



APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE EMISIÓN ACÚSTICA AL ESTUDIO DE CORROSIÓN BAJO TENSION

Patricia A. Lapitz

Grupo Cinética Electroquímica, Unidad de Actividad Materiales
Centro Atómico Constituyentes,
Comisión Nacional de Energía Atómica
Av. General Paz 1499 (B 1650 KNA) San Martín, Pcia. Buenos Aires, Argentina

Directora: Dra. M. G. Alvarez
Co-Director: Dr. J. E. Ruzzante

Trabajo de tesis para obtener el grado de Doctora en Ciencia y Tecnología de Materiales,
Instituto de Tecnología Jorge Sabato, CNEA-UNSAM

Fecha de defensa: 24 de Febrero de 2005

RESUMEN

El presente trabajo se orientó a caracterizar la respuesta en emisión acústica (EA) durante la propagación de fisuras de corrosión bajo tensión (CBT) en diferentes aleaciones y diversos medios corrosivos para adquirir conocimientos sobre la relación entre la respuesta de dicha técnica y la modalidad de propagación de las fisuras en cada uno de los sistemas estudiados. Se ensayaron sistemas en los que un material presenta corrosión bajo tensión intergranular (CBTIG) y sistemas en los que para el mismo material la corrosión bajo tensión es transgranular (CBTTG).

A través del análisis estadístico sobre los valores del parámetro amplitud de la respuesta en EA registrada durante la ruptura por CBT en los diferentes sistemas, se encontró que sería el mismo proceso el que genera EA en el transcurso del avance de fisuras con distinta morfología de fisuración.

1. INTRODUCCIÓN

La corrosión bajo tensión (CBT) es el fenómeno de agrietamiento que ocurre cuando un material está sometido simultáneamente a la acción de un medio corrosivo y a tensiones mecánicas de tracción. Este fenómeno se caracteriza por la aparición de fisuras que avanzan en dirección normal a la de aplicación de la tensión, causando la ruptura del material a valores muy inferiores a los de diseño.

La fisuración por CBT suele clasificarse en base al camino de fisuración como: corrosión bajo tensión transgranular (CBTTG) cuando la fisura se propaga atravesando los granos y corrosión bajo tensión intergranular (CBTIG) cuando la fisura se propaga por los límites de grano.



La emisión acústica (EA) es un fenómeno que tiene lugar cuando un material es sometido a sollicitaciones térmicas o mecánicas. Un área con defectos es un área con concentración de tensiones en la que, una vez estimulada, se produce una redistribución de estas tensiones con liberación de energía en forma de ondas mecánicas transitorias. La técnica consiste en detectar estas perturbaciones del medio utilizando sensores piezoeléctricos que transforman la energía mecánica en energía eléctrica. Estas señales se digitalizan y almacenan para su posterior análisis a través de sus parámetros característicos. Numerosos trabajos [1-6] han demostrado el potencial de esta técnica como método de detección para estudiar la iniciación y propagación de fisuras por CBT, corrosión fatiga o fragilización por hidrógeno.

El objetivo de este trabajo es la identificación precisa de las señales de EA ligadas unívocamente al fenómeno de CBT. Asimismo, interesa investigar la posible existencia de fenómenos comunes a distintos sistemas, en particular comparar la respuesta de sistemas en los cuales la propagación de fisuras sea transgranular o intergranular. Para tal fin, se ha aplicado la técnica de EA al seguimiento en continuo del proceso de fisuración por CBT de diferentes aleaciones en distintos medios corrosivos para adquirir conocimiento sobre la relación entre la respuesta de dicha técnica y la modalidad de propagación de fisuras en cada uno de los sistemas estudiados.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1 Materiales y equipos

Se seleccionaron sistemas en los cuales un mismo material presentaba en diferentes condiciones experimentales CBTTG ó CBTIG. Esto se logra cambiando el medio corrosivo, ó las condiciones metalúrgicas de la aleación.

Los sistemas estudiados fueron:

- a) Latón- α en solución de NaNO_2 1M, pH de solución, a diferentes potenciales (0,10; 0,13; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 y 0,40 V_{esh}) (CBTTG) [7].
- b) Latón- α en solución de Mattsson (CuSO_4 0,05 M + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1M), pH 6,5, al potencial de equilibrio de cobre con sus iones en solución (CBTIG) [8].
- c) Acero inoxidable austenítico AISI 304 solubilizado en solución de HCl 1M + NaCl 1M, a 0,09 V_{esh} (CBTTG) [9].
- d) Acero inoxidable austenítico AISI 304 sensitizado en solución de HCl 1M + NaCl 1M, a 0,09 V_{esh} (CBTIG) [10].
- e) Aleación policristalina Ag-15Au en solución KCl 1M, a 0,50 V_{esh} y en HClO_4 1M, a 0,90 V_{esh} (CBTIG) [11].
- h) Aleación monocristalina Ag-10Au en solución KCl 1M, a 0,50 V_{esh} (CBTTG) [12].

Los ensayos de CBT fueron realizados a potencial constante mediante la técnica de ensayos de tracción a velocidad lenta de deformación (SSRT) (del orden de 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6} s^{-1}) hasta la ruptura final del material. La celda fue descrita en un trabajo anterior [13].



El equipo empleado para medir y analizar las señales de EA consistió en un equipo de adquisición de dos canales, sensores, amplificadores y un sistema de almacenamiento de datos. El equipo de adquisición de la señal fue diseñado y construido en el Dpto. Instrumentación y Control de CNEA. Los parámetros de las señales de EA medidos en función del tiempo fueron el número de eventos acumulados y la amplitud y tiempo de subida de cada uno de los eventos de EA. Se utilizaron dos sensores o transductores de banda ancha WD 942 (100-1000 kHz) de Physical Acoustic Corp., en conjunto con los correspondientes amplificadores. La amplificación total de la señal de EA obtenida fue de 40 dB. Durante los ensayos de CBT, se colocó un sensor sobre la pared de la celda acoplado con grasa de vacío. El segundo sensor se colocó sobre la mordaza. Este último funcionó como puntero de los eventos que llegan a los dos sensores al mismo tiempo. Se adquirieron señales de EA durante todo el ensayo.

2.2 Selección del umbral de trabajo

Las posibles fuentes de EA durante el avance de fisuras por CBT son, además del ruido mecánico y la deformación, diversos procesos que pueden tener lugar sobre la superficie del material, tales como: disolución anódica, corrosión localizada, ruptura y reformación de película pasiva, y evolución de burbujas de gas. Para obtener señales de EA exclusivamente generadas por el inicio y propagación de fisuras por CBT, se caracterizaron las señales generadas por los diferentes procesos antes mencionados y se seleccionó un umbral de trabajo para el cual la velocidad de registro de eventos fuera inferior a $1 \text{ evento} \cdot \text{s}^{-1}$.

El ruido mecánico se caracterizó a través del registro de las señales de EA generadas durante el ascenso en vacío del cabezal de la máquina de tracción a distintos umbrales de detección y para diferentes velocidades de cabezal. Los resultados obtenidos mostraron que, para las tres velocidades de deformación utilizadas, el registro de eventos de EA obtenido es menor a $1 \text{ evento} \cdot \text{s}^{-1}$ para valores de umbral más altos que 190 mV.

Para caracterizar las señales de EA originadas por los diversos procesos que pueden tener lugar sobre la superficie del metal, se analizaron las señales generadas por la exposición del material en condiciones estáticas a los mismos medios corrosivos y valores de potencial que se utilizaron luego en los ensayos de CBT, utilizando diferentes umbrales de detección. Este estudio se llevó a cabo sobre latón- α en solución de NaNO_2 1M y en sol. de Mattsson, ambos a potencial de trabajo. Se encontró que durante la exposición del latón en estas dos soluciones, la velocidad de eventos registrados es función del umbral de detección, a mayor umbral menor es la probabilidad de adquirir señal de EA. Asimismo, se observó que para un valor de umbral de 200 mV la velocidad de registros de eventos era menor a $0,1 \text{ evento} \cdot \text{s}^{-1}$. Por lo tanto, para estudiar el inicio y la propagación de fisuras por corrosión bajo tensión se seleccionó un umbral de trabajo de 250 mV.

Finalmente, para caracterizar las señales provenientes de la deformación elástica y plástica del material se realizaron ensayos de tracción en medios inertes (aire o agua deionizada), en los cuales los materiales utilizados no presentan susceptibilidad a CBT. Se utilizó el umbral de trabajo seleccionado (250 mV). Los ensayos mostraron un incremento en la velocidad de eventos de EA durante la deformación elástica hasta alcanzar un valor máximo de $3 \text{ eventos} \cdot \text{s}^{-1}$ cuando la carga alcanza un valor cercano al

punto de fluencia. Durante la deformación plástica, el registro de eventos disminuyó y permaneció por debajo de $0,1 \text{ evento}\cdot\text{s}^{-1}$. La amplitud media de la señal para todo el ensayo fue de $0,7 \text{ V}$.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Latón- α

3.1.1 Corrosión bajo tensión: transgranular vs. intergranular

La figura 1 muestra el número acumulado de eventos de EA efectuados con alambre de latón- α en solución de $\text{NaNO}_2 \text{ 1M}$ a $0,20 \text{ V}_{\text{esh}}$ (CBTTG) y en solución de Mattsson a $0 \text{ V}_{\text{Cu/Cu}^{2+}}$ (CBTIG), utilizando una velocidad de deformación de $2,35 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. En la figura 1 también se incluye la curva de carga vs. tiempo registrado durante el ensayo. Se encontró que en términos del número de eventos, la actividad acústica generada durante la propagación de fisuras por CBTTG es varios órdenes de magnitud más alta la que la actividad acústica por CBTIG. Sin embargo cuando se comparan los parámetros amplitud y tiempo de subida de la señal de EA para ambas morfologías de fisuración, no se observan diferencias significativas entre los valores correspondientes a CBTTG y aquellos correspondientes a CBTIG (Figura 2).

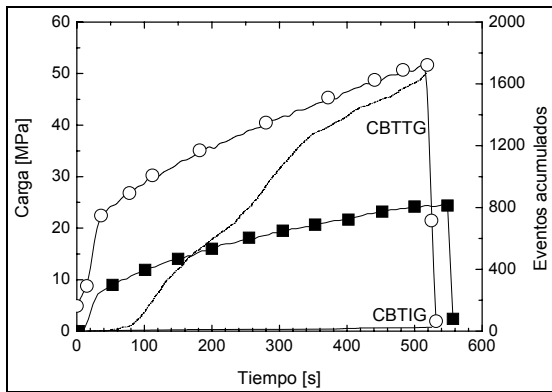


Figura 1 - Latón- α : a) eventos acumulados de EA generados por: (□) CBTTG y (◻) CBTIG y b) curva de carga registrado cuando se tracciona: (—) CBTTG y (—) CBTIG. Vel. de def.: $2,35 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$.

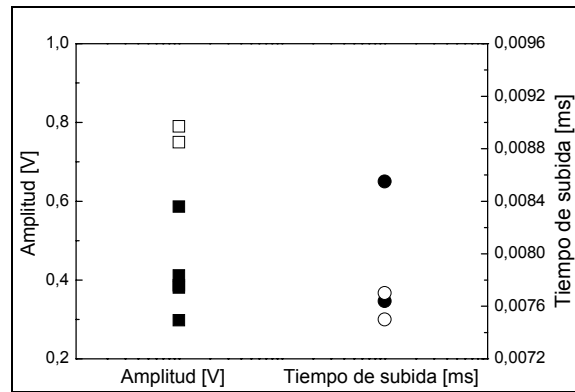


Figura 2 - Valor de parámetros de EA para latón- α : a) por avance de fisuras de CBT, amplitud (◻) y tiempo de subida (◻) y b) en ausencia de CBT, amplitud (◻) y tiempo de subida (◻).

Los valores de amplitud media de las señales generadas durante la propagación de fisuras por CBT, tanto transgranular como intergranular, se encuentran comprendidos en el intervalo de $0,3$ a $0,6 \text{ V}$. Estos valores de amplitud media son más bajos que los obtenidos en los ensayos de tracción para el mismo material en ausencia de CBT, cuyo valor de amplitud media es superior a $0,7 \text{ V}$. Por otra parte, los valores de tiempo de subida medio de las señales de EA generadas por ambos modos de fisuración son, en general más altos que los medidos durante la tracción en medio inerte (aire) o en ausencia de CBT. Ensayos efectuados a diferentes potenciales y velocidades de deformación mostraron que los valores medios de los parámetros de las señales de EA

durante la propagación de las fisuras son independientes del potencial aplicado y de la velocidad de deformación.

3.1.2 Distribución de Amplitud

El análisis del valor del parámetro amplitud de la señal de EA y especialmente de la distribución de la amplitud es un método muy utilizado para evaluar si existen diferencias significativas entre las señales provenientes de distintos ensayos [14-15]. Uno de los métodos más ampliamente utilizado para caracterizar la distribución de la amplitud es el modelo de la Ley Potencial, el cual tiene sus orígenes en la sismología [14]. La distribución del parámetro amplitud de la señal de EA frecuentemente se aproxima a la distribución de la Ley Potencial de la siguiente forma:

$$n(a) = \left(\frac{a}{a_0} \right)^{-b} \quad (1)$$

donde $n(a)$ es una función que se define como la fracción de la población de los eventos de EA cuyos picos de amplitud exceden el valor de a ; a_0 es la menor amplitud detectable por el sistema y b es el exponente que caracteriza la distribución de amplitud. La distribución de la amplitud está relacionada con el mecanismo fuente que genera las señales de EA. Por consiguiente, la similitud en la distribución de la amplitud (valores de b similares) entre dos conjuntos de datos es una condición necesaria para concluir que ambos conjuntos de señales de EA están generados por el mismo mecanismo fuente.

La Tabla I muestra los valores de b que corresponden a las señales de EA obtenidas durante la fisuración por CBTTG y CBTIG del latón- α .

Tabla I

Valores de b para los ensayos de tracción del latón- α en sol. de NaNO_2 1M, en sol. de Mattsson y en medio inerte (aire). Nivel de umbral: 250 mV.

Material	Medio	Velocidad de deformación (s^{-1})	Valor de b
Latón- α	NaNO ₂ 1M CBTTG	2,35.10 ⁻⁵	0,2333
		2,35.10 ⁻⁴	0,2239
	Solución Mattsson CBTIG	2,35.10 ⁻⁵	0,2224
		2,35.10 ⁻⁴	0,2234
	Medio inerte	2,35.10 ⁻⁵	0,1364
		2,35.10 ⁻⁴	0,1579

Se observa que no existe una diferencia significativa entre los valores de b obtenidos para ambas morfologías de fisuración.

Esto indica que ambos procesos tienen una respuesta en EA similar, por lo cual es posible suponer que las señales son originadas por la misma fuente. La Tabla I muestra también que los valores de b obtenidos para los ensayos de tracción en medio inerte (aire) son significativamente más bajos que los valores de b correspondientes a los ensayos de CBT, indicando que hay un incremento en la proporción de altos valores de amplitud en la señal de EA.

3.2 Acero inoxidable AISI 304

3.2.1 Corrosión bajo tensión: transgranular vs. intergranular

En la figura 3 se muestra el número de eventos de EA acumulados generados durante la tracción de alambres de acero inox. AISI 304 solubilizado y sensitizado en solución de HCl 1M + NaCl 1M a $0,09 V_{esh}$ empleando una velocidad de deformación de $2,35 \cdot 10^{-4} s^{-1}$. En la figura 3 también se incluye la curva de carga vs. tiempo desarrollado por el material en el tiempo de ensayo. A semejanza de lo observado para el latón, se encontró que en términos del número de eventos, la actividad acústica registrada durante la fisuración por CBTG es varios órdenes de magnitud más alta que la actividad acústica originada por CBTIG.

Sin embargo, también en coincidencia con lo encontrado para el latón, cuando se comparan los parámetros amplitud y tiempo de subida de la señal de EA para ambas morfologías de fractura, no se observan diferencias significativas entre los valores correspondientes a CBTG y aquellos correspondientes a CBTIG (Figura 4).

La amplitud de los valores de las señales generadas durante la propagación de fisuras por CBT, tanto transgranular como intergranular, se encuentra comprendida en un rango de 0,3 a 0,5 V. Estos valores de amplitud media son más bajos que los valores de amplitud registrada en los ensayos de tracción realizados para el mismo material en aire. En forma similar, el valor del tiempo de subida medido para las señales de EA generadas por ambos modos de fractura tiene valores comparables entre sí (Figura 5). Estos valores son más altos que los obtenidos durante la tracción en ausencia de CBT.

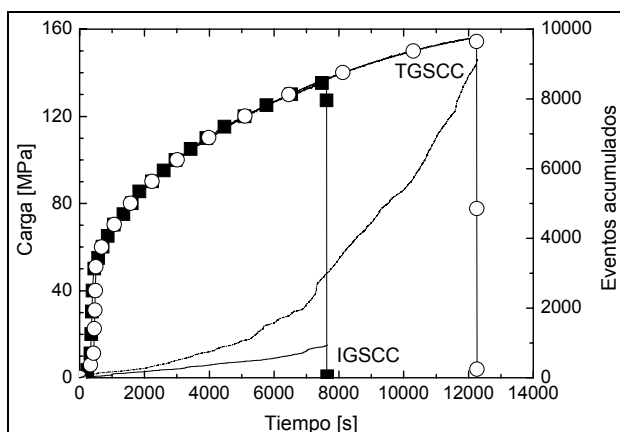


Figura 3 - Eventos acumulados de EA: (□) CBTG y (○) CBTIG y curva de carga registrado cuando se tracciona: (—) acero inox. AISI 304 solubilizado (CBTG) y (·) sensitizado (CBTIG) en sol. HCl 1M + NaCl 1M. Vel. de deformación: $2,35 \cdot 10^{-4} s^{-1}$.

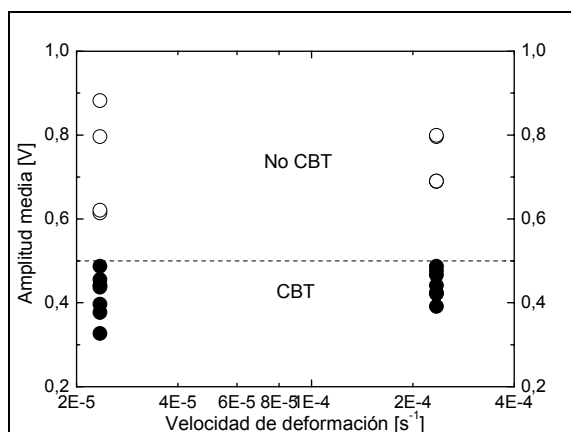
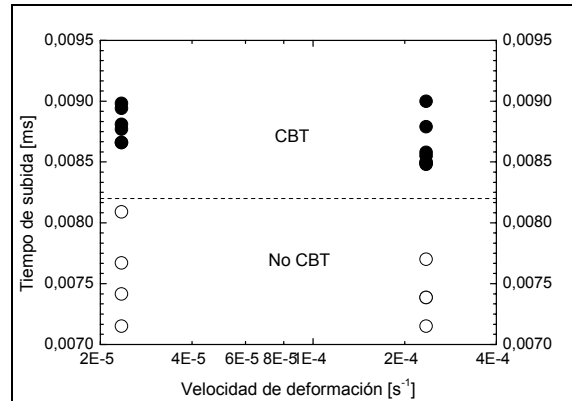


Figura 4 - Valores de amplitud de la señal de EA generada cuando avanza la fisura por CBT en acero inox. AISI 304 solubilizado y sensitizado en sol. HCl 1M + NaCl 1M. (·) y en medio inerte (—).

Figura 5 - Valores de tiempo de subida de la señal de EA generada cuando se tracciona acero inox. AISI 304 solubilizado y sensibilizado en solución de HCl 1M + NaCl 1M (.) y en medio inerte (-).



3.2.2 Distribución de Amplitud

Se efectuó el análisis de la distribución de amplitud utilizando el modelo de la Ley Potencial (Ecuación 1). En la Tabla II se muestran los valores de *b* obtenidos para la fisuración transgranular e intergranular del acero inox. AISI 304 en soluciones ácidas de cloruro. No se observan diferencias significativas entre la distribución de amplitud de las señales de EA generadas por la propagación de fisuras por CBT transgranulares e intergranulares, lo que permite concluir que las señales de EA son generadas por el mismo proceso fuente. Esta conclusión está sustentada, además, por la similitud entre los valores de los parámetros amplitud y tiempo de subida de las señales de EA encontrada para los diferentes modos de propagación de fisuras de CBT.

Además, la Tabla II muestra que los valores de *b* que corresponden a las señales de EA obtenidas durante los ensayos en medio inerte (aire) son significativamente más bajos que los valores de *b* que corresponden a los ensayos de CBT.

Tabla II

Valores de *b* para los ensayos de tracción de acero inox. AISI 304 en solución de HCl 1M + NaCl 1M, a 0,09 *V_{esh}* y en medio inerte (aire).
Nivel de umbral: 250mV.

Material	Medio	Velocidad deformación [s ⁻¹]	Valor <i>b</i>	Medio	Velocidad deformación [s ⁻¹]	Valor <i>b</i>
AISI 304 Solubilizado CBTG	NaCl 1M + HCl 1M	2,35.10 ⁻⁵	0,3617	Aire	2,35.10 ⁻⁵	0,1364
		2,35.10 ⁻⁴	0,3210		2,35.10 ⁻⁴	0,1488
AISI 304 Sensibilizado CBTIG	NaCl 1M + HCl 1M	2,35.10 ⁻⁵	0,3602	Aire	2,35.10 ⁻⁵	0,1173
		2,35.10 ⁻⁴	0,4061		2,35.10 ⁻⁴	0,1321

3.3 Aleación Ag-Au

3.3.1 Corrosión bajo tensión: transgranular vs. intergranular

La figura 6 muestra el número acumulado de eventos de EA obtenidos durante la tracción de alambre policristalino Ag - 15Au (CBTIG) y de monocristal Ag - 10Au (CBTTG) en solución de KCl 1M a $0,50 V_{esh}$, utilizando una velocidad de deformación de $3,52 \cdot 10^{-5} s^{-1}$. En la figura 6 también se incluye la curva de carga vs. tiempo registrada durante el ensayo. Esta comparación muestra que, a diferencia de lo observado en los otros sistemas estudiados, en términos del número de eventos, la actividad acústica generada durante la propagación de fisuras por CBTTG es de igual orden de magnitud que la actividad acústica generada por CBTIG. Asimismo, cuando se comparan los parámetros amplitud y tiempo de subida de la señal de EA para ambas morfologías de fisuración, no se observan diferencias significativas entre los valores correspondientes a CBTTG y aquellos correspondientes a CBTIG (Figura 7).

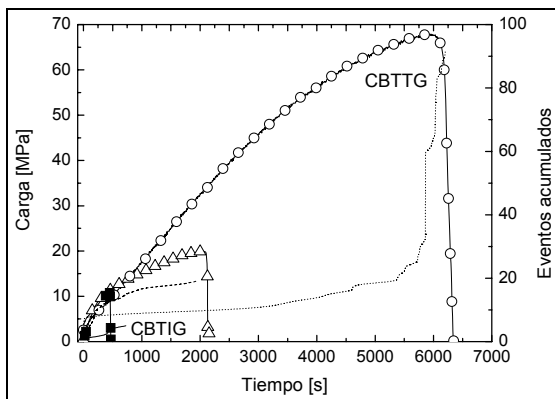


Figura 6 - Eventos acumulados de EA: (□) CBTTG y (□ y □) CBTIG. Comportamiento del registro de la señal de EA que compara: (-) monocristal Ag-10Au en sol. KCl 1M (CBTTG), alambre policristalino (CBTIG): Ag-15Au en sol. de KCl 1M (!) y HClO₄ 1M (8). Vel. de deformación $3,52 \cdot 10^{-5} s^{-1}$.

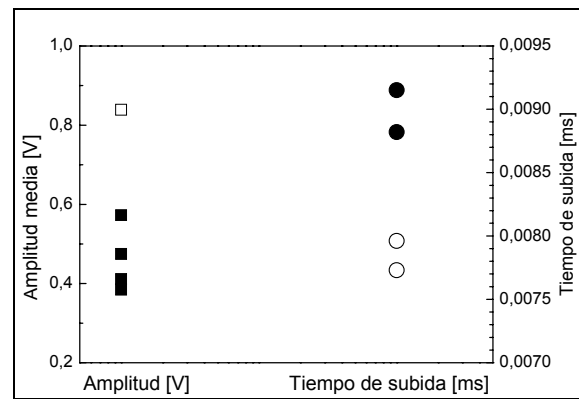


Figura 7 - Valores de amplitud de la señal de EA generada cuando los materiales Ag-10Au y Ag-15Au sufren CBT (!) y en aire (▽) y valores de tiempo de subida de la señal cuando sufren CBT (,) y en aire (-).

La amplitud de los valores de las señales generadas durante la propagación de fisuras por CBT, tanto transgranular (monocristales) como intergranular (policristales), se encuentra comprendida en un rango de 0,3 a 0,6 V. Estos valores de amplitud son más bajos que los valores de amplitud registrada en los ensayos de tracción realizados para el mismo material en medio inerte. Por otra parte, los valores de tiempo de subida medio de las señales de EA generadas por ambos modos de fisuración son, en general más altos que los medidos durante la tracción en ausencia de CBT (Figura 7).

3.3.2 Distribución de Amplitud

Se efectuó el análisis de la distribución de amplitud utilizando el modelo de la Ley Potencial (Ecuación 1). En la tabla III se muestra los valores de b obtenidos para la fisuración transgranular e intergranular de la aleación Ag-Au monocristalina y policristalina

en solución de KCl 1M y en solución de HClO₄ 1M. El escaso número de eventos registrados con el material policristalino en solución de KCl, no permite obtener conclusiones estadísticas confiables. Por otra parte, para el resto de los sistemas, no se observan diferencias significativas entre la distribución de amplitudes de las señales de EA generadas por la propagación de fisuras por CBTTG o CBTIG, lo que permite concluir que la señales de EA son generadas por el mismo proceso fuente. Esta conclusión está sustentada, además, por la similitud entre los valores de los parámetros amplitud y tiempo de subida de las señales de EA encontrada para los diferentes modos de propagación de fisuras de CBT.

Tabla III

Valores de *b* para los ensayos de tracción de Ag-Au en soluciones de KCl 1M, HClO₄ 1M a 0,50 V_{esh} y 0,90 V_{esh}, respectivamente y en medio inerte (aire). Nivel de umbral: 250 mV.

Material	Medio	Velocidad de deformación (s ⁻¹)	Valor de <i>b</i>
Ag-10Au Monocristal	KCl 1M CBTTG	6,043.10 ⁻⁵	0,3582
Ag-15Au Policristal	KCl 1M CBTIG	3,52.10 ⁻⁵	0,1988 ^a
	HClO ₄ 1M CBTIG	3,52.10 ⁻⁵	0,3321
	Medio inerte	3,52.10 ⁻⁵	0,1249

a) La cantidad de eventos registrados para este sistema (menos de 10) no permite obtener una distribución repetitiva y característica del sistema.

3.4 Corrosión bajo tensión transgranular: aleación policristalina vs. aleación monocristalina

En las secciones previas se discutió para cada material la respuesta en EA a partir de la respuesta a las diferentes formas de fisuración por CBT. Ahora sólo se considerará la respuesta de la señal de EA a la propagación de fisuras por CBTTG. La figura 8 muestra el número acumulado de eventos de EA obtenidos durante los ensayos por CBTTG para materiales policristalinos (latón- α y acero inox. AISI 304 solubilizado) y para la aleación monocristalina (Ag-10Au). Se observa que, en término del número de eventos, la actividad acústica registrada cuando el material es policristalino es varios órdenes de magnitud más alta que cuando el material es monocristalino. Sin embargo, cuando se comparan los parámetros amplitud y tiempo de subida de la señal de EA durante la propagación transgranular de fisuras por CBT, no se observan diferencias significativas entre los valores correspondientes a material policristalino y aquellos correspondientes a material monocristalino (Figura 9).

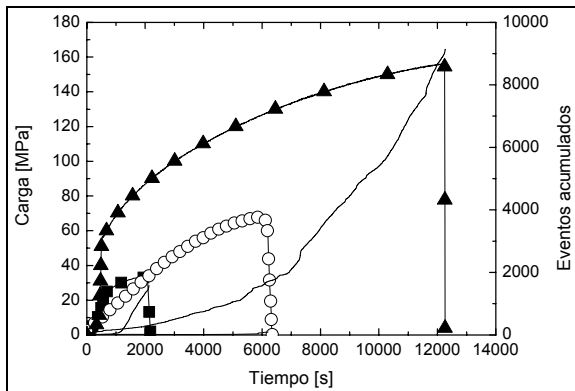


Figura 8 - Eventos acumulados de EA (□) para cada registro de carga generada para CBTIG en: (–) monocristal Ag-10Au, (○) alambre de latón- α y (◻) alambre de acero inox. AISI 304.

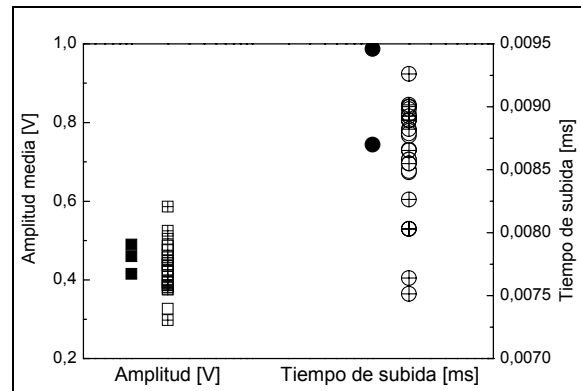


Figura 9 - Valores de los parámetros de la señal de EA generada para CBTIG en: a) Monocristal Ag-10Au:(!) amplitud, (.) tiempo de subida; b) Latón- α : (∇) amplitud, (-) tiempo de subida y c) Acero inox. AISI 304: (⊞)amplitud y (/)tiempo de subida .

Estos valores son comprobables con los parámetros de EA de las señales generadas durante la propagación de fisuras por CBTIG. Así las figuras 2, 4 y 9 muestran que la amplitud de los eventos de EA originados por la propagación de fisuras por CBT tanto transgranular como intergranular en materiales policristalinos y monocristalinos, tiene valores comprendidos en el intervalo de 0,3 a 0,6 V. Por otra parte, la amplitud media de la respuesta de EA durante la ruptura dúctil en medio inerte, es superior a 0,7V.

3.5 Ruptura de ligamentos

Para los materiales ensayados (latón- α , acero inox. AISI 304 y aleación Ag-Au, monocristalino y policristalino) se ha encontrado semejanza entre la distribución de amplitudes (valor de *b*) de las señales de EA generadas durante la propagación de fisuras de CBTIG y CBTIG. Asimismo, también son comparables los valores de los parámetros amplitud media y tiempo de subida medio de las señales. Estos resultados indican que la respuesta de EA de ambos procesos es similar y permiten concluir que las señales de EA durante la propagación de fisuras por CBT, transgranulares o intergranulares, tendrían el mismo origen. Como fue propuesto por Gerberich y col. [6], la EA medida en el presente trabajo puede ser el resultado de la ruptura mecánica de los ligamentos formados durante el avance de la fisura. La propuesta de adjudicar el origen de las señales de EA a la ruptura de ligamentos permite explicar muchas de las observaciones experimentales efectuadas en el presente trabajo. Por ejemplo, como la ruptura de los ligamentos es un proceso que no depende del potencial aplicado al material ni de la velocidad de deformación, los valores medios de los parámetros de las señales de EA registradas durante la propagación de las fisuras deberán ser independientes de dichas variables, tal como fue observado experimentalmente. Asimismo, la diferencia de actividad acústica, evaluada como cantidad de eventos acumulados, registrada durante la propagación de fisuras transgranulares (monocristalinos y policristalinos) e intergranulares (policristalinos) estaría relacionada con el número de fisuras secundarias que se propagan sin alcanzar a provocar la ruptura del material y por consiguiente, con la cantidad de ligamentos que pueden desgarrarse mecánicamente. Para un material monocristalino la ruptura por



CBTTG es, en general, el resultado de la propagación de una única fisura y las pocas fisuras secundarias que se inician penetran muy poco en el interior del material. En consecuencia la baja cantidad de eventos de EA registrados durante la propagación de fisura transgranular en un material monocristalino, corresponden a la poca cantidad de ligamentos que quedan detrás del avance de la fisura.

4. CONCLUSIONES

1. En las condiciones experimentales utilizadas en el presente trabajo fue posible separar las señales de emisión acústica provenientes de los ensayos de corrosión bajo tensión de las señales de emisión acústica generadas por otros procesos que pueden ocurrir simultáneamente (corrosión localizada, disolución del metal, desarrollo de picaduras, ruptura de películas superficiales, evolución de burbujas) a través de la selección del umbral de detección de la misma.
2. La actividad de EA registrada durante la propagación de fisuras por CBTTG es más de un orden de magnitud más alta que la actividad de EA registrada durante la propagación de fisuras por CBTIG.
3. En las condiciones experimentales utilizadas en el presente trabajo, el valor medio del parámetro amplitud de las señales de emisión acústica registradas durante la propagación de una fisura de corrosión bajo tensión transgranular e intergranular es inferior al de las señales registradas en ensayos en medio inerte. Por el contrario, el valor medio del parámetro tiempo de subida de las señales es más alto que el de las señales registradas en ensayos en medio inerte.
4. El proceso que genera la EA cuando en el material se propagan fisuras por CBT estaría relacionado con el mismo mecanismo, posiblemente con la ruptura mecánica de los ligamentos que quedan detrás del avance de la fisura.

5. REFERENCIAS

- [1] S. Yuyama, T. Kishi and Y. Hisamatsu: AE analysis during corrosion, stress corrosion cracking and corrosion fatigue processes; *J. Acoustic Emission*, 1983, **2**, 1-2, pág. 71-93.
- [2] H. Jones, M.A. Friesel: Acoustic emission during pitting and transgranular crack initiation in type 304 ss; *Corrosion*, 1992, **48**, 9, pág. 751-758.
- [3] H. Jones, M.A. Friesel, R. Pathania: Evaluation of stress corrosion cracking initiation using acoustic emission; *Corrosion-NACE*, 1990, **4**, n°499.
- [4] A. Proust, H. Mazille, P. Fleischmann and R. Rothea: Characterization by AE technique of emissive phenomena during stress corrosion cracking on stainless steels; *J. A. Emission*, 2001, **19**, pág. 229-238.
- [5] A. Cakir, S. Tuncell and A. Aydin: Acoustic emission of 316L SS during SSRT test under potentiostatic control; *Corrosion Science*, 1999, **41**, pág. 1175-1181.
- [6] W.W. Gerberich, R.H. Jones, M.A. Friesel, A. Nozue: Acoustic emission monitoring of stress corrosion cracking; *Materials Sci. And Eng.*, 1988, **A103**, pág. 185-191.
- [7] M.G. Alvarez, C. Manfredi, M. Giordano, J.R. Galvele: Anodic rate-controlling steps in TGSCC of α -brass in NaNO_2 solutions; *Corros. Sci.* 1984, **24**, 9, pág. 769-780.



- [8] H. Ulig, K. Grupta, W. Liang: Critical potentials for stress corrosion cracking of 73-37 brass in ammoniacal and tartrate solutions; J. Electrochem. Soc., 1975, **122**, 3, pág. 343-350.
- [9] I.A. Maier, C. Manfredi, J.R. Galvele: The stress corrosion cracking of an austenitic ss in HCl + NaCl sol. at room temperature; Corros. Sci. 1985, **25**, 1, pág. 15-34.
- [10] I.A. Maier and J.R. Galvele: Straining metal electrode technique as a stress corrosion cracking test type 304 ss in NaCl + H₂SO₄ sol; Corrosion 1980, **36**, 2, pág. 60-66.
- [11] J.R. Galvele, I.A. Maier, S.A. Fernandez: Stress corrosion cracking of silver-gold alloys in 1M potassium chloride, potassium bromide and potassium iodide; Corrosion 1996, **52**, 5, pág. 326-330.
- [12] M.G. Alvarez, S. Fernandez, J.R. Galvele: Stress corrosion cracking in single crystals of Ag-Au alloys; Corros. Sci. 2000, **42**, pág. 739-752.
- [13] J.R. Galvele, S.M. de De Micheli, I.L. Muller, S.B. de Wexler, I.L. Alanis: Critical potencial for localized corrosion aluminum; Localized Corrosion, 1978, pp.580. Eds. R. W. Staehle, B. F. Brown, J. Kruger, A. Agrawal, NACE, Houston (TX).
- [14] A.A. Pollock: Acoustic emission amplitude distributions; International Advances in Nondestructive Testing, 1981, **7**, pág. 215-239.
- [15] E.A. Culpan, A.G. Foley: The detection of selective phase corrosion in cast nickel aluminium bronze by acoustic emission techniques; J. of Materials Science, 1982, **17**, pág. 953-964.