

# CARACTERIZACIÓN Y SIMULACIÓN POR MEF DE UN ACERO DE ALTA RESISTENCIA

Jonathan Cruz García (1), Dr. Eduardo Aguilera Gómez (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato] | [jonathancruz1@hotmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [eag@ugto.mx]

## Resumen

Los avances de la ingeniería son gracias a diferentes factores, uno de los más importantes son los materiales. El progreso en la ingeniería incluye la necesidad de mejorar el desarrollo de materiales, esto se ha convertido en una tarea de gran importancia, entre estos materiales se incluyen los AHSS (Por sus siglas en inglés *Advanced High Strength Steels*) por su amplio uso en industrias como la automotriz, en este documento se redacta la obtención de las propiedades mecánicas de un acero Dual-Phase Rolado en caliente mediante pruebas de tensión y posteriormente se comparará la curva verdadera obtenida en ésta con una simulación por método de elemento finito.

## Abstract

the advances in engineering are thanks to different factors, one of the most important are the materials. The progress in engineering includes the necessity to improve such materials, this has become a task of great importance, among this materials include AHSS (*Advanced High Strength Steels*) for its wide use in industries such as automotive. In this document is redacted the obtention of the mechanical properties of a steel Dual-Phase hot-rolled through stress tests and then the curve obtained by this method will be compared with a simulated one in the finite element method.

## Palabras Clave

Caracterización; Acero AHSS; Simulación por MEF; Dual-Phase.

## INTRODUCCIÓN

### Aceros de alta resistencia Dual-Phase.

En los últimos años han tenido lugar numerosos desarrollos relacionados con la tecnología y fabricación de nuevos aceros vinculados con la disminución de peso y aumento de la seguridad de vehículos. En este sentido los Aceros de Alta Resistencia (AHSS) han capturado la atención [1]. Dentro de los aceros de alta resistencia avanzados se tienen dos familias. La primera es la de los aceros de alta resistencia con una mayor conformabilidad para diseños que involucren partes más complejas. Estos son los aceros denominados Dual-Phase (DP) y los aceros con transformación Inducida por Plasticidad (TRIP) [2].

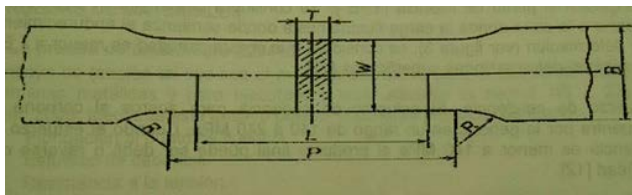
Los aceros DP, son aquellos cuya microestructura está compuesta principalmente de ferrita y martensita, encontrándose pequeñas zonas de bainita y austenita estabilizada como resultado del tratamiento térmico. Estos aceros pueden ser obtenidos mediante laminación en caliente, o laminación en frío y recocido continuo, siendo el tratamiento térmico realizado durante el proceso de fabricación, el que determina las cantidades relativas de las fases presentes [3].

Como características principales de este material, se tiene un comportamiento homogéneo durante la fluencia, una gran zona de endurecimiento por deformación y una elevada ductilidad, conferida por la distribución de las fases presentes [3]. Estos aceros también presentan un excelente

alargamiento a rotura que provee a estos aceros de una mayor resistencia a la tracción que aceros convencionales con similar límite de fluencia.

Los aceros DP también presentan un efecto de *bake hardening* que se constituye en un beneficio importante en relación a otros aceros convencionales [4].

Figura 1: Parámetros para probeta de tensión.



la caracterización y simulación de un acero de alta resistencia Dual-Phase Rolado en caliente, esto con el claro fin de entender su comportamiento y propiedades.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### PRUEBA DE TENSIÓN

#### Corte de las probetas

Para realizar las pruebas de tensión se cortaron 5 probetas en 3 diferentes orientaciones con respecto a la dirección de rolado (0°, 45° y 90°), dando un total de 15 probetas para el material. Para el corte de dichas probetas se utilizó un troquel con la geometría especificada por la norma JIS Z 2201 [5], en la Figura 1 se muestran los parámetros de la probeta.

Las dimensiones de la probeta se pueden apreciar en la Tabla 1.

Dimensiones (mm)	
L – Longitud calibrada	50±0.005
W – Ancho	25±0.25
T – Espesor	Del material
R – Radio de los filetes.	15
LT – Longitud total	200
P – Longitud de la sección reducida	60
B – Ancho de la sección de agarre.	40

Tabla 1. Dimensiones para probeta de tensión en normativa JIS.

Tras el proceso de corte laser, las probetas se preparan mediante un desbaste muy ligero con lija 500 en todos los bordes de la probeta; se lijan manualmente los bordes de la sección reducida usando lija de alúmina, hasta que no se percibieran rugosidades en esos bordes, esto con dos finalidades primordiales: eliminar el trabajo en frío inducido al material durante el proceso de corte con troquel y evitar fractura prematura

debida a cualquier mella dejada por el proceso de desbaste con esmeril de banco.

Para eliminar las impurezas de las probetas debidas al lijado, se limpiaron utilizando una solución de alcohol isopropílico.

Una vez limpias las probetas, se marcó la longitud de la sección reducida (A) con una tinta de secado rápido, para generar contraste en la probeta y marcar la longitud calibrada (G) mediante un dispositivo para rayar el material. En la Figura 2 se pueden apreciar el vistazo final de las probetas.



Figura 2: Probetas preparadas para prueba de tensión.

### MONTAJE DE LAS PROBETAS.

Para las pruebas de tensión se utilizó una máquina universal marca INSTRON 8872 con capacidad de 2.5 Toneladas. Las características generales de esta máquina son: el dispositivo de cierre de las mordazas es mecánico, cuenta con un extensómetro de 50 mm de longitud calibrada y un compresómetro para un ancho nominal de 25 mm instrumentados mediante un extensómetro y compresómetro de marca INSTRON con número de serie 125427 y 125507 respectivamente.

Se colocó cada una de las probetas sujetas por las mordazas en la longitud de la sección de agarre B. En seguida se colocó el extensómetro, tomando en cuenta que las sus patas debían ser colocadas en las marcas de la longitud calibrada, para asegurar una medición correcta.

A continuación se realizó el montaje del compresómetro, finalmente se verificó el correcto montaje del dispositivo completo. Figura 3.

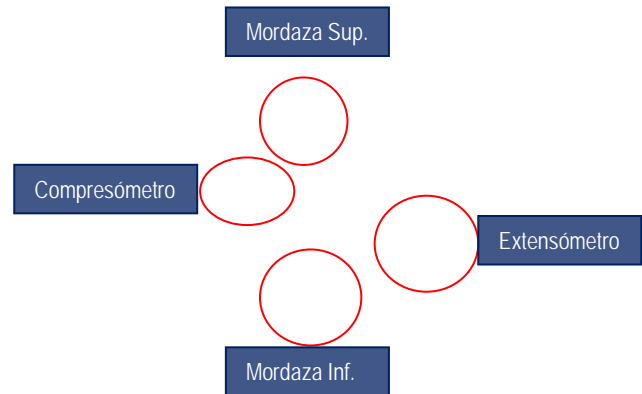


Figura 3: Montaje de probeta JIS.

### SIMULACIÓN POR MEF

Para la simulación por método de elemento finito se usó el paquete de ANSYS APDL 15.0 ®. La geometría generada en base a las características geométricas de la prueba de tensión es mostrada a continuación. Se utilizó media simetría en el modelo para reducir el tiempo de cómputo. Una vez que se tuvo el modelo se procedió a realizar el mallado. En la Figura 4. Se muestra el modelo finalizado.

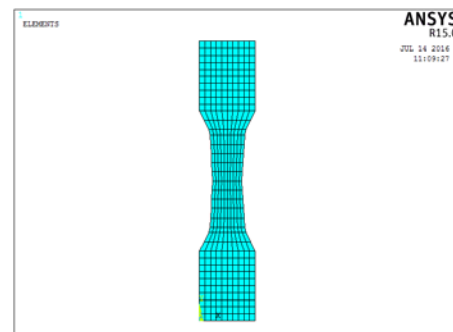


Figura 4: Modelo creado para la simulación por MEF

Para la simulación se tomó un elemento PLANE 182, esto con la finalidad de reducir el tiempo de cómputo. En el modelo de material se seleccionó un Bilineal Isotrópico, el modelo de material requiere de datos tanto para la región elástica como para la región plástica, dichos datos se obtuvieron de la caracterización, el propósito final es comparar las curvas Esfuerzo-Deformación para corroborar si la simulación es correcta. En las condiciones de frontera se restringe todo desplazamiento de la parte inferior del modelo, y en la parte superior se coloca un desplazamiento de 10 mm en el eje Y, éste se aplicara por pasos de carga al momento de solucionar el modelo para poder obtener una curva Esfuerzo-Deformación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN.

Lo primero a denotar de los resultados es la obtención de varios parámetros por medio de la

Tabla 2. Parámetros obtenidos por la caracterización.

Probeta	Tensile stress at Break (Estándar) [MPa]	Tensile strain (Strain 1) at Break (Estándar) (%)	Tensile stress at Maximum Load [MPa]	Tensile strain at Maximum Load [MPa]	Modulus (Automatic Young's) [MPa]
RC 0°	638.0560	21.39192	645.4646	17.62617	196189.945
RC 45°	640.3755	22.03971	645.3370	15.58409	198141.3730
RC 90°	630.7521	20.06962	635.4835	15.36506	206106.699

Tensile stress at Yield (Offset 0.2 %) [MPa]	Tensile strain (Strain 1) Yield (offset 0.2%) (%)	Plastic strain ratio at r-value (Automatic)	Strenght coefficient at k (MPa)	Strain hardening at n-value
449.4713	0.43057	0.82249	967.3663	0.15504
444.2063	0.42470	0.92930	959.8535	0.14751
433.6014	0.40920	0.84748	936.9627	0.14551

caracterización del AHSS. Como se puede apreciar en los datos experimentales obtenidos, Tabla 2, el módulo de Young se encuentra dentro de los parámetros normales para un acero, los valores de  $r$ ,  $k$  y  $n$  indican, entre otras propiedades, que el material tiene zona amplia de endurecimiento, como es propio de los AHSS presenta una gran ductilidad. El comienzo de cedencia se presentará alrededor de los 450 MPa, y que su máxima resistencia a la tensión se presenta aproximadamente a 640 MPa, lo cual se encuentra dentro de los parámetros estándar de un Dual-Phase.

### RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.

Los resultados arrojados por la simulación en ANSYS 15.0 © se muestran a continuación. En la Figura 5. Se visualiza lo obtenido para el esfuerzo en eje Y.

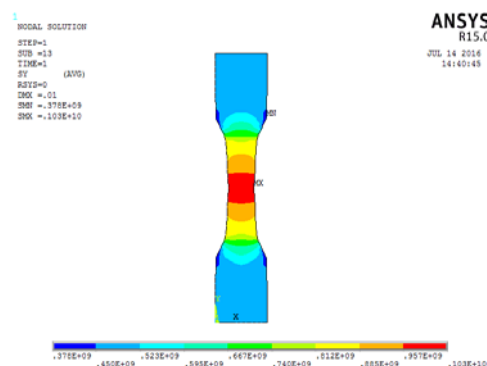


Figura 5: Concentración de esfuerzos en el modelo

El esfuerzo máximo se presenta en la zona roja con un valor de 1030 MPa, lo cual claramente supera por mucho el límite a la cedencia que se reporta en la Tabla 2. Esto quiere decir que se ha presentado la ruptura, por lo tanto, el desplazamiento de 10 mm que se puso como condición de frontera es más del necesario.

## Curva verdadera

La caracterización realizada en la máquina universal INSTRON arroja una gráfica de curva verdadera Esfuerzo-Deformación, Como se ve en la Figura 6. Cabe destacar que se obtuvo una gráfica promedio de las tres direcciones, pues como se recordara, se tenían tres probetas con diferente orientación.

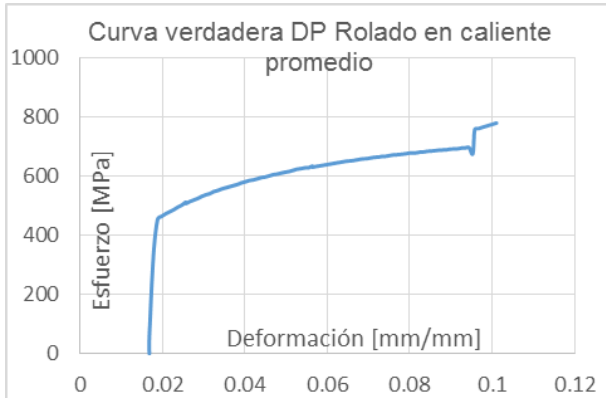


Figura 6: Curva verdadera promedio obtenida de la caracterización.

Por su parte la simulación en ANSYS 15.0 ® también arroja una curva verdadera, ésta se logró aplicando la condición de frontera de desplazamiento (10 mm) en 10 pasos de carga (1 mm por paso). A continuación en la Figura 7. Se muestra la comparación de ambas gráficas.

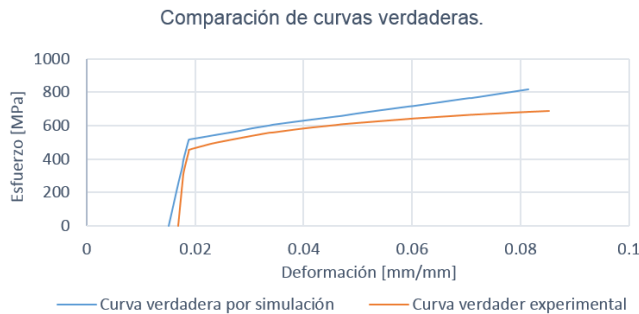


Figura 7: Comparación de curvas verdaderas

La simulación arroja un resultado adecuado para condiciones de manufactura pues la curva verdadera es considerablemente próxima a la obtenida en la caracterización. Las curvas representan su zona tanto elástica como plástica de una manera clara. Aunque los resultados son bastantes satisfactorios pues el margen de error es aceptable por parte de nuestra simulación, es

bueno tomar en cuenta que para futuros trabajos en relación el margen de error se puede disminuir, para ello se podría usar un modelo de material más adecuado, sin embargo, éste requeriría un conocimiento mucho más amplio en el software ANSYS ®.

## CONCLUSIONES

Las propiedades obtenidas cumplen con los parámetros deseados y reflejan la importancia de los aceros de alta resistencia, por otro lado la simulación por medio de MEF resulta satisfactoria pues la comparación de las curvas verdaderas guarda un margen de error menor. La caracterización obtenida de este acero en específico permitirá aplicar su uso tanto en el diseño como en la manufactura.

## AGRADECIMIENTOS

Un gran agradecimiento a mi familia y amistades por impulsarme a siempre seguir adelante. A la Universidad de Guanajuato por permitirme ser parte de esta enriquecedora experiencia. Y un agradecimiento muy especial al Dr. Eduardo Aguilera Gómez por su constante ayuda, y sobre todo, por creer en mí.

## REFERENCIAS

- [1] Committee of Automotive Applications (2005). "Advanced High Strength Steels (AHSS): Application Guidelines": Iron and Steel Institute,
- [2] Hernán Lorusso, Alejandro Burgueño, Hernán G. Svoboda. (2008). Propiedades mecánicas y caracterización microestructural de diferentes aceros Dual-Phase: CONAMET.
- [3] A. Monsalve G., A. Artigas A., F. Castro C., R. Colás, Y. Houbaert. (2011). Caracterización de aceros Dual-Phase obtenidos por laminación en caliente: Revista de metalurgia, 47 (1).
- [4] M. Delincé, Y. Brechet, J.D. Embury, M.G.D. Geers, P.J. Jacques, T. Pardo, (2007). "Structure-property optimization of ultrafine-grained dual-phase steels using a microstructure-based strain hardening model": Acta Materialia.
- [5] M.I. Celso E. Cruz Gonzales, (2015). Pruebas de caracterización de materiales para formado de láminas basadas en normas JIS Z 2241, JIS Z2254, JIS Z 2253: Centro de ingeniería y desarrollo industrial.