approximate global size* que vamos a utilizar son :

Ejemplo	<i>Approximate global size</i>
A	0.0015
B	0.0008

Y as imágenes del mallado correspondiente son :

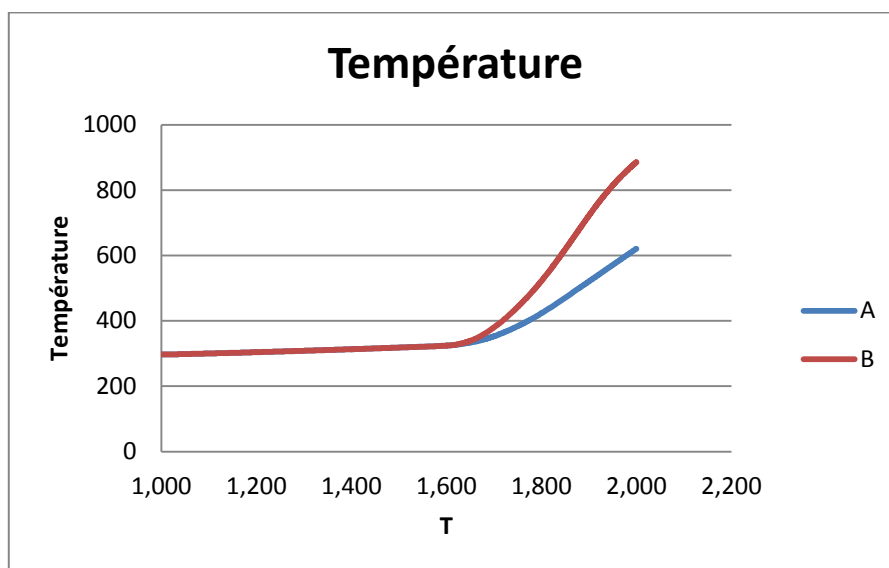
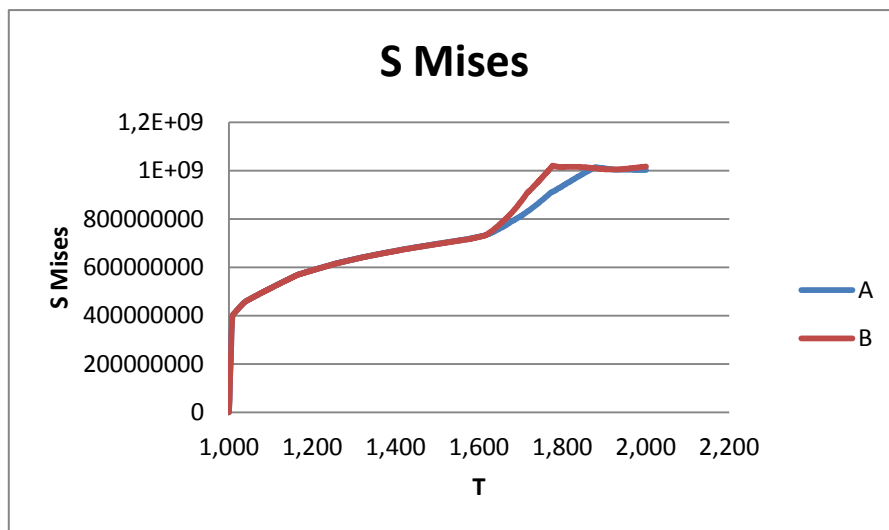
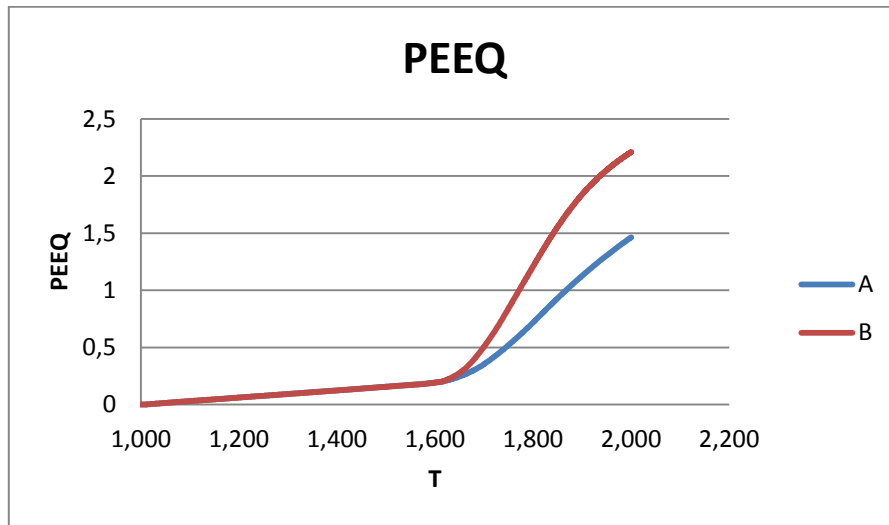


Mallado A



Mallado B

Si observamos los resultados de las deformaciones, tensiones y temperatura en la probeta:



Observamos que si el mallado es más definido, con elementos más pequeños, las deformaciones obtenidas se vuelven más grandes (por lo que pasa lo mismo con la tensión y la temperatura debida a las deformaciones). Esto puede explicarse porque ABAQUS hace las deformaciones de cada elemento y si los vértices de éste están alejados, es como hacer la media de valores lejanos, así que el resultado que concierne a la parte de la probeta más deformada (el centro) se vuelve inexacto.

Los resultados obtenidos demuestran que respecto al tamaño de los elementos del mallado, es importante tener un mallado con elementos lo suficientemente pequeños (el mejor modelo es el B) porque es más próximo a la realidad, es decir, el elemento infinitesimal.

El otro estudio del mallado es respecto a los tipos de elemento utilizado, y antes de comenzar debemos conocer cuáles son.

Hay tres diferentes elementos utilizamos en nuestros ensayos:

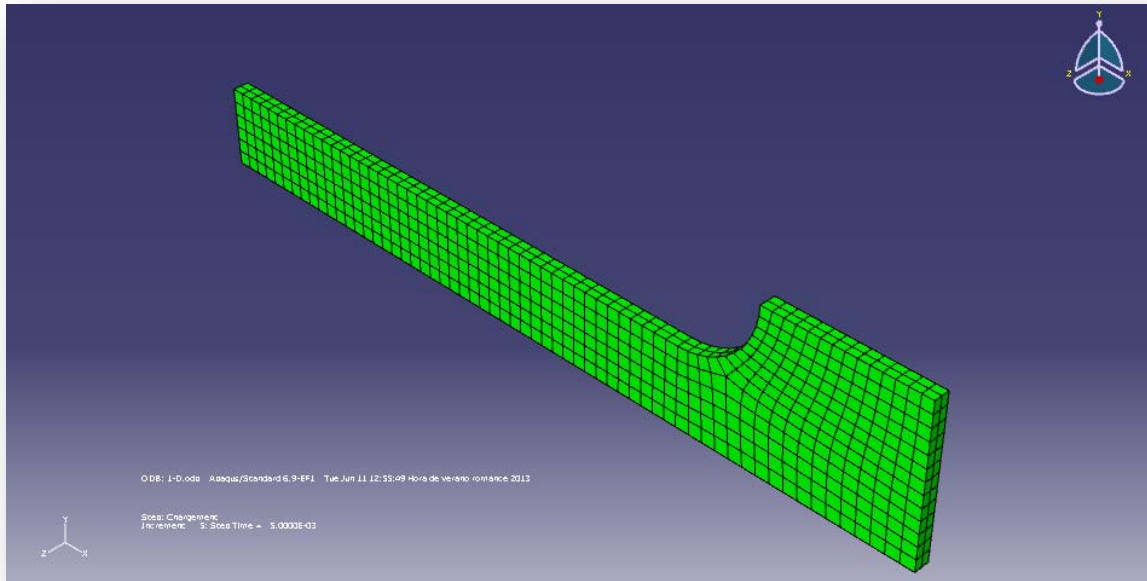
- Elementos hexaédricos con técnica de formación *sweep*.
- Elementos hexaédricos con técnica de formación *structured*.
- Elementos tetraédricos con técnica de formación *free*.

En el campo del tamaño de los elementos, utilizaremos el parámetro *Approximative global size* = 0.0008.

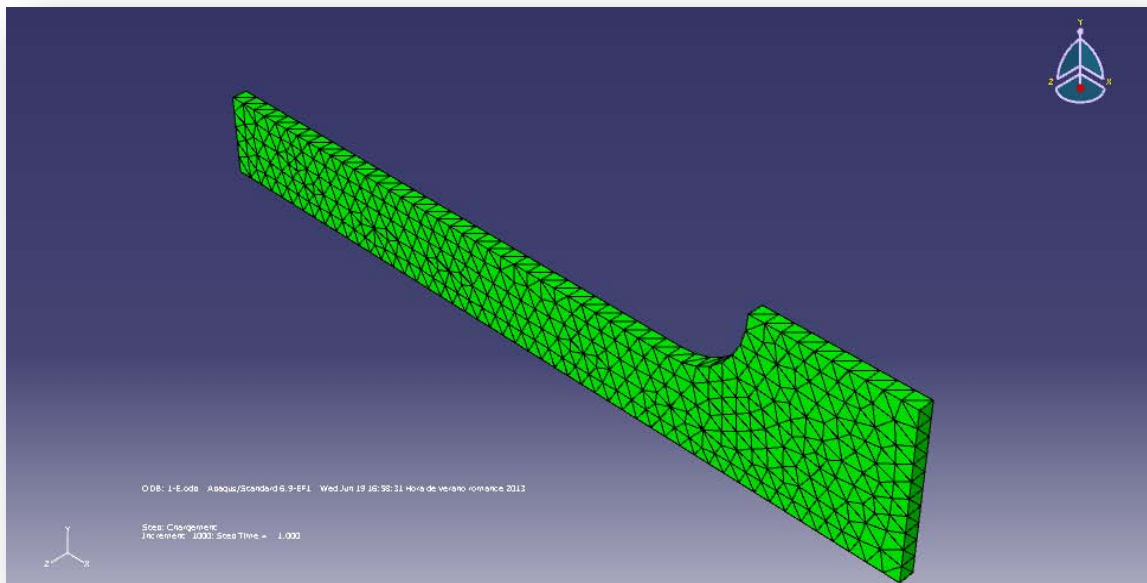
Los mallados correspondientes son entonces:

Ejemplo	<i>Tipo de elemento</i>	<i>Técnica</i>
B	Hexaedro	Sweep
D	Hexaedro	Structured
E	Tetraedro	Free

Y sus representaciones en la probetas son:

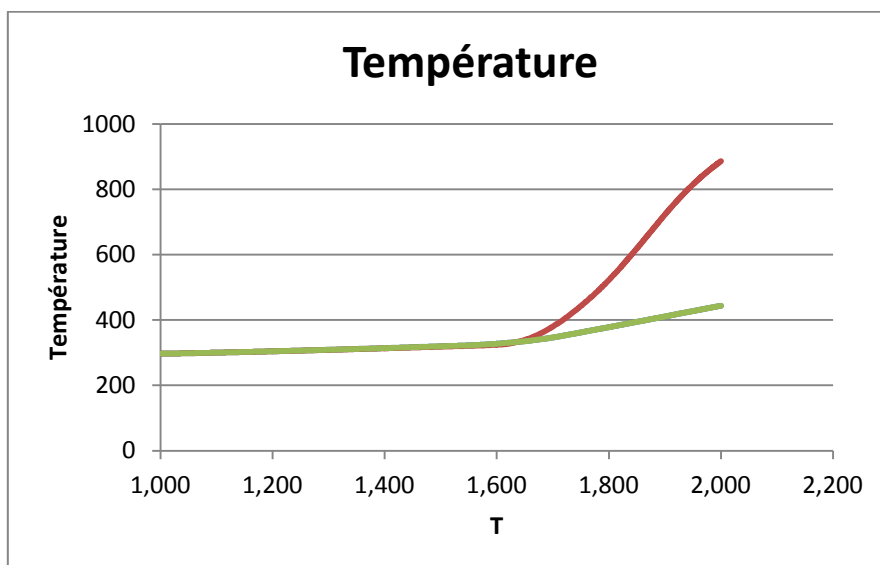
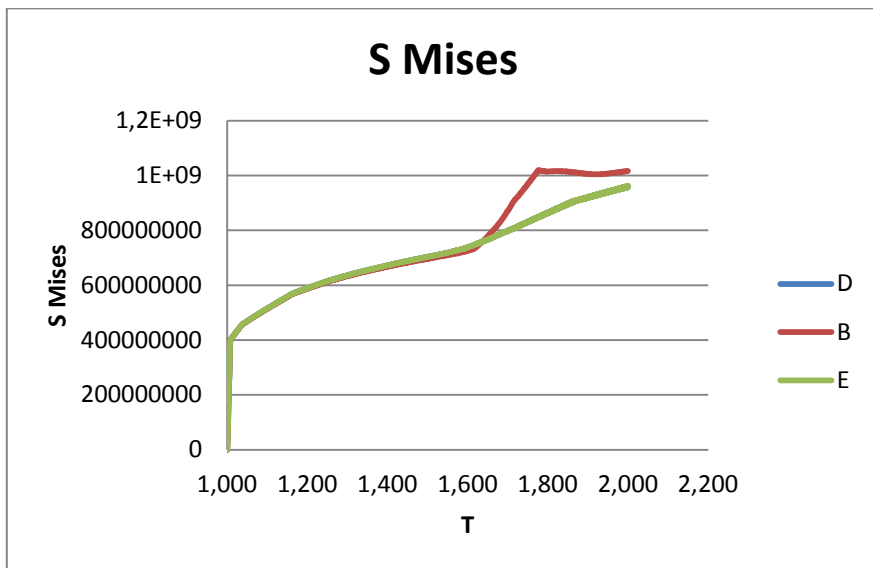
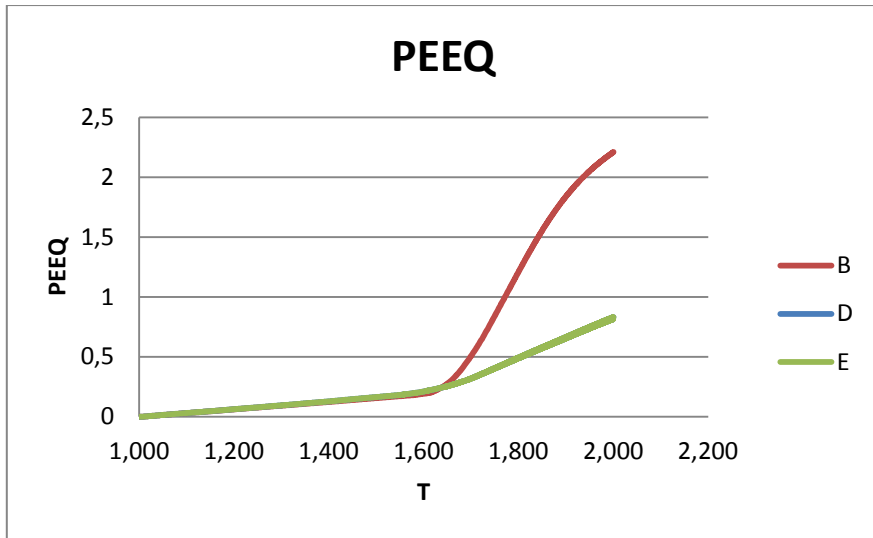


Mallado D



Mallado E

Para comparar los resultados hay que observar las deformaciones, tensiones y temperatura en la probeta:



En este caso, no podemos ver bien la curva para el mallado D. Esto se debe al hecho de que las curvas de mallado D y E son la misma.

Observando estas curvas, y como sabemos que la estricción aparece para deformaciones de 0.2 (PEEQ) en este acero, podemos ver que la curva roja está siempre por debajo de la verde. Hay que tener en cuenta también que los datos después de la estricción no son fiables.

Después de haber analizado esto, podemos sostener que el tipo de mallado B no es demasiado malo pero para estar más próximo a la realidad, los otros tipos de mallado (D y E) son bastante mejores.

5.2. Efecto del coeficiente de convección :

Otro parámetro del cual vamos a seguir su evolución, es el coeficiente de convección « h ».

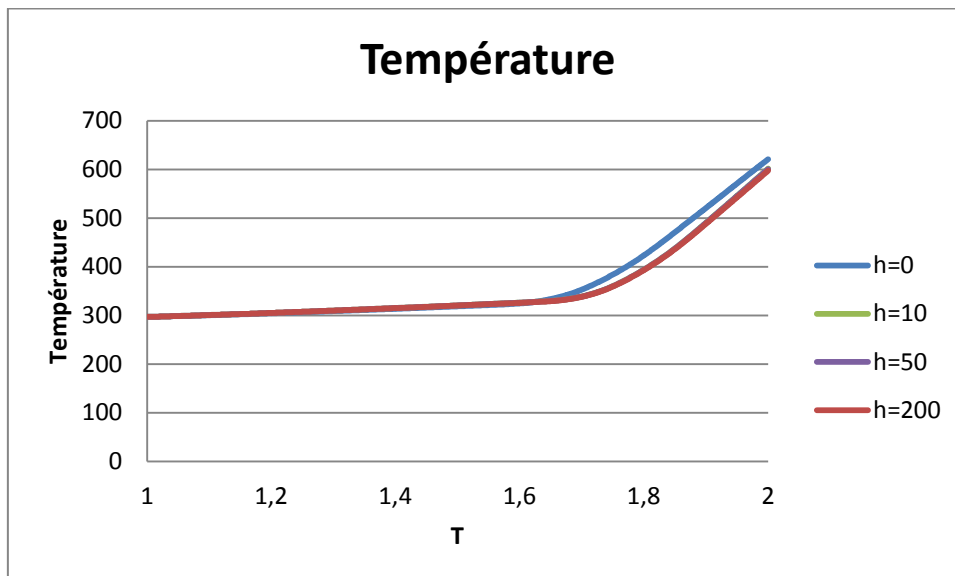
Respecto a la cantidad de calor que va a emitir la probeta, este coeficiente es realmente importante porque hace descender la temperatura en la frontera.

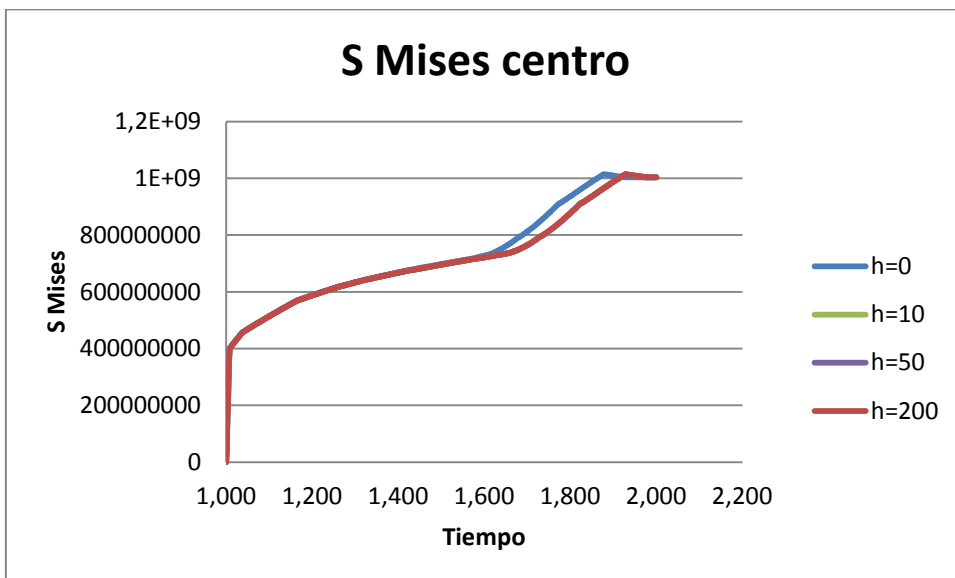
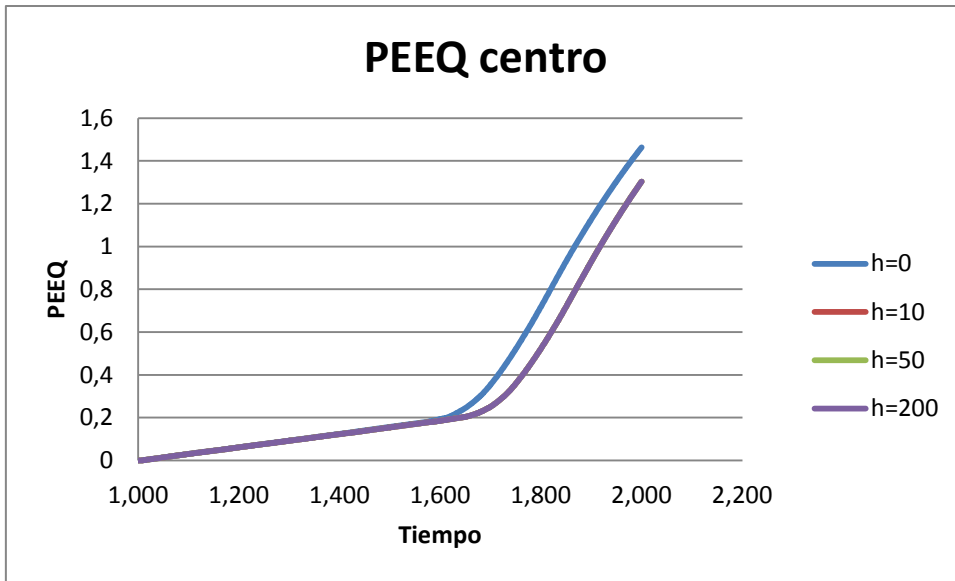
Para nuestro estudio ABAQUS, los valores elegidos para h son:

Ejemplo	<i>Coeficiente de convección</i>
1	Sin convección
2	h = 10
3	h = 50
4	h = 200

Con estos ejemplos podremos buscar el efecto de este coeficiente en los resultados.

Para poderlo analizar hay que observar los resultados numéricos en un gráfico:





En las gráficas observamos que sólo se distinguen dos curvas distintas.

Esto es posible debido a que algunos valores de estos parámetros son iguales, y es imposible diferenciarlos.

Mirando los valores numéricos de estos gráficos, podemos observar que las curvas son idénticas para $h=10$, $h=50$ y $h=200$. La otra curva es para un valor de $h=0$.

Este dato, demuestra la importancia de la convección, ya que en el gráfico de temperatura podemos remarcar que el calor emitido es significativo.

También, después de este detalle podemos decir que la importancia reside en el hecho de tener convección o no, pero no es demasiado significativo conocer con exactitud el valor del coeficiente de convección para este tipo de ensayos.

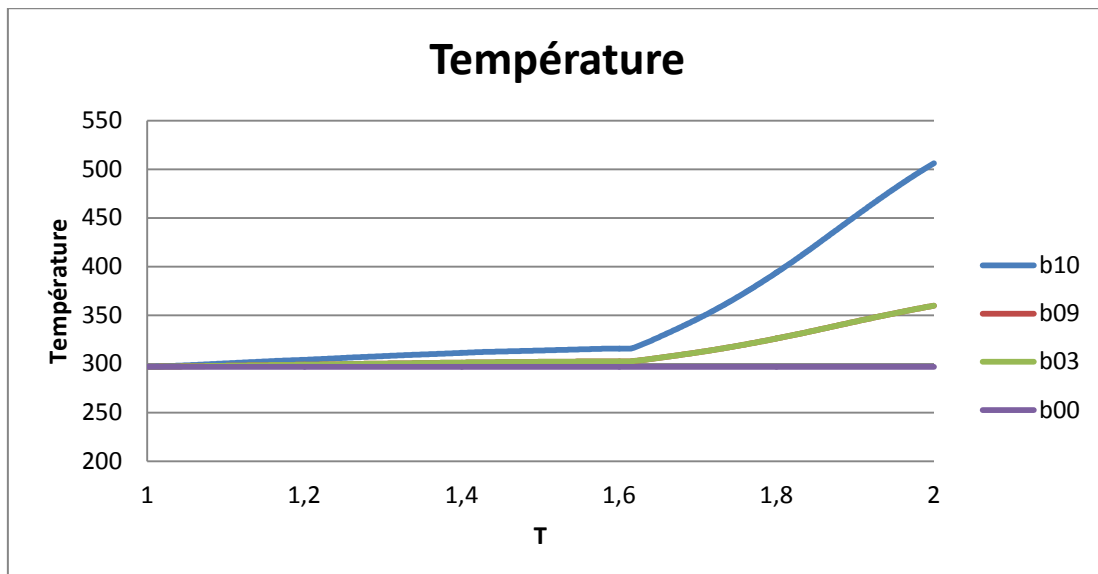
5.3. Efecto del coeficiente de Quinney-Taylor :

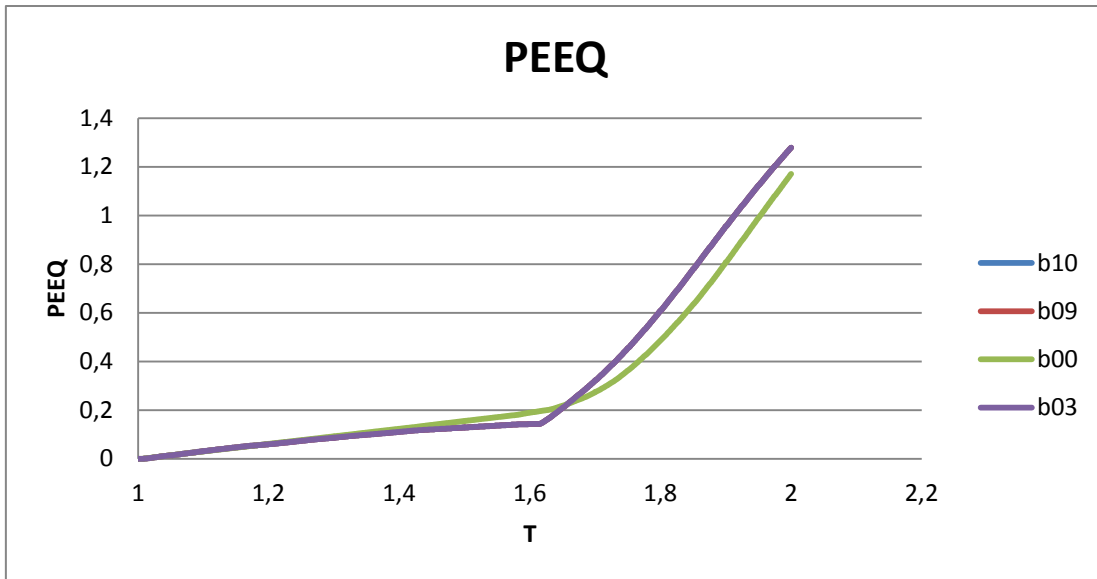
EL siguiente estudio consistirá en analizar la fracción de calor emitido, debido a la deformación plástica, β , el coeficiente de Quinney-Taylor, cambiando este valor en nuestra simulación.

Los parámetros invariables son la convección, la radiación (que consideraremos nula), y el tipo y tamaño de mallado.

Parámetros	
Radiación	Sin radiación
Mallado	B
Convección (coeficiente h)	h = 10

Para las simulaciones hechas, después de los resultados en ABAQUS los valores para los parámetros que vamos a observar han sido analizados en los mismos gráficos para estudiar mejor sus diferencias.





Respecto a la temperatura, el gráfico muestra, lo cual tiene lógica, que para un coeficiente de Quinney-Taylor igual a cero, la temperatura queda invariable, ya que no hay ninguna difusión de calor.

Cuando este coeficiente es igual a 1, todo el calor es transformado por lo que es evidente que este ejemplo será el que tendrá la temperatura mayor durante el ensayo.

Si el valor del coeficiente es 0.9 o 0.3, se puede observar que las líneas son idénticas. Esto quiere decir que para valores centrales entre 0 y 1, la evolución de temperaturas es casi la misma.

También este hecho nos pone en evidencia que esta evolución no es proporcional.

Respecto a las deformaciones y tensiones, el hecho observado (es difícil de encontrar en estas gráficas) es que para un valor del coeficiente, no es muy significativo cuál de ellos, las deformaciones y tensiones son iguales, pero si es coeficiente es cero, la evolución de éstas variables es totalmente distinta.

5.4. Efecto de la radiación :

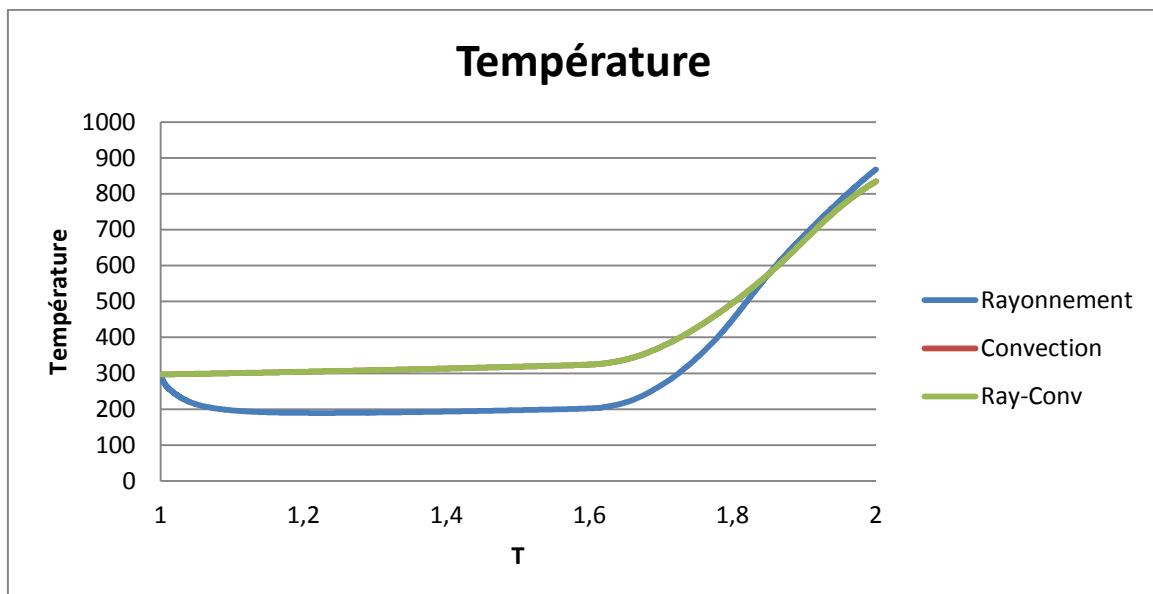
Un parámetro importante a tener en cuenta también es el efecto de la radiación. Para este estudio vamos a intentar encontrar una solución a la pregunta de si ésta es importante en las condiciones de un ensayo de tracción simple a temperatura ambiente.

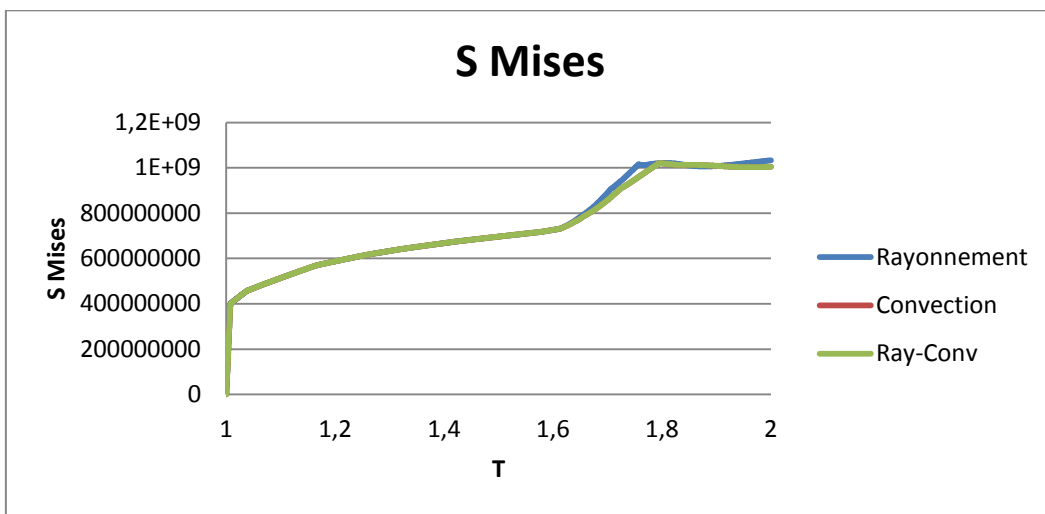
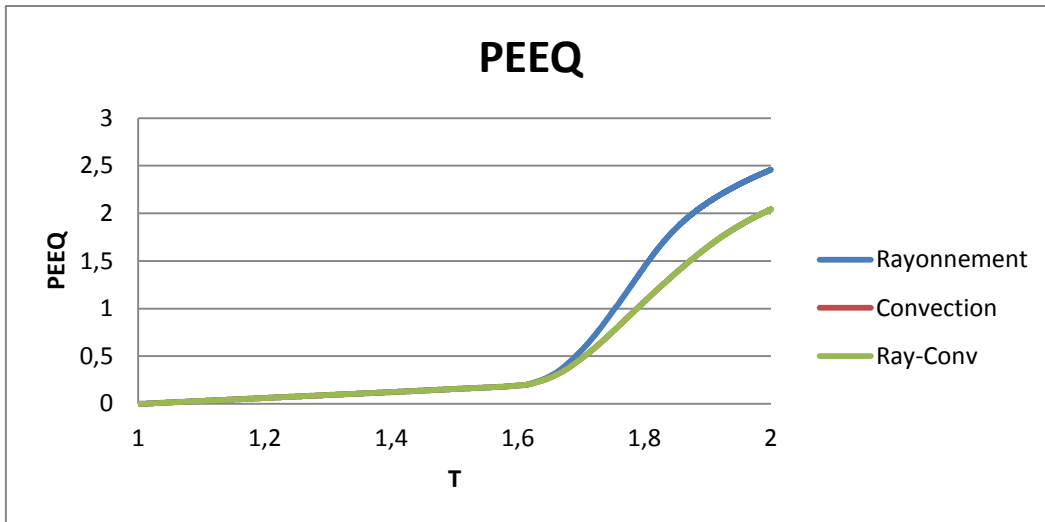
Obviamente hay que conocer las condiciones en las cuales vamos a hacer la simulación para la radiación. Los valores de los otros parámetros de nuestro estudio son el medio para saber comparar los resultados entre ellos y están representados en la siguiente tabla:

Parámetros	
Coefficiente Quinney-Taylor	$\beta = 0.9$
Mallado	B
Convección (coeficiente h)	$h = 10$

Este estudio es más simple de comparar ya que sólo tendremos que utilizar tres simulaciones, y compararlas es más fácil.

Los resultados obtenidos en ABAQUS han sido analizados y las deformaciones, tensiones y temperatura están representadas en estas tablas:





Es complicado encontrar la línea correspondiente a los valores del ensayo sólo con convección, este hecho es debido a su proximidad con la línea de los valores para convección y radiación juntas.

Gracias a esto, es fácil comprender que el efecto de la radiación es tan despreciable que no podemos encontrar esta diferencia significativa.

Por esto, en nuestras condiciones, el efecto de la radiación es considerablemente más pequeño que el de la convección.

Esto quiere decir que el calor emitido por radiación es muy pequeño, y que no es un gran error despreciar para futuras simulaciones.

No debemos, por otro lado, olvidar que esto sólo es cierto en el dominio de los ensayos de tracción simple en aceros, y en las condiciones alrededor de la probeta de un laboratorio a condiciones de ambiente.

6. Conclusión

Durante este estudio, hemos analizado los efectos de los diferentes parámetros que hemos elegido cambiar.

Las simulaciones podrían haber estado hechas de manera diferente, porque según cómo cambiemos los parámetros, los resultados hallados son infinitos. Así que no hay una sola forma de hacer este estudio de ensayos numérico.

De todas formas, aunque los parámetros elegidos para analizar sean distintos, o los invariables no sean los mismos, deberemos obtener las mismas deducciones respecto a la forma de la simulación, y también los ensayos reales.

En referencia a los resultados obtenidos, es hecho más claro es que los elementos del mallado deben ser lo más pequeños posible, ya que de esto mismo depende la exactitud de los resultados.

También hemos encontrado una demostración de que la radiación en este caso (probeta a tracción en condiciones ambiente) no es lo suficientemente significativa si tenemos también convección, porque con esta última, la transmisión de calor por difusión de energía es bastante mayor.

Para el coeficiente de Quinney-Taylor de transmisión de calor, hemos visto que respecto a la deformación, es más importante saber si hay difusión o no que el valor mismo de este coeficiente. Pero para la temperatura, deberemos saber cuál es éste valor para conocer el comportamiento de la probeta.

Si nos fijamos en el coeficiente de convección los resultados no son demasiado evidentes, pero también podemos encontrar una relación entre el coeficiente y las variables observadas.

Para concluir, con este estudio hemos podido aclarar algunas nociones para ensayos posteriores reales o simulados, que podemos utilizar para comprender y ajustar la evolución y el comportamiento de materiales en general y aceros en particular.

7. Referencias bibliográficas

- http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/5615/1/Tesis_ROLANDO_2009.pdf

Tesis doctoral: Obtención de leyes tensión-deformación de materiales viscoplásticos a partir de mediciones del incremento de temperatura asociado a su deformación plástica (Autor: ROLANDO ENRIQUE GUZMÁN LÓPEZ)

- http://www.biocab.org/Transferencia_Calor.html

Estudio de transmisión de calor: BIOLOGY CABINET Instituto para la Investigación Científica y Educación en Biología.

- <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/1910/577115.pdf?sequence=1>

Proyecto: MODELING CRACKS WITH ABAQUS (Autor: Miguel Arbeloa Ronco et Pablo Sanchis Gurrupide)

- <http://dc248.4shared.com/doc/02BjvQID/preview.html>

Propriétés des matériaux (Auteur: Franck TESTON)

- http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Structure/linear_defects.htm

Linear Defects – Dislocations: (NDT Resource center)

- <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2012/07/31/2-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/>

Metalografía: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

- Modélisations expérimentales et numériques des couplages thermiques (Auteur: Jean-Luc ZINSZNER)

