



JIFI2018
JORNADAS DE INVESTIGACIÓN
ENCUENTRO ACADÉMICO INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA UCV

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA CORROSIÓN SOBRE EL ACERO INOXIDABLE AISI 201 SEGÚN LA NORMA ASTM A262 02a, PRACTICA E.

Luis F. Sidorovas G. ^{(1)*} Mariela J. Flores R. ⁽²⁾

¹*Docente del Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación, Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.*

²*Docente Contratado. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial. Universidad de Carabobo Valencia, Venezuela.*

*lsidorovas@gmail.com; lsidorovas@uc.edu.ve

RESUMEN

Se estudió la corrosión acelerada en el acero austenítico inoxidable 201 (AISI 201) según la norma ASTM A 262-02a. "Norma Práctica para la detección de susceptibilidad al ataque intergranular en acero inoxidable austenítico." El método consistió en introducir las probetas dentro de una solución ácida en ebullición compuesta de: cobre, sulfato de cobre y ácido sulfúrico al 16 por ciento durante periodos de exposición continua de: 24, 48 y 72 horas. Se evaluó la resistencia a la corrosión con relación a ácidos fuertes y su efecto en las propiedades mecánicas y metalografías. Para cuantificar y cualificar este efecto se realizaron ensayos de: tracción, doblado, dureza, microdureza, pérdida de peso; microscopía óptica (MO) y microscopía electrónica de barrido (MEB) antes y después de la exposición. Se observó macroscópicamente el deterioro superficial y la disminución de las propiedades mecánicas con relación al tiempo de exposición. Presentó un buen desempeño por lo cual puede ser utilizado en aplicaciones prácticas: Fue susceptible a la corrosión intergranular; no se recomienda usarlo para ácidos fuertes. Es una buena elección para especificaciones de diseño no sean tan exigentes. Tienen menos resistencia a la corrosión, pero mejor resistencia mecánica que los austeníticos clásicos.

Palabras Claves: Corrosión, Susceptibilidad, Propiedades: Mecánicas, Metalográficas, Aceros Inoxidable.

ABSTRACT

Accelerated corrosion in austenitic stainless steel 201 (AISI 201) according to ASTM A 262-02a was studied. "Practical Standard for the Detection of Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steel." The method consisted of introducing the specimens into a boiling acid solution composed of: copper, copper sulfate and sulfuric acid at 16 percent during periods of exposure continuous of: 24, 48 and 72 hours. The corrosion resistance was evaluated in relation to strong acids and their effect on mechanical properties and metallographies. To quantify and qualify this effect tests were performed: traction, bending, hardness, microhardness, weight loss; microscopy (OM) and scanning electron microscopy (SEM) before and after exposure. The surface deterioration and the decrease of the mechanical properties in relation to the time of exposure were observed macroscopically. It presented a good performance for which it can be used in practical applications: It was susceptible to intergranular corrosion; It is not recommended to use it for strong acids. It is a good choice for design specifications are not so

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación. Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.
Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053
Telf.: +58 212-605 1644| <http://www.ing.ucv.ve>

demanding. They have less resistance to corrosion, but better mechanical resistance than the classic austenitics.

Keywords: Corrosion, Susceptibility, Properties: Mechanical, Metallographic, Steels.

INTRODUCCIÓN

Las propiedades más importantes de los aceros inoxidable son su resistencia a la corrosión, alta resistencia mecánica, ductilidad y elevado contenido de cromo (Cr), se les llama inoxidable porque en presencia de oxígeno (aire), desarrollan una película de óxido de cromo (2-3 nm) “capa pasiva”, dura, adherente, invisible, densa y estable, que aísla al acero inoxidable del medio agresivo. Se dividen en: Austeníticos (Serie 200 y 300), Ferríticos (Serie 400); Martensíticos (Serie 400 y 500), de Endurecimiento por Precipitación (PH) y de Estructura Dúplex [1].

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la corrosión en el comportamiento mecánico y microestructural del AISI 201 según la norma ASTM A262-02a, Práctica E [5]. La corrosión es la degradación del material en la interacción con el ambiente en condiciones determinadas [2]. Su aplicación está relacionada a su resistencia a la corrosión, actualmente no sólo interesan las propiedades, sino también el mejor costo posible. El proyectista suele apoyarse en experiencias previas y en la aplicabilidad en diversos ambientes (ácidos, bases, compuestos orgánicos y productos farmacéuticos), lo cual aumenta la incertidumbre en la selección y aplicación. [3]

Los aceros austeníticos tienen estructura cúbica centrada en la cara (CCF) a temperatura ambiente y alta: 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 Mn son los principales formadores de austenita, aunque el Carbono (C) y el Nitrógeno (N) se disuelven fácilmente en la austenita. La serie 2XX contiene hasta 7 por ciento de N, y requiere de 5- 20 por ciento de Mn para aumentar la solubilidad del N en la austenita. [4]

METODOLOGÍA

Se evaluó el deterioro microestructural por MO en estudios de morfología general y MEB con imágenes de gran resolución de rasgos topográficos superficiales y la composición química por medio del detector de energía dispersiva en su condición original y luego de la exposición a la corrosión. Los ensayos mecánicos realizados fueron: Tracción, Doblado y Dureza.

Se fabricaron las probetas definidas por la norma ASTM-8, la cantidad 60: 16 de Tracción (Ver Figura 1), 12 de Doblado [100 mm*10 mm*2 mm], 16 de MO y 16 de MEB.

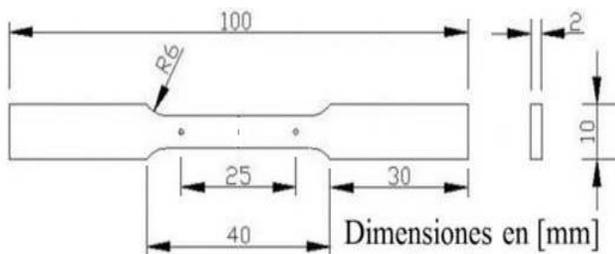


Figura 1. Probeta Sub-Size para el ensayo de tracción.

El material utilizado suministrado por Austinox C.A., con un espesor $t = 2$ mm, largo de 2,444 m y un ancho de 1,222 m. Con una composición que se muestra en la Tabla 1.

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

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%N
0,050	0,340	6,660	0,047	0,001	17,200	3,500	0,208

(Austinox C.A.,2012)

Las probetas fueron sometidas a una temperatura de $T=675$ °C durante una hora (tratamiento de sensibilización) para inducir una condición crítica, haciéndolo más susceptible a ataques químicos y a la formación de carburos [6]. Cuando se alcanzan valores entre 420 y 850°C los elementos se combinan y precipitan en el borde de grano como carburo de cromo. [7]

Se instaló el sistema de corrosión acelerada (Figura 2), se colocaron las probetas en un Erlenmeyer que contiene la solución ácida en ebullición durante 24, 48 y 72 horas de exposición. Después de la exposición, las probetas se lavan, limpian, se secan y se protegen. [5]

Se determinaron las propiedades mecánicas en una Máquina de Tracción Universal propiedad de la Universidad Tecnológica del Centro (UNITEC), según la norma ASTM E-8-98 [8]

Para el ensayo de microdureza se utilizó un Microdurómetro, Marca: Buehler, Modelo Indemet 1104, indentador de base piramidal y Regla graduada, Apreciación $\pm 0,05$ mm. Se aplicó la carga sobre la probeta de 200 gr por medio del indentador (5 indentaciones para cada medición).

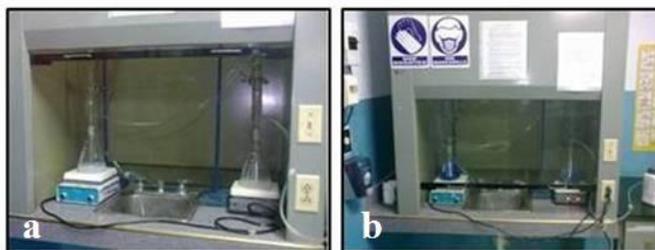


Figura 2. Arreglo Ensayo de Corrosión Acelerada: Fase inicial (a). En funcionamiento (b)

A las probetas embutidas en baquelita, se les aplicó un desbaste grueso 180, fino 600 y muy fino 1200. En la pulidora con alúmina gruesa $1,00 \mu\text{m}$ y para el acabado final $0,05 \mu\text{m}$ [9]. Como reactivo de ataque químico se usó agua regia (15 cc de ácido clorhídrico y 5 cc de ácido nítrico) durante 20 segundos [10], La MO se realizó en un microscopio óptico de retina invertida Modelo: MC 86267 Tokio, con aumentos de 100, 200, 400, 1000X de la Universidad de Carabobo. La MEB y EDS, Composición Química se realizó el Instituto Tecnológico Región Central.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición Química del Material.

La composición química también se examinó con un Analizador Portátil Innov-X Systems. Modelo a-2000. Serial N° 116221 Año 2000 (Figura 3), dando una composición metálica de: $17,95 \pm 0,24$ de Cr, $6,21 \pm 0,17$ de Mn, $71,44 \pm 0,56$ de Fe, $4,33 \pm 0,19$ de Ni y $0,07 \pm 0,01$ Mo. Donde

se observo una correspondencia aceptable con relación a la composición química del material que se presenta en la Tabla 01 del certificado del fabricante.



Figura 3. Equipo Prueba de Chispa.

Los valores de Microdureza Vickers (HV) registrados del material base fueron: Probeta 1(390); Probeta 2(380); Probeta 3 (390). Que en promedio resultó ser 387 HV.

En la Tabla 2 se muestran las Propiedades Mecánicas Antes y después de la exposición.

Tabla 2. Propiedades Mecánicas del Material Antes y Después de la Exposición.

Esfuerzos (MPa)	Material Original 0 (Horas)	Material Con Exposición (Horas)		
		24	48	72
σ_y	456	434	364	305
σ_{MAX}	662	580	566	447
σ_U	635	476	523	418
ϵ	35	18	16	14
RA (%)	60	48	44	41

En la Figura 4 se apreció la microestructura austenítica (zona clara) caracterizada por granos equiaxiales de forma poligonal de los aceros austeníticos y la presencia de maclas, tal vez producto del proceso de laminación al que fue sometido, [6]. Para determinar el tamaño del grano se usó el método de intercepto lineal [11], las micrografías realizadas en cada uno de los aceros inoxidables han determinado un tamaño de grano de 7. Como se observa en la siguiente figura 4.

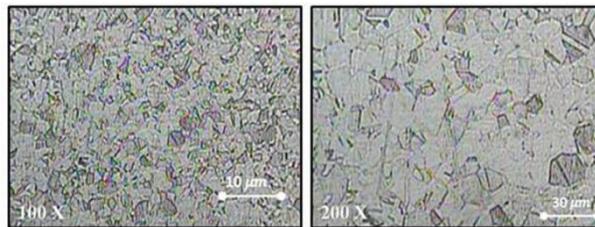


Figura 4. Microscopia del material base con aumentos 100X y 200X

En la Tabla 3 se presentan los resultados de dureza del material en la condición inicial y durante los intervalos de exposición, además la dureza en el borde de la pieza (Figura 5). La dureza promedio crece levemente con relación al tiempo de exposición, esto pudiera ser un efecto de envejecimiento del material en el ensayo que induce ese leve aumento. En la zona más afectada (borde) se observó una disminución de la dureza, que corresponde a un mayor deterioro del material sensibilizado debido al efecto de la corrosión acelerada.

Tabla 3. Resultados Ensayo de Dureza.

Mediciones	Tiempo de Exposición (Horas)			
	0	24	48	72
1	272,1	296,7	304,0	306,4
2	272,1	301,5	321,9	316,6
3	311,5	301,5	304,6	311,5
4	319,6	316,6	306,4	324,5
5	329,6	311,5	316,6	321,9
6	325,1	311,6	306,4	321,9
Promedio	305,0	306,6	310,0	317,1
Z. A Corrosión	305,0	233,2	226,7	217,5

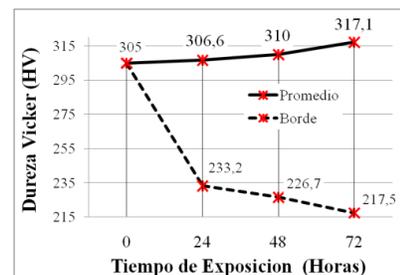


Figura 5. Resultado del Ensayo de Dureza

Las imágenes de microscopía óptica muestran en la Figura 6. Se reveló una microestructura con granos equiaxiales de forma poligonal, característica de los aceros austeníticos inoxidables, la zona clara corresponde austenita, algunas maclas que se pueden haber formado en el proceso de laminación al cual someten al material cuando se elabora (Figura 6, 400X). Además se ven granos más oscuros, que podrían representar la martensita [12]

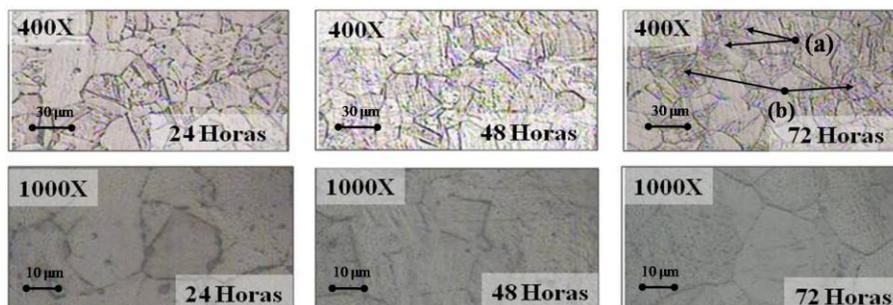


Figura 6. Microscopias de las Probetas Expuestas

Se observó un incremento constante y homogéneo de la corrosión, formarse carburos de cromo en los bordes de granos, se pueden formar zonas empobrecidas de Cr y en consecuencias se establecen pequeñas celdas galvánicas debido a la diferencia de potencial entre los bordes y el resto del grano del metal, lo cual provoca corrosión galvánica localizada en los bordes del grano. Sin embargo, en la microestructura se observa que existe variación en el ancho de los límites de grano y que se presenta picado (a) dentro de los granos (causado tal vez por inclusiones no metálicas) y granos más oscuros, que podría representar martensita (b). [13]

En la Figura 7 probetas de doblado se observó macroscópicamente la aparición de grietas. Para las 24 horas de exposición registró una fuerza de 727 Newton y se inició la formación de grietas en la superficie. A las 48 horas registró una fuerza de 664,5 Newton y se hace más evidente el deterioro y la fragilización del material. En las 72 horas registró una fuerza de 519,5 Newton y se observó totalmente afectado y fragilizado por la corrosión. Estas grietas disminuyen la sección transversal y se requiere menos fuerza para el ensayo de doblado.



Figura 7. Probetas Ensayo de Doblado después de la exposición.

Para obtener una relación cuantitativa del efecto de la corrosión sobre el material se uso la siguiente ecuación (1) y la ecuación (2) para el cálculo de la Velocidad de Corrosión (V_c).

$$V_c = \left(\frac{7290 \cdot W}{A \cdot d \cdot t} \right) \left(\frac{\text{mm}}{\text{Mes}} \right) \quad (1)$$

Dónde: W : es pérdida de peso (g). d : Densidad del Material. ($7,9 \text{ g/cm}^3$)
Constante: 7290 A : Área Total de la muestra (cm^2) t : Tiempo de Exposición. (Horas)

$$\text{Milímetros por mes} \left(\frac{\text{mm}}{\text{mes}} \right) * 12 = \text{Milímetros por año} \quad (2)$$

La Tabla 4 y Figura 8 presenta la variación del peso promedio y la velocidad de corrosión. La pérdida de peso al inicio es proporcional (24H), ayudada por la geometría de las probetas (aristas), luego se estabiliza (48H) para después disminuir un poco. La Velocidad de Corrosión al inicio $V_c=0,182 \text{ mm/mes}$, que se incrementa en las 48 horas ($0,232 \text{ mm/mes}$), para luego declinar un poco a las 72 horas de exposición ($0,204 \text{ mm/mes}$), esto pudiera ser debido a que el mismo oxido ofrece una barrera para la penetración de los ácidos al interior de material.

Tabla 4. Calculo de la Pérdida de Peso y Velocidad de Corrosión

Tiempo (Horas)	Promedio	Velocidad de Corrosión (mm/Mes)
24	0,247	0,182
48	0,630	0,232
72	0,830	0,204

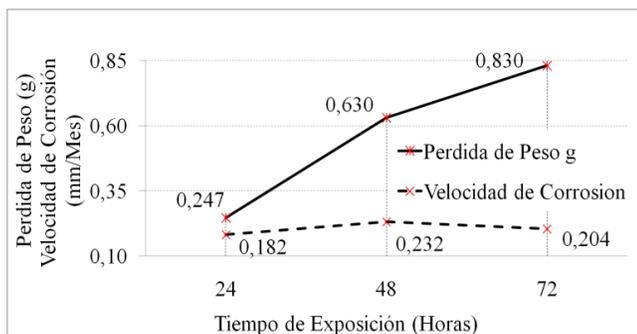


Figura 8. Pérdida de Peso y Velocidad de Corrosión.

En 24 horas se inició la penetración de la corrosión y algunas grietas en la sección de fractura del material (Figura 9), probablemente se forman a partir de inclusiones no metálicas en la zona de estricción que se rompen o decohesionan de la matriz metálica formando hoyuelos que crecen con la deformación plástica generando grietas en la dirección del esfuerzo aplicado, se apreció el clivaje en una superficie rugosa, los bordes muestran fractura dúctil del material (A). Se reveló la morfología de los granos característica de los aceros austeníticos, grietas formadas durante la tracción (B). En C se mostró un leve deterioro y algunas grietas. Se detectaron pequeñas cavidades (hoyuelos) productos tal vez de la deformación del ensayo de tracción (D).

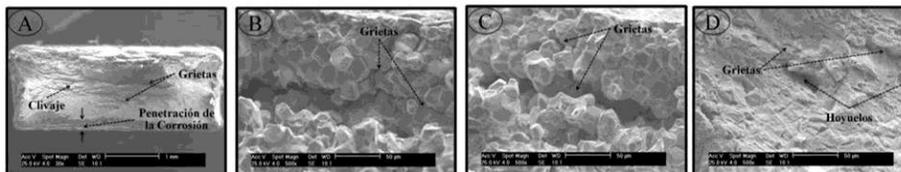


Figura 9. Micrografía MEB material con 24 horas de Exposición.

En 48 horas (Figura 10) se notó mayor penetración de la corrosión y la zona de desgarramiento fibroso del material (fractura dúctil) A. Se percibió el efecto de la corrosión intergranular, con grietas y cavidades B y C. Con la exposición aumentó de la corrosión intergranular D.

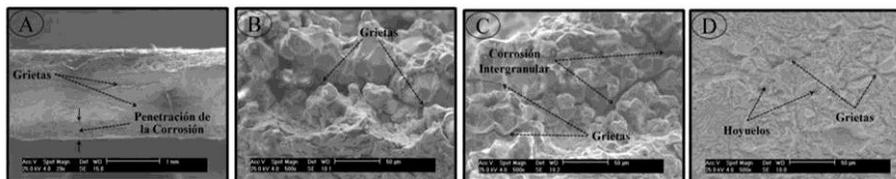


Figura 10. Micrografía MEB material para 48 horas de Exposición.

Para las 72 horas (Figura 11) se comprobó el deterioro significativo y una mayor penetración de la corrosión y disminución de las propiedades mecánicas y dureza. Se apreció rotura del material de tipo dúctil A, gran deterioro por la corrosión intergranular, con grietas y cavidades B y C. Aumenta la presencia de grietas y hoyuelos, Se denota un mayor deterioro con la exposición D.

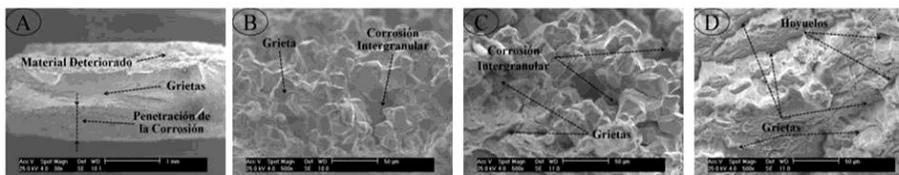


Figura 11. Micrografía MEB material con 72 horas de Exposición.

La Espectroscopia de Energía Dispersiva reveló la composición química para 24, 48, 72 horas (A, B, C) no tuvo desviación significativa respecto a la inicial. Pero en el borde (72 horas, D) si presentó una desviación considerable, no registro Cr en este punto (Ver Figura 12). La presencia de oxígeno pudiera indicar la presencia de óxidos, como producto de corrosión intergranular.

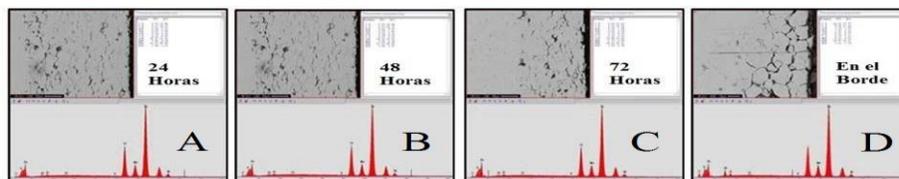


Figura 12. EDS del material en los periodos de Exposición.

Previamente se demostró el buen comportamiento del acero AISI 201 a la corrosión según la norma B117 (ensayo de cámara salina) [14]. En este trabajo también, pero se vio afectado por la corrosión intergranular, no se recomienda su uso en contacto con ácidos fuertes.



CONCLUSIONES

Los resultados a la exposición de corrosión acelerada no fueron satisfactorios a los ácidos fuertes, por lo que “NO” se debe seleccionar el AISI 201 en ambientes con ácidos fuertes.

La mejor resolución y profundidad de las micrografías (MEB) reveló la susceptibilidad a sufrir corrosión intergranular y se evidenció como se incrementa el deterioro a medida que aumenta el tiempo de exposición del material a la corrosión.

Lo ensayos mecánicos antes y después de la exposición permitieron obtener información cualitativa y cuantitativa para medir el efecto de la corrosión acelerada en relación a los periodos de tiempo de exposición, donde las propiedades mecánicas disminuyeron considerablemente con relación al incremento del tiempo de exposición, como expresión del deterioro de material.

Con el incremento actual de los materiales y procesos (precios del Níquel por encima de su promedio) el AISI 201 se presenta como una alternativa viable de algunos aceros inoxidable austeníticos para la industria, se debe establecer la calificación de “Equivalente” para múltiples aplicaciones donde las especificaciones no sean tan exigentes. Nunca como una sustitución.

REFERENCIAS

- [1] Kalpakjian S, y Schmid S. Manufactura, Ingeniería y Tecnología. Pearson Educación, México, 1 edición, 2008.
- [2] Bilurbina L, Liesa F, y Iribarren J. (2003) Corrosión y Protección. Editores UPC. Pp. 110 – 139. Barcelona, España.
- [3] Guanipa Víctor. (2000) Selección de Materiales en Ingeniería. Publicaciones Universidad de Carabobo, Valencia. Venezuela
- [4] Pat, L Mangonon. Ciencia de materiales selección y diseño. Pretince Hall, 2001.
- [5] ASTM. Prácticas para la detección de susceptibilidad al ataque intergranular en los aceros inoxidable austeníticos, norma ASTM A262 02a. Technical report, ASTM International, 1993.
- [6] Askeland, D. R. and Phulé, P. P. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thompson, 2004. Mexico.
- [7] Larre, Va. Metalografía y tratamientos térmicos. 2010.
- [8] ASTM. Test methods for tension testing of metallic, norma ASTM E–8. Technical report, ASTM International, 1998.
- [9] ASTM. Preparation of metallographic specimens, norma ASTM E–3. Technical Report, ASTM International, 1995.
- [10] ASTM. Ataque químico de los materiales, norma ASTM E–407. Technical report, ASTM International, 1995.
- [11] ASTM. Standard test methods for determining average grain size, norma ASTM E–112. Technical report, ASTM International, 1996.
- [12] Kurc-Lisiecka, E. Kalinowska-Ozgowicz, 2011. Structure and mechanical properties of austenitic steel after cold rolling. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Volume 44, issue 2. February 2011
- [13] 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.
- [14] Sidorovas Luis, Cedeño Kendra y Rodríguez María (2014) Evaluación del comportamiento mecánico y microestructural del acero inoxidable AISI 201 expuesto a corrosión acelerada. Revista Ingeniería UC, Vol. 21 N° 01. Pag.50 – 61. Valencia, Venezuela.