



**ABRIR IV.3. Resultados de los...**

#### IV.4 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORROSION BAJO TENSION

Partiendo de los resultados obtenidos con los ensayos electroquímicos, esencialmente de las curvas de polarización, tanto potenciodinámicas como potencioestáticas, se analizó la posibilidad de que en algunos de los sistemas ensayados, el acero de pretensado estudiado fuera susceptible de sufrir Corrosión Bajo Tensión (CBT), en determinados rangos de potenciales, definidos a partir de dichas curvas. Los medios seleccionados fueron:

##### a) Ensayos en medios carbonatados

En la disolución 0.05 M de  $\text{NaHCO}_3$ , sistema que presentó una cierta actividad y porque se obtuvieron valores de  $I_r > 5 \text{ mA/cm}^2$ , aunque no se cumplía que  $\Delta I/I_L > 1000$ . También en la disolución de 0.1 M  $\text{NaHCO}_3$  ocurría lo mismo, pero esta no se ensayó a tracción lenta, por haber sido ya objeto de estudio en la Tesis Doctoral de C. Alonso (21).

##### b) Ensayos en medios alcalinos conteniendo sulfato

En la disolución de  $\text{Ca(OH)}_2$  sat. + 0.2 M de  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , sistema que se manifestó como el más agresivo de los ensayados en medio alcalino según los resultados electroquímicos, y en el que además se obtuvieron los mayores valores de  $I_r$  ( $373 \mu\text{A/cm}^2$ ). No obstante, se hicieron algunos ensayos a 0.1 y 0.01 M, con el fin de conocer la influencia de la concentración de sulfatos en la respuesta mecánica del acero.

##### c) En presencia de nitritos (medios carbonatados y alcalinos conteniendo sulfatos)

Se ensayaron las disoluciones  $\text{Ca(OH)}_2$  sat. + 0.2 M de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  y 0.05 M de  $\text{NaHCO}_3$ , para comprobar la influencia de la presencia del nitrito [ 0.05 M  $\text{Ca(NO}_2)_2$  ] en las propiedades mecánicas del acero estudiado sometido a tensión.

#### IV.4.1 CARACTERISTICAS MECANICAS Y MICROSCOPICAS DEL ACERO ENSAYADO AL AIRE (PATRON)

El acero utilizado para los ensayos a velocidad de tracción lenta, fué un acero liso de pretensado, estirado y endurecido en frío, cuya composición química se dió en la Tabla II. Es un acero con un contenido en carbono igual al eutectoide, con estructura

de perlita fina, tal como se observa en las microfotografías tomadas sobre una sección pulida del mismo, fotografía 18 (sección longitudinal) y fotografía 19 (sección transversal).

Los granos de ferrita y cementita se encuentran orientados en dirección longitudinal, la de trefilado del acero en el proceso de fabricación.

#### A) PROPIEDADES MECANICAS

Los valores de los parámetros que caracterizan las propiedades mecánicas del acero una vez mecanizado, obtenidos tras el ensayo a velocidad de tracción lenta en aire, se dan en la tabla XV, y serán tomados como referencia.

TABLA XV

$\sigma_{0.2\%}$ (MPa)	$\sigma_{max.}$ (MPa)	$\sigma_{rot.}$ (MPa)	$\sigma_{rot.}$ (real) (MPa)	$\epsilon_{rot.}$ (%)	$t_{rot.}$ (horas)		%RA
					$10^{-7}s^{-1}$	$10^{-6}s^{-1}$	
1452 ± 19	1770 ± 23	1394 ± 39	2110 ± 29	7.7 ± .15	95 ± 2	5.5 ± .2	34.5 ± 1.3

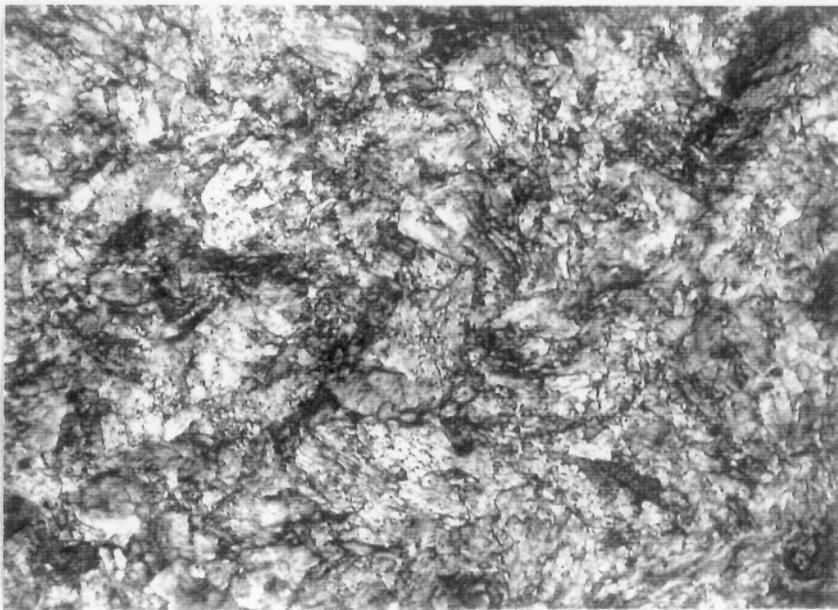
La representación gráfica del diagrama Tensión vs. deformación ( $\sigma$  vs.  $\epsilon$ ) para estos aceros, ensayados al aire (ensayo de referencia), es como el que se representa en la figura 88.

Este tipo de acero, al tener una alta resistencia a la tracción, tiene un límite elástico muy elevado y no muy bien definido, por lo que se calcula como es habitual un límite elástico de proporcionalidad ( $\sigma_{0.2\%}$ ), es decir, la carga para la cual se consigue sobre el acero, una deformación permanente del 0.2 %.

De los resultados obtenidos en los ensayos al aire, se observó dispersión en los resultados de unas muestras a otras, por lo que se determinó un valor medio, lo que llevo a trabajar siempre refiriendo todos los resultados respecto a una banda de dispersión. Estas dispersiones son debidas al propio proceso de fabricación del acero (mecanizado y endurecido en frio).



Fotografía 18.- Sección longitudinal del acero ensayado ( X 1000 )



Fotografía 19.- Sección transversal del acero ensayado. ( X 1000 )



Por otro lado la posible influencia de los efectos del mecanizado sobre la superficie de ensayo en la dispersión de los resultados, se trató de disminuir mediante un pulido fino y similar para todos los aceros ensayados.

Se hace un seguimiento de las siguientes variables: reducción en área ( % R.A.), tiempo de rotura ( t ) desde la carga que define al límite elástico (  $\sigma_{0.2x}$  ) hasta la carga de rotura (  $\sigma_r$  ), fracción de la carga máxima soportada en el medio ensayado respecto a la del aire (  $\sigma_{max}/\sigma_{max,aire}$  ), fracción de la carga de rotura en el medio de ensayo respecto de la del aire (  $\sigma_{rot}/\sigma_{rot,aire}$  ), fracción de la carga de rotura real en el medio respecto a la del ensayo al aire (  $\sigma_{rot(r)}/\sigma_{rot(r)aire}$  ).

Además de las variables mencionadas anteriormente, se analizaron los parámetros  $\Delta \sigma$  y  $\Delta e$  , como se especifica en la figura 88, los cuales pueden dar una idea de la ductilidad del material, ya que en algunas condiciones de ensayo, el acero sufrió un fuerte ataque por corrosión, lo que trajo como consecuencia que el valor medido de la reducción en área, no correspondiera exclusivamente a la deformación mecánica, sino que además se producía una reducción como consecuencia del ataque, obteniendo entonces valores mayores que los reales.

La representación de todos estos parámetros, comparándolos con los resultados obtenidos en aire, para cada uno de los casos estudiados, permitirá evaluar la existencia o no de un fenómeno de fragilización del material, en los medios y condiciones de trabajo aquí ensayados.

La recta horizontal que aparece en todas las representaciones, es la media de la variable obtenida en el ensayo al aire, y las rectas discontinuas, el margen de dispersión correspondiente.

## B) CARACTERISTICAS MICROSCOPICAS DE LA FRACTURA PATRON.

En las fotografías 20 a 25 se presentan detalles de la fractura obtenida através del Microscopio Electrónico de barrido (SEM), en las cuales se aprecia el aspecto microestructural de fractura dúctil, típica de este acero.

El conocimiento de los detalles característicos de éste tipo de fractura se hace imprescindible, para poder contrastar el aspecto de las mismas, con las fracturas obtenidas en los medios ensayados, y poder apreciar indicios o no del fenómeno de Corrosión Bajo Tensión (CBT).

Los rasgos de la fractura típicos de este acero ( del tipo copa y cono ), se han clasificado en tres zonas fundamentales según su configuración (270), tal como se esquematiza en la figura 89 y son:

- zona fibrosa
- zona radial
- zona de labios de corte

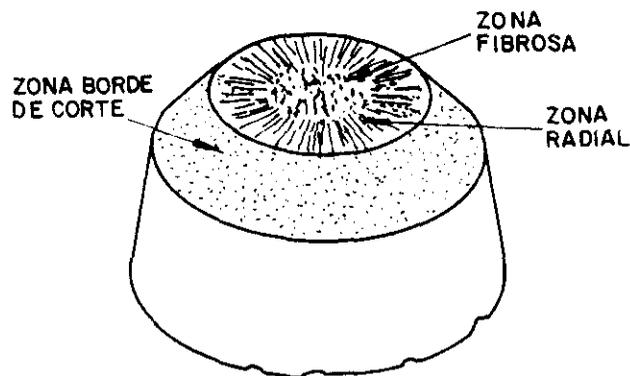


Figura 89.- Representación de las zonas características de una fractura dúctil.

Debido a que las marcas de la superficie de fractura están asociadas con la deformación y la propagación de la fisura, su apariencia es indirectamente dependiente de la ductibilidad del metal.

- La **zona fibrosa** es una región de crecimiento lento de la fisura, que se localiza en el centro de la superficie de fractura. La presencia de esta región es indicativa de una propagación estable de la fisura subcrítica y que requiere una energía relativamente elevada, por lo que la propagación de la fisura en esta zona se produce como consecuencia de la fusión de los microhoyuelos.
- En la **zona radial**, se produce una propagación de la fisura rápida e inestable. Las marcas radiales coinciden con la dirección general de desarrollo de la fisura y emanan de la periferia de la zona fibrosa.

Las condiciones ambientales que afectan la ductilidad, también afectan al volumen del metal que se deforma y ante un decrecimiento del volumen, las marcas radiales se hacen menos relevantes. La observación a nivel macroscópico de una zona radial que ocupe toda o gran parte de la superficie de fractura, puede ser un indicativo de una fragilidad en el material.

- La zona de labios de corte, es una función del estado tensional y de las propiedades del metal. Cuando se produce un decrecimiento en la ductilidad del metal, disminuye el tamaño de esta zona. La ausencia de labios de corte se presenta cuando el metal sufre una condición extrema de fragilización.

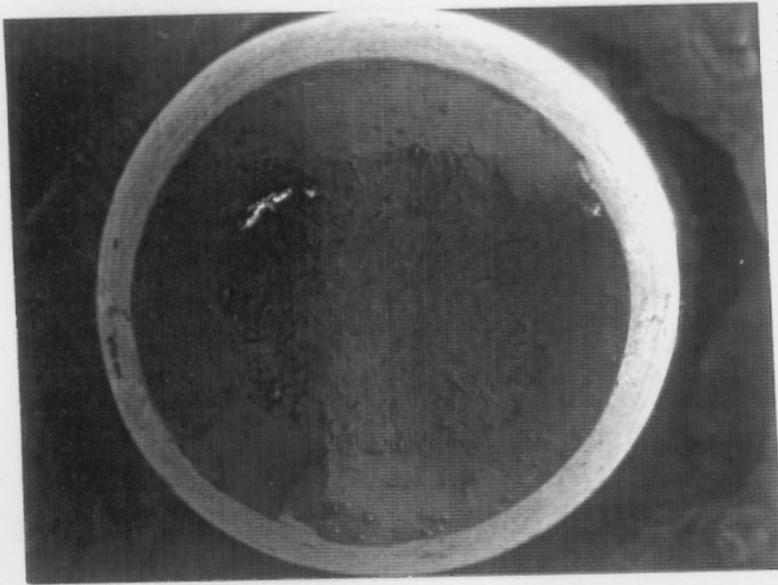
La fotografía 20 corresponde a un aspecto general de la superficie de fractura del acero ensayado al aire. Donde se aprecian las tres zonas características de la fractura de este acero, tal como se indicó en la figura 89.

En la fotografía 22 se aprecia la zona fibrosa (central), los hoyuelos esféricos, con inclusiones y decohesión del material (más detalle en la fotografía 23).

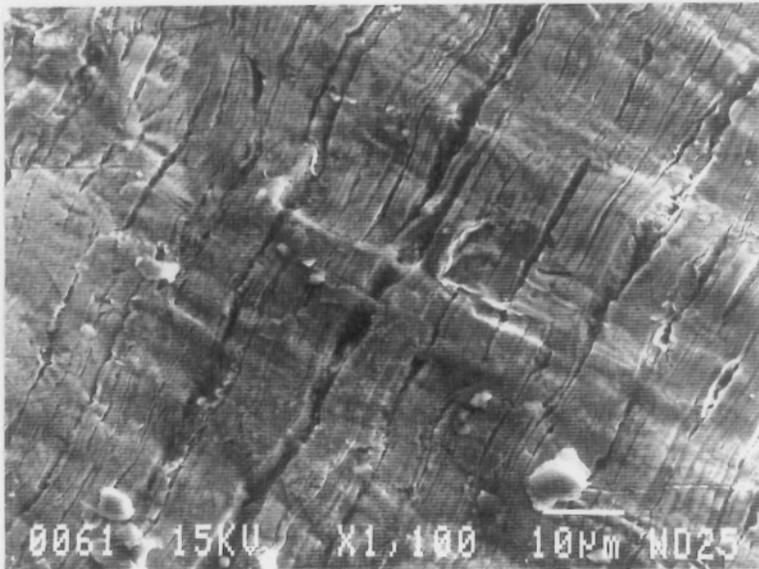
De la observación de la zona radial destaca la presencia de hoyuelos y decohesión del material, según se observa en la fotografía 24.

La fotografía 25 muestra un aspecto de los labios de corte, en la cual se observan también hoyuelos aunque más elongados, por lo general más pequeños que en el centro.

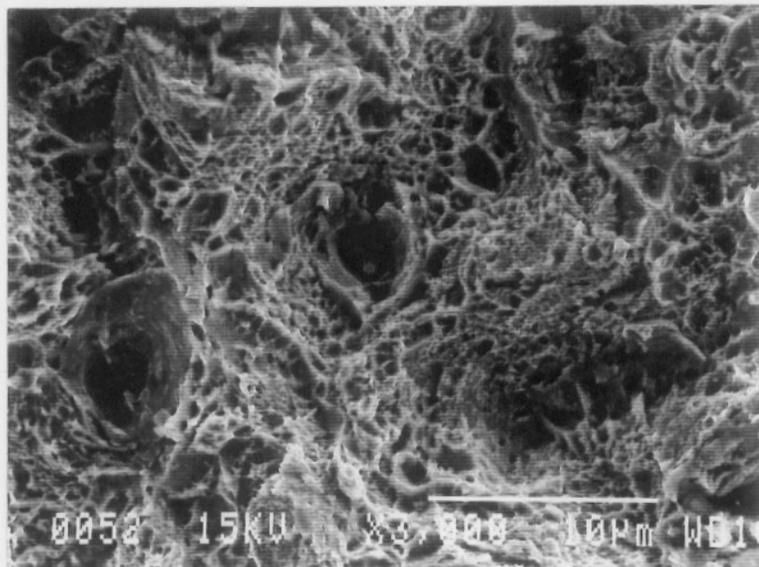
La fotografía 21 corresponde a la observación de las superficies laterales, en ella se aprecia la aparición de pequeñas grietas transversales cercanas a la superficie de fractura y perpendiculares a la aplicación de la carga.



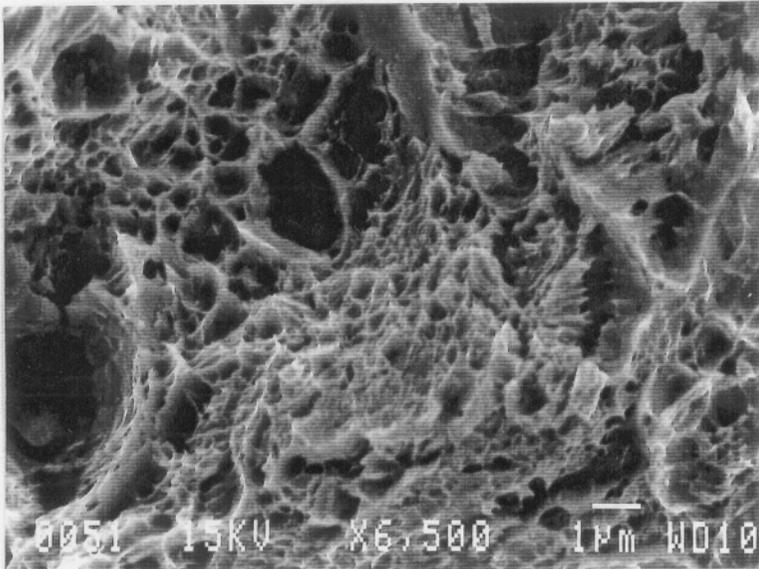
Fotografía 20.-  
Aspecto general de la  
fractura. ( X 37 )



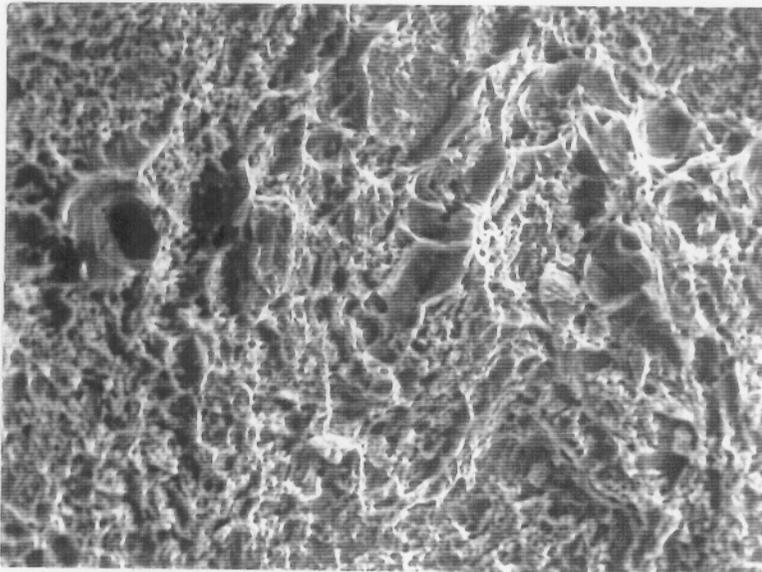
Fotografía 21.-  
Superficie lateral  
grietas transversales.  
( X 1100 )



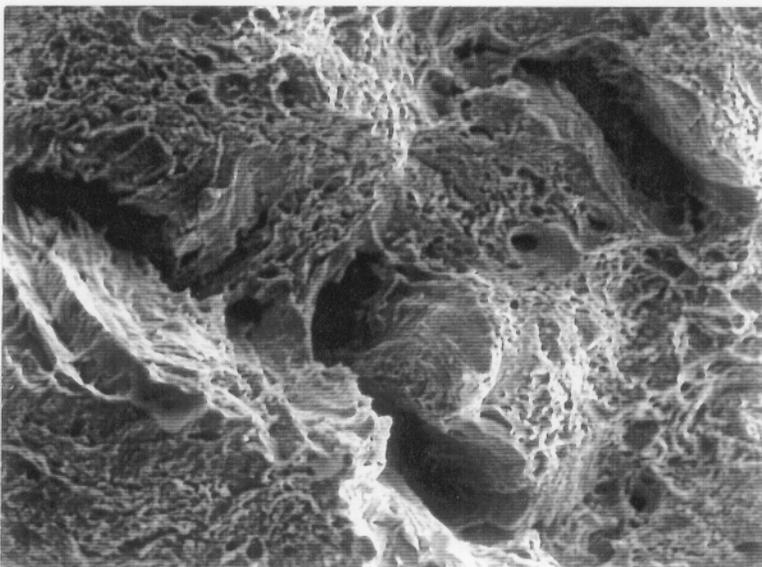
Fotografía 22.-  
Aspecto de la zona  
central, con hoyos  
esféricos. (X 3000)



**Fotografía 23.-**  
Detalle donde se  
aprecian inclusiones  
( X 6500 )



**Fotografía 24.-**  
Aspecto de la zona  
radial con hoyos  
esféricos y  
decohesión. (X 1500)



**Fotografía 25.-**  
Aspecto de la zona de  
labios de corte, con  
hoyos más elongados.  
(X 3000)

#### IV.4.2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CBT EN MEDIOS CARBONATADOS

Los medios y condiciones de ensayo fueron los siguientes:

- Disolución 0.05 M  $\text{NaHCO}_3$
- Temperatura ambiente
- Velocidad de Tracción (V.T.),  $3 \times 10^{-7} \text{seg}^{-1}$
- Aireadas sin paso de aire
- Control potencioestático

Los estudios se realizaron trabajando potencioestáticamente. Los rangos de potenciales, donde se pensó que podía haber alguna probabilidad de fragilización, como ya se ha dicho al principio de este capítulo, se determinaron a partir de los resultados obtenidos de los ensayos electroquímicos. Dichos rangos se representan en la tabla XVI.

Tabla XVI

NaHCO <sub>3</sub> M/L	condiciones	Rangos de E (mV) (ECS)	
		curvas Pola. potenciodiná.	curvas pola. potencioestá.
0.05	aireadas	-100 a +200	-500 a -200

##### IV.4.2.1. RESULTADOS DE LOS PARAMETROS MECANICOS.

En las figuras 90 a 96 se representan los resultados obtenidos, en donde se ha considerado la influencia sobre los siguientes parámetros: Reducción en Area (% R.A.) figura 90, tiempo de duración del ensayo (t) figura 91, fracción de la carga máxima soportada por el acero ( $\sigma_{\text{max}} / \sigma_{\text{max, aire}}$ ) figura 92, fracción de la carga soportada en el momento de la rotura ( $\sigma_{\text{rot}} / \sigma_{\text{rot, aire}}$ ) figura 93, fracción de la carga real soportada en el momento de la rotura ( $\sigma_{\text{rot}(r)} / \sigma_{\text{rot}(r), \text{aire}}$ ) figura 94, fracción de la variación de carga ( $\Delta \sigma / \Delta \sigma_{\text{aire}}$ ) figura 95 y fracción de la variación de la deformación ( $\Delta e / \Delta e_{\text{aire}}$ ) figura 96.

En general se encontraron variaciones significativas de éstos parámetros en función del potencial de ensayo, que llevaron a dividir al sistema en tres regiones distintas:

- 1) A -700 mV (ECS).
- 3) De -700 mV (ECS) hasta potenciales más negativos que -100 mV (ECS).
- 3) De -100 mV (ECS), hasta potenciales de +300 mV (ECS).

La zona 1 ya se encuentra en la región catódica donde según Pourbaix, comenzaría el desprendimiento de hidrógeno en un sistema Fe - H<sub>2</sub>O a pH=8.2 y 25 °C, similar al aquí ensayado.

En la zona 2 se sitúa el potencial de corrosión del sistema, donde al igual que en la zona 3, no se aprecian variaciones significativas de los parámetros mecánicos analizados. Por lo que se puede pensar que en estos rangos de potenciales [ -700 > E > -200 mV (ECS) ], no existe influencia del sistema sobre las propiedades mecánicas del acero de pretensado ensayado.

Tanto a -700 mV, como en la región anódica de la zona 2, la reducción en área es inferior a la mínima obtenida en los ensayos al aire (figura 90), lo mismo ocurre con el tiempo de ensayo (figura 91) y las siguientes fracciones:  $\Delta\sigma/\Delta\sigma_{\text{aire}}$  (figura 95),  $\Delta e/\Delta e_{\text{aire}}$  (figura 96). Sin embargo, para la fracción  $\sigma_{\text{rot}} / \sigma_{\text{rot aire}}$  (figura 93) los valores obtenidos son mayores que los del aire, como cabe esperar al considerar en los cálculos la sección inicial.

En la región catódica ( -700 mV ) se observa un ligero decrecimiento de los parámetros mecánicos descritos, que dan una medida de la ductilidad del material, lo cual parece lógico ya que en esta región de potenciales comienza el desprendimiento de hidrógeno al pH de ensayo.

En la región anódica ( -600 < E < -100 mV ), se observa un decrecimiento considerable de los parámetros relacionados con la ductilidad del material, principalmente : % R.A. (figura 90), t rotura (figura 91),  $\Delta\sigma/\Delta\sigma_{\text{aire}}$  (figura 95),  $\Delta e/\Delta e_{\text{aire}}$  (figura 96) y  $\sigma_{\text{rot real}} / \sigma_{\text{rot real aire}}$  (figura 94).

Dicho decrecimiento depende del potencial y se alcanza un valor mínimo para todos los parámetros registrados, a -300 mV (ECS). Parece ser que entre -400 y -200 mV, se manifiesta la máxima pérdida de la ductilidad del acero ensayado.

La carga máxima soportada por los aceros en éste medio (figura 92), son en la mayoría de los potenciales ensayados, inferiores pero próximos al valor obtenido en el ensayo al aire (patrón). Excepto a  $-400$  y  $-300$  mV, donde el acero soporta una menor carga máxima, siendo aún menor a  $-300$  mV, lo cual nuevamente da una idea de la gran influencia sobre las propiedades mecánicas del acero ensayado a éste potencial.

De la figura 94, se destaca cómo en el rango de potenciales comprendido entre  $-500$  y  $-200$  mV, se registran los valores menores de la carga real soportada por el acero en el momento de la rotura.

De esto se deduce, que en general existe una buena correlación entre los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros registrados, debido en parte a que la superficie expuesta del acero ensayado, no sufre apenas pérdida de sección como consecuencia del tipo de ataque que se manifiesta en la misma.

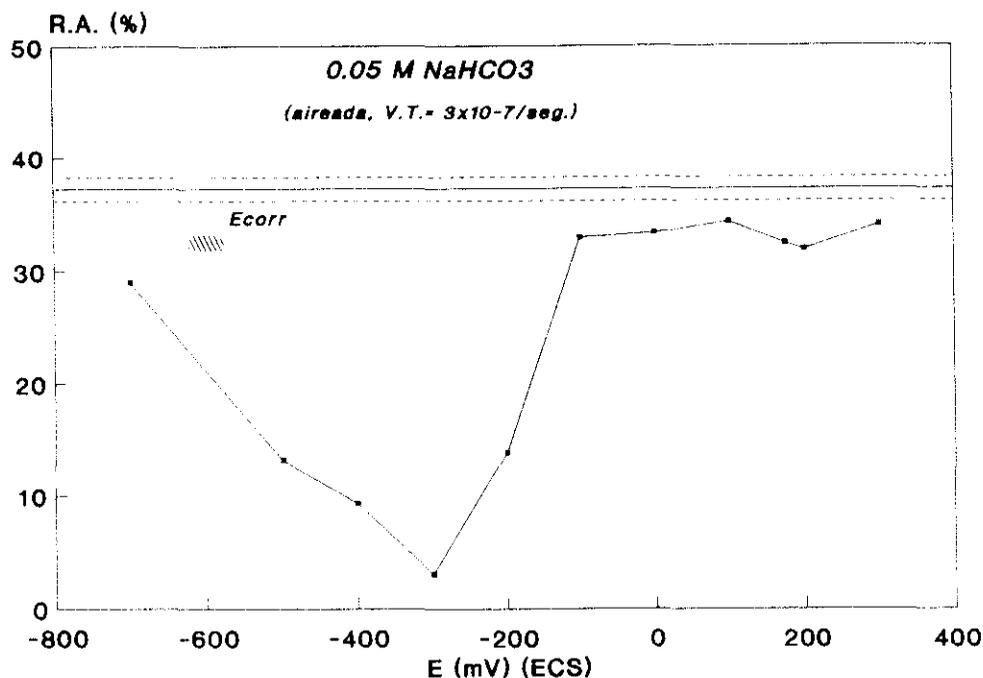


Figura 90.- Registro de la Reducción en Área en función del potencial.

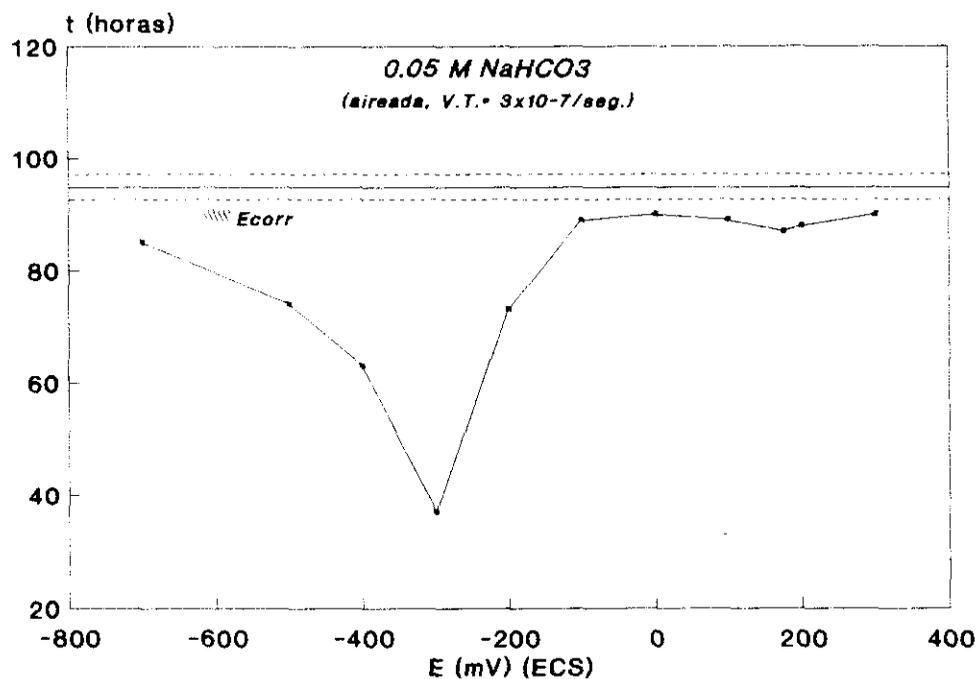


Figura 91.- Registro del tiempo de ensayo en función del potencial.

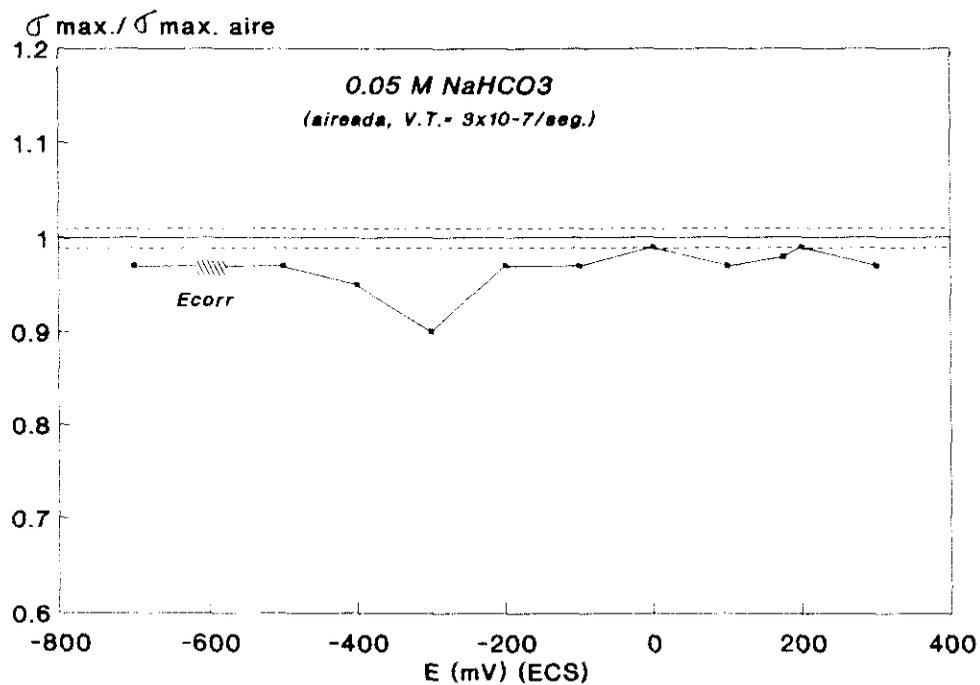


Figura 92.- Registro de la  $\sigma_{max} / \sigma_{max. aire}$  en función del potencial.

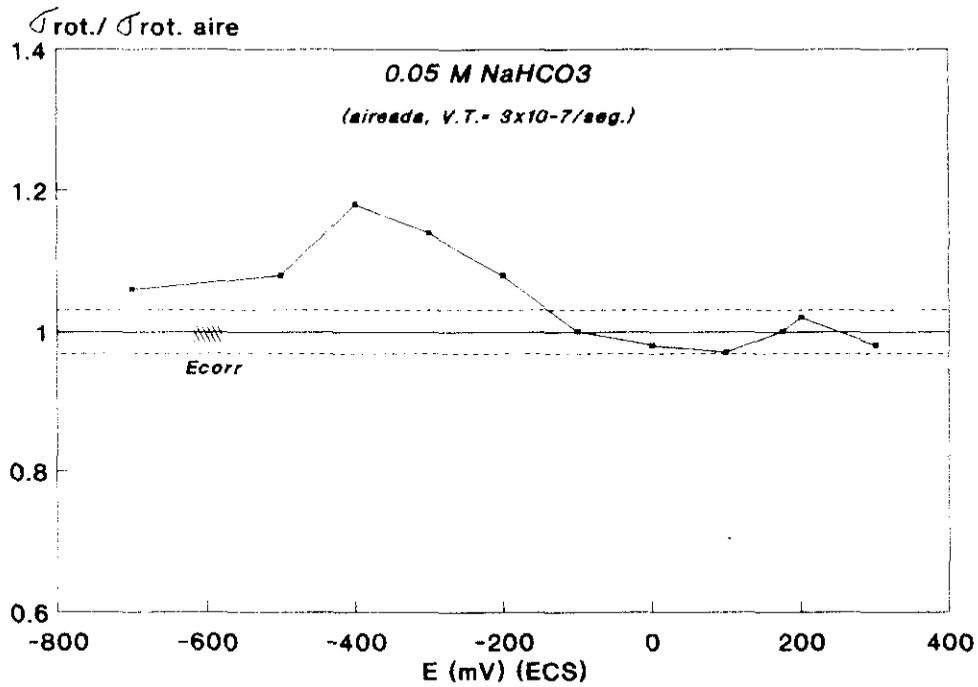


Figura 93.- Registro de la  $\sigma_{rot.} / \sigma_{rot. aire}$  en función del potencial.

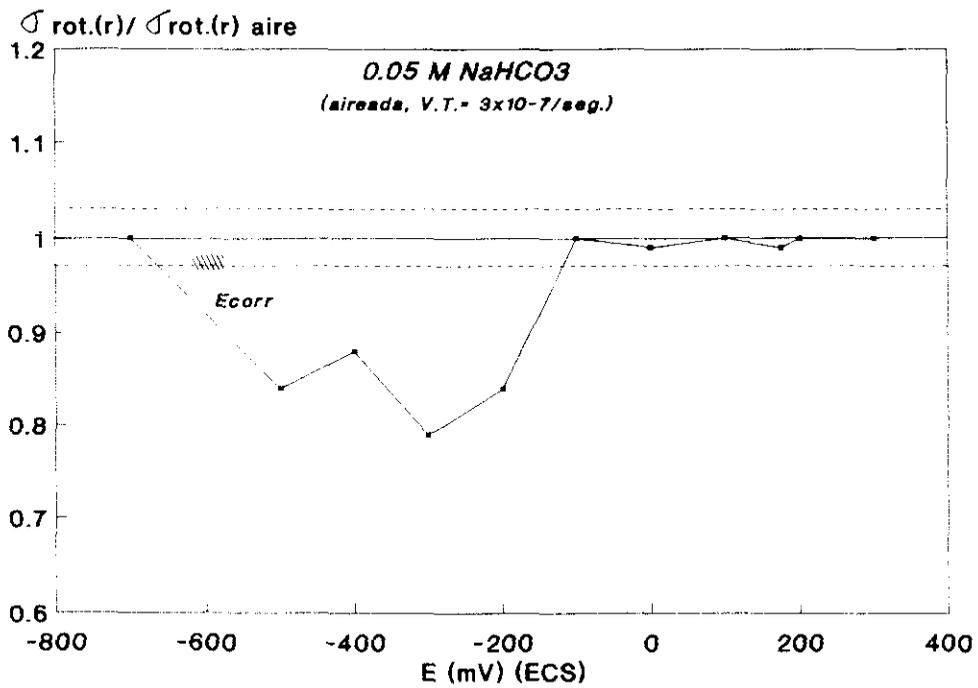


Figura 94.- Registro de la  $\sigma_{rot.(r)} / \sigma_{rot.(r) aire}$  en función del potencial.

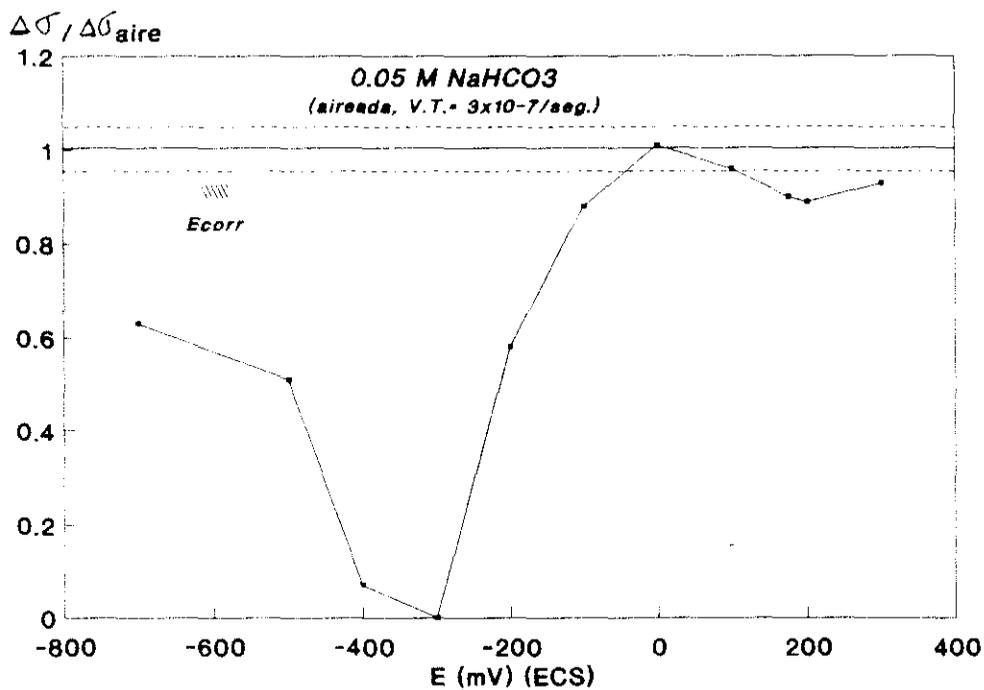


Figura 95.- Registro de la  $\Delta\sigma / \Delta\sigma_{\text{aire}}$  en función del potencial.

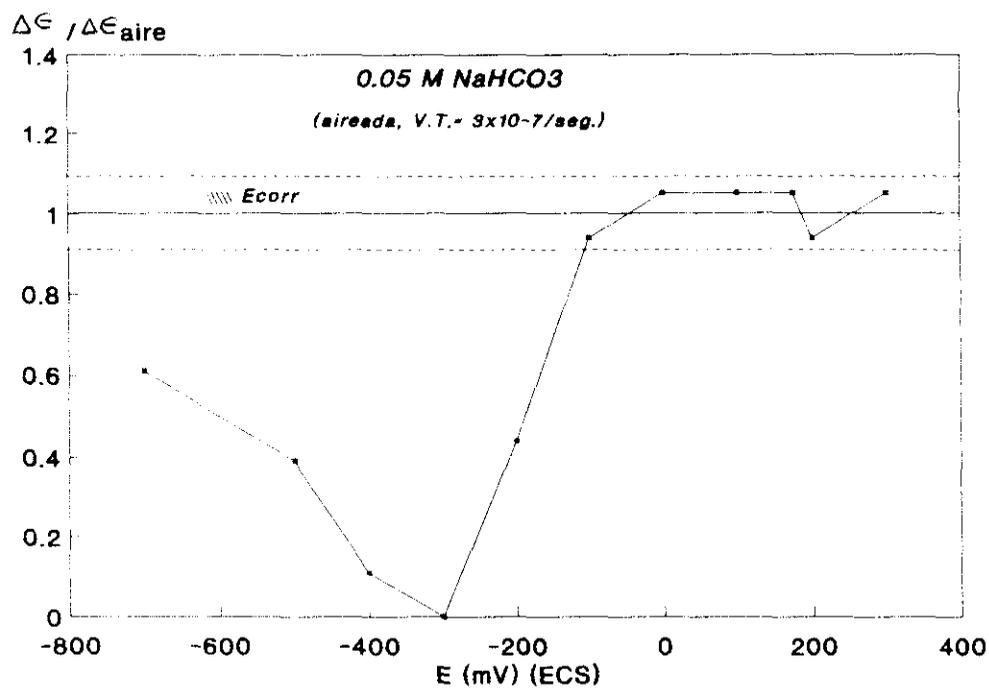


Figura 96.- Registro de la  $\Delta\epsilon / \Delta\epsilon_{\text{aire}}$  en función del potencial.

#### IV.4.2.2 OBSERVACION DE LA SUPERFICIE DE FRACTURA MEDIANTE MICROSCOPIA ELECTRONICA (SEM)

##### A) ASPECTOS DE LAS FRACTURAS GENERALES

En las fotografías 26 a 31, se presentan las fractografías de las superficies de fractura de los aceros ensayados, en el rango de potenciales elegidos, las cuales se pueden clasificar según su aspecto general en dos grupos:

- a) Un **primer grupo** de fracturas, donde se encuentran los ensayos realizados a los siguientes potenciales: -700, -500, -400, -300 y -200 mV (ECS), las cuales se presentan en las fotografías 26 a 30. Donde apenas se aprecia una reducción en área y además presentan un aspecto muy diferente a la obtenida en el ensayo al aire (fotografía 20) y figura 89. A estos potenciales de ensayo suelen aparecer solamente dos zonas de ensayo:

- Una zona de apariencia semiplana en la parte más externa de la superficie de fractura y que se extiende hacia el interior ( zona de labios de corte ).

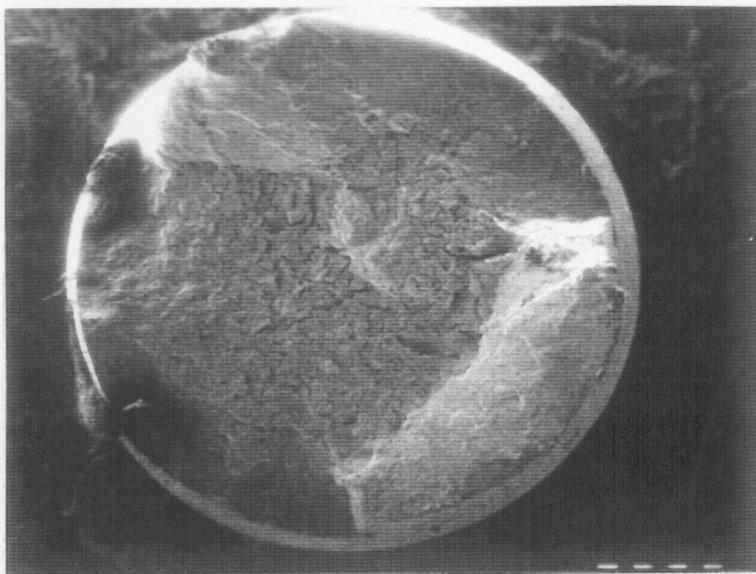
- Otra zona con apariencia agrietada por lo general y se orientan en dirección dada, la cual se localiza hacia el centro de la superficie de fractura (zona radial ).

Dentro de esta clasificación general, se puede hacer otra según el aspecto de dichas superficies de fractura y que se pueden clasificar en tres tipos: la de -700, la de -500 y las de -400, -300 y -200 mV. La de -500 mV (fotografía 27) tiene una apariencia mas regular y la zona radial no está bien diferenciada. Las de -400 (fotografía 28), -300 (fotografía 29) y -200 (fotografía 30), sí presentan la zona radial definida, donde las grietas secundarias que caracterizan a esta zona disminuyen en número y aumentan en tamaño y profundidad, a medida que el potencial se desplaza a valores más positivos.

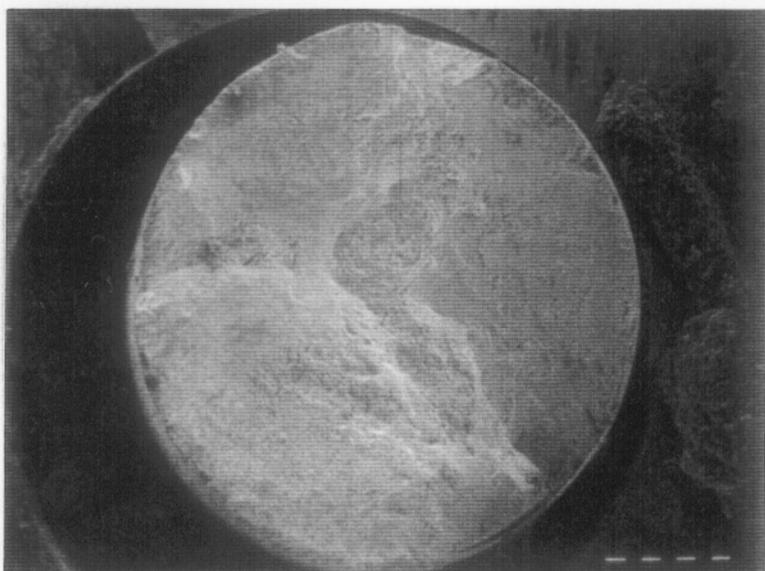
- b) Un **segundo grupo**, donde se encuentran las fracturas de los ensayos realizados a los potenciales siguientes:  $E_{corr}$ , -100, 0, +100, +175, +200 y +300 mV (ECS). Las cuales son similares en su aspecto general a la superficie de fractura obtenida en el ensayo al aire, fotografía 20. Un ejemplo se presenta en la fotografía 31, que corresponde al acero ensayado a 0 mV.

De acuerdo con lo descrito en este apartado, de forma general se puede avanzar que entre las fracturas obtenidas en ambos grupos se dan diferencias significativas, siendo las fracturas del segundo grupo las que presentan un mayor porcentaje de rotura dúctil.

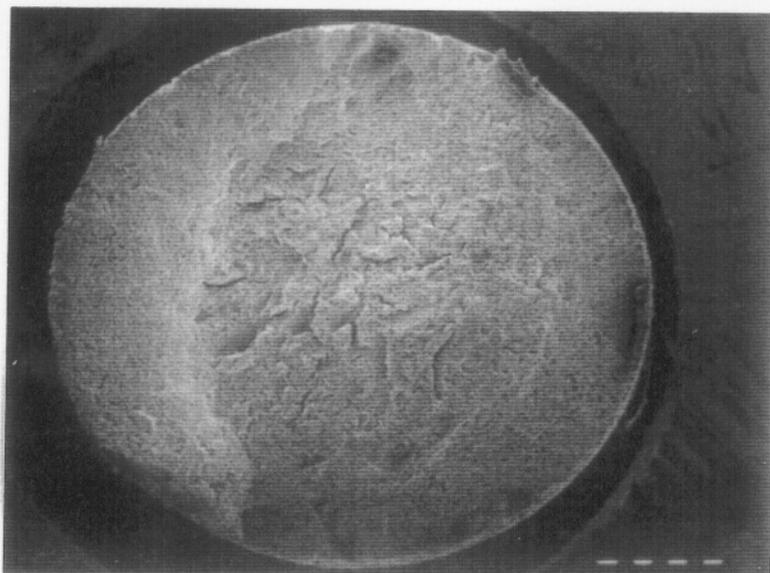
## ASPECTO GENERAL DE LA FRACTURA



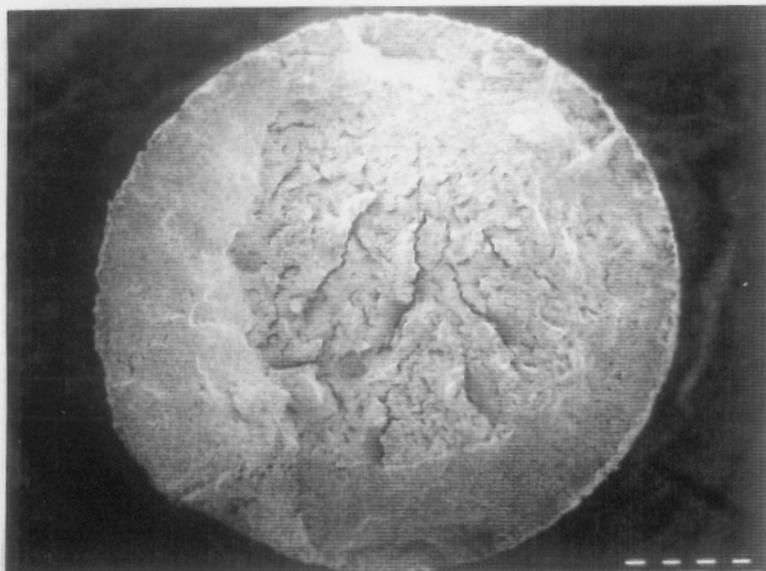
**Fotografía 26.-**  
E = - 700 mV (ECS)  
(X 30) (0.05 M NaHCO<sub>3</sub>)



**Fotografía 27.-**  
E = - 500 mV (ECS)  
(X 30) (0.05 M NaHCO<sub>3</sub>)



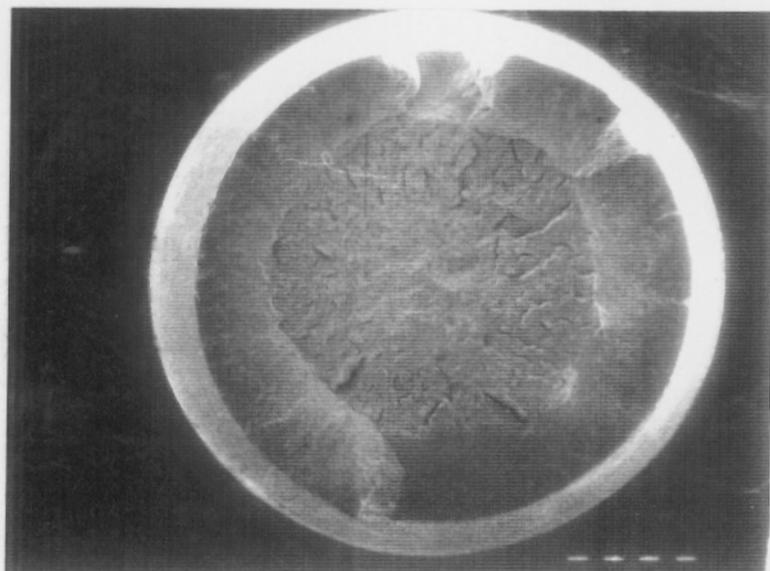
**Fotografía 28.-**  
E = - 400 mV (ECS)  
(X 30) (0.05 M NaHCO<sub>3</sub>)



**Fotografía 29.-**  
E = - 300 mV (ECS)  
(X 30) (0.05 M NaHCO<sub>3</sub>)



**Fotografía 30.-**  
E = - 200 mV (ECS)  
(X 30) (0.05 M NaHCO<sub>3</sub>)



**Fotografía 31.-**  
E = 0 mV (ECS)  
(X 30) (0.05 M NaHCO<sub>3</sub>)

## B) OBSERVACION DETALLADA DE LA FRACTURA

A continuación se hizo una observación detallada de la superficies de fractura, con el fin de identificar las facetas características de cada tipo de rotura, que ayudaron a esclarecer el posible o posibles mecanismos que condujeron a la misma.

La identificación del tipo de fractura fue difícil en algunos de los aceros ensayados a determinados potenciales, debido a que en ocasiones rompieron en momentos en los que no fue posible extraerlos del medio agresivo inmediatamente después de la rotura, además el equipo empleado no permitía un cambio automático del potencial de polarización ensayado a valores que no generaran ataque sobre la nueva superficie expuesta. Cuando esto ocurrió los aceros rotos permanecieron un tiempo, variable en cada caso, en el medio agresivo y polarizado al potencial de ensayo.

Todo esto trajo como consecuencia que el ataque sufrido y los productos de corrosión que se formaron sobre la superficie de fractura, eliminaran en algunos casos detalles finos de la misma. A pesar de las dificultades, se logró identificar la mayoría de los tipos de fractura que tuvieron lugar.

En los aceros del segundo grupo, anteriormente definidos:  $E_{corr}$  y desde  $-100$  hasta  $+300$  mV, se obtuvieron aspectos de fracturas con las tres zonas diferenciadas, similares a las obtenidas en el ensayo al aire, aunque en algunos casos se observó en puntos aislados de la superficie de fractura (concretamente a  $+100$ ,  $+200$  y  $+300$ ) la presencia de zonas de apariencia plana, escalonadas y que a veces recuerdan por su forma a una hoja del tipo palminervada. Estas pequeñas zonas se encontraron en lugares muy concretos y siempre contiguos a las grietas de la zona radial, y son del tipo a las mostradas en las fotografías 32 a 34.

Algunos ejemplos de las observaciones de las superficies de fracturas de los aceros del primer grupo se presentan en las fotografías 35 a 41, en las dos zonas distintivas de este grupo (labios de corte y radial), en la zona de labios de corte se aprecia la presencia de hoyuelos, y en la zona radial se observaron regiones planas y escalonadas en forma de hoja palminervada como las descritas anteriormente, aunque más extensas y numerosas.

En la fotografía 35 se presenta un detalle del tipo de fractura del acero ensayado a  $-700$  mV, donde se aprecian las regiones locales planas y escalonadas en forma de hoja palminervada, aisladas, que se encuentran en la zona radial. También se apreció un ataque local selectivo de una fase del acero (ferrita) respecto de la otra (cementita) (fotografía 36), aunque no se puede asegurar que la aparición de dicho fenómeno, no haya sido posterior a la rotura.

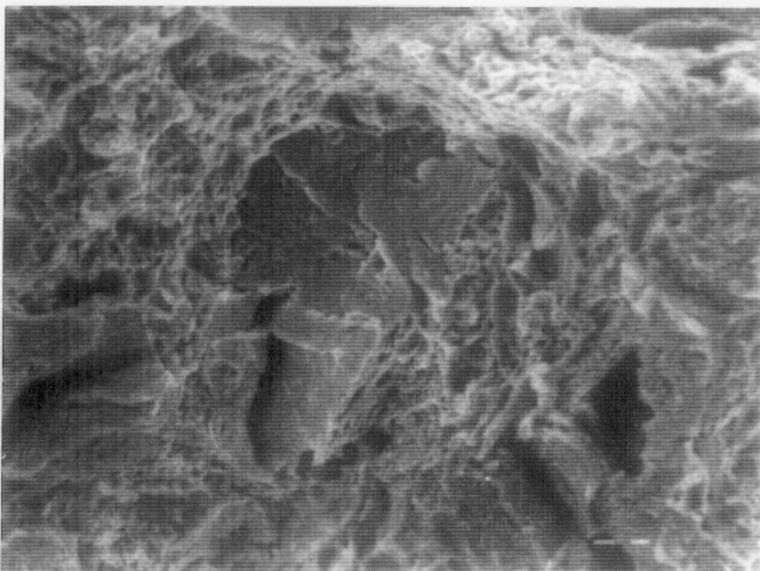
En las observaciones del acero ensayado a  $-500$  mV, no se pudo apreciar con detalle la fractura ya que se produjo un ataque muy intenso posterior a la rotura, como se aprecia en la fotografía 37.

En las fotografías 38 y 39 se observa la presencia de las regiones planas escalonadas en forma de hoja palminervada, para el acero ensayado a  $-300$  mV. También aquí se produjo un ataque posterior a la fractura aunque menos intenso que en el caso anterior, como se aprecia en la fotografía 39 donde se observa lo que se supone sea una disolución preferencial de las láminas de ferrita.

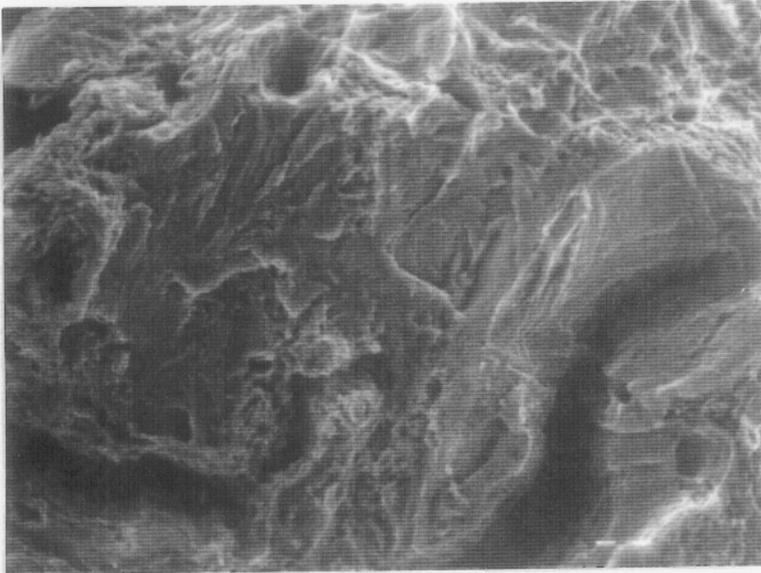
Para el acero ensayado a  $-200$  mV, se observa una cierta cantidad de estas regiones de forma de hoja palminervadas en toda la zona radial. Dichas zonas se aprecian con más claridad debido al poco tiempo, posterior a la rotura, que el acero estuvo expuesto en la disolución. En las fotografías 40 y 41 se presentan dichas zonas con forma de hoja palminervada, las cuales parecen ser las típicas de fractura frágil de este acero.

En todos los casos la zona de labios de corte exhiben microhoyuelos de diferentes diámetros, que no permiten diferenciar con los del ensayo al aire.

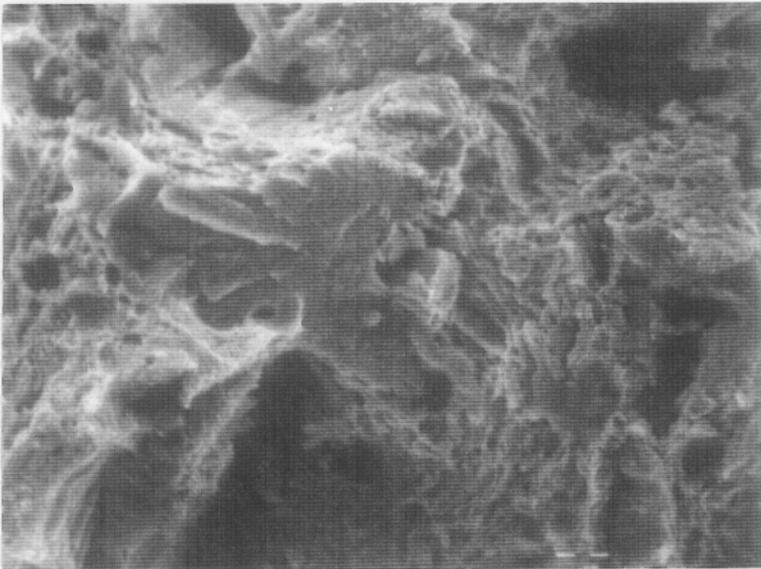
Finalmente apuntar que la información aportada tanto para los aceros del primer grupo como para los del segundo, confirman bastante acertadamente resultados de los parámetros mecánicos registrados en los ensayos de tracción lenta, para cada condición de ensayo.



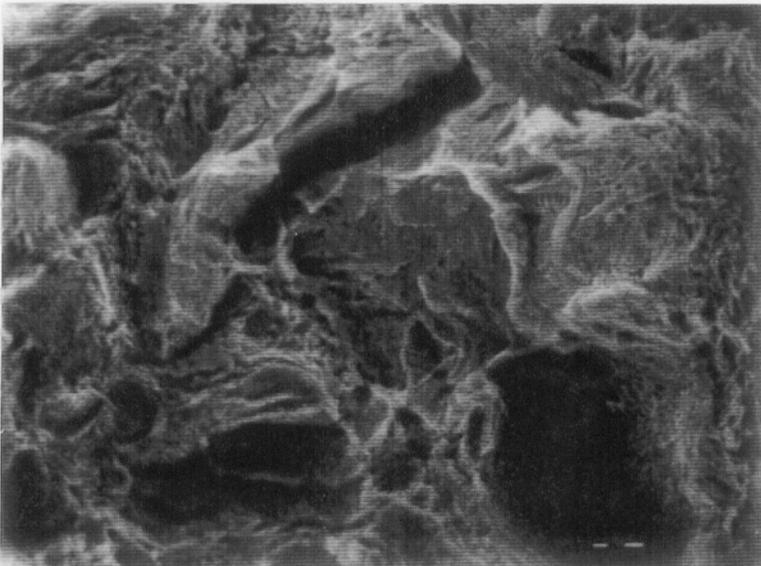
**Fotografía 32.-**  
Aspecto frágil en zona radial contigua a grieta  $E=100$ mV (ECS)  
(X3000) (0.05M  $\text{NaHCO}_3$  )



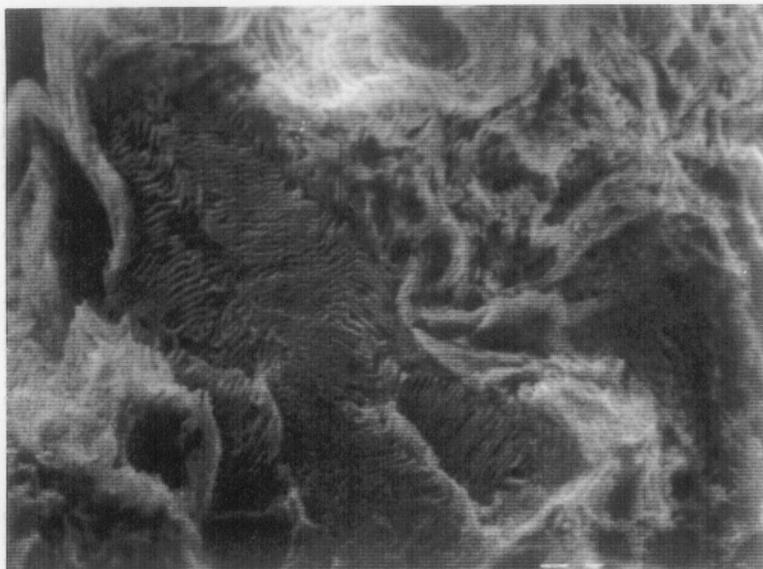
**Fotografía 33.-**  
Aspecto frágil en zona  
radial contigua a  
grieta E=200 mV (ECS)  
(X 3000) (0.05M NaHCO<sub>3</sub>)



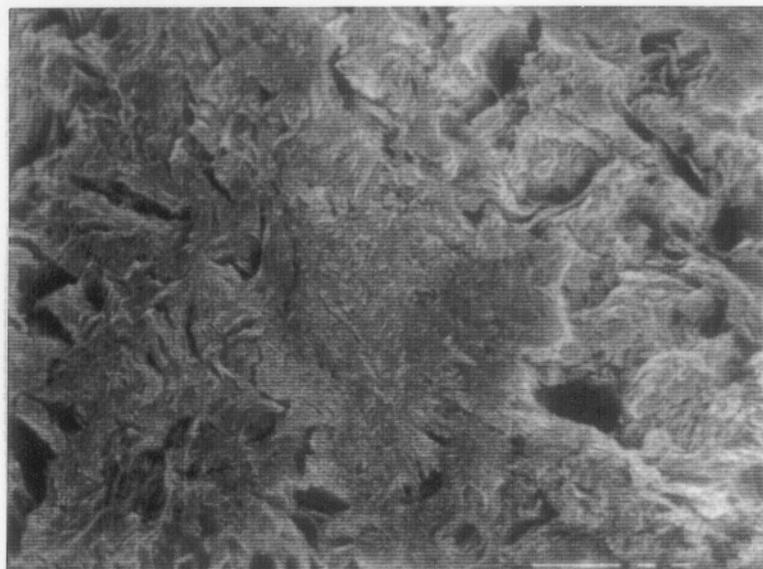
**Fotografía 34.-**  
Aspecto frágil en zona  
radial contigua a  
grieta E=300 mV (ECS)  
(X 3000) (0.05M NaHCO<sub>3</sub>)



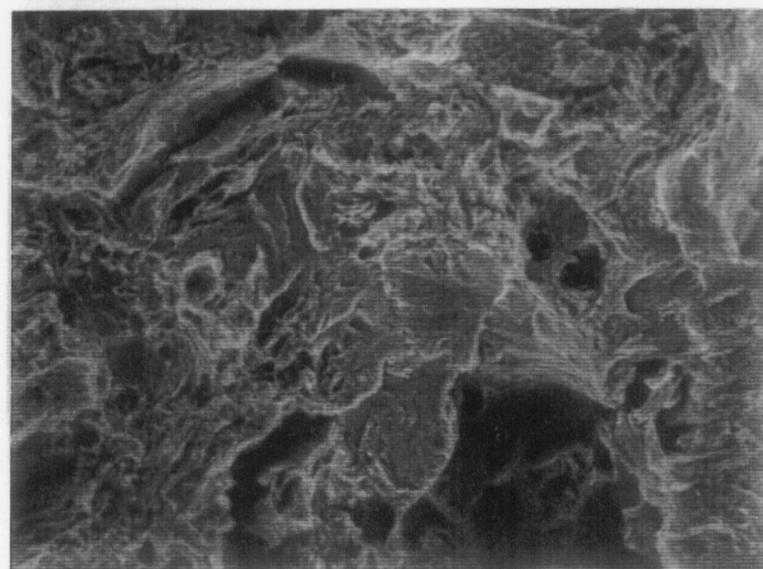
**Fotografía 35.-**  
Aspecto frágil en zona  
radial. E = -700mV (ECS)  
(X 2000) (0.05M NaHCO<sub>3</sub>)



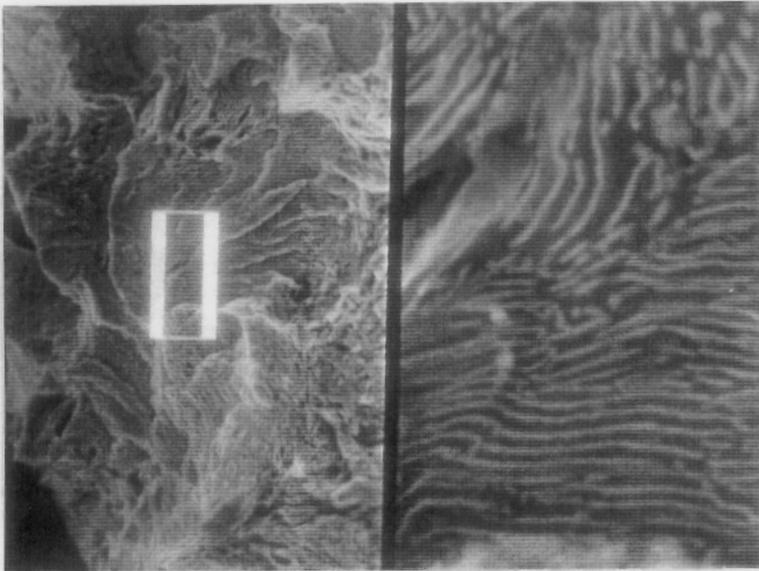
**Fotografía 36.-**  
Ataque selectivo de una  
fase de la perlita.  
E= -700mV (ECS) (X 2000)  
( 0.05 M NaHCO<sub>3</sub> )



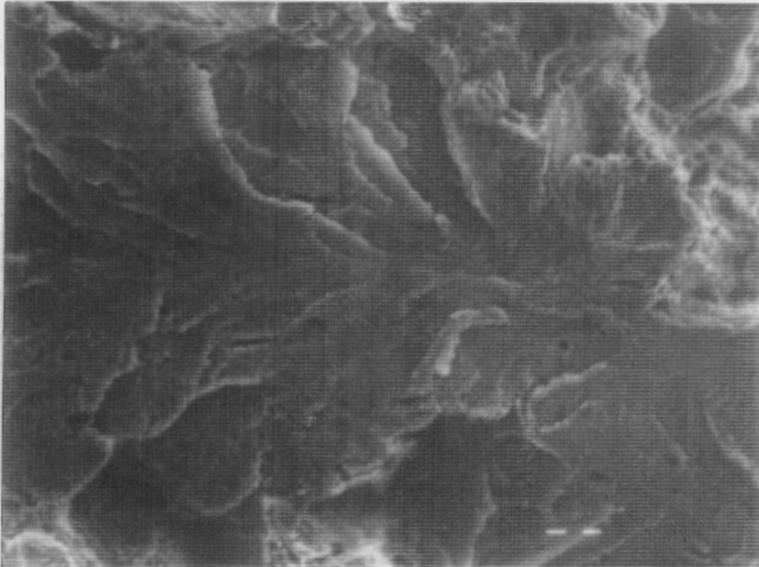
**Fotografía 37.-**  
Aspecto de la fractura  
en zona radial.  
E = -500 mV(ECS)  
(X 1500) (0.05M NaHCO<sub>3</sub>)



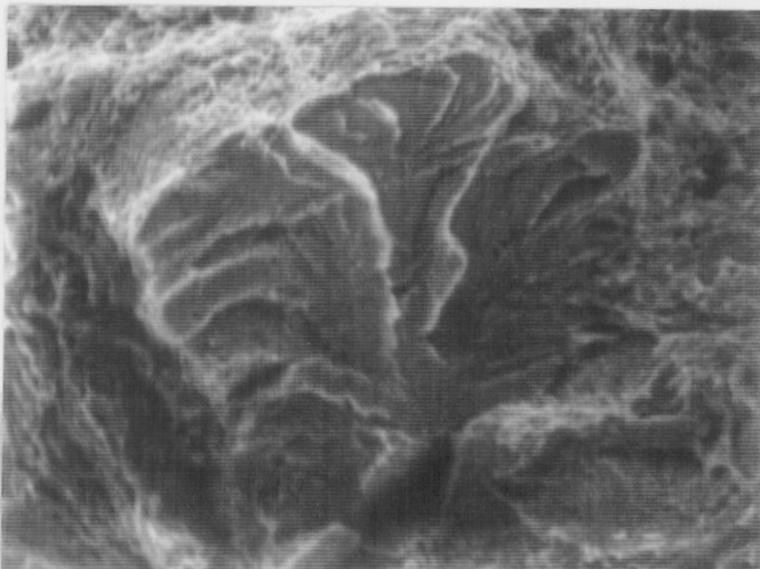
**Fotografía 38.-**  
Aspecto frágil en zona  
radial.  
E = - 300 mV (ECS)  
(X 1500) (0.05M NaHCO<sub>3</sub>)



**Fotografía 39.-**  
 Ataque selectivo de la  
 región frágil en zona  
 radial.  $E = -300\text{mV}(\text{ECS})$   
 ( X 1500 y 15000 )  
 ( 0.05 M  $\text{NaHCO}_3$  )



**Fotografía 40.-**  
 Aspecto frágil en zona  
 radial.  
 $E = - 200 \text{ mV} (\text{ECS})$   
 (X 3000) (0.05M  $\text{NaHCO}_3$ )



**Fotografía 41.-**  
 Aspecto frágil en zona  
 radial.  
 $E = - 200 \text{ mV} (\text{ECS})$   
 (X 2000) (0.05M  $\text{NaHCO}_3$ )

## C) SUPERFICIES LATERALES

### PERFILES PROXIMOS A LA SUPERFICIE DE FRACTURA

Los perfiles de las superficies de fractura de los aceros ensayados se presentan en las fotografías 42 a 49, donde se aprecian diferencias significativas entre los aceros ensayados pertenecientes a cada uno de los grupos descritos anteriormente.

En el segundo grupo,  $E_{corr}$  y 0 mV (fotografías 42 y 43 respectivamente), se destaca la forma de cono y una reducción en área apreciable.

En el primer grupo: -500, -400, -300 y -200 mV (fotografías 44 a 47 respectivamente), se observa la forma irregular del contorno de la fractura y una pequeña reducción en área (sin casi zona de estricción) de la superficie de fractura.

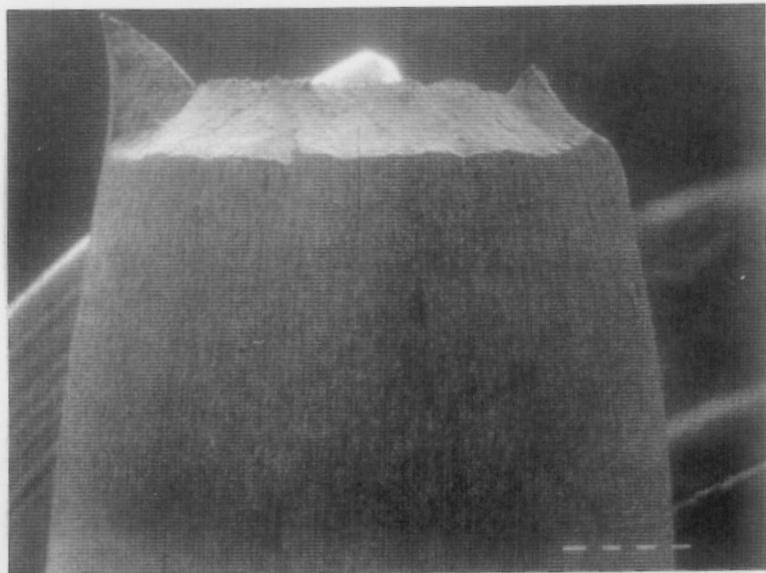
Dentro del primer grupo, son los aceros ensayados a -500 y -200 los que presentan una mayor reducción en área y gran cantidad de grietas transversales, que se encuentran en la zona de estricción, las cuales son visibles a simple vista. No siendo así para los ensayados a -400 y -300 mV en los cuales se observa una menor reducción en área y una menor cantidad de grietas, siendo éstas más pequeñas en ancho y largo, según se puede ver en las fotografías 48 y 49 las cuales corresponden a -300 y -400 mV respectivamente.

En general el tamaño (ancho y largo) y la cantidad de grietas transversales disminuye según el siguiente orden de potenciales: -500 > -200 > -400 > -300 mV, ésto a su vez se encuentra relacionado con el hecho de que los tiempos de ensayo obtenidos hasta la rotura también decrecen en el orden anteriormente descrito de potenciales.

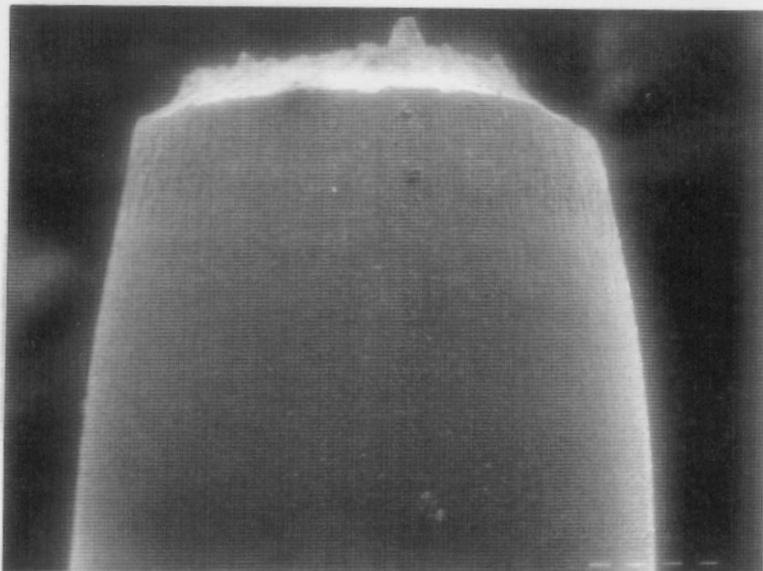
### OBSERVACIONES DETALLADAS

Se hizo también una observación detallada de las superficies laterales expuestas al medio agresivo, las cuales se presentan en las fotografías 50 a 53. Se observa que los aceros ensayados pertenecientes al primer grupo sufren un ataque que se extiende a toda la superficie, tal como se presenta en la fotografía 50, para el acero ensayado a -400 mV (ECS). También el acero ensayado al  $E_{corr}$  (fotografía 51), sufre este tipo de ataque aunque menos intenso, a pesar de que pertenece al segundo grupo.

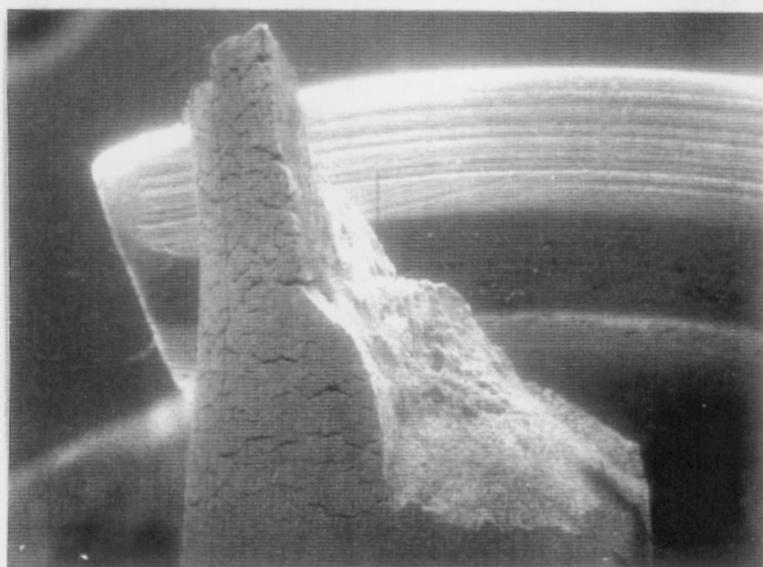
En los aceros ensayados pertenecientes al llamado segundo grupo, se destaca la presencia de un ataque localizado, tal como se aprecia en la fotografía 52, para el acero ensayado a +100 mV. También el acero ensayado a -200 mV sufre este tipo de ataque localizado, aunque pertenece al primer grupo (fotografía 53). Lo que nos lleva a pensar que éste (-200 mV) es un potencial crítico, donde a potenciales más positivos hay una tendencia hacia una pasivación más rápida y a potenciales más negativos habrá una corrosión más activa.



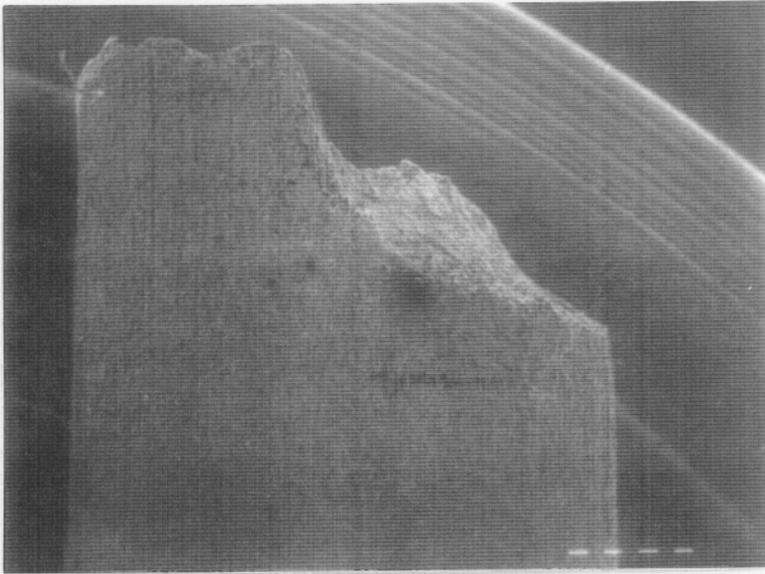
**Fotografía 42.-**  
Perfil de fractura.  
 $E = E_{\text{corr}}$  (X 37)  
(0.05 M  $\text{NaHCO}_3$ )



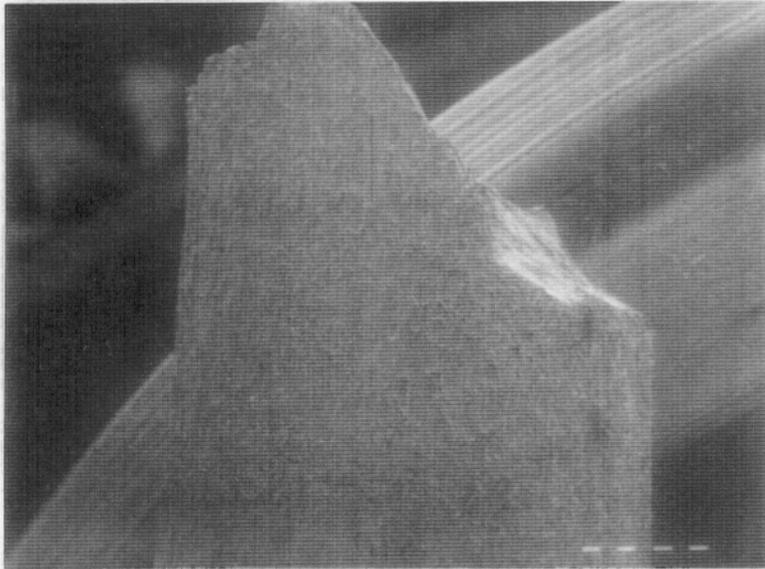
**Fotografía 43.-**  
Perfil de fractura.  
 $E = 0 \text{ mV (ECS)}$   
(X 30) (0.05 M  $\text{NaHCO}_3$ )



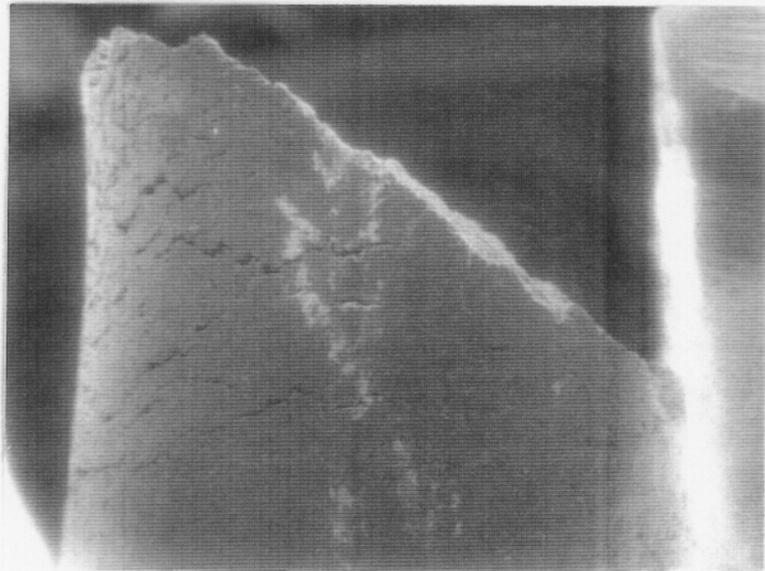
**Fotografía 44.-**  
Perfil de fractura.  
 $E = - 500 \text{ mV (ECS)}$   
(X 25) (0.05 M  $\text{NaHCO}_3$ )



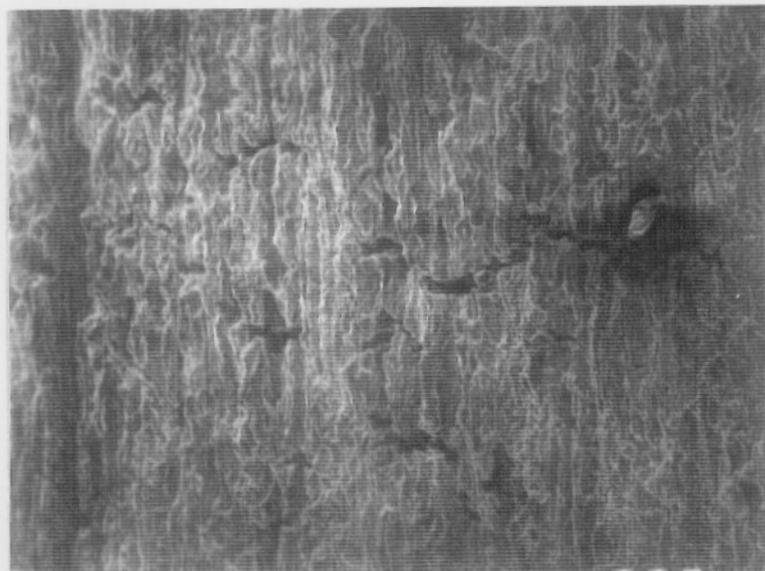
**Fotografía 45.-**  
Perfil de fractura.  
E = - 400 mV (ECS)  
(X 30) (0.05 M NaHCO<sub>3</sub>)



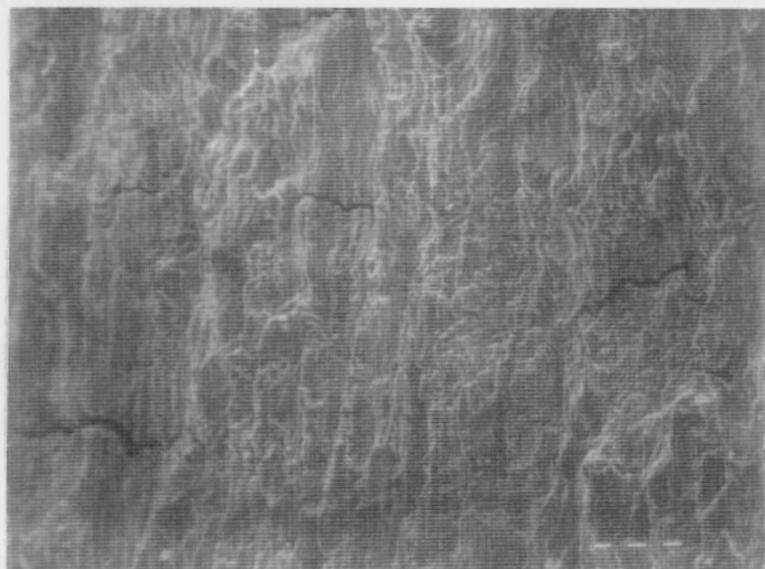
**Fotografía 46.-**  
Perfil de fractura.  
E = - 300 mV (ECS)  
(X 25) (0.05 M NaHCO<sub>3</sub>)



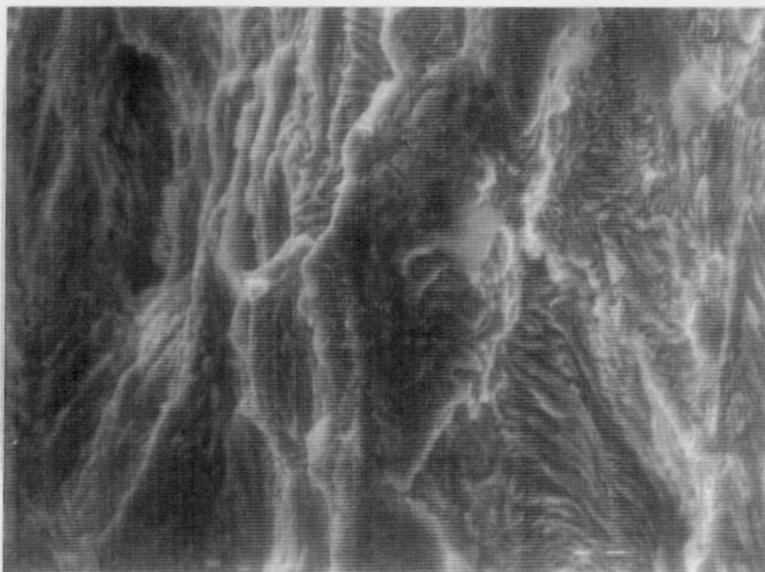
**Fotografía 47.-**  
Perfil de fractura.  
E = - 200 mV (ECS)  
(X 35) (0.05 M NaHCO<sub>3</sub>)



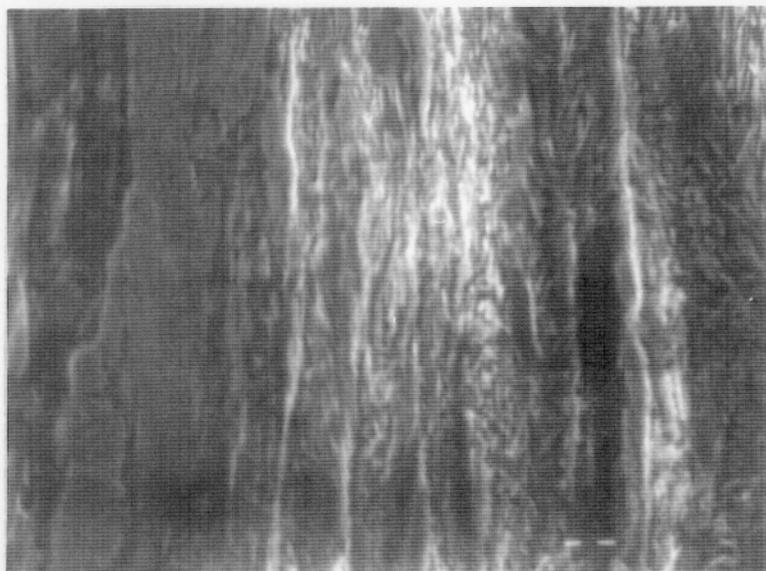
**Fotografía 48.-**  
Superficie lateral,  
grietas transversales.  
E = - 400 mV (ECS)  
(X 250) (0.05 M NaHCO<sub>3</sub>)



**Fotografía 49.-**  
Superficie lateral,  
grietas transversales.  
E = - 300 mV (ECS)  
(X 250) (0.05 M NaHCO<sub>3</sub>)

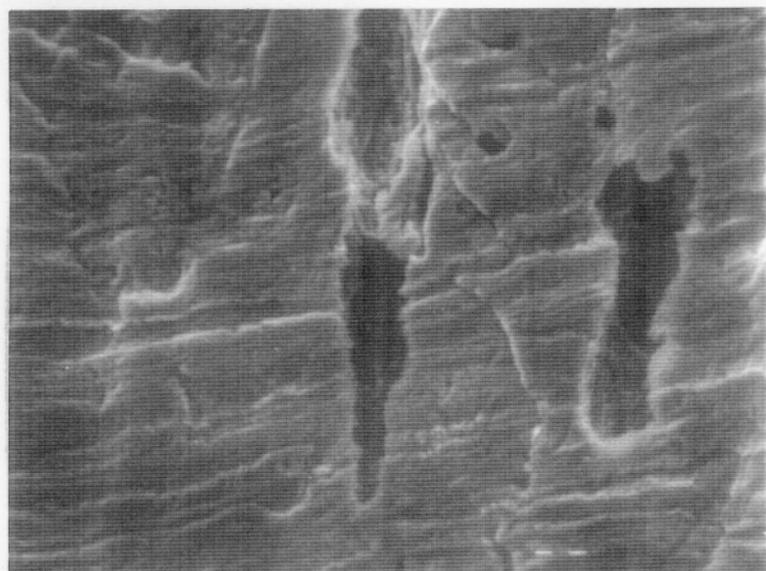


**Fotografía 50.-**  
Aspecto superficie  
lateral con ataque  
generalizado.  
E = -400 mV (ECS) (X 2500)  
(0.05 M NaHCO<sub>3</sub>)



**Fotografía 51.-**  
Aspecto superficie lateral con ataque generalizado.

$E = E_{\text{corr}}$   
(X 2500) (0.05M  $\text{NaHCO}_3$ )



**Fotografía 52.-**  
Aspecto superficie lateral con ataque localizado.

$E = 100 \text{ mV (ECS)}$   
(X 2500) (0.05M  $\text{NaHCO}_3$ )



**Fotografía 53.-**  
Aspecto superficie lateral con ataque localizado.

$E = - 200 \text{ mV (ECS)}$   
(X 1500) (0.05M  $\text{NaHCO}_3$ )

**ABRIR V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

