

Estudio del comportamiento mecánico y frente a la corrosión bajo tensión de acero inoxidable AISI 304 sometido a laminación

Study of the mechanical and against the corrosion behavior of stainless steel under tension AISI 304 submissive lamination

CLAUDIA ESPAÑA

Ingeniera de Materiales de la Universidad del Valle. Correo electrónico: wiapch@yahoo.es

CESAR COCUY

Ingeniero de Materiales de la Universidad del Valle.

ALEJANDRO VARGAS

Ingeniero de Materiales de la Universidad del Valle.

WILLIAM APERADOR

Físico y Magíster en Metalurgia y Ciencia de los Materiales de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Estudiante Doctorado en Ingeniería con énfasis en Ingeniería de Materiales de la Universidad del Valle.

IRVIN CASTRO

Ingeniero de Materiales de la Universidad del Valle, Estudiante Maestría en Ingeniería con énfasis en Ingeniería de Materiales de la Universidad del Valle.

Clasificación del artículo: investigación (Conciencias)

Fecha de recepción: 14 de abril de 2008

Fecha de aceptación: 5 de agosto de 2008

Palabras clave: AISI 304, laminación, precipitación martensítica, corrosión bajo tensión.

Key words: AISI 304, lamination, martensitic precipitation, stress corrosion cracking.

RESUMEN

En el presente trabajo muestra el estudio de la corrosión bajo tensión del acero inoxidable austenítico AISI 304, empleando 4 porcentajes de deformación (0%, 20%, 25% y 30%) en los cuales se obtuvo un aumento en los planos de cizallamiento o precipitación martensítica a medida que aumenta el porcentaje

de deformación. Se realizaron medidas de resistencia mecánica tales como tenacidad, modulo de elasticidad, resistencia a la tensión, esfuerzo de cedencia y esfuerzo de rotura a cada una de las deformaciones realizadas en este estudio. Para evaluar la resistencia a la corrosión de cada deformación se utilizó la técnica EIS y curvas de polarización en las que se observó

que la resistencia a la corrosión disminuye a medida que aumenta el porcentaje de deformación. Se obtuvo que a medida que se aumentan los porcentajes de laminación la resistencia a la tensión aumenta, inclusive, un 15% con respecto al 0% de laminación, esto genera una disminución en la resistencia a la polarización, la cual disminuye de $53\text{k}\Omega$ en el estado inicial a $23\text{k}\Omega$ en el último nivel de laminación realizado, indicando un aumento en la velocidad de la corrosión en un orden de magnitud.

ABSTRACT

In this paper it is shown the stress corrosion cracking study of an austenitic steel AISI 304, using three strain percents (0%, 20%, 25% and 30%), it was obtained an increase of the shear planes or marten-

sitic precipitation with the deformation increase. Measures of mechanical resistance were made to all specimens such as tenacity, modulus of elasticity, tensile strength and yield point and ultimate strength. It was used electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and Tafel polarization curves to evaluate the corrosion resistance of the specimens and it was obtained a decrease of the corrosion resistance with the increase of the strain percent. Finally, it was found 15% increase of the ultimate strength in comparison to a specimen without strain, which generates a decrease of the polarization resistance from 53Ω in the initial state of the specimen to 23Ω in the state of higher strain, this event reflects an increase of the corrosion rate magnitude.

* * *

1. Introducción

Los aceros inoxidable son muy empleados a nivel industrial, debido a que presentan propiedades mecánicas, anticorrosivas y estéticas que los hacen atractivos para múltiples aplicaciones.

Entre los distintos tipos de aceros inoxidable encontramos los austeníticos, los cuales son empleados para la elaboración de productos por embutido y laminación; estos procesos le ocasionan a este tipo de aceros grados de deformación, que se ven reflejados en un cambio de fase, conocida como transformación martensítica inducida por deformación. Se indica que una transformación en estado sólido es martensítica si es displaciva (sin difusión atómica), de primer orden y está acompañada por una deformación homogénea de la red que conduce a un cambio de estructura cristalina, que es provocada principalmente por una cizalladura, cuya energía de deformación domina la cinética y morfología de la transformación [1]. Dos tipos distintos de martensita se pueden formar a través de este mecanismo: martensita ϵ , con una fase paramagnética (similar a la austenita), llevando la estruc-

tura llena cercana hexagonal (HCP), y α' martensita, ferromagnética, cúbica centrada en el cuerpo (BCC) con los mismos parámetros cristalográficos de la red de la fase ferrita (Tavares, S.S.M, p. 2). Esta fase es magnética, además presenta propiedades muy distintas a las de la fase inicial, debido a que está formada por planos de cizallamiento, en los cuales se encuentran concentrados esfuerzos residuales que hacen el material susceptible a la corrosión, específicamente a fenómenos de corrosión bajo esfuerzo [2].

El comportamiento de la corrosión bajo tensión en aceros inoxidable austeníticos en soluciones con presencia de cloro han sido estudiados con diferentes técnicas electroquímicas [12]. Uno de los métodos para estudiar el comportamiento de la tensión en este acero es aplicar una curva de elongación con diferentes porcentajes, con el fin de analizar su comportamiento para posteriormente predecir su comportamiento a diferentes elongaciones en un medio marino. Los estudios más recientes indican que el estado de elongación bajo la misma condición de carga en un mismo medio permite predecir el tiempo en que este acero falla. Por tanto,

es importante hacer un barrido de elongaciones y no variar el medio electroquímico de evaluación.

El objetivo de este trabajo es generar 4 porcentajes de deformación en el acero inoxidable austenítico, evaluando en cada uno de estos porcentajes las propiedades mecánicas y electroquímicas y luego contrastar sus valores para hallar una correlación, que indique el estado mecánico y electroquímico sometido a las condiciones descritas a continuación.

2. Procedimiento experimental

Para el desarrollo de este estudio se empleó una lámina de acero inoxidable austenítico AISI 304, del cual se elaboraron probetas rectangulares de 100 mm x 10 mm x 2 mm, las cuales fueron laminadas, hasta obtener deformaciones de 20%, 25% y 30%. Posteriormente, se realizaron mediciones de campo magnético, con la ayuda de un Gaussímetro PCE-G28 con sonda triaxial para campos magnéticos en rangos de 0 a 20.000 mGs.

La caracterización mecánica se realizó por medio del ensayo a tracción, según la norma ASTM E8, en una máquina de ensayos universal, las curvas esfuerzo vs. deformación se muestran en la figura 3; igualmente, se realizó una caracterización metalográfica con el fin de observar el cambio de fase que se presenta en cada grado de deformación.

Para estudiar el comportamiento de este acero a la corrosión bajo esfuerzo, se realizó un ensayo acelerado descrito en la norma ASTM G36, en el que se sumergen las probetas durante 8 horas en una solución de $MgCl_2$ al 42 % en ebullición; posterior a este ataque a estas probetas se le realizó caracterización metalográfica, con el fin de observar el comportamiento del acero al ser sometido a estas condiciones.

La caracterización electroquímica se realizó en un equipo Gamry modelo PCI-4, mediante las técnicas de Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS) y curvas de polarización (Tafel), a tempera-

tura ambiente, empleando una celda compuesta por el electrodo de trabajo con un área expuesta de 1 cm^2 , un electrodo de referencia de Ag/AgCl y un alambre de platino como contra electrodo, en una solución de NaCl al 3,5% wt. Preparada con agua destilada, se eligió esta solución, debido a que se utiliza como medio natural agresivo.

Los diagramas de Nyquist se obtuvieron realizando barridos de frecuencia en el rango de 100KHz hasta 1 mHz, empleando una amplitud de la señal sinusoidal de 10 mV. Los diagramas de Tafel se obtuvieron a una velocidad de barrido de 0,5 mV/s en un rango de voltajes de -0,25V vs. Ecorr. a +0,4V vs. Ecorr, empleando un área expuesta de 1 cm^2 . El montaje experimental utilizado para el desarrollo de las pruebas electroquímicas se muestra en la figura 1.

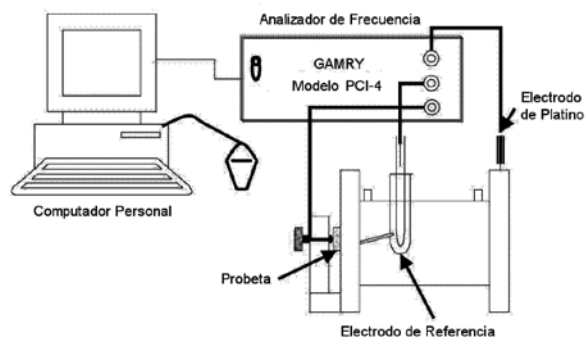


Figura 1. Montaje experimental ensayos de corrosión

3. Resultados

Los resultados obtenidos en los diferentes ensayos se muestran a continuación.

3.1. Análisis metalográfico

Las diferentes microestructuras observadas en las probetas antes y después de la inducción de corrosión bajo esfuerzo se muestran en las figuras 2 y 3; en la figura 2 se observa cómo a medida que va aumentando el porcentaje de laminación se presentan cambios en la

microestructura, reflejados en el aumento de los planos de cizallamiento, debido a las deformaciones a las que fueron sometidas, durante el proceso de laminación; en la figura 2.a), correspondiente a la muestra con 0% de laminación; se observan granos poligonales y maclaje propios de estos aceros cuando han sido sometidos a procesos de laminación en caliente; en las figuras 2 b), c) y d) se observa el aumento progresivo de los planos de cizallamiento o el aumento de la precipitación de martensita inducida por la deformación.

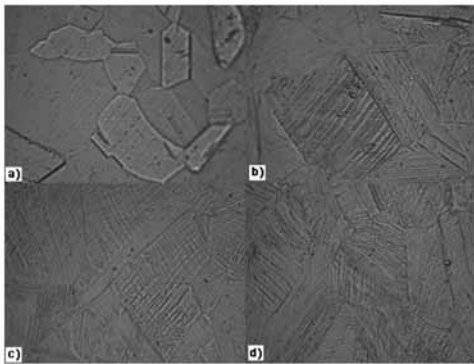


Figura 2. Probetas laminadas a) 0% b) 20% c) 25% d) 30% (500X). Ataque con Vilella

Después de haber sido sometidas al ataque, se observa que la probeta con 0% de laminación, figura 3a) no sufre ningún tipo de daño, por cuanto en las probetas sometidas a 20% y 25% de laminación se observan picado, y en la probeta sometida a un 30% de laminación, se observa el inicio de una grieta intergranular.

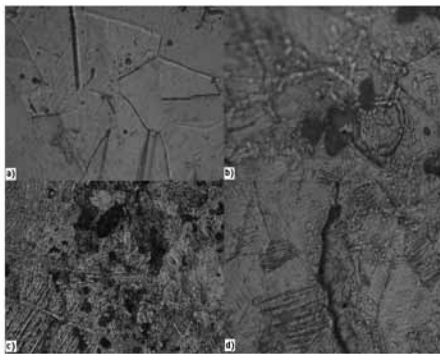


Figura 3. Probetas después del ataque. a) 0% b) 20% c) 25% d) 30% (500X). Atacado con vilella

3.2. Propiedades mecánicas

Las curvas esfuerzo vs. deformación obtenidas para cada porcentaje de deformación se muestran en la figura 4, en la que se nota claramente, el cambio en los valores de las propiedades mecánicas con respecto a la muestra patrón (tabla 1).

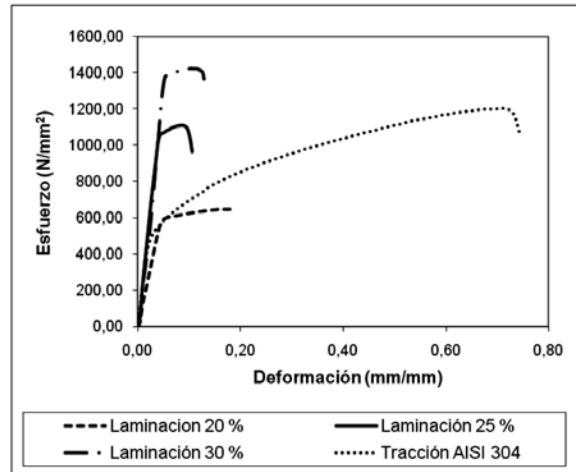


Figura 4. Curvas esfuerzo vs. deformación.

%LAMINACIÓN	TENACIDAD (N/mm²)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm²)	RESISTENCIA A LA TENSIÓN (N/mm²)	ESFUERZO DE CEDENCIA (N/mm²)	ESFUERZO DE ROTURA (N/mm²)
0	706,00	13428,00	1201,67	511,67	1058,33
20	104,30	12337,00	644,79	580,21	644,79
25	95,20	26473,00	1107,58	1015,15	962,12
30	145,40	27054,00	1425,00	1380,15	1325,00

Tabla 1. Propiedades mecánicas.

3.3. Medición campo magnético

Se observa un aumento en el campo magnético, a medida que se eleva el grado de deformación, en concordancia con los antecedentes teóricos y en los que se confirman la precipitación martensítica, los datos se muestran en la tabla 2; su respectiva representación gráfica se muestra en la figura 5 en el cual se nota un aumento exponencial del campo magnético.

Muestra	Campo magnético (mT)
Laminación 0 %	0,00
Laminación 20%	1,01
Laminación 25%	1,70
Laminación 30%	3,00

Tabla 2. Valores de los campos magnéticos según la deformación.

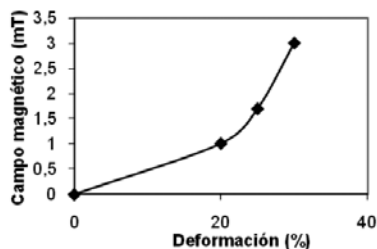


Figura 5. Variación del campo magnético vs. porcentaje de laminación.

3.4 Ensayos electroquímicos

3.4.1 Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS)

En la figura 6 se muestran los diagramas obtenidos para los diferentes materiales ensayados en los cuales se observa que la interacción del material con el medio corrosivo se compone del resultado de la acción capacitiva-resistiva de la doble capa sobre el material además de un elemento difusor una vez se rompe la continuidad de la doble capa.

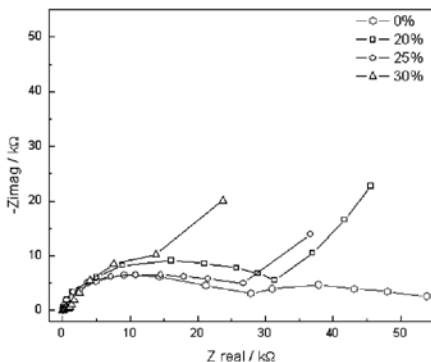


Figura 6. Diagramas de Nyquist de las probetas laminadas.

El análisis de los diagramas se puede direccionar de dos formas: de acuerdo con el desarrollo de la interacción acero-solución salina y de acuerdo con el efecto de la deformación en el comportamiento del acero. En el caso de la muestra de acero sin deformación o sustrato el circuito equivalente corresponde al mostrado en la figura 7.

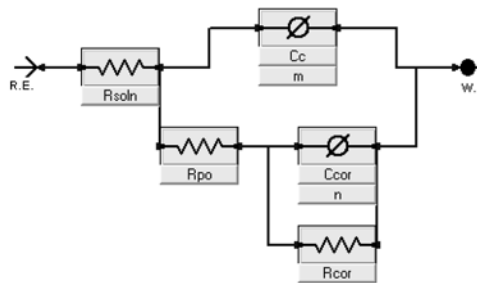


Figura 7. Circuito equivalente probeta sin laminación.

En el caso de las probetas laminadas, la aparición del primer domo se atribuye a la formación de una capa pasiva de Cr_2O_3 sobre el acero inoxidable austenítico, la cual aísla el material del medio, lo que impide que el material siga interactuando con el medio, sin embargo, a frecuencias bajas de potencial aplicado se observa la pérdida en la continuidad de la capa pasiva lo que posibilita la difusión de iones del medio electrolítico hacia el acero, lo cual corresponde al circuito equivalente mostrado en la figura 8.

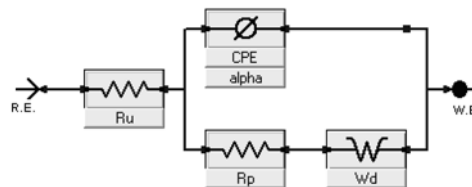


Figura 8. Circuito equivalente probetas laminadas.

Por otro lado, se aprecia que la magnitud de la deformación permanente aplicada sobre el acero genera cambios en el diagrama de Nyquist obtenido,

observándose que con el aumento del porcentaje de deformación plástica, el diagrama tiende a desplazarse hacia valores de impedancia real menores, para frecuencias altas de potencial aplicado, con lo cual el domo obtenido se hace más pequeño. Este hecho se atribuye a que la pasivación del material no ha sido la más eficiente, dado que el rango de frecuencias se hace más estrecho.

Este evento se relaciona directamente con el cambio microestructural que sufre el acero durante el proceso de laminación, ya que el contenido de níquel, cromo y hierro le ubican en el diagrama de fase ternario cerca a una zona de inestabilidad de la austenita.

Dicha inestabilidad se traduce en una fuerte tendencia a la transformación martensítica al aplicar deformación permanente sobre el material en cuestión. Conforme se genera martensita en mayor porcentaje sobre la microestructura del material la capacidad de pasivación del material decrece, debido a que el cromo en la estructura no genera el óxido protector con la misma cinética y magnitud que en el caso sin deformación permanente. Además, la estructura martensítica está fuera del equilibrio termodinámico lo que representa un incremento de la energía libre del material haciéndolo más proclive a la reacción electroquímica con el medio sin dar lugar a una pasivación efectiva.

En términos generales, los diagramas de Nyquist obtenidos muestran que la interacción del acero inoxidable con el medio corrosivo cambia conforme se aplica deformación permanente sobre el material. Sin embargo, los tres diagramas obtenidos para las muestras con deformación permanente revelan que el comportamiento es muy similar entre ellos y se diferencian por la magnitud de los parámetros electroquímicos relacionados con el circuito equivalente, mientras que el diagrama obtenido en el caso del acero sin deformación plástica revela una pasivación completa y efectiva, lo cual arroja, además, un alto valor de resistencia a la polarización.

Finalmente, los valores de resistencia a la polariza-

ción mostrados en la figura 9 corroboran el hecho de que con el aumento de la deformación permanente, la velocidad de corrosión se incrementa, ya que para un potencial aplicado la densidad de corriente de corrosión es mayor. De acuerdo con los valores obtenidos, el decaimiento de la resistencia a la polarización para una deformación del 20% no es tan abrupto como los registrados para porcentajes de deformación de 25 y 30%; este hecho es atribuible a que conforme se aumenta la deformación hay mayor precipitación martensítica sobre la estructura austenítica del acero, lo que indica el paso de una microestructura de carácter noble a una de carácter activo.



Figura 9. Resistencia a la polarización a diferentes niveles de deformación.

3.4.2 Curvas de polarización Tafel

En la figura 10 se muestran las curvas de polarización Tafel, las cuales revelan que conforme se aplica deformación permanente al material el potencial de circuito abierto se desplaza hacia potenciales más activos, al mismo tiempo que las densidades de corriente de corrosión aumentan, esto corrobora el hecho de que la precipitación martensítica inducida sobre la estructura austenítica del acero inoxidable mediante deformación plástica por laminación hace que el material sea más susceptible al fenómeno de corrosión electroquímica, al mismo tiempo que la velocidad de deterioro es mayor (tabla 3).

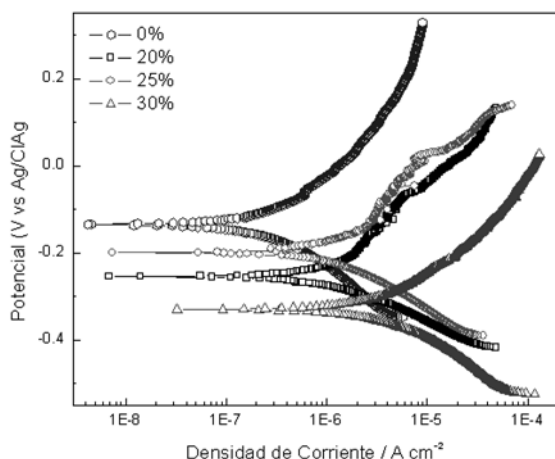


Figura 10. Curvas de polarización Tafel a diferentes niveles de deformación

Es necesario hacer notar que en las probetas sometidas a 20% y 25% de deformación se tienen cambios en la pendiente de la rama anódica para potenciales mayores, lo que indica que, en este caso, el material sufre de fenómenos de corrosión localizada. De igual forma, es necesario mencionar que para el barrido de potencial efectuado sobre la rama anódica para el material de estudio no se revela una zona clara de pasivación.

	0%	20%	25%	30%
I _{corr}	153nA	422nA	5,21uA	9,69uA
Velocidad de corrosion	69,9e-3	1,92E-01	2,381	4,428
R _p	53.811	45.425	36627	23.543

Tabla 3. Parámetros electroquímicos.

5. Conclusiones

- La precipitación martensítica en el acero inoxidable AISI 304 ocasiona pérdida de tenacidad y resiliencia en el material como resultado del endurecimiento por deformación del material, debido a que estas propiedades disminuyen por encima del 15%.

- El cambio microestructural del acero de austenítico a una martensita obtenida por deformación implica un cambio en las propiedades magnéticas, lo cual, a su vez, repercute en la estabilidad termodinámica del acero.
- El cambio microestructural inducido sobre el acero inoxidable AISI 304 mediante deformación permanente por laminación es el responsable del decaimiento de la resistencia a la corrosión del material, ya que disminuye este valor hasta un 56% en el 30% de laminación con respecto al 0%.
- Las zonas de cizallamiento en el acero inoxidable AISI 304 se comportan de forma anódica con respecto a las demás zonas del material, lo que implica la disolución anódica del material sin presencia de pasivación, además, el aumento considerable en la corriente y velocidad de corrosión aumenta progresivamente a medida que se deforma el material.
- Para el material de trabajo fue típico encontrar un elemento difusor (Warburg) como parte del circuito equivalente, lo que no descarta la presencia permanente de fenómenos de corrosión localizada como el picado, debido a la difusión de iones a través de la capa pasiva inestable sobre el material.

6. Agradecimientos

Los autores del presente trabajo expresan su agradecimiento a la Escuela de Ingeniería de Materiales de la Universidad del Valle por el financiamiento para la realización de este trabajo.

Referencias bibliográficas

- [1] M. Cohen, *On the classification of displacive phase transformations. Proceedings of the international conference on martensitic transformations ICOMAT 1979*, Massachusetts Institute of Technology, 1979.
- [2] Dionisio et al. *Precipitación martensítica en aceros inoxidables AISI 304 - corrosión bajo tensión*. EAP Ingeniería Metalúrgica. UNMSM, 2003.
- [3] Z. Wang, J. Zhu /Wear. *Correlation of martensitic transformation and surface mechanical behavior with cavitation erosion resistance for some iron-based alloys*, 2004.
- [4] S.C. Song et al. “Martensitic transformation under impact with high strain rate”. *International Journal of Impact Engineering*, 2004.
- [5] W. Hubner. *Phase transformations in austenitic stainless steels during low temperature tribological stressing*. Tribology Internacional, 2001.
- [6] H.M. Chung et al. *Tensile and stress corrosion cracking properties of type 304 stainless steel*. Nuclear Engineering and Design, 2001.
- [7] E. Nagy et al. *Deformation induced martensitic transformation in stainless steels*. Materials Science and Engineering, 2004.
- [8] I. Meszaros & J. Prohaszka. “Magnetic investigation of the effect of α martensite on the properties of austenitic stainless steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 2005.
- [9] K. Spencer et al. *Strengthening via the formation of strain-induced martensite in stainless steels*, Materials Science and Engineering, 2004.
- [10] S. Kundu & H.K.D.H. Bhadeshia, “Transformation texture in deformed stainless steel Scripta Materialia”. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica - Aplicaciones de los Aceros Inoxidables-B*, 2006.
- [11] R. Nieto Calleja, *Tecnología de los procesos industriales. Corrosión en la industrial de alimentos*, 2005.
- [12] Osama M. Alyousifa, Rokuro Nishimura, *On the stress corrosion cracking and hydrogen embrittlement of sensitized austenitic stainless steels in boiling saturated magnesium chloride solutions: Effect of applied stress*. Corrosion Science, 2008.

Comportamiento de la impedancia de aterrizamiento de una víctima humana impactada por un rayo

Behaviour of a human victim grounding impedance while being stricken by a lightning flash

ÓSCAR DÍAZ

Ingeniero Electricista, Magíster en Ingeniería Eléctrica. Candidato a Doctor en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Uppsala, Suecia. Docente del proyecto curricular de Tecnología en Electricidad, Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: ojdiazc@unal.edu.co

FRANCISCO SANTAMARÍA

Ingeniero Electricista, Magíster en Ingeniería Eléctrica. Candidato a Doctor en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia. Investigador Grupo de Investigación en Compatibilidad Electromagnética de la Universidad Nacional de Colombia (EMCUN). Correo electrónico: fsantamariap@unal.edu.co

ALEXANDER ALARCÓN

Ingeniero Electricista, Magíster en Ingeniería Eléctrica. Investigador Grupo de Investigación en Compatibilidad Electromagnética de la Universidad Nacional de Colombia (EMCUN). Correo electrónico: jalarconv@unal.edu.co

FRANCISCO ROMÁN

Ingeniero Electricista, Magíster en Ingeniería Eléctrica. Ph.D. y Licenciado en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Uppsala, Suecia. Director del Grupo de Investigación en Compatibilidad Electromagnética de la Universidad Nacional de Colombia (EMCUN). Docente Titular del proyecto curricular en Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Correo electrónico: fjromanc@unal.edu.co

Clasificación del artículo: investigación (Ciencias)

Fecha de recepción: 25 de abril de 2008

Fecha de aceptación: 4 de agosto de 2008

Palabras clave: Modelo eléctrico del cuerpo humano, accidentes con rayos, impulsos de tensión tipo rayo, impedancia de tierra.

Key words: Electrical human body model, lightning accident, lightning-like voltage impulse, grounding impedance.

RESUMEN

En 1994 se reportó un accidente debido a un impacto de rayo, en el cual una joven futbolista fue alcanzada por una descarga directa. Este accidente fue analizado y se validó la hipótesis de que un rayo de multiplicidad uno puede tener varios caminos de corriente hacia tierra a través del cuerpo de la víctima. Sin embargo, durante las simulaciones del circuito eléctrico equivalente, la impedancia de la tierra se consideró como una resistencia constante, lo que significaría un comportamiento proporcional entre la tensión y la corriente para corriente continua o de impulso. En realidad, este comportamiento lineal se modifica por la presencia de una capacidad y una inductancia presente en el circuito eléctrico del aterrizamiento de la víctima.

Posteriormente, se modeló la impedancia de aterrizamiento de un zapato ubicado sobre un suelo no homogéneo cuando se le aplican impulsos de tensión tipo rayo. La impedancia de aterrizamiento se calculó por diferentes métodos a partir de los resultados experimentales.

La información obtenida fue analizada y se incluyó una impedancia distinta en el circuito eléctrico del cuerpo humano simulado en EMTP/ATP. Finalmente, se estableció que los resultados medidos y los calculados presentan una buena concordancia.

ABSTRACT

A lightning accident was reported in 1994, in which a young soccer player was injured by a lightning discharge. This accident was studied and the hypothesis of multiple current paths to ground for a human victim being struck by a lightning flash of multiplicity one was probed.

Nevertheless, during the equivalent electrical circuit simulation, the grounding impedance was considered as a single constant resistor, which in fact would suggest a proportional behavior between a voltage and current for DC and impulse cases. Actually this proportional behavior is modified by a capacitance and an inductance present in the grounding equivalent electrical circuit.

We present the results obtained after modeling the grounding impedance of a shoe posed on a non-homogeneous soil subjected to lightning-like voltage impulses. This grounding impedance was calculated from different experimental tests. Finally, the data obtained was analyzed and a modification of the previous modified human body circuit was included in a EMTP/ATP simulation. A good agreement between the measured and calculated results was obtained.

* * *

1. Introducción

El 29 de julio de 1994 se presentó un accidente de rayo en la localidad de Gälve, Suecia. La víctima fue una mujer de 16 años de edad y 1,7 m de estatura que se encontraba jugando fútbol en un campo abierto. Al momento del accidente no estaba lloviendo ni se habían escuchado truenos. Sin embargo, de acuerdo con el Sistema de Detección de Rayos de Suecia (LLP system) fueron registrados 192 eventos en la zona, dentro de los cuales se registró un rayo de polaridad negativa, 16 kA de corriente pico y mul-

tiplicidad uno, que debido a su posición y momento de ocurrencia era el que mayor probabilidad tenía de haber impactado a la víctima.

La figura 1 muestra los caminos de corriente hacia tierra en el lugar donde se encontraba la víctima al momento de ser impactada. Las flechas en la figura muestran los daños por quemadura en el terreno, debido a la corriente de rayo, dos cerca del pie derecho y el otro junto al izquierdo. Las líneas punteadas muestran las trayectorias de la corriente.