



Title: Análisis experimental y teórico de la adherencia capa-sustrato en un acero DIN UCI tratado termoquímicamente por borurización

Authors: MARTÍNEZ-VÁZQUEZ, J.M., BAÑOS-LÓPEZ, E., RODRÍGUEZ-ORTIZ G. y MOLINA-BERMÚDEZ, D. G.

Editorial label ECORFAN: 607-8695
BCONIMI Control Number: 2020-09
BCONIMI Classification (2020): 120320-0009

Pages: 30
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.
143 – 50 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.
Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings		
Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

INTRODUCCIÓN

1. MARCO DE REFERENCIA

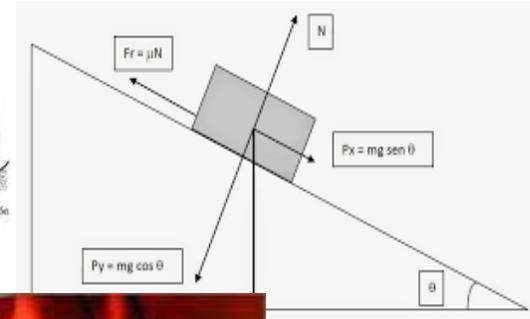
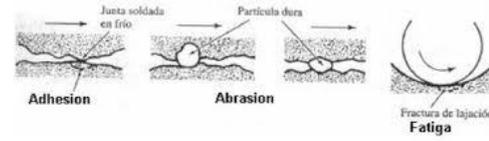
2. MARCO TEÓRICO

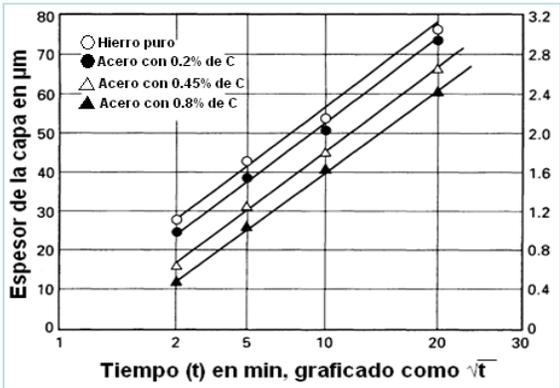
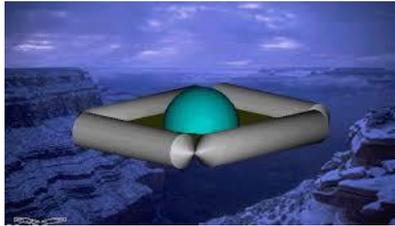
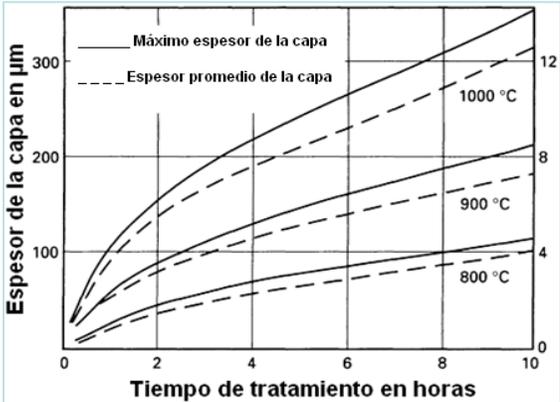
3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

Introducción





1. Marco de referencia

En 2006 Béjar y Moreno^[1]

Realizaron un proceso de borurización en aceros SAE-AISI 1020, 1045, 4140 y 4340

Emplearon una mezcla de bórax y carburo de silicio a 1273 K

La capa de boruro monofásica (Fe_2B) mostró una mejor resistencia al desgaste abrasivo y una dureza arriba de 2000 HV

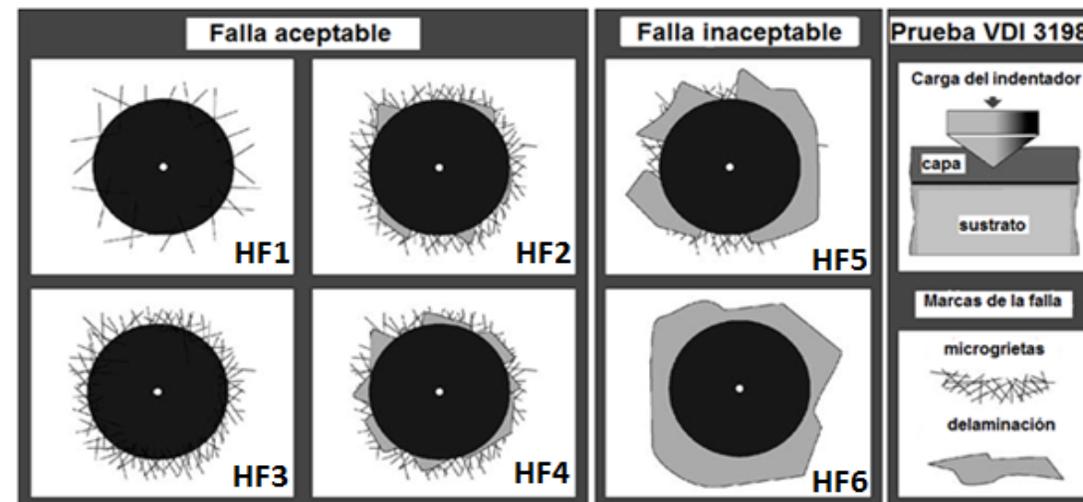
[1] M. A. Bejar y E. Moreno, *Journal of Materials Processing*, vol. 173, pp. 352-358, 2006.

2011, Kulka et al.^[2]

Presentaron un proceso de dos pasos: **carburación** seguido de un **tratamiento con boro** para la formación de **capas borocarbúrizadas**

Los perfiles de concentración en la zona de cementación, presentaron mayor resistencia al desgaste abrasivo, pero menor resistencia a la fatiga de bajo ciclo

Se utilizó un **probador estándar Rockwell C**, como una prueba destructiva para las capas examinadas. El daño a las capas se comparó con los **estándares de calidad de la fuerza de adhesión, HF1-HF6**



[2] M. Kulka, A. Pertek y N. Makuch, *Materials Science and Engineering*, vol. 528, pp. 8641-8650, 2011.

2011

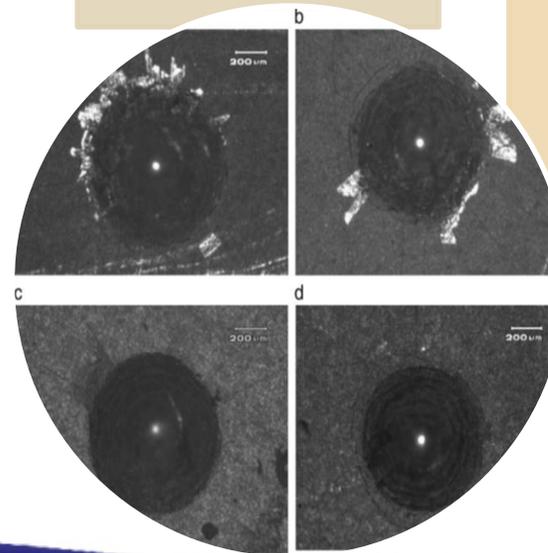
Kartal et al.^[8] implementaron un nuevo método de tratamiento electroquímico con boro que resultó en la formación de una capa monofásica de Fe_2B sobre sustratos de acero de bajo carbono

Método
homogenei-
zación de
fase (PHEB)

Consistió en tratar las muestras con boro durante aproximadamente **15 min a 950 °C en un electrolito fundido compuesto de 10% de carbonato de bórax y 90% de sodio**

El comportamiento a la **fractura y la adhesión** de la capa de boruro se evaluó por la prueba de **Daimler-Benz Rockwell C** y se encontró que fue excelente con una calificación HF1. La presencia de la **fase FeB** tuvo un efecto adverso sobre la adhesión ya que se delaminó y sufrió un agrietamiento grave

Figura 1. Micrografías ópticas después de los ensayos de adhesión con muestras boruradas: (a) 15 min EB, (b) 15 minutos adicionales PH, (c) 30 min adicionales PH, y (d) 45 min adicionales PH



Vidakis et al.^[9]
en el 2003

Metodología de la prueba de indentación Rockwell C en superficies planas de compuestos recubiertos

Exhibe las **propiedades del compuesto recubierto**, la adhesión interfacial, la fragilidad y cohesión del recubrimiento

Una regla, el **espesor de la muestra** debe ser al menos **10 veces** mayor que la **profundidad de indentación**

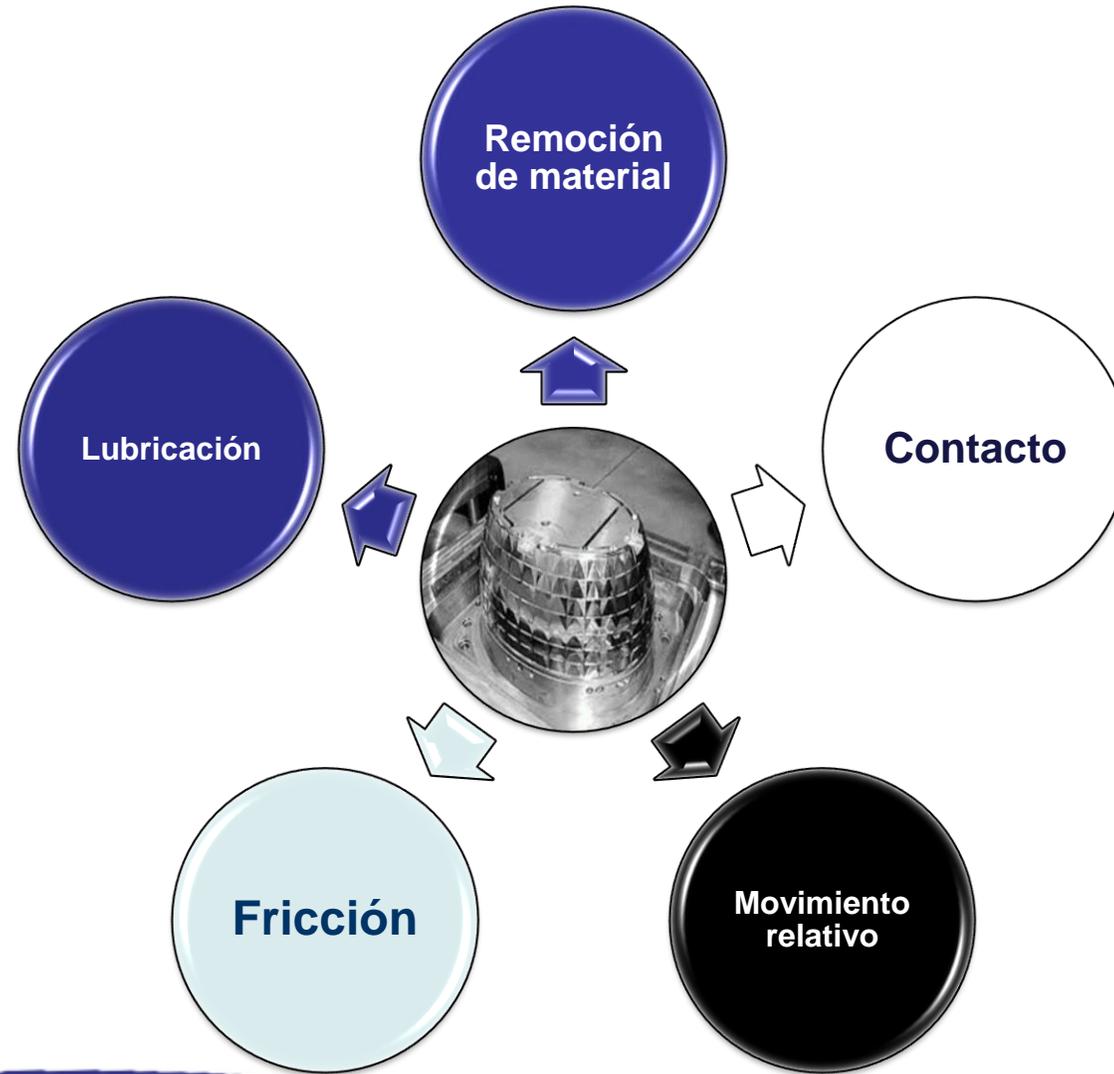
Indentador de **diamante cónico** que penetra en la superficie induciendo **deformación plástica** al sustrato y la **fractura** del recubrimiento

Norma VDI 3198

La **delaminación** en las **proximidades** de la huella indica una **adhesión interfacial pobre**

Las **grietas radiales** y **poca delaminación** demuestran un **revestimiento fuertemente adherente, pero frágil**

Planteamiento del problema



Remoción de material

Capacidad
de carga

Adherencia

Genera
residuos

Aumenta
la fricción



Optimización

Objetivo general

Simular el ensayo de adherencia utilizando el software COMSOL validando los resultados teóricos con las pruebas experimentales.

2. Marco teórico

Aceros de medio carbono

Los aceros de **medio de carbono** contienen de **0.20 a 0.50 % de C** y representan la mayor parte de la producción de acero. La composición típica del acero SAE1005 y acero DIN UC1 se muestra en la Tabla 1.

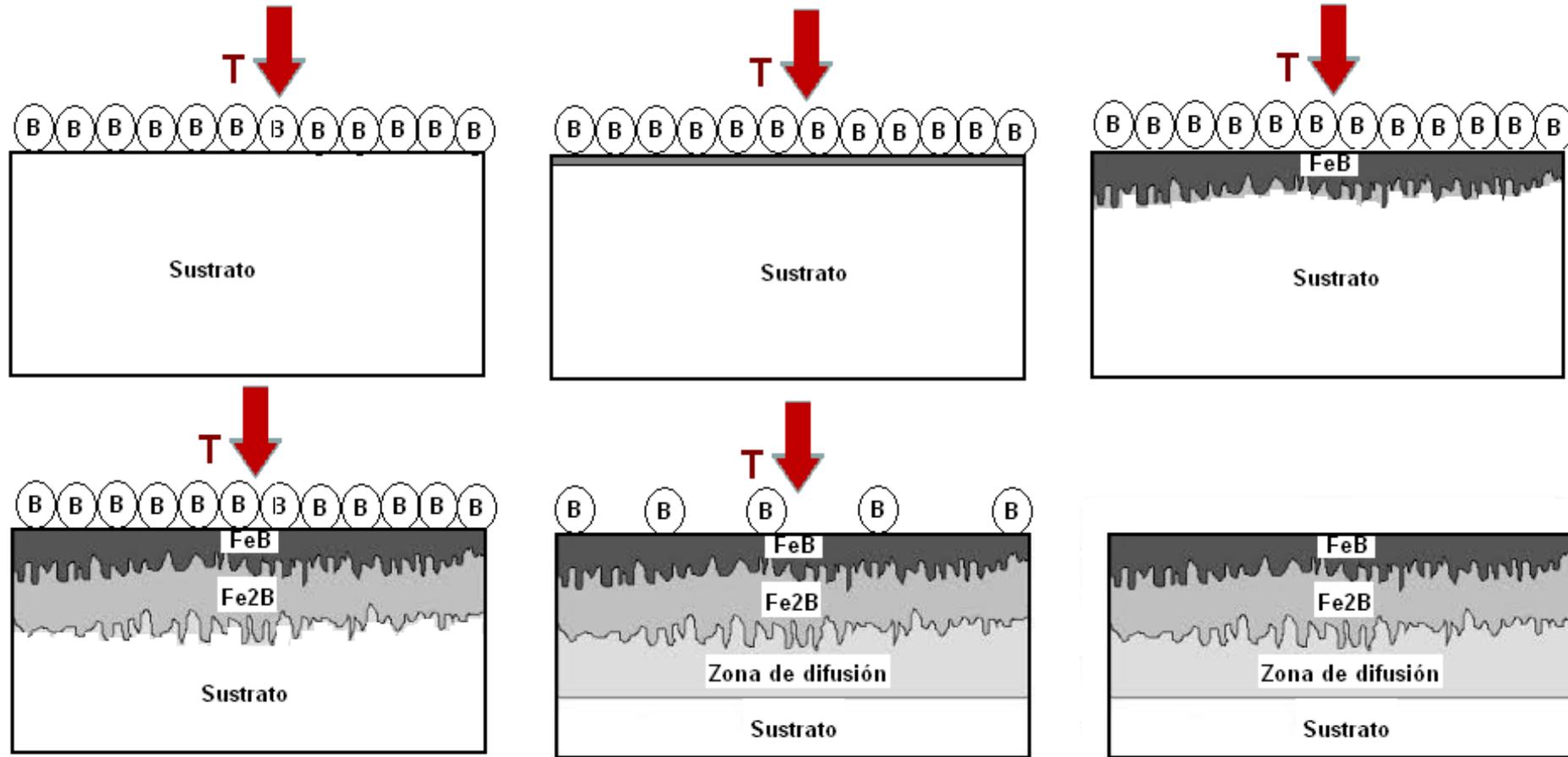
Tabla 1. Composición química de los aceros SAE 1005 y DIN UC1 (% peso)

Acero	C	Mn	Si	Cr	Cu	Ni	Al	Mo	S	Fe
SAE 1005	0.036	0.57	0.19	0.014	0.03	0.031	0.001	0.005	0.008	Balance
DIN UC1	0.53	0.74	0.30	0.20	0.21	0.082	0.024	0.018	0.008	Balance

Tratamientos termoquímicos

Existen dos métodos para el endurecimiento superficial [11]:

- Los que implican una acumulación intencional, o sea, la adición de una nueva capa.
- Los que modifican la superficie sin ninguna acumulación intencional o aumento en las dimensiones de la pieza.



$$\text{espesor} = \sqrt{k \cdot t}$$

Prueba de adherencia



La Teoría Von Mises, establece:

“La falla se producirá cuando la energía de distorsión por unidad de volumen debida a los esfuerzos máximos absolutos en el punto crítico sea igual o mayor a la energía de distorsión por unidad de volumen de una probeta en el ensayo de tensión en el momento de producirse la fluencia”

Como el material se encuentra en el rango elástico (la falla se produce al llegar a la zona plástica), el esfuerzo de von Mises se define como:

$$\begin{aligned}\sigma' &= \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3} \\ &= \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}} \quad (2)\end{aligned}$$

Entonces la falla ocurre cuando:

$$\sigma' = S_y \quad (3)$$

3. Metodología experimental

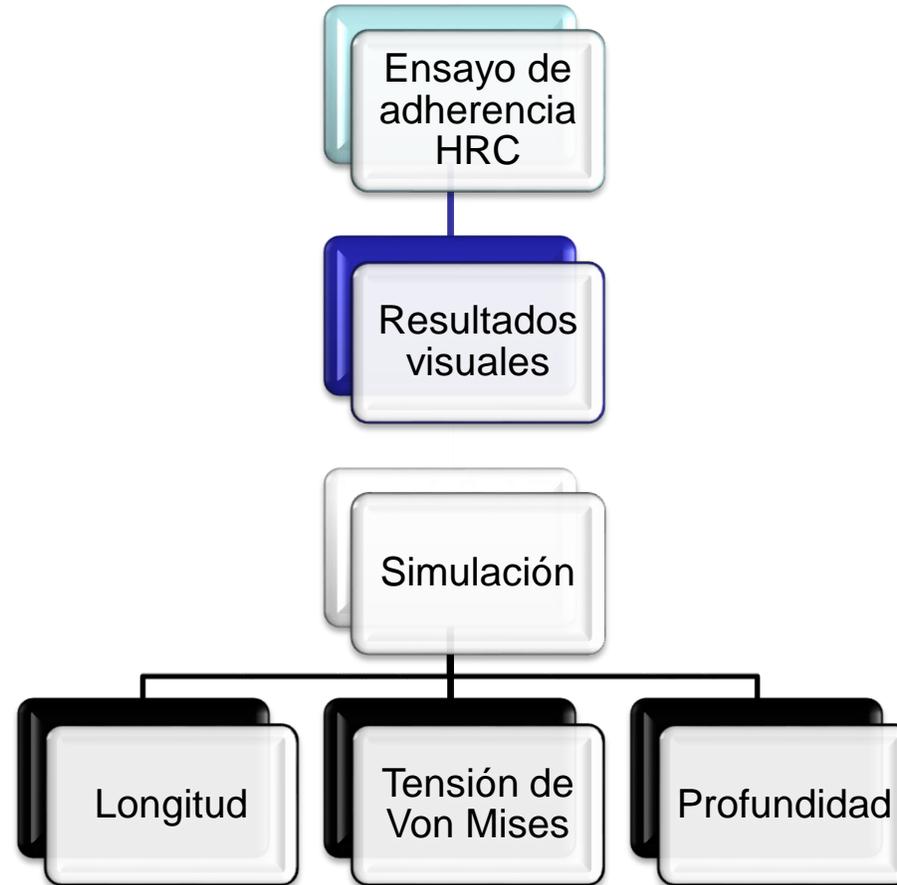


Figura 9. Diagrama de flujo experimental para el acero DIN UC1

Adherencia

Ajustes
Mecánica de sólidos

Etiqueta: Solid Mechanics

Nombre: solid

Selección de dominio

Selección: Manual

Activo

<input checked="" type="checkbox"/>	2
<input type="checkbox"/>	3
<input type="checkbox"/>	4
<input type="checkbox"/>	5
<input type="checkbox"/>	6

▼ Ecuación

Forma de la ecuación:
Controlado por el estudio

Mostrar ecuaciones asumiendo:
Study 1, Stationary

$-\nabla \cdot \sigma = F_v$

▼ Estructural transiente

Incluir inercia

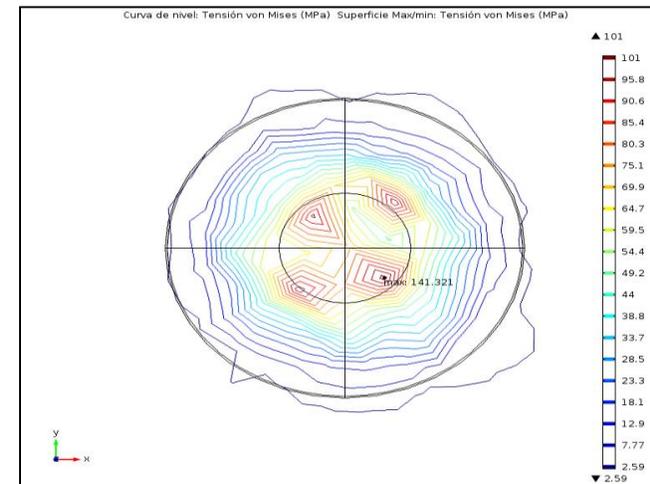
▼ Punto de referencia para cálculo del momento

<input type="text" value="0"/>	x	m
<input type="text" value="0"/>	y	
<input type="text" value="0"/>	z	

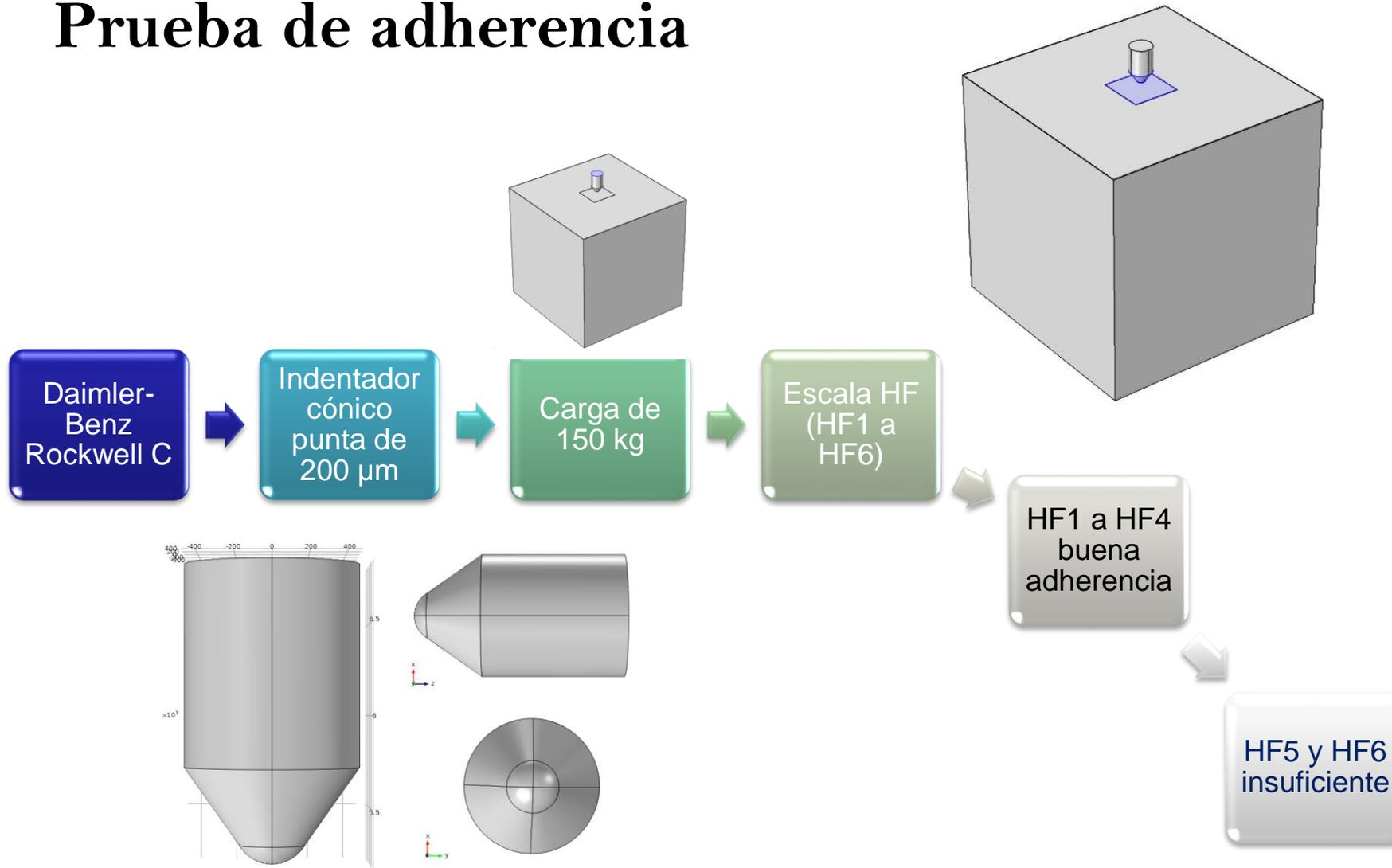
▼ Velocidad de onda típica para PMLs

c_{ref} solid.cp m/s

► Variables dependientes



Prueba de adherencia



Capítulo 4. Resultados y discusión

I. Borurización del acero DIN UC1

- a. Microscopía óptica
- b. Ensayo de adherencia
- c. Simulación del ensayo de adherencia

Acero DIN UC1

Microscopía óptica

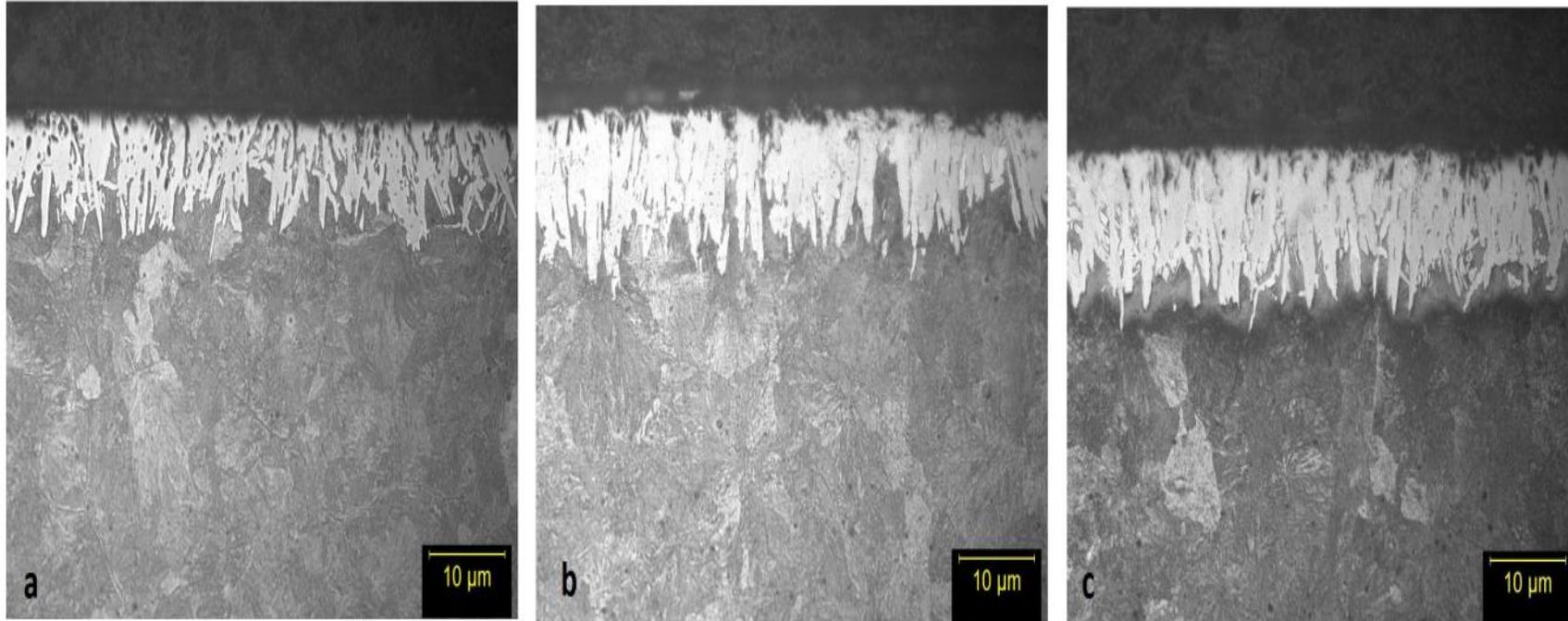


Figura 4. Micrografías a 200X de la capa de boruro de hierro (Fe_2B) a 1273 K durante (a) 2, (b) 3 y (c) 4 horas

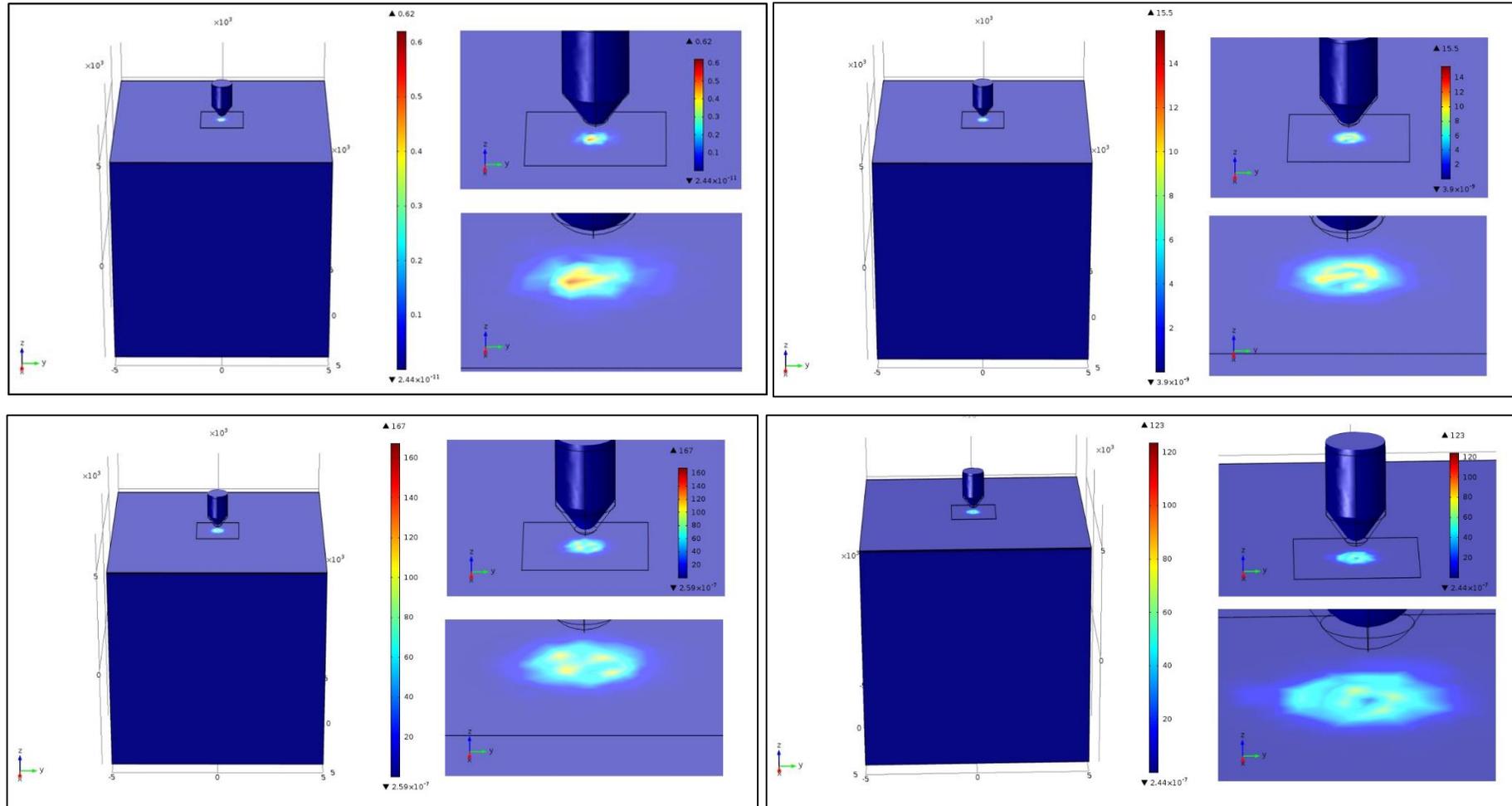


Figura 5. Resultados de la simulación de la prueba de adherencia para a) DIN UC1 con un espesor de capa de $26.48 \mu\text{m}$, b) hierro con un espesor de capa de $45.71 \mu\text{m}$, c) hierro con un espesor de capa de $60.04 \mu\text{m}$ y d) acero SAE1045 con un espesor de capa de $75 \mu\text{m}$

Simulación de la prueba de adherencia

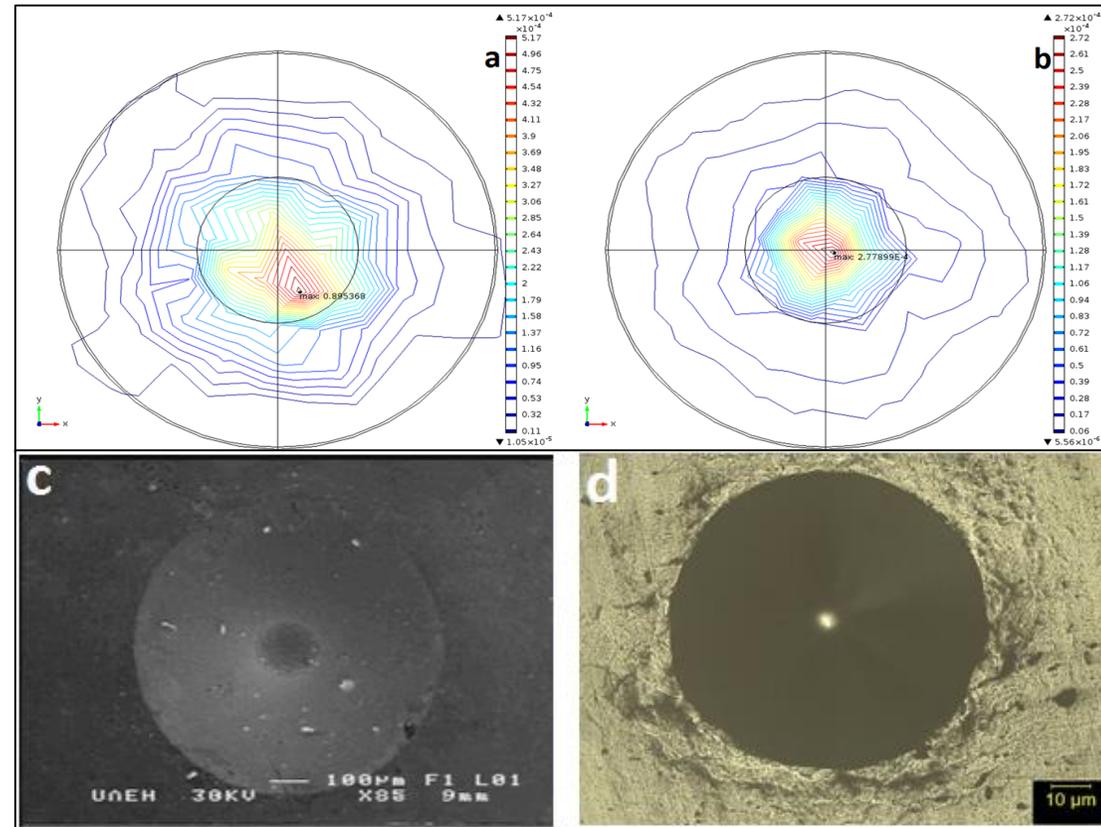


Figura 6. Resultados de la simulación de la prueba de adherencia para el acero DIN UC1 tratado a 1273 K durante 2 horas con un espesor de capa de $12.35\ \mu m$; **a)** tensión de von Misses, y **b)** desplazamiento del material, resultados del ensayo **c)** micrografía por MEB y **d)** micrografía por MO de la indentación

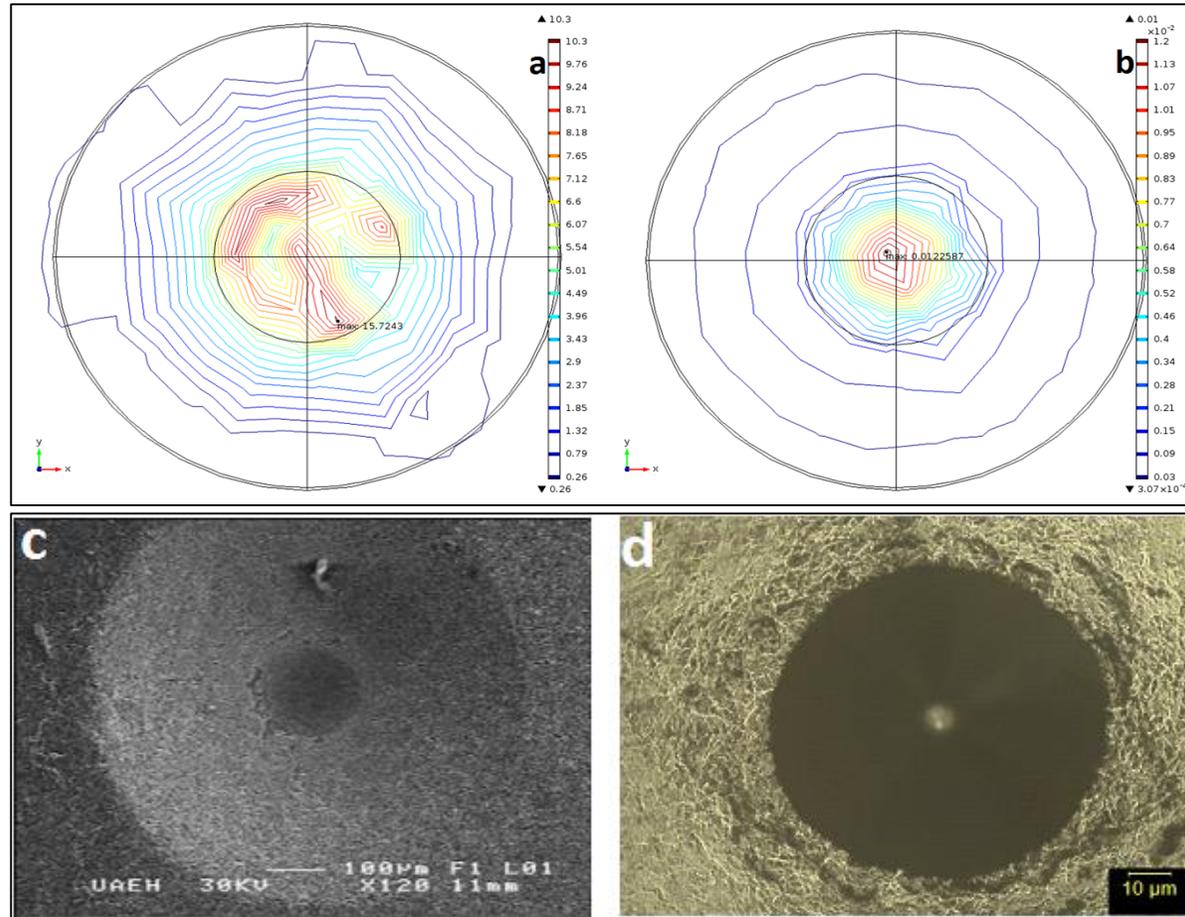


Figura 7. Resultados de la simulación de la prueba de adherencia para el acero DIN UC1 tratado a 1273 K durante 3 horas con un espesor de capa de 20.47 µm; **a)** tensión de von Mises, y **b)** desplazamiento del material, resultados del ensayo **c)** micrografía por MEB y **d)** micrografía por MO de la indentación

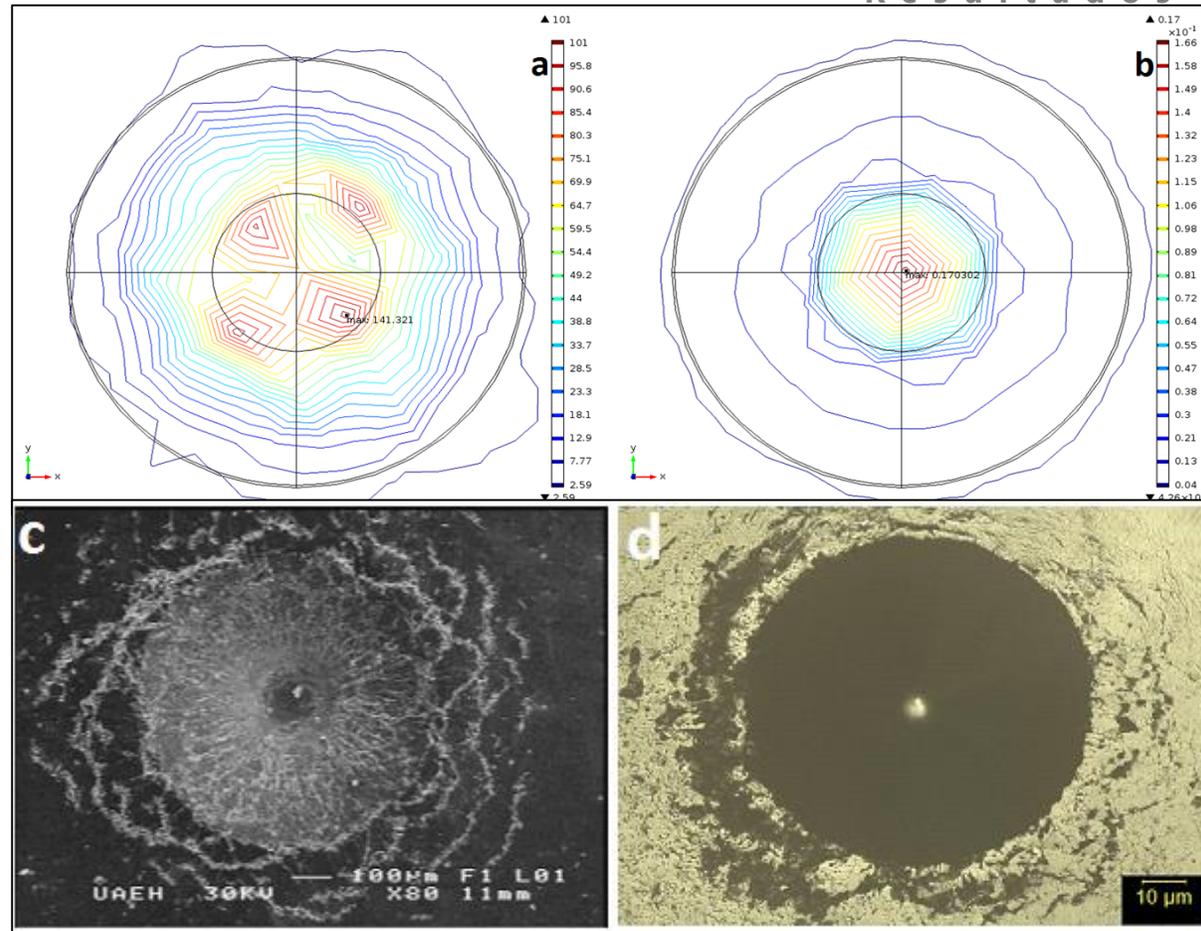


Figura 8. Resultados de la simulación de la prueba de adherencia para el acero DIN UC1 tratado a 1273 K durante 3.5 horas con un espesor de capa de 23.30 μm ; **a)** tensión de von Mises, y **b)** desplazamiento del material, resultados del ensayo **c)** micrografía por MEB y **d)** micrografía por MO de la indentación

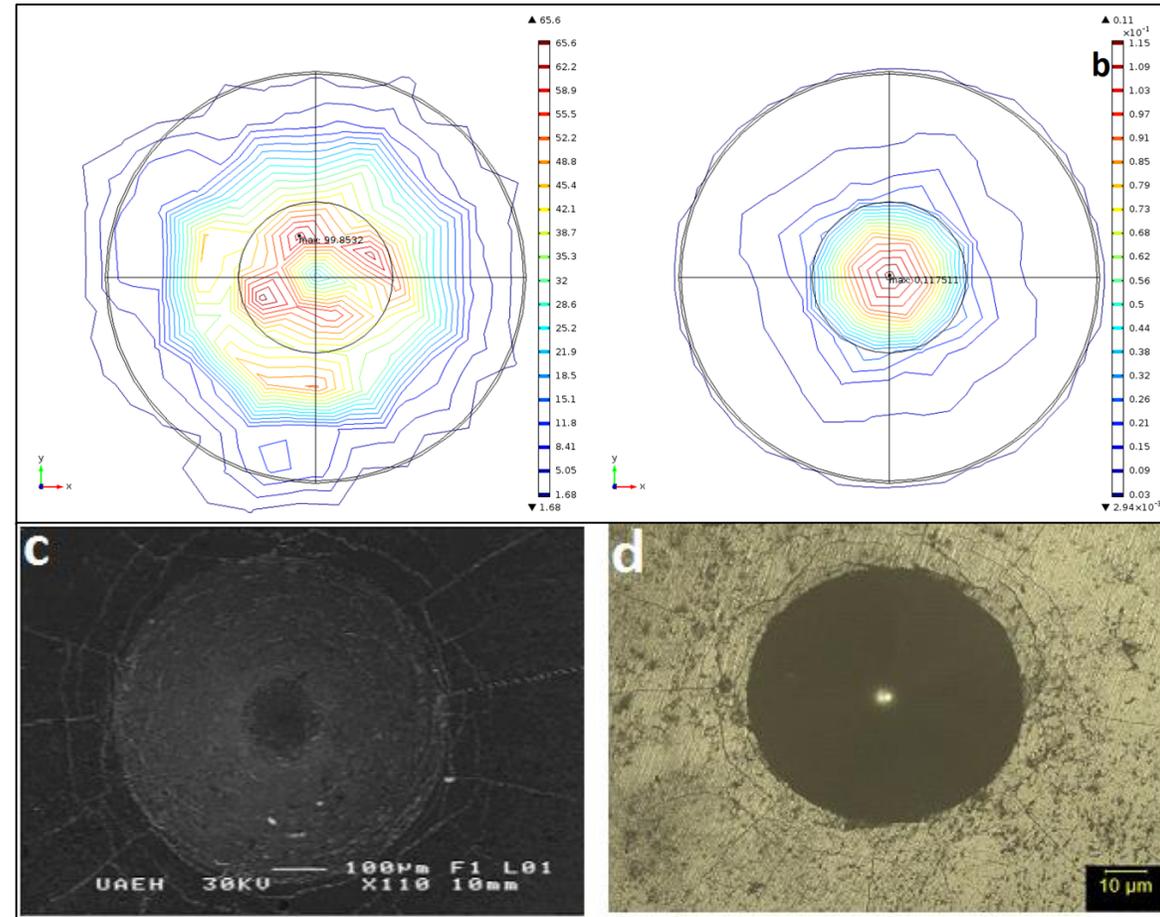


Figura 9. Resultados de la simulación de la prueba de adherencia para el acero DIN UC1 tratado a 1273 K durante 4 horas con un espesor de capa de 26.48 µm; **a)** tensión de von Misses, y **b)** desplazamiento del material, resultados del ensayo **c)** micrografía por MEB y **d)** micrografía por MO de la indentación

Tabla 1. Resultados de la Simulación

<i>Espesor de la capa</i> (μm)	Tensión de von Mises (MPa)	Tensión máxima en la huella (MPa)	Desplazamiento máximo de la capa en la dirección	
			x (μm)	y (μm)
12.35	0.62	0.6	4.32×10^{-4}	3.11×10^{-4}
20.47	0.8	100	0.04	5.53×10^{-3}
23.30	15.5	1000	2.21	0.13
26.48	123	100	0.21	0.02

Conclusiones

La simulación de la prueba de adherencia HRC basada en la norma VDI 1398; en la cual se analizó el efecto del espesor de la capa de boruro, en la tensión de Von Mises y en la tensión en la huella de indentación; se observó para:

El acero DIN UC1, en los espesores de capa menor (12.35 y 20.47 μm) los valores de la tensión de von Mises fueron pequeños, 0.62 y 0.80 MPa, respectivamente. En cambio para un espesor de capa de 26.48 μm , la tensión de von Mises disminuyó, y por consiguiente, también disminuyó el desplazamiento en cada dirección. En todos los casos, se observa solo la formación de microgrietas, no existe delaminación aún en aquel espesor donde la tensión fue mayor; por lo que la adherencia capa-sustrato es aceptable.

“Una vez mi abuelo me dijo que hay dos tipos de personas: las que hacen el trabajo y las que se llevan el crédito. Me dijo que tratara de estar en el primer grupo, hay mucha menos competencia”

Indira Gandhi



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCONIMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)