

# INFLUENCIA DEL HIDRÓGENO GASEOSO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN ACERO DE ALTA RESISTENCIA

Laureano J. AIRALDI, Mariano N. INÉS, Carolina A. ASMUS, María N.  
DELPUPO, Graciela A. MANSILLA<sup>(1)</sup>

*<sup>(1)</sup> Grupo Metalurgia Física, Departamento Metalurgia-DEYTEMA, Facultad  
Regional San Nicolás, Colón 332, San Nicolás, Argentina.*

# FORMATO

- ▶ Introducción y objetivos
- ▶ Metodología
- ▶ Resultados y discusión
- ▶ Conclusiones
- ▶ Agradecimientos y referencias

# INTRODUCCION

- ▶ ¿Qué son los aceros de alta resistencia?



Industria petrolera



Industria automotriz

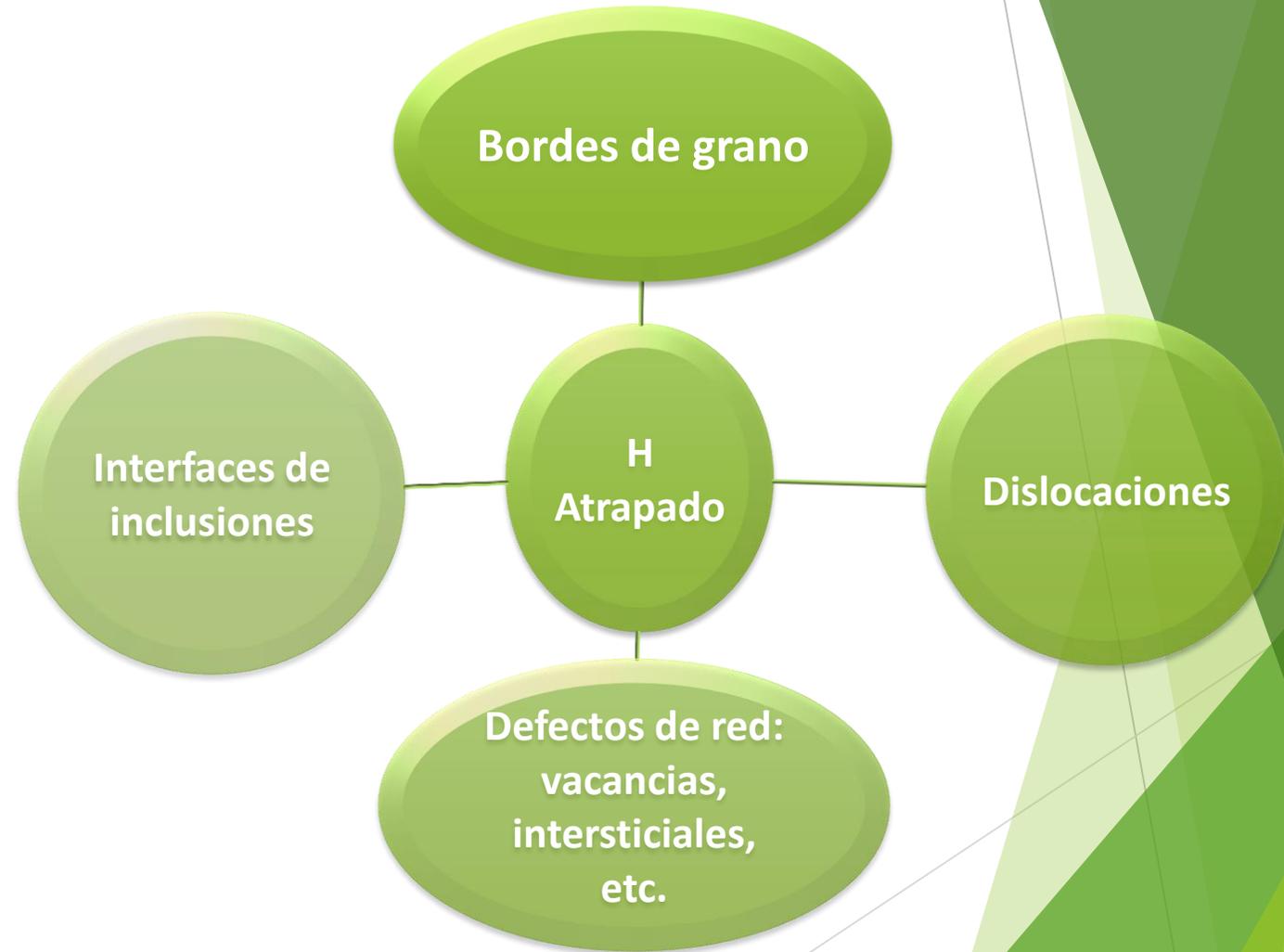


Industria de la construcción

- ▶ Son aceros con contenido de 0.4 %C, lo que le brinda la gran resistencia. El agregado de S y Mn da lugar a la formación de MnS, que junto a otros aleantes le brindan cierta accesibilidad al maquinado.

# INTRODUCCION

- ▶ El hidrógeno atrapado en los aceros altera significativamente las propiedades mecánicas, generando rechazos en las inspecciones finales de los productos y hasta incluso, puede producir la falla de los materiales en servicio.

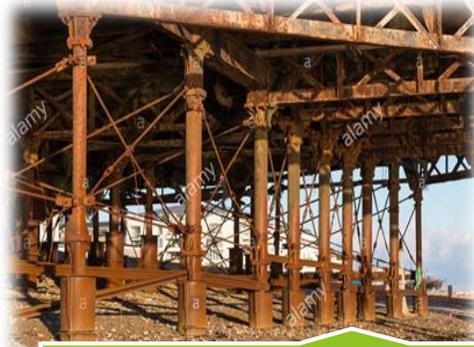


# INTRODUCCION

¿Cuáles son las posibles vías de acceso?



Tuberías y tanques que almacenan hidrocarburos.



Contacto con ambientes ácidos.



En etapas de elaboración como el decapado ácido.



Presencia de impurezas en las materias primas.



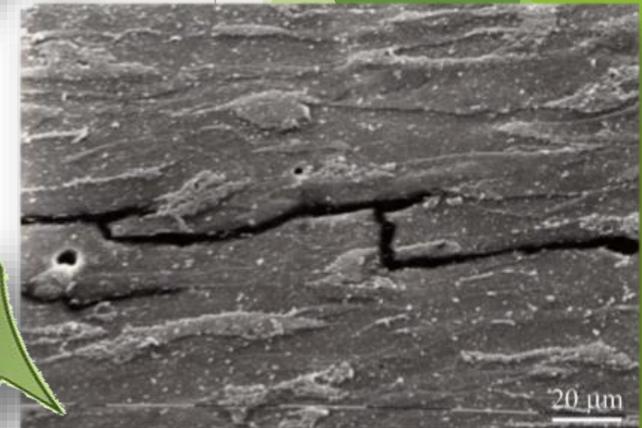
En la conformación, mediante el uso de lubricantes en la laminación y maquinado.



En etapas de elaboración como galvanizado electrolítico.

# INTRODUCCION

- ▶ Consecuencias:
- ▶ Formación de porosidades o ampollas de hidrógeno en superficie
- ▶ Endurecimiento por solución sólida y la formación de hidruros
- ▶ Todos ellos activadores potenciales de fenómeno de fisuración inducida por hidrógeno(FH)



# OBJETIVOS

- ▶ Simular los efectos del hidrogeno cargado en estado gaseoso sobre la respuesta en fatiga de muestras de acero de alta resistencia.

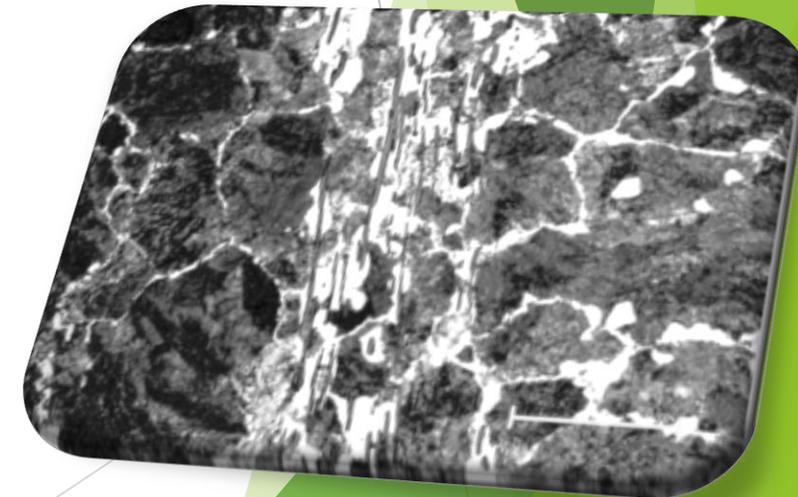


# METODOLOGIA

## ► Composición:

C	Mn	Si	V	W	Cu	Ti	Cr	N	S	Mo
0,41	1,82	0,15	0,01	<0,045	0,17	0,17	0,16	0,06	>0,088	0,058

- Estructura: perlítico-ferrítico (78%-22%)
- Resulfurado con inclusiones de MnS correspondientes al Tipo II de la clasificación de Sims y Dahle, esto es, sulfuros cilíndricos deformados, agrupándose en colonias de gran densidad.



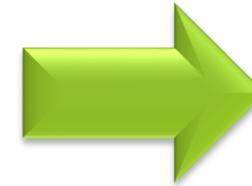
MAGNIFICACION 500X

## METODOLOGIA

► Se maquinaron probetas de fatiga en la dirección paralela a la de laminación, con el objetivo de minimizar el efecto de los MnS.



► Se le incorporó hidrógeno mediante la técnica de carga gaseosa, en un reactor elaborado para tal fin.



### CONDICIONES CARGA

Temp. Ambiente  
168 h  
Flujo continuo, 1 atm

► Se desarrollaron ensayos de fatiga



### CONDICIONES DE FATIGA

Bajo números de ciclos  
Periodo 10 s  
Amplitud 1.5%

# METODOLOGIA

- ▶ Se realizo estudio fractográfico con lupa macroscópica.
- ▶ Se caracterizó cuanti y cualitativamente, los tipos de grietas existentes y su vinculación a inclusiones de MnS mediante microscopia óptica.



# METODOLOGIA

- ▶ Se realizaron ensayos de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).



VARIABLES DEL ENSAYO	
TEMPERATURA	SECUENCIA DE CALENTAMIENTO
25C° → 500 C°	V1= 10C°/min (hasta 60 °C) V2= 5C°/min (hasta Tmax)

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

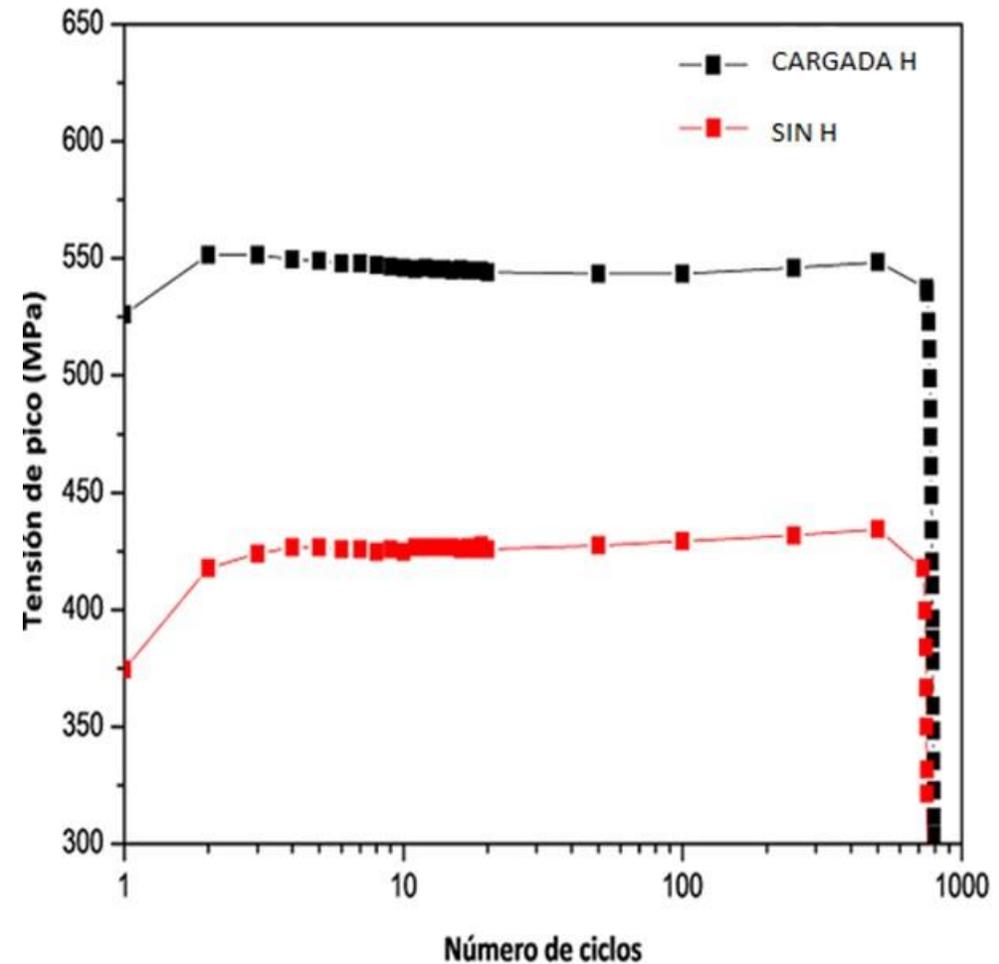
## ► Ensayo de fatiga:

Endurecimiento cíclico manifestado en los primeros ciclos de fatiga.

Estabilidad cíclica hasta la fractura.

La vida en fatiga pareciera no verse afectada por el hidrógeno incorporado.

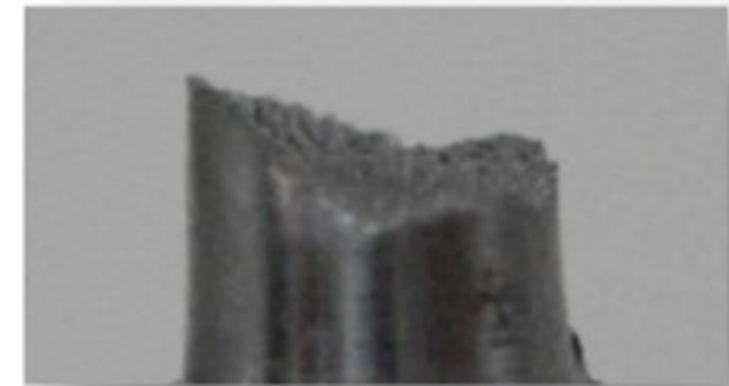
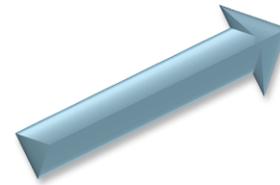
Incremento de la tensión de pico (aproximadamente el 40%) para muestra con H.



# RESULTADOS Y DISCUSION

- Estudio con lupa de las superficies de fractura:

Deformación plástica, mostrando la típica fractura en copa y cono.



SIN H - MAGNIFICACION 1X

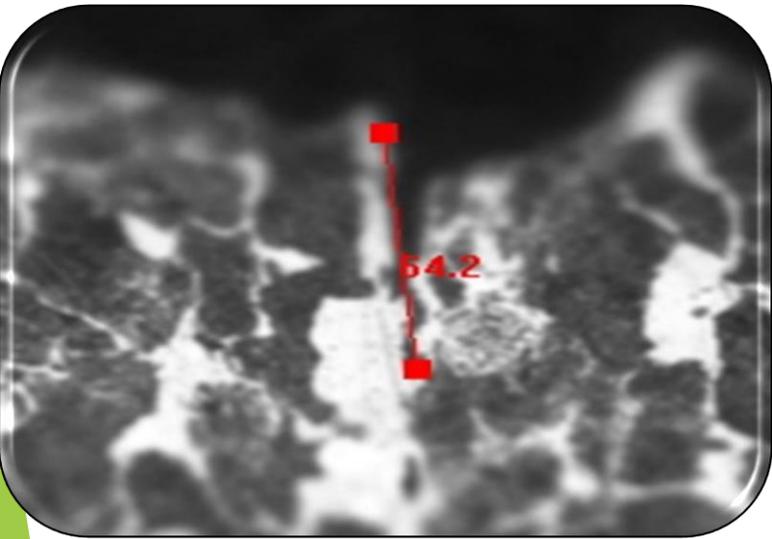
Presentó características más frágiles, con un perfil de fractura más recto, con un bajo grado de deformación plástica en la zona media de la probeta.



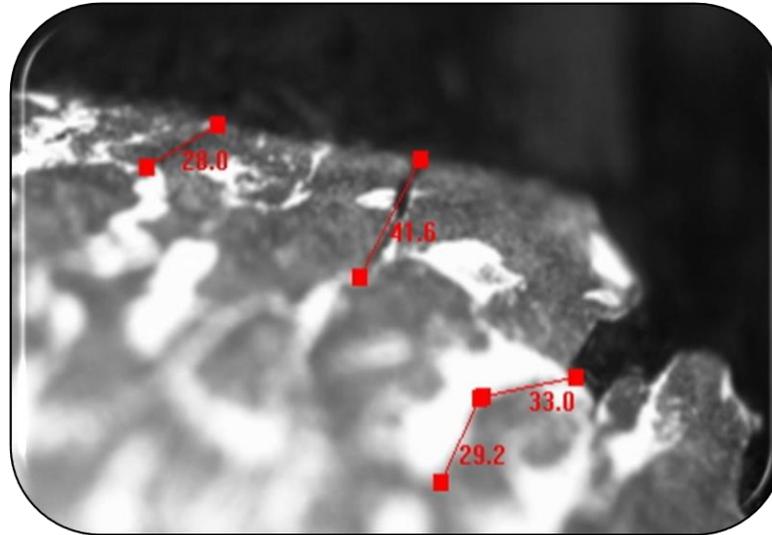
CON H - MAGNIFICACION 0.67X

# RESULTADOS Y DISCUSION

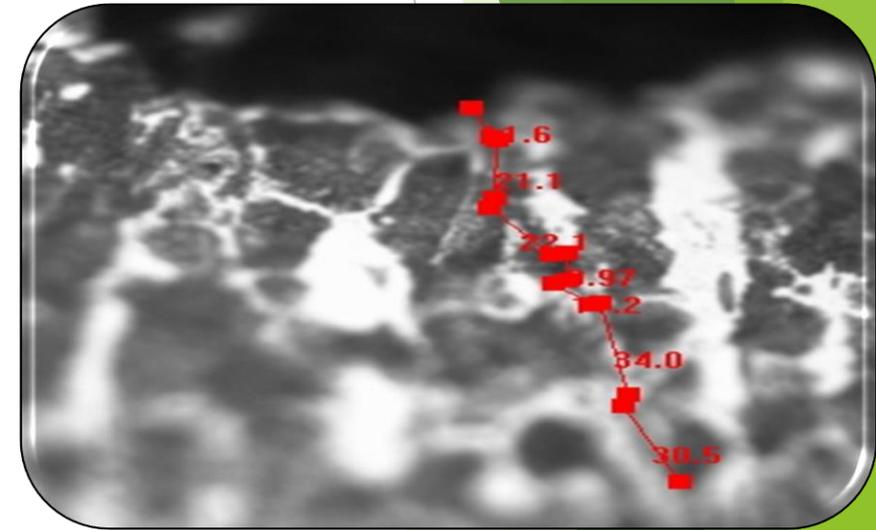
- Microscopia óptica, caracterización de grietas sobre superficie de fractura (CON H): Magnificación 500X



Geometría en “V”, predilección en romper las láminas de perlita desplazándose al interior del material.



Geometría lineal (con o sin ramificaciones), tendencia a desarrollarse siguiendo los bordes de grano ferrítico bordeando a la perlita, y en ciertos casos atravesándola.

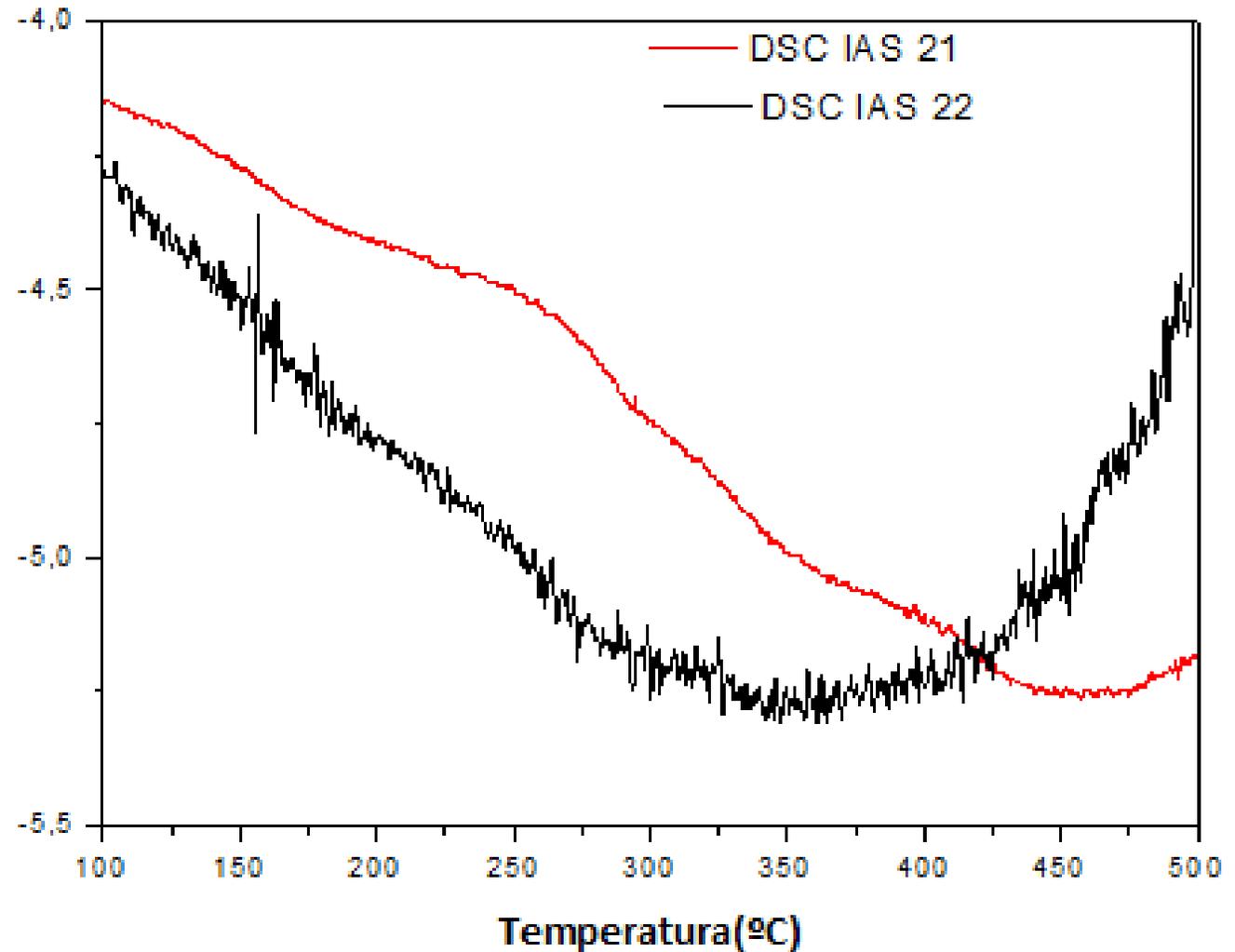


Grietas internas asociadas con decohesiones de las partículas de MnS, ubicadas sobre la fase ferrítica.

# RESULTADOS Y DISCUSION

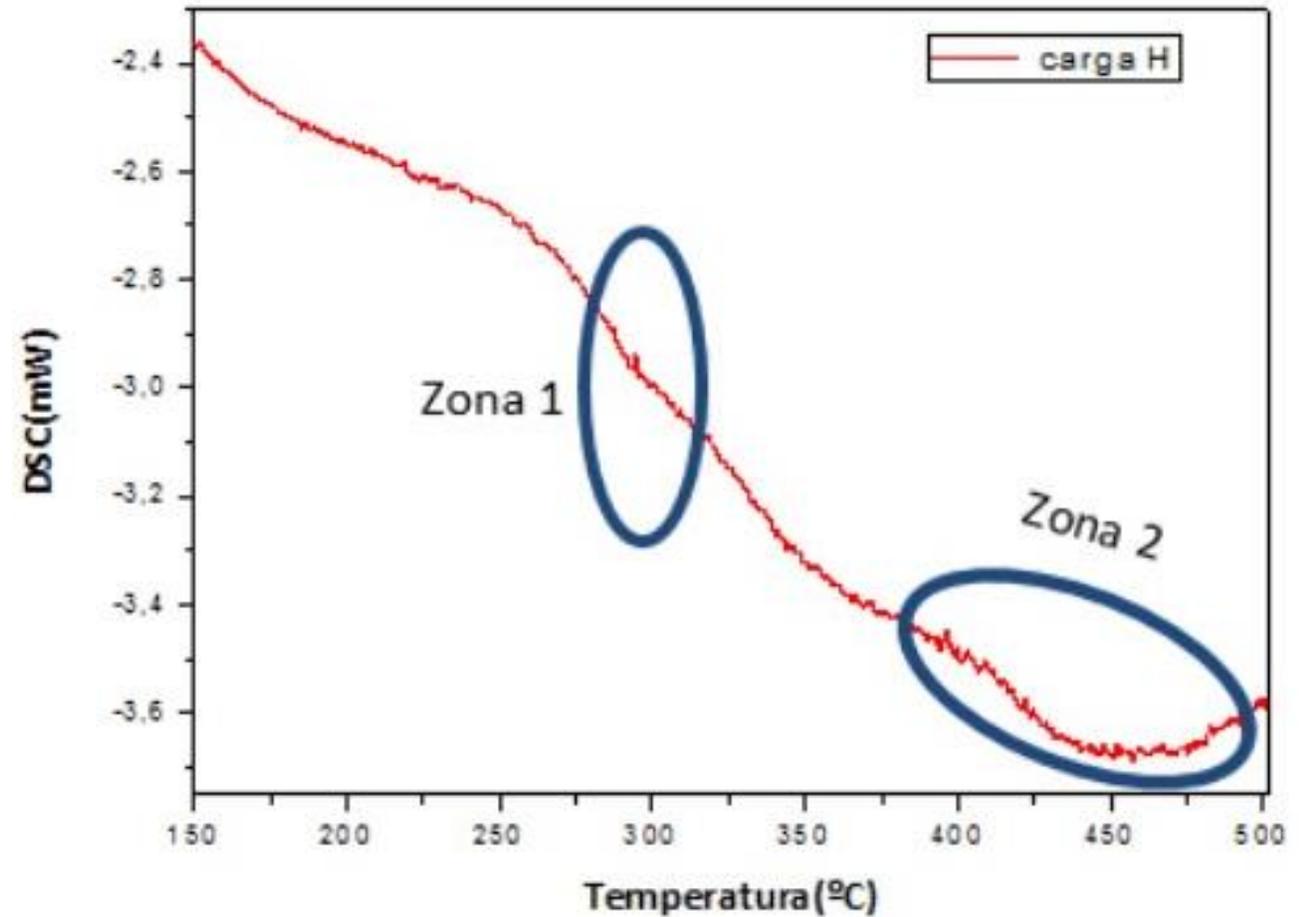
## ► Calorimetría diferencial de barrido (DSC):

La muestra con carga de H se desarrolla para valores de energía superiores que la muestra sin carga.



# RESULTADOS Y DISCUSION

- ▶ Analizando los picos de desorción se producen de manera discontinua picos de absorción y liberación de energía en una "zona 1" (acotada a los  $294,5^{\circ}\text{C}$ ) correspondiente a microvoids
- ▶ Y en "zona 2" (entre  $396,37^{\circ}\text{C}$  y los  $494,59^{\circ}\text{C}$ ), correspondiente a inclusiones de MnS.
- ▶ Es decir, que se identificaría la presencia de hidrógeno ocluido en esas trampas.



# CONCLUSIONES

En relación a los resultados expresados se interpreta que para un acero de alta resistencia resulfurado fatigado con carga gaseosa de hidrógeno:

- ▶ los sitios preferenciales de atrape de hidrógeno lo representan las inclusiones de sulfuro de manganeso, y en segundo lugar y de manera más débil, los microvoids.

Entonces, el mecanismo de formación y avance de las grietas podría pensarse como una combinación del hidrógeno atrapado por la inclusión y su movimiento a partir de los huecos causados por la deformación plástica.

# AGRADECIMIENTOS

- ▶ Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional por el financiamiento del Proyecto 25N/040 en el marco del cual se desarrolló este trabajo.
- ▶ Agradecen también al Ing. Leandro Santini (FRSN-UTN) por realizar los ensayos de desorción térmica y a Fernando Ugo (IFIR-UNR) que desarrolló los ensayos de fatiga.

