

Evaluación del comportamiento mecánico y microestructural del acero inoxidable AISI 201 expuesto a corrosión acelerada

Luís Sidorovas*, Kendra Cedeño, María Rodríguez

Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación, Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

Resumen.-

Se evaluó el comportamiento mecánico y microestructural del acero inoxidable austenítico AISI 201 sometido a corrosión acelerada, mediante dos métodos: El primero según la norma ASTM B 117-07a (Cámara Niebla Salina), las probetas fabricadas fueron expuestas a: 24, 48, 96, 168 y 220 horas. Se destaca que para la exposición de 24 horas, no se observó ningún efecto sobre el material. El segundo método de acuerdo a la norma ASTM A 262-02a (Susceptibilidad al ataque intergranular en acero inoxidable austenítico) las probetas se expusieron a: 24, 48 y 72 horas. Se realizaron ensayos de: Tracción, Doblado, Dureza y Microdureza. Se evaluó la microestructura por Microscopía Óptica, y la determinación de la pérdida de peso permitió evaluar la Velocidad de Corrosión. Todas las probetas se ensayaron en su condición original y después de la exposición al medio corrosivo. El análisis de estos resultados permitió valorar el efecto de la corrosión sobre las propiedades mecánicas y metalográficas del material. Para el primer método (ASTM B-117-07a) los resultados fueron aceptables, se evidenció una buena resistencia a la corrosión en ambiente marino mientras que para el segundo Método (ASTM A 262- 02a) los resultados no fueron satisfactorios.

Palabras clave: corrosión, cámara salina, AISI 201

Mechanical behavior evaluation and microstructural of the AISI 201 stainless steel exposed accelerated corrosion

Abstract.-

Mechanical and microstructural behavior of AISI 201 austenitic stainless steel to accelerated corrosion was evaluated by two methods. The first method was realized according to Standard ASTM B 117 -07a. "Standard Practice for Operating Salt Fog (fog),"the specimens produced were subjected to different exposure periods: 24, 48, 96, 168 and 220 hours. Emphasizes that exposure to 24 hours, no effect on the materials was observed. The second method was developed according to ASTM A 262-02. "Standard Practice for detecting susceptibility to intergranular attack of austenitic stainless steel", and exposed to 24, 48 and 72 hours. Is realized tests: Bending, Tensile, hardness and micro hardness. The microstructure has realized for Optical Microscopy. The weight loss of the material were made and after exposure to determine the rate of corrosion for a quantitative relationship of the effect of corrosion. The analysis of these results allowed assessing the effect of corrosion on the mechanical and metallographic properties of the material. For the first method ASTM B -117 -07a, the results were acceptable, good corrosion resistance was evident in marine environment. For the second method, ASTM A 262 - 02a, the results were not satisfactory, so this should not be applied in environments with stainless steel aggressive acids.

Keywords: corrosion, saline chamber, AISI 201

Recibido: enero 2014

Aceptado: abril 2014.

*Autor para correspondencia

Correo-e: lsidorovas@uc.edu.ve (Luís Sidorovas)

1. Introducción

La corrosión se refiere al deterioro de los metales, no solo lleva al deterioro de la superficie de los componentes y estructuras, sino que también reduce la resistencia e integridad estructural. La resistencia a la corrosión depende de la composición del material y del medio ambiente en particular.

Los aceros inoxidable se caracterizan por su resistencia a la corrosión, alta resistencia y ductilidad, así como por su elevado contenido de cromo (Cr), se les llama Inoxidables porque en presencia de oxígeno (aire), desarrollan una delgada película de óxido de cromo, dura y adherente, que protege el metal de la corrosión (Pasivación). Se dividen en: Austeníticos (Serie 200 y 300), Ferríticos (Serie 400); Martensíticos (Serie 400 y 500), De Endurecimiento por Precipitación (PH) y De Estructura Duplex [1].

Los aceros inoxidable austeníticos constituyen la clase más grande, en términos tanto de números de aleaciones como de utilización. Tienen la estructura cubica centrada en la cara (CCF) a temperatura ambiente y altas; por lo tanto, no son termotratables. No son magnéticos y presentan excelente ductilidad, formabilidad y tenacidad, incluso a temperaturas criogénicas. Tienen en general 16-26 por ciento de Cromo (Cr), hasta 25 por ciento de Níquel (Ni) y hasta 20 por ciento de manganeso (Mn). El Ni y el manganeso son los principales formadores de austenita, aunque el carbono (C) y el N se disuelven fácilmente en la austenita. La serie 2XX contiene algo de N, hasta 7 por ciento de N, y requiere de 5- 20 por ciento de Mn para aumentar la solubilidad del N en la austenita y para prevenir la formación de martensita. El nitrógeno intersticial en solución aumenta la resistencia de la austenita [2].

En la presente investigación se evaluó el comportamiento mecánico y microestructural del Acero Inoxidable AISI 201 expuesto a corrosión acelerada, los ensayos mecánicos realizados fueron de: Tracción, Doblado y Dureza. También se realizó microscopía óptica en su condición original y luego de que el acero AISI 201 fue expuesto a la corrosión acelerada.

Se evaluó el efecto de la corrosión acelerada mediante dos métodos:

El primer método utilizado se basó en la “Norma ASTM B 117-07a.”, Práctica para la Operación de la Cámara Salina (niebla) [3] y el segundo método fue de acuerdo a la norma ASTM A 262-02a. “Norma Práctica para la detección de susceptibilidad al ataque intergranular en acero inoxidable austenítico” [4].

Para el primer método de cámara salina se utilizaron probetas de acero AISI 201 soldadas de tracción y doblado debido a la buena resistencia a la corrosión de este acero, y con la finalidad de observar mejor el efecto del ambiente de la cámara salina, los intervalos de exposición fueron de 24, 48, 96 y 168 horas [3]. Se colocó un tiempo adicional de 220 horas, que se excede de lo sugerido por la norma, esta condición permitirá una evaluación adicional con un tiempo de exposición mayor al de la norma.

Para el segundo método las probetas de tracción y doblado se expusieron a una solución ácida en ebullición de: cobre, sulfato de cobre y ácido sulfúrico al 16 por ciento, Práctica E. Este método permitió evaluar la resistencia a la corrosión del material con relación a los ácidos fuertes. En este caso se tomaron intervalos de tiempo de 24, 48 y 72 horas continuas en la solución ácida en ebullición [4].

2. Procedimiento Experimental

2.1. Material

Tabla 1: Composición Química del Acero AISI 201. (Colada N° 87475)

%C	%Si	%Mn	%P
0,05	0,34	6,66	0,047
%S	%Cr	%Ni	%N
0,001	17,20	3,500	0,208

(Austinox, 2012)

El material utilizado fue un acero inoxidable AISI 201 en forma de lámina de 2.444 mm de largo, 1.222 mm de ancho y un espesor de 2 mm, con una composición química que se observa en la Tabla 1.

2.2. Tratamiento Térmico de Sensibilización

Según normativa ASTM A 262 02a, donde se realizó un tratamiento térmico de sensibilización ($T = 675^{\circ}\text{C}$, Durante 1 Hora) para inducir una condición crítica, haciéndolo más susceptible a ataques químicos y a la formación de carburos [5].

2.3. Ensayos Mecánicos

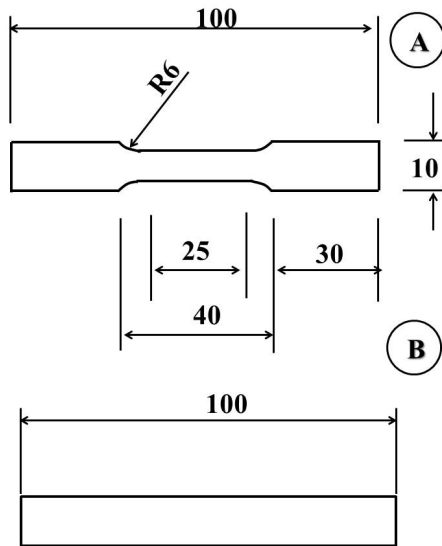


Figura 1: Dimensiones Probeta Sub-Size, (A) Tracción y (B) Doblado.

Las probetas de tracción y doblado fueron mecanizadas en un Fresadora Universal y debido a la limitada disponibilidad de material, la probeta utilizada es de tipo lámina de tamaño reducido (Subsize Specimen) cuyas dimensiones en milímetros se muestran en la Figura 1 [6].

Para determinar las propiedades mecánicas se utilizó una Máquina Universal de Ensayos Mecánicos, Marca Galdabini, con capacidad máxima de 200.000 N (20 Ton) de carga y 200 mm/min de velocidad máxima. Donde se ensayaron 16 probetas para tracción y 16 para Doblado y con dimensiones de acuerdo a las establecidas en las normas ASTM E-8-98 [6].

2.4. Ensayo de Microdureza

Para el ensayo de microdureza se utilizó un Microdurómetro, Marca: Buehler, Modelo Indemet

1104, indentador de base piramidal y por último una Regla graduada, Apreciación

±

0,05mm. Donde se aplicó la carga sobre la probeta de 200 gr por medio del indentador.

2.5. Ensayo de Cámara Salina norma ASTM B-117-07a

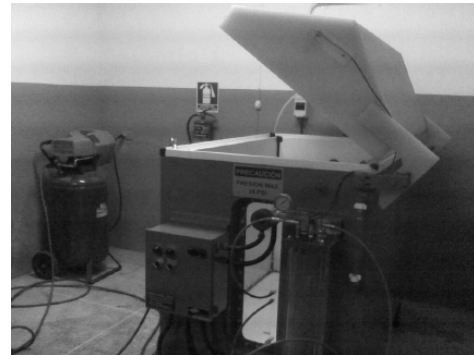


Figura 2: Cámara de Ensayo de Corrosión acelerada (Niebla Salina).

El primer método de corrosión acelerada fue realizado en una cámara de niebla salina Estándar: Marca The GS Equipment, Modelo 0835-0010. Fecha de Calibración: 16/04/2009, que pertenece al Laboratorio de Materiales y Procesos de Fabricación de la Escuela de Ingeniería Mecánica (Ver Figura 2).

2.6. Microscopia Óptica

Se prepararon las probetas para el ensayo metalográfico con un desbaste grueso, fino y muy fino en una pulidora metalográfica con alúmina gruesa y fina [7]. Para observar la microestructura se utilizó agua regia como reactivo de ataque. Las muestras de acero fueron atacadas químicamente con una solución de 15 cc de ácido clorhídrico y 5 cc de ácido nítrico (Agua Regia), según la norma ASTM-407 para el ataque químico de aceros inoxidables, la duración de ataque fue de 20 segundos [8].

Las muestras fueron observadas en un Microscopio Óptico de retina invertida. Marca: Unión

Modelo: MC 86267 Tokio Aumentos de 100X, 200X, 400X, 1000X.

Después se procedió a someter las probetas de tracción y doblado a los ensayos de corrosión acelerada por dos métodos: primer método basado en las Norma B117-07a para los tiempos de exposición: 00, 24, 48, 96 y 168 Horas y un segundo método basado en la ASTM A 262-02a en una solución ácida en ebullición de cobre, sulfato de cobre y ácido sulfúrico al 16 por ciento con tiempos de exposición 24, 48 y 72 horas.

3. Resultados y Discusión

3.1. Evaluación del Efecto de la Corrosión sobre el acero inoxidable AISI 201, Primer Método de Corrosión Acelerada, en cámara salina, basado en la norma ASTM B-117-07a

Propiedades Mecánicas

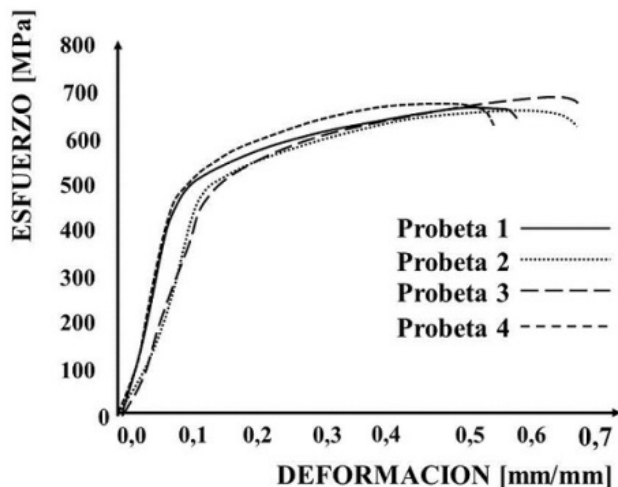


Figura 3: Gráficas de Esfuerzo vs Deformación para las probetas AISI 201.

En la Figura 3 se muestran las Gráficas de Esfuerzo vs Deformación para las probetas AISI 201.

En la Tabla 2 se reportan las propiedades mecánicas del material en su estado inicial.

En la Tabla 3 y Figura 4 se presentan los resultados de las propiedades mecánicas encontradas luego de la exposición acelerada (cámara de

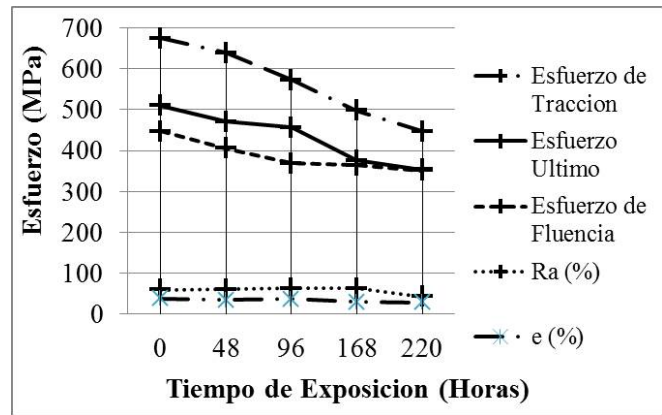


Figura 4: Propiedades Mecánicas del acero inoxidable AISI 201, norma ASTM B-117-07a.

nieblas salina) según la Norma ASTM B 117-07a para 24 horas no se observó ningún cambios, por lo que solo se consideraron tiempos de exposición: 00, 48, 96 y 168 Horas.

En las probetas de tracción y doblado sometidas al ensayo de cámara salina, se observó un leve efecto el cual se reflejó en la disminución admisible en las propiedades mecánicas: esfuerzo máximo o resistencia a la tracción, esfuerzo de fluencia y ductilidad (% e y % RA)

El tiempo de exposición 220 horas, se tomó como una referencia extrema para examinar el efecto de la corrosión.

Ensayo de Microdureza

En la Tabla 4 están los valores promedios de la microdureza Vickers en las diferentes zonas de la unión soldada para las probetas sin exposición: 00 Horas y para todos los demás intervalos de exposición: 48; 96 y 168 horas, según la Norma ASTM B117-07a.

Microscopia Óptica Condición Original

A continuación se presentan las microfotografías del material sin exposición a la corrosión acelerada.

En las Figura 5 se puede apreciar la microestructura austenítica (zona clara) de este acero caracterizada por granos equiaxiales de forma

Tabla 2: Propiedades Mecánicas (Resistencia mecánica y dureza) del acero inoxidable AISI 201 en su estado inicial.

Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	(e) (%)	RA (%)
456 ±2,60	662 ±12,60	635 ±28,69	35,4 ±0,46	59,9 ±1,1
Dureza Brinell (HB) Material base AISI 201			387 ± 6	

Tabla 3: Propiedades Mecánicas de las Probetas del acero inoxidable AISI 201 expuestas ASTM B-117-07a.

Esfuerzos (MPa) y Ductilidad (%)	Tiempo de Exposición (Horas)				
	0	48	96	168	220
σ_y (MPa)	448	405	369	364	351
σ_{MAX} (MPa)	675	639	573	498	447
σ_U (MPa)	510	470	457	376	354
RA (%)	59,85	61,17	62,62	62,90	43,13
e (%)	38,75	35,05	37,14	30,01	28,40

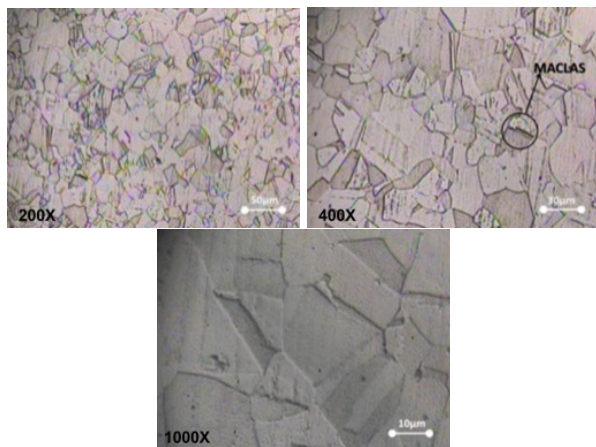


Figura 5: Microestructura acero inoxidable AISI 201 en la condición original.

poligonal. Es evidente además la presencia de maclas, producto igualmente del recocido del material al momento de fabricarse.

El tamaño de grano se puede observar de la Figura 6 (100X), en la que se obtuvo $N = 7$ según la norma E-112 (ver [9]) lo que indica la cantidad de 64 granos/pulg2 con un diámetro nominal aproximado de 0,0359mm [9].

En la Figura 7 se observa la zona afectada por el calor del acero inoxidable AISI 201, una estructura

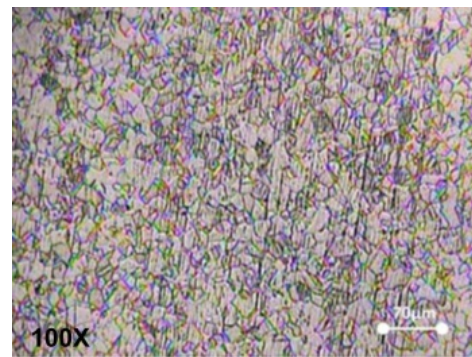


Figura 6: Microestructura en la condición original del acero inoxidable AISI 201.

dendrítica conformada por austenita y carburos de cromo en forma globular dispersos homogéneamente, debido a la variación de la temperatura respecto del tiempo a la que fue sometido el acero austenítico durante el proceso de soldadura, afectando la evolución microestructural. Cuando el acero AISI 201 alcanza valores de temperatura entre 420 y 850°C los elementos se combinan y precipitan en el borde de grano carburo de cromo.

Se muestran la Zona Afectada por el Calor (ZAC) donde los granos son más pequeños, debido al enfriamiento brusco y en donde los delimita un color oscuro que enseña la presencia de

Tabla 4: Valores de microdureza Vickers Probetas del acero inoxidable AISI 201 Soldadas Sin y Con Exposición, Norma ASTM B117-07a. Carga = 200 gr. (Dureza Vickers, HV).

Tiempo de Exposición (Horas)	Zona Soldadura	Zona Afectada por el calor	Zona material base
00	386	380	379
48	379	371	362
96	372	368	359
168	368	362	352
220	363	353	341

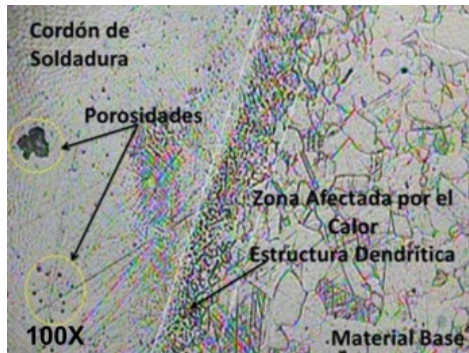


Figura 7: Interfase de la Unión Soldada del acero inoxidable AISI 201 en la condición original.

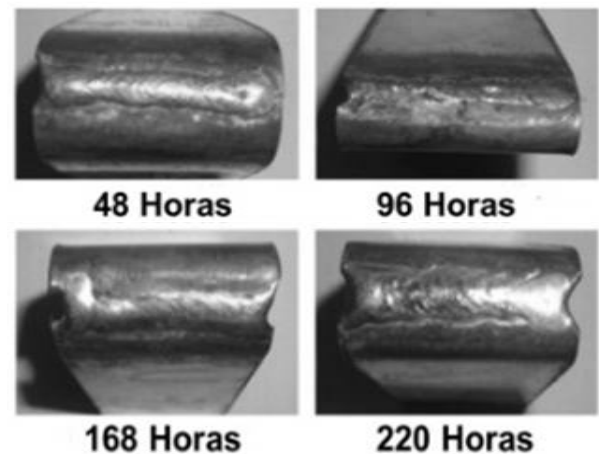


Figura 8: Evaluación del Ensayo de Doblado de las probetas de doblado de acero inoxidable AISI 201 expuestas a la Corrosión Acelerada.

precipitación de carburos, causa del cambio de temperatura por la realización de la soldadura. La Zona del Cordón de Soldadura (ZCS) donde los granos se muestran un poco más grandes a causa del enfriamiento lento en esa zona, y mostrando delimitaciones de granos con precipitación de carburos por las variaciones de temperatura durante el proceso de soldadura.

Ensayo de Doblado

En la Figura 8 se observan muescas en los extremos de la zona doblada como consecuencia del inicio y terminación del cordón de soldadura en dicha zona. No se localizaron fisuras o grietas en la soldadura por lo cual induce un alto grado de ductilidad en el cordón a pesar del efecto que pueda tener la corrosión en las zonas donde se funde el material de aporte con el material base producto de la acumulación de solución salina.

En la Tabla 5 se observó una disminución de la carga requerida para el doblado con relación al grado de exposición, lo cual revela el deterioro del material; pero el propósito central era observar

si se formaban grietas en la unión soldada y también es consecuente que los valores de Fuerza disminuyen a medida que aumenta el período de exposición a la corrosión debido al deterioro progresivo del material expuesto.

Se observó que la mayoría de las probetas que fueron sometidas a corrosión durante un periodo extra de 220 horas rompieron en el cordón de soldadura debido la formación de carburos de cromo en los bordes de grano que tiene como consecuencia la corrosión intergranular. Esto es producto de la heterogeneidad en el tamaño de grano de la zona afectada por el calor.

Para el primer método, la variación de peso promedio debido a la exposición a cámara de niebla salina norma B-117 07a, presentados en la Tabla 6, para las probetas de Tracción y Doblado para los periodos de exposición, estos fueron

Tabla 5: Resultados Ensayo de Doblado en “U”.

Tiempo de exposición (Horas)	Carga experimental (N)
48	5664
96	5598
168	5427
220	4823

Tabla 6: Variación de Peso (ΔW_g) en la Exposición a Cámara de Niebla Salina B-117.

	Tiempo de Exposición (horas)			
(ΔW_g)	48	96	168	220
“T”	0,0002	0,0487	0,1577	0,3729
“U”	0,0000	0,1200	1,1200	1,0900
“V”	0,0000	0,4500	0,1250	2,8500

Dónde:

(ΔW_g): Pérdida de Peso en Gramos

“T”: Probetas de Tracción

“U”: Probetas de Doblado en “U”

“V”: Probetas de Doblado en “V”

insignificante por lo tanto no se consideró el cálculo de la velocidad de corrosión para el primer método de corrosión acelerada.

Microscopia Óptica, expuesta a Corrosión Acelerada

En la Figura 9 se pueden apreciar maclas (A), característico de los aceros austeníticos producto del proceso de laminación al que fue sometido [5], para este período aún no se observa algún cambio o deterioro en la microestructura del material causado por la corrosión. De igual manera se observan los granos equiaxiales (B), no mostró diferencia alguna con la imagen para un periodo de exposición de 48 horas, es decir que la corrosión para este y el período de 24 horas aún no causa efecto alguno.

Además se observó la presencia de óxido de cromo representado por las zonas oscuras que delinean los granos [10], también se observaron tonos más oscuros entre granos, lo cual podría ser por presencia del óxido de cromo a causa

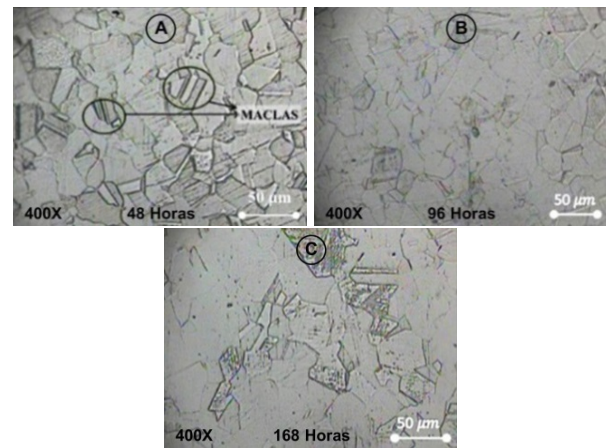


Figura 9: Microestructura del acero inoxidable AISI 201 expuesto a 48, 96 y 168 Horas.

de la exposición al medio corrosivo, se observa ciertos puntos negros debido al ataque corrosivo que ya para un periodo de 168 horas afecta significativamente al material (C), estos pequeños puntos indican la presencia de picaduras en el material, a causa de la corrosión.

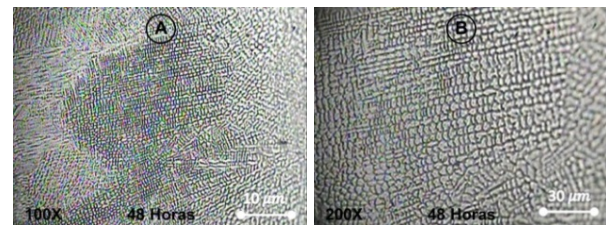


Figura 10: Microscopia del Cordón de Soldadura del acero inoxidable AISI 201.

En la Figura 10 se muestra la microestructura del cordón de soldadura en un periodo de exposición a ambiente salino de 48 horas. Se observa el delineamiento de color oscuro (B), lo que indica el carburo de cromo precipitado a causa de las variaciones de temperatura durante el proceso de soldadura [10], lo que también afecta el tamaño del grano, logrando disminución del mismo, la variación en la orientación en la forma de las estructura de los granos en la imagen se debe a las distintas velocidades de solidificación presentes en el proceso de soldadura que no permite obtener una estructura unidireccional (A),

En la Figura 11 (96 Horas) se muestra el

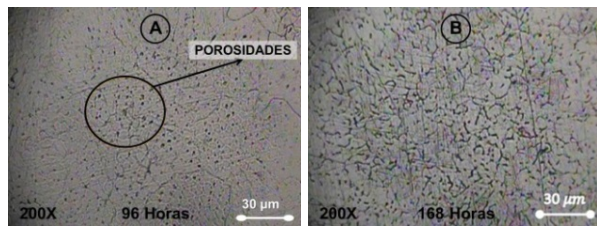


Figura 11: Microestructura del acero inoxidable AISI 201 en el cordón de soldadura, Expuestas a: 96 y 168 horas.

cordón de soldadura se apreció presencia de porosidades posiblemente a causa de impurezas en el alambre de soldadura, como también se observaron los carburos de cromo precipitados [5]. También se observó puntos muy pequeños que demuestran la presencia de picaduras por efecto de la corrosión (A), como también una distribución de granos delineados con una especie de dendritas, posiblemente causa del enfriamiento lento del cordón de soldadura, para esta zona de estudio también hay presencia de corrosión intergranular determinados por el color oscuro que delimita los granos (B).

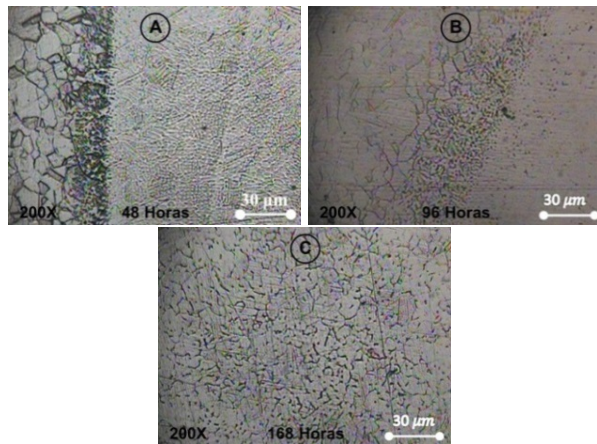


Figura 12: Microscopía interface de soldadura del acero inoxidable AISI 201 expuesto a 24, 96 y 168 Horas.

En la Figura 12 se muestra la microestructura de la interface de soldadura del acero inoxidable AISI 201, para la muestra se observó una diferencia de tamaño de granos a medida que la zona está más alejada del cordón de soldadura (A), esto se debe a la diferencia en la velocidad de enfriamiento de cada una de las zonas afectadas

por la soldadura [10].

Para estas muestras aún no se observa deterioro a causa de la corrosión (B). Se muestra el cordón de soldadura en presencia del medio corrosivo, en donde se aprecian presencia de porosidades (B), se observaron puntos muy pequeños que demuestran la presencia de picaduras por efecto de la corrosión, como también una distribución de granos delineados con una especie de dendritas, posiblemente causa del enfriamiento lento del cordón de soldadura, para esta zona de estudio también hay presencia de corrosión intergranular determinados por el color oscuro que delimita los granos (C).

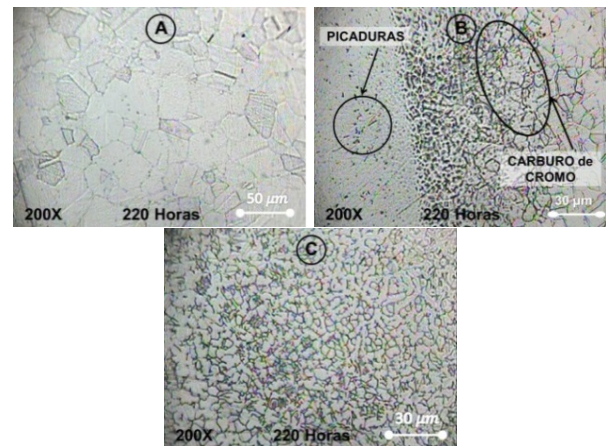


Figura 13: Microscopía de la interface metal base-cordón de soldadura del acero inoxidable AISI 201. (a) Aumento de 100X, (b) Aumento de 200X.

En la Figura 13 se denota la misma microestructura, en donde se denotan granos equiaxiales de tamaño 7 [9] según la norma E-112, y las delimitaciones de los granos de color oscuro determina el óxido de cromo que protege al material del medio corrosivo (A). Se muestra el cordón de soldadura se observan porosidades (B), debido posiblemente a las impurezas del material de aporte seleccionado, como también se observa una estructura dendrítica en la zona afectada por el calor (C), esta microestructura se debe al enfriamiento brusco de las zonas adyacentes al cordón de soldadura y el color oscuro determina el óxido de cromo presente en el material causado por la reacción oxido reducción en presencia del medio corrosivo, en las tres zonas hay presencia

de corrosión por picaduras en el tiempo extra (220 Horas), lo que indicó el ataque por el medio corrosivo afecta pero de forma muy leve, esto se debe a que la película de óxido de cromo presente en la superficie del material si cumple con el objetivo de proteger al material del medio corrosivo. En cada una de las imágenes se visualiza que en general que no hay diferencia en el material base en cuanto a tamaño de grano entre distintos periodos de exposición a la niebla salina, sin embargo si se denota presencia de picaduras en su microestructura originadas por la corrosión.

En cuanto al área del cordón de soldadura y zona afectada por el calor a medida que se aumenta el periodo de exposición al ambiente salino aumenta la presencia de picadura, lo que determina el deterioro del acero inoxidable AISI 201 por la corrosión agregando la presencia de carburos de cromo en forma globular en la zona afectada por el calor, debido a la variación de la temperatura respecto del tiempo a las que fue sometido el acero austenítico durante el proceso de soldadura, afectando la microestructura y denotando la diferencia entre el material base y el cordón de soldadura [11].

3.2. Evaluación del Efecto de la Corrosión sobre el acero inoxidable AISI 201 según la norma ASTM A262 02a, Practica E

Ensayo de Dureza

Tabla 7: Resultados Ensayo de Dureza Vickers del acero inoxidable AISI 201. Carga = 10 gr.

Mediciones	Tiempo de Exposición (horas)			
	0	24	28	72
1	272	297	304	306
2	272	302	322	317
3	312	302	305	312
4	320	317	306	325
5	330	312	317	322
6	325	312	306	322
Promedio	305	307	310	317
Z. A. Corrosión	305	233	227	218

En la Tabla 7 y la Figura 14 se presentan los resultados de la medición de la dureza promedio

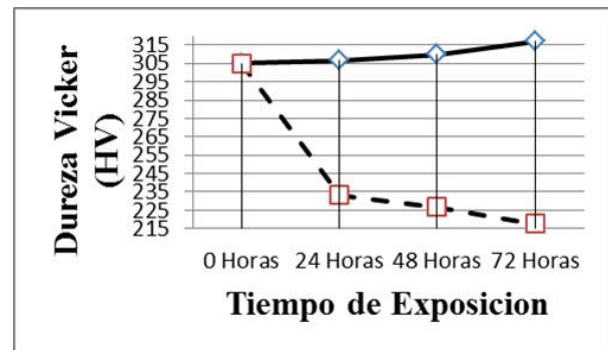


Figura 14: Ensayo de Dureza del Acero Inoxidable AISI 201 carga = 10 g.

del acero inoxidable AISI 201 (Línea Continua) durante los intervalos de exposición y en la condición inicial, además se muestra también la dureza en el borde de la pieza donde la corrosión acelerada fue más agresiva (Línea Discontinua). El endurecimiento inicial del material durante el proceso de fabricación se evidencia por la formación de maclas de deformación que se revelan en la microestructura (ver Figura 9–A). Los valores de dureza (HV) obtenidos en cada intervalo se incrementan levemente con relación al tiempo de exposición del ensayo de corrosión acelerada, esto pudiera ser un efecto de endurecimiento del acero inoxidable AISI 201 durante el ensayo que induce un leve aumento en la dureza del material.

Además cuando se mide la dureza en la zona afectada por la corrosión (en el borde de la muestra) se observa una disminución paulatina de la misma lo que corresponde a un mayor deterioro (Línea Discontinua, Figura 14) del material por efecto de la corrosión acelerada.

Ensayo de Doblado.

En la Figura 15 se muestran las probetas de doblado del acero inoxidable AISI 201 después del ensayo de corrosión y sometidas a la prueba de doblado donde para la exposición de 24 horas se observó la formación de grietas en la superficie del material, este grado de afectación del ataque corrosivo de la solución de la prueba, denota un agrietamiento profundo que penetra el material de la probeta en un espesor considerable del material que se ve a simple vista e inclusive



Figura 15: Probetas de doblado del acero inoxidable AISI 201 expuestas a 24, 48 y 72 Horas.

se incrementa notablemente cuando aumenta el tiempo de exposición (A).

Para 48 horas de exposición se hace más evidente el deterioro del acero inoxidable y se observa que el daño penetra más en la probeta y se comienza a observar que el espesor del material afectado comienza a separarse de la probeta (B).

En la Figura 15 para la exposición de 72 horas, el acero se observa totalmente afectado por la corrosión y es tan severa que se ven las inmensas grietas a todo lo ancho de la probeta, producto de la fragilización del material por efecto de la corrosión acelerada, y en cierta forma espaciada con uniformidad lo cual indica que el material tiene un gran deterioro a lo largo de toda su superficie, esto se hace evidente debido a un ataque uniforme de la solución que trajo como consecuencia la fragilización superficial del material.

Estimación de la Pérdida de Peso y de la Velocidad de Corrosión de las Muestras de Expuestas a la Corrosión Acelerada Práctica E

Con la finalidad de determinar la pérdida de peso del acero inoxidable AISI 201 expuesto a la solución de: Sulfato de Cobre, Cobre y Ácido Sulfúrico al 16 por ciento durante los intervalos de 24, 48 y 72 horas se utilizó la Ecuación (1) para obtener una relación cuantitativa del efecto de la

corrosión.

$$\frac{mm}{mes} = \left(\frac{7290 * W^*}{A * d * t} \right), \quad (1)$$

dónde:

W : es pérdida de peso (g),

A : Área Total de la Muestra (cm^2),

D : Densidad del Material ($7,9 \text{ g/cm}^3$),

t : Tiempo de Exposición (Horas),

$\frac{mm}{mes}$: milímetros por mes.

De igual manera se calculó la velocidad de corrosión para las muestras de ambos aceros por medio de la Ecuación (2).

$$\frac{mm}{mes} * 12 = \frac{mm}{year} \quad (2)$$

con $\frac{mm}{year}$: Milímetros por Año.

En la Tabla 8 se presentan los pesos iniciales y finales en gramos de las muestras evaluadas, así como la pérdida de peso y velocidades de corrosión obtenidas para cada uno de los ensayos realizados. Se consideró una pérdida de peso proporcional en relación a los intervalos de exposición del ensayo de corrosión acelerada, donde progresivamente a medida que se expone más tiempo la disminución del peso es mayor. Además se observó que la Velocidad de Corrosión (V.C.) se mantiene constante con una leve oscilación. Esto nos indica una corrosión constante y homogénea del material a través del tiempo y cuando lo relacionamos con las propiedades mecánicas se establece la poca resistencia mecánica del acero inoxidable austenítico AISI 201 expuesto a los ácidos agresivos.

Microscopia Óptica

Al analizar las imágenes obtenidas utilizando un microscopio óptico, en la Figura 16 se presentan las microfotografías del acero inoxidable AISI 201 expuesto a tres intervalos de tiempo 24, 48 y 72 horas, se destaca una zona clara que corresponde a la microestructura austenítica, también se puede observar los granos equiaxiales de forma poligonal que es una característica de los aceros austeníticos inoxidables, se destaca la presencia de maclas en la microestructura, estas maclas que se han formado en el proceso en caliente al cual someten

Tabla 8: Calculo de la Pérdida de Peso/Muestras y Velocidad de Corrosión del acero inoxidable AISI 201.

Tiempo (Horas)	Muestra	Wi (g)	Wf (g)	ΔW (g)	$\overline{\Delta W}$	A cm ²	V. de C. (mm/Mes)
24	J	12,822	12,593	0,228	0,2468	19,120	0,229657
	G	12,297	12,047	0,2498		18,766	0,255906
	I	12,384	12,139	0,2456		19,155	0,246500
	K	12,205	11,942	0,2633		18,766	0,269736
48	A	13,125	12,464	0,6617	0,6304	18,766	0,338937
	C	13,199	12,638	0,5613		19,207	0,280908
	D	13,264	12,625	0,6399		19,686	0,312460
	C	13,213	12,554	0,6585		19,356	0,327020
72	D	13,204	12,482	0,7225	0,8300	19,653	0,235589
	B	13,065	12,266	0,7994		19,282	0,265669
	H	12,494	11,564	0,9297		19,665	0,302969
	A	12,479	11,611	0,8684		18,852	0,295181

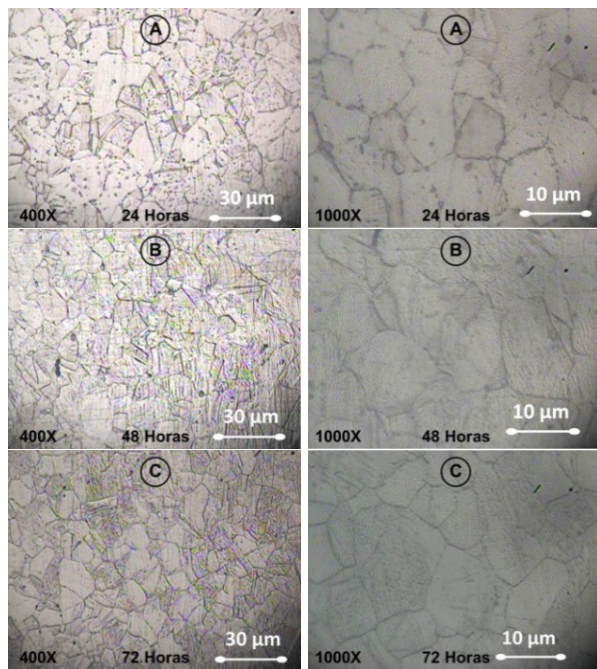


Figura 16: Microestructura del acero inoxidable austenítico AISI 201, en los intervalos de exposición: 24, 48 y 72 Horas. Aumentos de 400X y 1000X.

al material cuando se elabora (A). Además se ven granos más oscuros, que podría representar la martensita (C) [12].

Macroscópicamente se evidenció la corrosión uniforme alrededor de toda la superficie de las probetas pero no se observan cambios significativos en la microestructura de las probetas, aun cuando físicamente el efecto es visualmente observable,

en las microestructura. Pero con el aumento de tiempos de exposición se observa que los bordes de grano se definen mejor, lo cual podría ser por el efecto de la corrosión en el material.

Al formarse los carburos de cromo en los bordes de los granos, se crean zonas empobrecidas de cromo y en consecuencia se establecen pequeñas celdas galvánicas debido a la diferencia de potencial entre los bordes y el resto del grano del metal, lo cual provoca una corrosión galvánica localizada en los bordes del grano, se asume que solamente los límites de grano son atacados y que el ancho de ataque es constante. Sin embargo, en la microestructura se observa que existe variación en el ancho de los límites de grano y que presenta porosidades dentro del grano (Figura 11)-

La corrosión uniforme constituye la disolución casi uniforme de todos los puntos constitutivos de la superficie de un material y que son atacados sensiblemente a la misma velocidad por el medio corrosivo. La consecuencia de la corrosión uniforme es una disminución regular del espesor.

El ataque uniforme se puede prevenir por medio de inhibidores, recubrimientos protección catódica o diseño [8].

4. Conclusiones

En el primer método el acero inoxidable AISI 201 sometido a corrosión en cámara salina basado con la Norma B-117-07a, no se observó afectado

por la corrosión a nivel macroscópico a pesar de apreciarse corrosión localizada en forma de óxido en el material fundido (cordón de soldadura). Tampoco en la microestructura del acero y en la junta soldada expuesta al ambiente corrosivo no presenta grietas, pero si muestras de puntos que indican picadura por corrosión y bordes de grano muy oscuro que indica la corrosión intergranular. Los cordones de soldadura después del ensayo de doblado no presentan grietas ni otro tipo de irregularidades lo que se corresponde con una buena ductilidad y una buena soldabilidad de este acero austenítico inoxidable mediante el procedimiento utilizado.

En el segundo método el acero inoxidable AISI 201 expuesto al ensayo de corrosión acelerada mediante la norma ASTM A 262-02a evidenció el deterioro de las propiedades mecánicas de: esfuerzo máximo, esfuerzo último, donde se observaron variaciones mayores al 5 por ciento, la ductilidad disminuye en el material esto se hace evidente debido a un ataque uniforme de la solución que trajo como consecuencia fragilización de la superficie del material. Las probetas de Doblado muestran una evidencia del grado de deterioro del material inclusive desde el primer intervalo de tiempo. El ensayo de corrosión acelerada no dio resultados satisfactorios para este ensayo porque se observan fisuras bien definidas en los tres intervalos de exposición (24; 48 y 72 horas) y en donde se evidencia que a medida que aumenta el tiempo de exposición en el ensayo del material, este se afecta severamente. Observándose grietas cada vez más grande y el material se ve totalmente fragilizado, inclusive se desprende del material base en el intervalo mayor tiempo de exposición. En las muestras de acero inoxidable AISI 201 se encontró que es susceptible a la corrosión intergranular en los tres intervalos de exposición porque en su microestructura se revela la presencia de formación de carburos en los límites de grano.

Agradecimiento

Los autores desean agradecer al CDCH-UC por el financiamiento, lo cual hizo posible esta investigación. Según propuesta de investigación,

mediante la Inversión Menor CDCH-UC – 1791 - 2012.

Referencias

- [1] Kalpakjian S, y Schmid S. *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. Pearson Educación, México, 1 edition, 2008.
- [2] Pat, L Mangonon. *Ciencia de materiales selección y diseño*. Pretince Hall, 2001.
- [3] ASTM. Ensayo de corrosión acelerado, cámara de niebla salina, norma astm b117 07a. Technical report, ASTM International, 1997.
- [4] ASTM. Prácticas para la detección de susceptibilidad al ataque intergranular en los aceros inoxidables austeníticos, norma astm a262 02a. Technical report, ASTM International, 1993.
- [5] Askeland, D. R. and Phulé, P. P. *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Thompson.
- [6] ASTM. Test methods for tension testing of metallic, norma astm e-8. Technical report, ASTM International, 1998.
- [7] ASTM. Preparation of metallographic specimens, norma astm e-3. Technical report, ASTM International, 1995.
- [8] ASTM. Ataque químico de los materiales, norma astm e-407. Technical report, ASTM International, 1995.
- [9] ASTM. Standard test methods for determining average grain size, norma astm e-112. Technical report, ASTM International, 1996.
- [10] AWS. Manual de soldadura. Technical report, American Welding Society, 2004.
- [11] I. Uzcátegui. Corrosión. Trabajo de Ascenso. Universidad de Carabobo, Naganagua.
- [12] K Mumtaz, S Takahashi, J Echigoya, L Zhang, Y Kamada, and M Sato. Temperature dependence of martensitic transformation in austenitic stainless steel. *Journal of materials science letters*, 22(6):423–427, 2003.