

**EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE UN LATÓN (S.A.E. 88 /
A.S.T.M. B 455) Y DE UN BRONCE (S.A.E. 40 / A.S.T.M. B 271) EXPUESTOS A
UNA SOLUCIÓN DE GASOLINA Y ETANOL (5% - 20%)**

**DEIBER JOSÉ CERVANTES SERPA
HAROLDO GONZÁLEZ CABARCAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE METALURGIA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2010**

EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE UN LATÓN (S.A.E. 88 / A.S.T.M. B 455) Y DE UN BRONCE (S.A.E. 40 / A.S.T.M. B 271) EXPUESTOS A UNA SOLUCIÓN DE GASOLINA Y ETANOL (5% - 20%)”.

**DEIBER JOSÉ CERVANTES SERPA
HAROLDO GONZÁLEZ CABARCAS**

*Trabajo De Grado, Presentado Como Requisito Para Optar Al Título De
Ingeniero Metalúrgico*

**DIRECTOR
M.Sc. CUSTODIO VÁSQUEZ QUINTERO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE METALURGIA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2010**

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad a través de mis padres de tener esta vida.

A mis padres por todo el sacrificio realizado, sin ellos y sin su valiente esfuerzo, esto hubiese sido solo un sueño.

A mi hermana y mi bellísima sobrina Sharon que me dio otro motivo más para luchar.

A mis amigos Haroldo, Sergio, Laura, Gerzon, El gabo, y todos aquellos que me acompañaron a vivir estos momentos tan especiales y fructíferos para mi vida. Llenos de gozo y sufrimiento. Y a todos aquellos que vieron en mí una buena persona, gracias.

Deiber José Cervantes Serpa

DEDICATORIA

A Dios por el don de la vida y darme la confianza de despertar cada día con una razón para vivir.

A mis padres Josefina y Haroldo que con su ejemplo han hecho de mi lo seré.

A Melissa por su apoyo aun en los momentos difíciles; por su amor incondicional, por no escucharme y también por hacerlo.

A mis hermanas Joyce y Geidy

En especial a Deiber por aguantar y terminar esto que un día empezó sin saber si terminaría a los amigos que estuvieron aquí, Tuto, Gerson, Laura, Sergio...

“Hay hombres que luchan un día y son buenos; hay otros que luchan un año y son mejores; hay otros que luchan muchos años y son muy buenos. Pero están los que luchan toda la vida esos son los imprescindibles”

Haroldo González Cabarcas

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Custodio Vásquez, por su enseñanza y asesoría brindada, basada en su experiencia como educador.

Al profesor Darío Yesid Peña B. por su paciencia y orientación durante todo el desarrollo y ejecución de nuestro proyecto.

Al Grupo de Investigación en Corrosión G.I.C. por la capacitación, asesoría y acogida en el seno de tan excelente grupo de profesionales.

Al profesor Hugo Estupiñan, por su apoyo y asesoría brindada, basada en su experiencia como investigador.

A nuestras familias y amigos en especial a nuestros padres y hermanos, por su compañía y cariño que nos entregaron.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1 OBJETIVOS	20
1.1 OBJETIVO GENERAL	20
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	20
2 ESTADO DEL ARTE	21
3 MARCO TEÓRICO	23
3.1 CORROSIÓN DE LAS ALEACIONES DE COBRE	23
3.2 Corrosión intersticial	25
3.3 Latón	26
3.4 Bronces	27
3.5 TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE LA CORROSIÓN	28
3.5.1 Espectroscopía de impedancia electroquímica (EIE)	29
3.5.2 Extrapolación Tafel	30
3.6 DEFINICIÓN DE BIOETANOL (C ₂ H ₅ OH)	30
3.7 SEPARACIÓN DE FASES	31
4 METODOLOGÍA	36
4.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	37
4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL	37
4.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL ELECTROLITO	39
4.4 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS (ASTM G1)	39
4.5 COMPOSICIÓN DE LAS ALEACIONES	40
4.6 PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES (ASTM D4806-09)	42

4.7.1 Ensayo método gravimétrico (ASTM D130 y ASTM G31).	43
4.7.2 Ensayo por métodos electroquímicos (ASTM G3- G106-G102).	44
4.7.3 Curvas de extrapolación Tafel	44
4.8 RESULTADOS Y ANÁLISIS	45
4.8.1 Curva extrapolación Tafel	50
4.8.2 Espectroscopía de impedancia electroquímica	55
5 CONCLUSIONES	64
6 RECOMENDACIONES	65
7 BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	71

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de fases del latón (a) y bronce (b)	24
Figura 2. Solubilidad de agua en mezclas gasolina/etanol	33
Figura 3. Proceso de separación de fases	35
Figura 4. Diagrama de flujo de la técnica experimental	36
Figura 5. Gravimetría bronce	46
Figura 7. Tafel Bronce E100 a diferentes tiempos.	52
Figura 8. Tafel Latón E100 a diferentes tiempos.	52
Figura 9. Tafel Latón E20 a diferentes tiempos	53
Figura 10. Tafel Bronce E20 a diferentes tiempos	53
Figura 11. Diagrama de estabilidad de óxidos (Pourbaix)	54
Figura 12. Diagramas Nyquist para el bronce y latón en un t=0 horas	56
Figura 13. Diagramas Nyquist para el bronce y latón en mezcla E10, en diferentes tiempos de inmersión.	57
Figura 14 diagramas Nyquist para el bronce en mezcla E20, en los diferentes tiempos de inmersión.	58
Figura 15 Diagramas Nyquist para el latón en mezcla E20, en los diferentes tiempos de inmersión.	59
Figura 16. Diagrama de Bode experimental Bronce	60
Figura 17. Diagrama de Bode experimental Latón	60
Figura 18. Circuito equivalente para película porosa	61
Figura 19. Circuito equivalente capa menos porosa	62

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Cupones utilizados para las pruebas	28
Fotografía 2. Metalografía a) latón x100 tamaño de grano 0,001 mm b) bronce x5 macrografía	42
Fotografía 3. Preparación de las soluciones	42
Fotografía 4. a) potencióstato A.C.M. b) microscopio óptico olympus Bx 51 c) celda plana d) electrodo de platino	43
Fotografía 5. Montaje electroquímico	45
Fotografía 6. Latón a diferentes tiempos de inmersión a. T0, b. E100 T1, c. E100 T2 d. E10 T1 e. E10 T2 f. E20 T1 g. E20 T2	48
Fotografía 7. Bronce a diferentes tiempos de inmersión a. T0 b. E100 T1 c. E100 T2 d. E10 T1 e. E10 T2 f. E20 T1 g. E20 T2.	49
Fotografía 8. Cambio de color de las mezclas	50

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Modificación requeridas para vehículos	32
Tabla 2. Variables utilizadas	37
Tabla 3. Valores de las variables	38
Tabla 4. Modelo estadístico para la determinación de las pruebas	38
Tabla 5. Diseño de experimentos	38
Tabla 6. Propiedades de la gasolina y el bioetanol	39
Tabla 7. Composición química de las aleaciones.	40
Tabla 8. Reactivos para ataque metalografico.	41
Tabla 9. Ensayo de dureza para el latón y bronce	41
Tabla 10. Datos de gravimetría obtenidos	47
Tabla 11. Datos extrapolación Tafel	51
Tabla 12. Valores de resistencia y capacitancia E100	62

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Manejo de reactivo inflamable	72
Anexo B. Caracterización de la gasolina regular y mezcla E10	73
Anexo C. Caracterización del etanol	74
Anexo D. Diagramas de EIE Para Bronce	75
Anexo E. Diagramas de EIE Para Latón	77
Anexo F. Valores obtenidos mediante la simulación de los circuitos equivalentes	79

RESUMEN

TITULO: “EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE UN LATÓN (S.A.E. 88 / A.S.T.M. B 455) Y DE UN BRONCE (S.A.E. 40 / A.S.T.M. B 271) EXPUESTOS A UNA SOLUCIÓN DE GASOLINA Y ETANOL (5% - 20%)”.*

AUTORES: CERVANTES SERPA, Deiber José y GONZÁLEZ CABARCAS, Haroldo. **

PALABRAS CLAVES: Bioetanol, velocidad de corrosión, latón, bronce.

DESCRIPCIÓN:

Es una realidad que el etanol es uno de los principales reemplazantes de los combustibles fósiles, es por ello, que se realizan investigaciones sobre el comportamiento de diferentes materiales expuestos a este tipo de biocombustibles; debido a que estos ofrecen grandes ventajas, ya sea por su obtención, economía y por ser amigable con el medio ambiente. Sin embargo, la corrosión de los metales en mezclas etanol-gasolina es una de las desventajas relacionadas con este tipo de combustibles. Este estudio tuvo como objetivo caracterizar la corrosión y el comportamiento del latón y el bronce comúnmente encontrados en piezas del sistema motor. Los ensayos estáticos de inmersión se realizaron para mezclas de E10, E20 y E100 a una temperatura de 24°C promedio, para el cual, se prepararon cupones que se mantuvieron inmersos en las diferentes mezclas durante tres tiempos diferentes. A partir de la pérdida de peso resultante, se determinó la corriente de corrosión. Paralelamente se realizaron ensayos electroquímicos a diferentes tiempos de inmersión mediante barridos potenciodinámicos y Espectroscopía de impedancia electroquímica (EIE).

Se determinó que en la velocidad de corrosión incide la estabilidad de las capas formadas, mostrando un decrecimiento en la densidad de corriente con el tiempo de exposición, incrementando la resistencia a la corrosión; dicho incremento puede atribuirse al crecimiento de una capa de óxido estable sobre la superficie metálica.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímica. Escuela de Ingeniería Metalúrgica.

Director. M.Sc. VASQUES QUINTERO, Custodio

ABSTRACT

TITLE: “EVALUATION OF THE CORROSION RATE OF BRASS(S.A.E. 88 / A.S.T.M. B 455) AND OF BRONZE (S.A.E. 40 / A.S.T.M. B271) WHEN EXPOSED TO A GASOLINE AND ETHANOL SOLUTION (5%-20%)”.*

AUTHORS: CERVANTES SERPA, Deiber José Y GONZÁLEZ CABARCAS, Haroldo.**

KEYWORDS: Bioethanol, corrosion rate, brass, bronze.

DESCRIPTION:

It is a fact that ethanol is a major replacement for fossil fuels, which is why research is done on the behavior of different materials exposed to this type of biofuel. Due to they offer great advantages, either for their obtaining, the economy and for being friendly to the environment. However, the corrosion of metals in mixtures ethanol gasoline is one of the disadvantages associated with this type of fuel. This study aimed to characterize the corrosion behavior of brass and bronze pieces commonly found in the motor system. The static tests were performed to dip mixes E10, E20 and E100 at a temperature of 24 ° C average, for which coupons were prepared remained immersed in different mixtures for three different times. From the resulting weight loss was determined corrosion current. Electrochemical tests were performed in parallel at different times of immersion using potentiodynamic sweeps and electrochemical impedance spectroscopy (EIE).

It was found that the corrosion rate affects the stability of the layers formed, showing a decrease in current density with time of exposure, increasing resistance to corrosion, this increase can be attributed to the growth of a stable oxide layer on the metal surface.

* Graduation Project

**Physical Chemistry Faculty of Engineering. School of Metallurgical Engineering.
Director. M.Sc. VASQUES QUINTERO, Custodio

INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de soluciones a la reducción de la contaminación a nivel mundial, se han desarrollado diferentes tipos de energías alternativas. Esto ha dado lugar a los biocombustibles, que se constituyen como uno de los principales reemplazantes de los combustibles fósiles. Es por ello, que poco a poco se van adecuando mezclas de estos biocarburantes con combustibles como la gasolina, como una de las principales cartas para enfrentar los grandes efectos contaminantes, que generan el consumo de energía no renovable, como ejemplo en la industria automotriz.

Una de estas energías alternativas es el bioetanol, que se proyecta como el más importante sustituto de estos combustibles y de mayor desarrollo actualmente; el bioetanol se presenta como una fuente importante de combustible renovable para el sector de la automoción. Sin embargo, aunque los carburantes tradicionales no han causado mayores problemas de corrosión, los biocarburantes con base en etanol, pueden contener una porción de agua que depende de la concentración de los mismos en la mezcla, que puede conducir a la corrosión y posterior fallo de los componentes metálicos en contacto con las mezclas bioetanol-gasolina. De hecho, se han documentado varios casos en los que componentes metálicos (principalmente tanques de almacenamiento, distribución y suministro de biocombustible, en donde la tensión a que están sometidos es la de llenado y vaciado del tanque) han sufrido fallos debido al fenómeno de Corrosión Bajo Tensión (CBT) al contacto con el biocombustible. Por sus características químicas en presencia de humedad, el etanol se separa de la gasolina y por su afinidad por el agua se mezcla con ésta y aumenta su densidad, acumulándose en el fondo del tanque de combustible, lo que hace fácil introducir esta mezcla al motor, dañándolo mecánicamente por ser incompresible. Introducir etanol en depósitos

utilizados previamente para gasolina, sean de gasolineras o vehículos, causa desprendimiento de gomas, oxidación y otro tipo de sedimentos, los cuales ocasionan daños en el motor y partes de componentes. Por su capacidad oxidante genera corrosión en partes metálicas y deterioro de partes plásticas, tuberías y mangueras del sistema de alimentación de combustible de ambos sistemas, carburados e inyectados.

Es preciso determinar entonces, en qué grado, estos factores corrosivos, debido a la implementación cada vez más notoria de este tipo de biocarburantes, influyen en materiales metálicos. El latón y el bronce, son aleaciones para partes automotrices (como depósitos de combustibles, válvulas, bombas, pistas, guías y tubos de radiadores), de aquí la necesidad de realizar un estudio de la corrosión debida a esta mezcla de etanol y gasolina, ya que es causante de problemas en el funcionamiento y confiabilidad de los vehículos.

Debido a la creciente demanda de energías limpias y de combustible amigables con el medio ambiente; en Colombia se han implementado leyes que ayuden a proteger el medio ambiente con el fomento de la producción de bioetanol y resoluciones que alienta una conversión gradual de las fuentes de combustible de automóviles que cambiaran su concentración de etanol hasta el 100% como dice el decreto 1135 expedido el 31 marzo de 2009[10]. Lo cual conlleva a una mayor necesidad de conocer la forma y daño que este tipo de mezclas causa en metales de uso común en la industria automotriz como el latón; y estar preparados para este cambio inminente en los combustibles del mercado, debido a la creciente producción de etanol que se presenta en este país.

Esta investigación hace parte de un proyecto interno de la V.I.E.: Evaluación de la velocidad de corrosión de materiales para la fabricación para partes de vehículos en contacto con mezclas de gasolina y etanol (5% 20%) código 5436

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la corrosión de un Latón (S.A.E. 88 / A.S.T.M. B 455) y un Bronce (S.A.E. 40 / A.S.T.M. B 271) expuesto a diferentes soluciones de gasolina y etanol.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar la velocidad de corrosión de un latón (S.A.E. 88 / A.S.T.M. B 455) y un bronce (S.A.E. 40 / A.S.T.M. B 271) por método gravimétrico expuesto a una solución de gasolina y etanol al 10% y 20%.
- Evaluar la corrosión de un latón (S.A.E. 88 / A.S.T.M. B 455) y de un bronce (S.A.E. 40 / A.S.T.M. B 271) por técnicas electroquímica de Espectroscopía de impedancia electroquímica (EIE) y extrapolación de las pendientes de Tafel en una solución de gasolina y etanol al 5%,10%,15% y 20%.
- Determinar la morfología de daño por corrosión en un latón (S.A.E. 88 / A.S.T.M. B 455) y de un bronce (S.A.E. 40 / A.S.T.M. B 271) expuesto a una solución de gasolina y etanol al 10% y 20%.

2 ESTADO DEL ARTE

Diversos estudios realizados sobre la problemática y beneficios en la utilización del bioetanol como biocombustible, se han puesto en marcha en los últimos 50 años. En especial, trabajos realizados sobre los efectos corrosivos que tiene el etanol en las mezclas con gasolina, sobre los materiales utilizados para su almacenamiento, transporte y de piezas que estarían en contacto con estas mezclas. Para la documentación este trabajo se ha centrado en las investigaciones realizadas en los últimos años.

En el 2009 A.S.M.A. Haseeb, H.H. Masjuki, L.J. Ann y M.A. Fazal analizaron la corrosión característica del cobre y del bronce al plomo en biodiesel de palma, demostrando una mayor corrosión en todos los materiales expuestos en biodiesel, que en los expuestos a diesel. Y que causas importantes a esta degradación son producidas por los tipos de productos de oxidación y contenido de agua libre en la mezcla. [1]

En el año 2009 Gutemberg Souza Pimenta, Adriano Aparecido García Bernal, Vanessa Yumi Nagayassu y Zehbour Panossian en su investigación del mejoramiento de la prueba para la determinación de las propiedades corrosivas de la gasolina y combustibles destilados, atribuyen como un agente importante el agua para la evaluación de corrosividad de los productos derivados del petróleo, ya que está se origina en el proceso de refinado y de la que se incorpora durante el almacenamiento, es por ello que en su implementación para las pruebas agregan un porcentaje de agua para dicho desarrollo.[2]

Según el Investigador Científico Senior del Centro Corporativo de búsqueda y desarrollo de la Bharat Petroleum, Jaya Rawat, en su estudio sobre el efecto de

las mezclas de etanol-gasolina en la tasa de corrosión, en la presencia de diferentes materiales de construcción utilizados para el transporte, almacenamiento y depósitos de carburante, en el año 2008, llega a la deducción que la tasa de corrosión en mezclas de etanol-gasolina aumenta por el incremento de la concentración de etanol, ya que aumenta la susceptibilidad a la humedad por la cantidad cada vez mayor de etanol.[3]

En el estudio realizado por el banco de desarrollo de Brasil y su centro de gestión e estudios estratégicos, sobre Bioetanol de caña de azúcar, energía para el desarrollo sostenible, publicado el 11 de noviembre del 2008, presenta un informe detallado de todo lo referente con el etanol. Ofrece de forma clara su obtención, usos, producción y diferentes parámetros que permiten identificar su utilización en el ámbito de la industria automotriz; como materiales compatibles, problemática, desarrollo y como una de las soluciones a la problemática ambiental. [4]

En el 2004 M.B. Valcarce, M.Vázquez y S.R. de Sánchez en su investigación sobre Determinación de la velocidad de corrosión de latón al aluminio en agua potable, especifican que los ensayos electroquímicos se realizaron en una celda de tres electrodos con Pt como contraelectrodo y un electrodo de calomel saturado (ECS) como referencia. Los electrodos se mantuvieron al potencial de corrosión, con el pre-tratamiento a -1.1 V por 15 minutos, antes de iniciar los ensayos electroquímicos. Para obtener las curvas de polarización se realizó un barrido potenciodinámico en sentido positivo o negativo a una velocidad de barrido de 0.1 mV s⁻¹. Donde observaron que la corriente de corrosión disminuye con el tiempo, lo cual se atribuye a la formación de una película porosa. Los resultados de impedancia electroquímica muestran que a medida que los poros se cierran, la película se torna más compacta y por lo tanto más protectora.[4]

3 MARCO TEÓRICO

3.1 CORROSIÓN DE LAS ALEACIONES DE COBRE

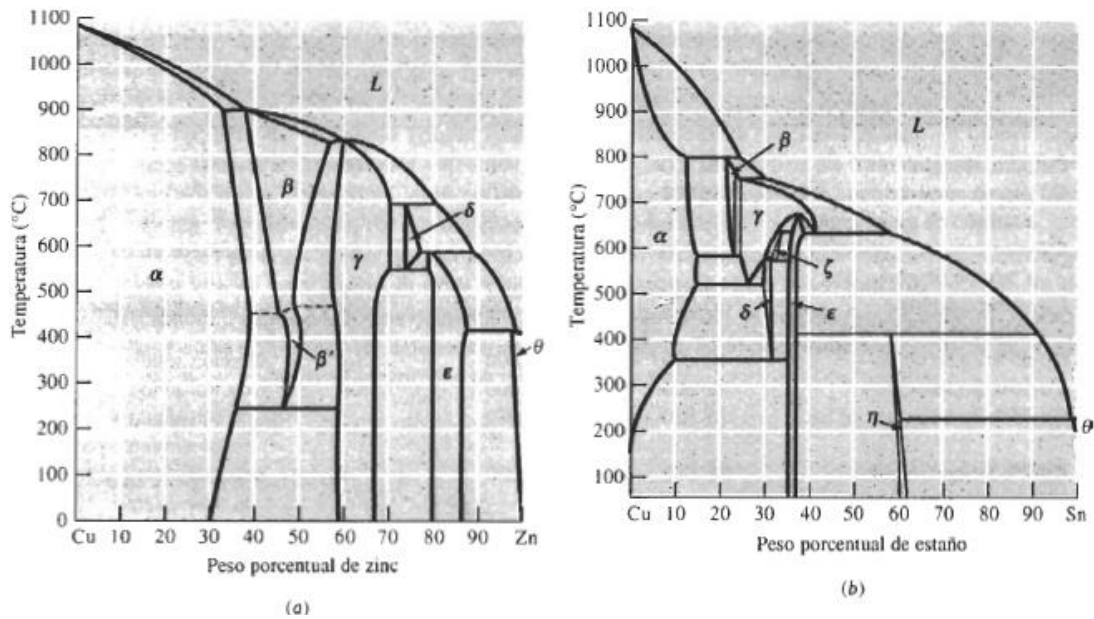
El cobre es susceptible a sufrir picado y corrosión generalizada. El tipo de ataque depende de la composición de la película superficial, la que a su vez está condicionada por la composición del medio [6]. Cuando las aleaciones de cobre contienen cinc como principal elemento de aleación, puede ocurrir que además de picado aparezca la disolución selectiva de cinc que deja una capa porosa rica en cobre. Este proceso se conoce como desalado o deszincificación[8].

Varias aleaciones de cobre contienen grandes cantidades de elementos de aleación y aún así se mantienen como una sola fase. En la Figura 1 se muestran diagramas de fases de Cu-Zn y Cu-Sn. Por ejemplo los Latones, con menos de 40% Zn, forman soluciones sólidas de una sola fase de zinc en el cobre. Las propiedades mecánicas, incluso la elongación se incrementan conforme aumenta el contenido de zinc.

Estas aleaciones se pueden trabajar en frío para conseguir piezas bastante complicadas y, aún así, resistentes a la corrosión. Los bronce al estaño, a menudo conocidos como bronce fosforados, pueden contener hasta el 10% Sn y conservarse en una sola fase.

El diagrama de fase (figura 1) nos indica que la aleación contendrá el compuesto Cu_3Sn (ϵ). Sin embargo, la cinética de la reacción es tan lenta que pudiera no formarse el precipitado. [26]

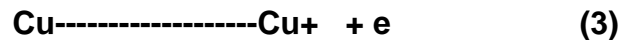
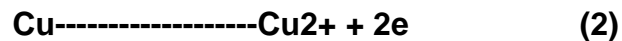
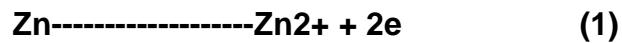
Figura 1. Diagrama de fases del latón (a) y bronce (b)



Fuente: ASKELAND, Donald R., Ciencia e ingeniería de los materiales. E.d. International Thomson Editores. Tercera edición. 1998.

Como la inmensa mayoría de los procesos de corrosión que tienen lugar en medios acuosos, es de índole electroquímico.

El proceso anódico es el paso del metal al estado iónico:



El proceso catódico debe ser el consumo de oxígeno que posee el agua, que es alrededor de 8 mg/L; y el que aporta el etanol (C₂H₅OH).



Ya que el oxígeno se encuentra disuelto, en cierta proporción, en el agua potable. Los potenciales de las aleaciones cobre - zinc no son fundamentalmente distintos de los del metal base cobre. Al aparecer la fase β se produce un ennoblecimiento, que es pequeño en las aleaciones $\alpha + \beta$ el potencial es función del contenido de zinc.

Es decisiva la resistencia de las aleaciones, el que estén constituidas por la fase $\alpha + \beta$ o la fase β , puesto que la aparición de la fase β , origina una disolución preferente de esta disolución sólida menos noble, relacionada con el descincado. En las aleaciones α los dos elementos aleados se disuelven de acuerdo con la relación de Cu a Zn de la aleación, pero en cuanto se sobrepasa un poco el límite de la región $\alpha + \beta$, se encuentra más Zn en la solución en las aleaciones β solo aparece Zn en los productos de la corrosión. El Cobre se reprispita en forma metálica.[20]

Se entiende por dezincificación al proceso de desintegración del Zn integrante en determinadas aleaciones base Cu, como consecuencia de su exposición frente a soluciones líquidas químicamente activas, y por tanto con determinados potenciales redox. La corrosión por dezincificación afecta esencialmente a aquellas aleaciones base cobre con contenidos de Zn superiores al 15%, cuestión muy común en los latones empleados en valvulería y racorería metálica “amarilla”. [12]

3.2 Corrosión intersticial.

La corrosión por grietas es una forma de corrosión localizada que puede presentarse en hendiduras y bajo superficies protegidas, donde pueden existir soluciones estancadas. Esta corrosión es frecuente bajo juntas, válvulas, codos T, nudos, bajo depósitos de poros y fibrosos. La corrosión por grietas se produce en muchos sistemas de aleaciones, como por ejemplo: en cobre y aleaciones. Para

que ocurra este tipo de corrosión, la grieta ha de ser lo suficientemente ancha para permitir que se introduzca el líquido, pero a la vez, lo bastante estrecha para mantener estancado el líquido. Las juntas fibrosas, que pueden actuar como brechas para absorber una solución electrolítica y a la vez mantenerla en contacto con la superficie metálica, son localizaciones ideales para la corrosión por grieta. La diferencia de potencial para formar la pila galvánica, se produce por zonas de diferentes concentraciones de oxígeno.

En el caso del latón, en la corrosión intersticial comienza la disolución del zinc ecuación (1), con un potencial negativo de $-0,76$ V con respecto a hidrógeno, el medio se va haciendo más alcalino y puede llegar a disolverse el cobre (ecuaciones 2 y 3), que tiene potencial positivo. En el cátodo ocurre la ecuación 4 del mecanismo. [25]

3.3 Latón.

El latón, es una aleación de Cobre y Zinc, donde las composiciones pueden ser manejadas para crear un rango de latones con propiedades variables. En los latones industriales, el porcentaje de Zn se mantiene siempre inferior al 50%. Su composición influye en las características mecánicas, la fusibilidad y la capacidad de conformación por fundición, forja, estampación y mecanizado en frío; los lingotes obtenidos pueden transformarse en láminas de diferentes espesores, varillas o cortarse en tiras susceptibles de estirarse para fabricar alambres. Su densidad también depende de su composición. En general, la densidad del latón ronda entre $8,4 \text{ g / cm}^3$ y $8,7 \text{ g / cm}^3$.

Existen tres grupos principales de latones en función de su porcentaje de Zn.

- Latones de primer título, con porcentaje de Zn inferior a 33%
- Latones de segundo título, con porcentaje de Zn de 33 a 45%

- Latones de tercer título, con porcentajes de Zn superior a 45% sin apenas algunas aplicaciones industriales. [20]

Los Latones presentan grandes ventajas sobre todo para la fabricación de piezas de mecánica. Sin embargo, éstas necesitan frecuentemente un maquinado importante, por lo que se busca mejorar la maquinabilidad de los latones agregando reducidos porcentajes de plomo (1% a 3%)[6]

3.4 Bronces

Los tres bronce al estaño más comunes contienen aproximadamente

- Bronces título A , con porcentaje 5%
- Bronces título C , con porcentaje 8%
- Bronces título D , con porcentaje 10%

Contiene por lo general, fósforo desde trazas hasta 0.40%, lo cual mejora sus cualidades para fundición o vaciado, los endurece un poco y ha dado origen al nombre conduce a bronce fosforado; y se caracterizan por sus propiedades elásticas.

Los Bronces al Aluminio, con 5 y 8% de Aluminio, son aplicables por su alta resistencia mecánica y su buena resistencia a la corrosión, y algunas veces a causa de su color dorado. Los que contienen 10% de aluminio y otras aleaciones con cantidades aún mayores, son muy plásticas en caliente y tienen resistencia mecánica excepcionalmente alta, en particular después del tratamiento térmico. Bronces al silicio, se fabrican cierto número de aleaciones en las cuales el Silicio es el elemento principal de aleación, pero también contienen cantidades apreciables de Zinc, hierro, estaño o manganeso. Estas aleaciones son tan resistentes a la corrosión como el cobre y poseen excelentes propiedades para el

trabajo en caliente, combinadas con alta resistencia mecánica. Su característica sobresaliente es la soldabilidad por todos los métodos. Las aleaciones con níquel tienen las mejores propiedades a temperaturas elevadas de todas las aleaciones de cobre.

3.5 TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE LA CORROSIÓN

Método Gravimétrico. La técnica de pérdida de peso es la más simple y la más conocida de todos los métodos de monitoreo de corrosión. Esta técnica se basa en la exposición por un tiempo determinado de una muestra cupón como se muestra en la Fotografía 1 Del mismo material de la estructura supervisada, en el mismo ambiente corrosivo al que la estructura está expuesta.

Fotografía 1. Cupones utilizados para las pruebas



Fuente: los autores

La medición obtenida de los cupones al analizarse es la pérdida de peso que ocurre en la Muestra durante el período de tiempo al que ha sido expuesto, expresada como tasa de corrosión. La simplicidad de esta medición es tal, que la técnica de monitoreo con cupones es el método básico utilizado en muchos programas de inspección de la corrosión. Esta técnica es extremadamente versátil, debido a que los cupones de pérdida de peso pueden ser fabricados en cualquier aleación comercial disponible. Además, utilizando el diseño geométrico apropiado, una amplia variedad de fenómenos corrosivos pueden ser estudiados:

Estrés causado por la corrosión, ataque galvánico, diferencias en la exposición al aire, zonas afectadas por el calor.

Las ventajas de los cupones de pérdida de espesor son: La técnica es aplicable a todos los ambientes (gases, líquidos y flujos con partículas sólidas), Puede realizarse inspección visual, Los depósitos de incrustación pueden ser observados y analizados. La pérdida de peso puede ser fácilmente determinada y la tasa de corrosión puede ser Fácilmente calculada. La corrosión localizada puede ser identificada y medida. La eficiencia de los inhibidores puede ser fácilmente determinada.

La desventaja de la técnica de cupones es que, si la tasa de corrosión varía durante el período de exposición, es decir, si se incrementa o disminuye por alguna causa, dicho evento pico no sería evidenciado en el cupón, sin poderse determinar su duración y su magnitud. [22]

3.5.1 Espectroscopía de impedancia electroquímica (EIE). La técnica de Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIE, por sus siglas en inglés), es un método electroquímico utilizado en estudios de corrosión, el cual se basa en el uso de una señal de corriente alterna (CA) que es aplicada a un electrodo (metal en corrosión) y determinando la respuesta correspondiente. En el caso de los estudios de corrosión que utilizan la técnica de EIE, los espectros de impedancia obtenidos suelen ser analizados mediante circuitos eléctricos, compuestos por componentes tales como resistencias (R), capacitancias (C), inductancias (L), etc. Combinados de tal manera, que reproduzcan los espectros de impedancia medidos. Estos circuitos eléctricos son denominados “circuitos eléctricos equivalentes”.

El método de impedancias, tiene la ventaja de ser utilizado con buen resultado en medios de baja conductividad eléctrica (mezclas gasolina etanol). Las interfaces

no son circuitos resistivos sencillos, sino que involucran además, películas y capas con diferentes propiedades dieléctricas, difusión de especies, desde o hacia la superficie, transferencia de carga, etc. Una celda electroquímica se comporta como una impedancia al aplicar un potencial eléctrico de tipo sinusoidal entre sus electrodos, luego es costumbre en los estudios por esta técnica representar el comportamiento del sistema por circuitos equivalentes. Existen los diagramas de Nyquist, en donde se representa la respuesta de las resistencias en función de la impedancia y el diagrama de Bode, en donde se relacionan resistencias, impedancias, frecuencias y ángulos de fase.[11]

3.5.2 Extrapolación Tafel. Las curvas de polarización muestran la interdependencia, entre el potencial de Electrodo y la intensidad de corriente (relaciones i vs. E). Las curvas de polarización pueden determinarse, aplicando una corriente constante y midiendo el potencial, repitiendo este procedimiento para diversos valores de corriente y midiendo en cada caso el nuevo potencial alcanzado. Otra forma de determinar la relación i - E , es aplicando un potencial constante y determinando la forma en que varía la corriente.

3.6 DEFINICIÓN DE BIOETANOL (C₂H₅OH)

El etanol etílico o etanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar o biomasa. Estos azúcares están combinados en forma de sacarosa, almidón y celulosa.

Actualmente, el bioetanol es el biocombustible con mayor producción mundial. Para su fabricación se pueden utilizar una gran cantidad de materias primas. El etanol se usa en mezclas con la gasolina en concentraciones entre el 5 y el 20%, (E5 y E20) actualmente, las cuales no requieren modificaciones en los motores actuales y pueden funcionar con estas mezclas de etanol deshidratado. Estas

mezclas proporcionan una reducción útil pero limitada de gases de efecto invernadero.

El etanol tiene un octanaje mucho mayor que la gasolina lo que hace que no se queme de forma tan eficiente en los motores convencionales. El uso continuado de combustibles con una alta proporción de etanol, como el E85, produce corrosiones en el metal y en las piezas de goma. [9]

3.7 SEPARACIÓN DE FASES

La posibilidad de que suceda una separación de fases acuosas en una mezcla etanol/gasolina es, a menudo, mencionada como un problema para adoptar el etanol combustible. Hay un temor que, de algún modo, el agua sea introducida con el etanol o se condense en el tanque de combustible de un vehículo, separándose del fondo y causando problemas para el funcionamiento normal del motor. En realidad, este problema tiende a ser tanto menor cuanto mayor sea el agregado de etanol (anhidro) a la gasolina. Mientras que la gasolina pura prácticamente no absorbe agua, el etanol anhidro tiene total afinidad con el agua, y las mezclas gasolina/etanol presentan una capacidad de disolver agua directamente proporcional a la concentración alcohólica, como se indica en el diagrama ternario presentado en la Figura 2. Cuanto más elevada es la concentración de etanol en la gasolina, más ancha es la franja que define la región donde ocurre total solubilidad, como se observa en la parte superior del diagrama. En temperaturas muy bajas, este efecto es menos intenso, pero, de todos modos, el etanol siempre actúa como un co-solvente entre la gasolina y el agua, reduciendo los riesgos de separación de la fase acuosa de la gasolina.

En la tabla 1 se observan las modificaciones que se le realizan a los vehículos para la implementación de estas nuevas mezclas, en los lugares donde ha tenido mayor evolución.

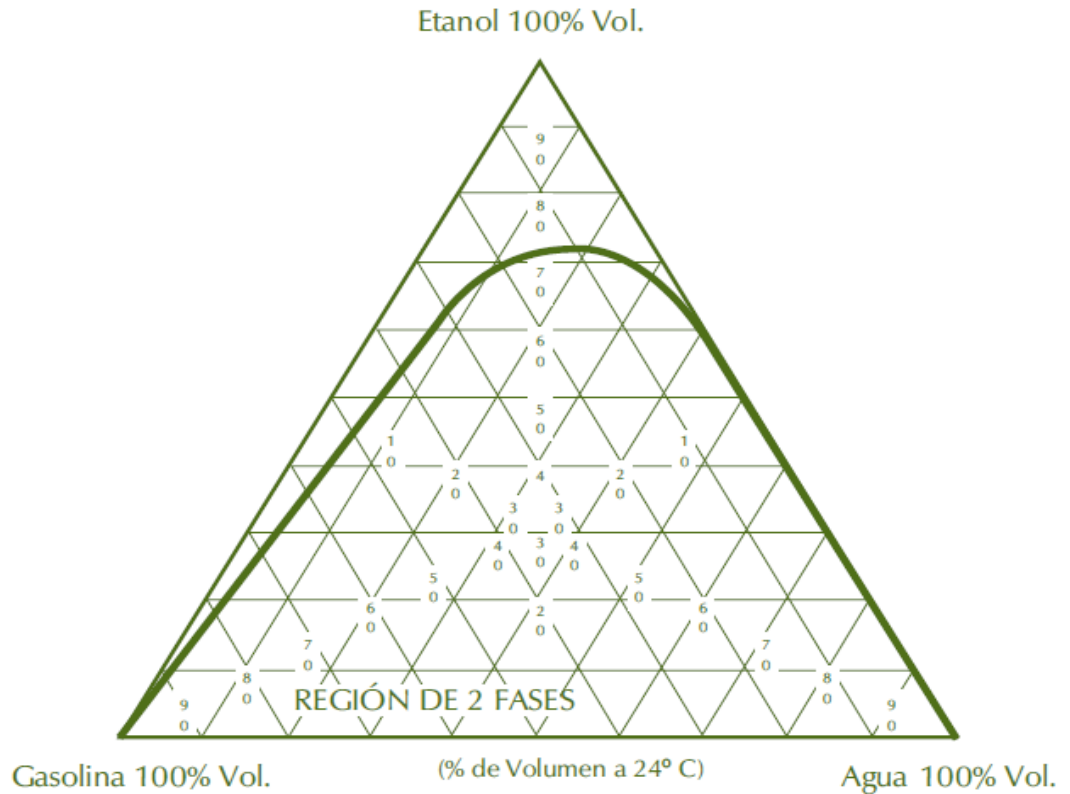
Tabla 1 Modificación requeridas para vehículos

%de bioetanol en la gasolina	Modificación en vehículos de gasolina pura											
	Carburador	Inyección de combustible	Bomba de combustible	Filtro de combustible	Sistema de inyección	Tanque de combustible	Convertor catalítico	Motor básico	Aceite del motor	Colector de admisión	Sistema de escape	Sistema de arranque en frío
≤ 5%	Para cualquier vehículo											
≤ 10%	Para vehículos producidos a partir de 1990											
≤ 25%	Vehículo brasileño a gasolina											
≤ 85%	Vehículo flexible utilizado en los EE.UU. y en Canadá											
≥ 85	Vehículo flexible utilizado en Brasil											
No son necesarias modificaciones						Posiblemente son necesarias modificaciones						

Fuente: Elaborado en base a Joseph Jr (2005)[4]

En la figura 2 se muestran la solubilidad de agua en mezclas gasolina-etanol.

Figura 2. Solubilidad de agua en mezclas gasolina/etanol



Fuente: C.T.C. (1998).[4]

El agua es el principal problema de los combustibles alternativos en base etanol esto debido a un proceso de envejecimiento y de separación de fases descrito en la Figura 3. En la parte (a.) podemos ver el tanque de almacenamiento parcialmente lleno, y mientras el combustible es consumido este volumen es reemplazado por aire el cual contiene un porcentaje de humedad dependiendo del clima donde se encuentre, para compensar la pérdida de presión en el sistema de suministro de combustible, como se observa en la parte (c.) de la misma figura.

El descenso en la temperatura hace que la humedad presente en el aire que está compensando la presión del sistema se condense en forma de pequeñas gotas que van al fondo del tanque; no obstante a este proceso de envejecimiento por

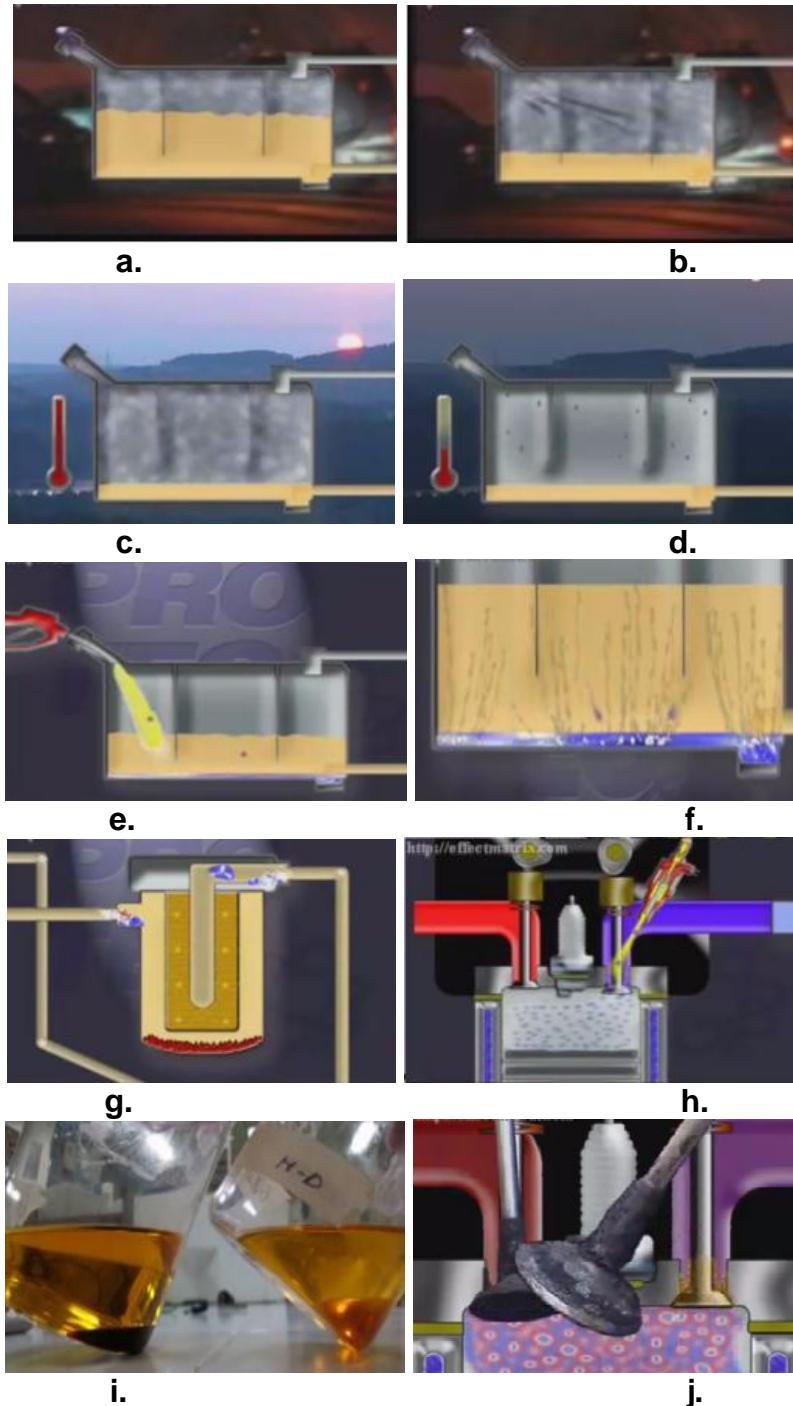
almacenamiento, se encuentra la gran afinidad que tiene el etanol con el agua a lo cual se le suma el agua que ya se ha condensado en el depósito y la que el etanol es capaz de disolver por sí solo como se puede ver en la parte (e.); mientras el agua disuelta en el etanol viaja al fondo del tanque arrastran consigo el mismo porcentaje de etanol, el cual se deposita en el fondo del tanque (f.); la bomba de combustible distribuye esta mezcla altamente agresiva por todo el sistema de combustible impulsando con ella algunos productos de corrosión ya producidos anteriormente, dicha mezcla de etanol y agua supera fácilmente el filtro de combustible (g.) y afecta a los materiales y el resto de componentes descomponiéndolos.

El filtro de combustible atrapa los elementos más grandes que están mezclados con el etanol gasolina y agua pero no todos quedan ahí, como se puede ver en la parte (g.); los que logran pasar obstruye el diámetro de la sección transversal del sistema de inyección causando un aumento en la presión del sistema lo cual daña las juntas y empaque.

El etanol presenta un problema para la cámara de combustión, ya que no tiene propiedades lubricantes lo cual genera problemas termodinámicos por el aumento de temperatura en las paredes del cilindro, las gotas de agua que llegan a la cámara de combustión generando una combustión incompleta generando ruidos y aumentando el consumo de combustible y desarrollando depósitos en los asientos de las válvulas (j.), inyectores piezas fundidas, racorería y piezas menudas, en general, que estén o no en contacto directo con el combustible o con los productos de combustión, los cuales disminuyen la vida útil de los componentes.[30]

En la figura 3 se observa el proceso de separación de fases que ocurre en el tanque de combustible de un vehículo.

Figura 3. Proceso de separación de fases



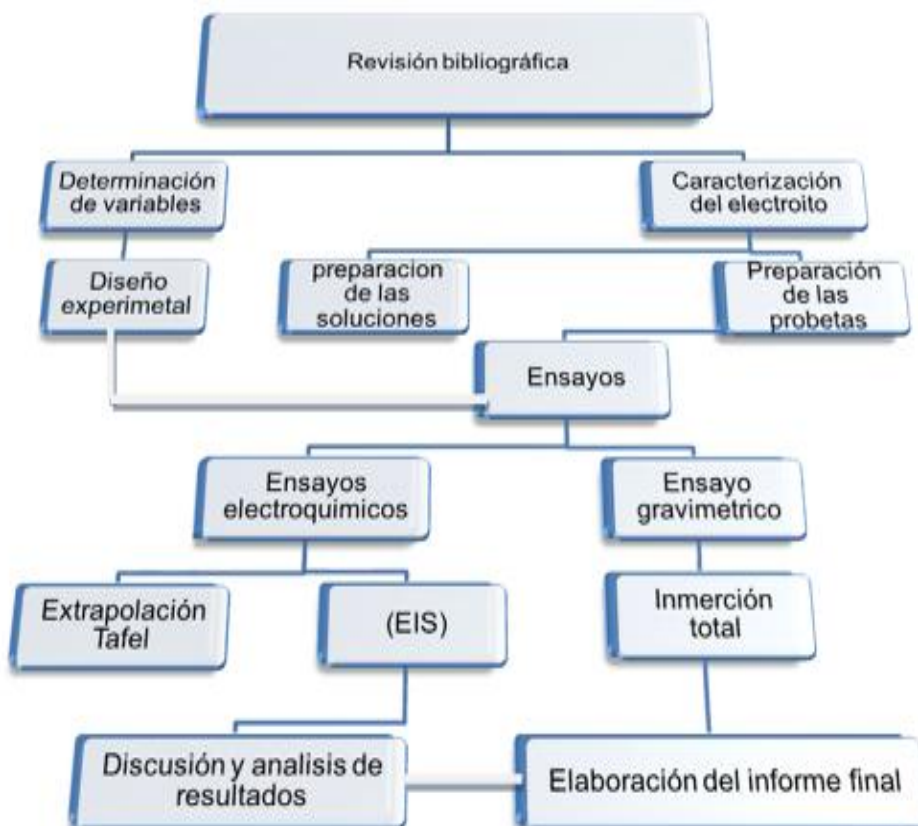
Fuente: Total video - <http://effectmatrix.com> [30]

4 METODOLOGÍA

Para la realización de este proyecto grado se trabajó con la secuencia mostrada en la figura 4, con el fin de cumplir los objetivos trazados estudio de dos aleaciones de cobre en una solución de gasolina etanol. En la figura 4 se muestra el diagrama metodológico desarrollado.

Es importante antes del inicio de esta investigación tener presente las medidas de seguridad para el manejo de reactivos altamente inflamables.[31] Protocolo de seguridad del etanol ver Anexo A.

Figura 4. Diagrama de flujo de la técnica experimental



Fuente: Los autores

4.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se llevo a cabo una revisión bibliográfica de diferentes orígenes: como libros, revistas, páginas Web, artículos, trabajos de grado, normas y la interacción e intercambio de información en el grupo de investigación en corrosión UIS (G.I.C) con información relacionada con los siguientes temas: Funcionamiento y proceso de corrosión en las aleaciones de cobre. Monitoreo de la corrosión por técnicas electroquímicas y gravimétricas. Interpretación de curvas de resultados. Estudio de estabilidad de la película pasiva y caracterización de óxidos por EIE.

4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

En la Tabla 2, 3, 4 y 5, se presenta un resumen de las variables que más influyeron en los ensayos propuestos, con sus respectivos niveles.

Tabla 2. Variables utilizadas

<i>Variable</i>	<i>Nivel</i>
<i>Temperatura</i>	<i>Constante</i>
<i>Concentración de bioetanol</i>	<i>Variable</i>
<i>Tiempo de exposición</i>	<i>Variable</i>
<i>material</i>	<i>Variable</i>

Fuente: Los autores

Por medio de un paquete estadístico, se determinó un modelo de 2^n . Donde: 2 Es el número de niveles n: es el número de variables Por consiguiente, se obtuvo un modelo de 2^3 , y se considero una repetición, lo cual da un total de 16 ensayos, estableciendo: (1.0) punto máximo y (-1.0) punto mínimo y se determinaron los valores respectivamente para cada variable, como se muestra en la tabla 3, los

valores por seguridad estadística se repetirán para su análisis con un orden de dos bloques aleatoriamente y quedan establecidas de la siguiente forma.

Tabla 3. Valores de las variables

	Punto mínimo (-1.0)	Punto máximo (1.0)
% Etanol	10	20
Tiempo exposición (h)	192	384
Material	Bronce	Latón

Fuente: Los autores

Tabla 4. Modelo estadístico para la determinación de las pruebas

Bloques	% Etanol (ml)	Tiempo exposición (h)	Material
1	1.0	1.0	-1.0
1	1.0	-1.0	-1.0
1	-1.0	1.0	-1.0
1	1.0	-1.0	1.0
1	-1.0	1.0	1.0
1	-1.0	-1.0	-1.0
1	1.0	1.0	1.0
1	-1.0	-1.0	1.0
2	1.0	1.0	-1.0
2	1.0	-1.0	-1.0
2	-1.0	1.0	-1.0
2	1.0	-1.0	1.0
2	-1.0	1.0	1.0
2	-1.0	-1.0	-1.0
2	1.0	1.0	1.0
2	-1.0	-1.0	1.0

Fuente: Los autores

Tabla 5. Diseño de experimentos

Factores	Bajo	Alto	Unidades	Continuos
% Etanol	-1.0	1.0	ml	Si
Tiempo exposición	-1.0	1.0	Horas (h)	Si
Material	-1.0	1.0	Aleación	si
	Respuesta	Unidades		
	Vel. Corrosión	mpy		

Fuente: Los autores

4.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL ELECTROLITO

Características de la gasolina regular de distribución nacional. Anexo B.

Características y caracterización química según proveedor del etanol Anexo C.

En la Tabla 6 se muestran las propiedades de la gasolina y el etanol.

Tabla 6. Propiedades de la gasolina y el bioetanol

Parámetro	Unidad	Gasolina	Etanol	
Poder calorífico inferior				
		kJ/kg	43.500	28.225
		kJ/litro	32.180	22.350
Densidade		kg/litro	0,72 – 0,78	0,792
Octanaje RON (<i>Research Octane Number</i>)		–	90 – 100	102 – 130
Octanaje MON (<i>Motor Octane Number</i>)		–	80 – 92	89 – 96
Calor latente de vaporización		kJ/kg	330 – 400	842 – 930
Relación aire/combustible estequiométrica			14,5	9,0
Presión de vapor		kPa	40 – 65	15 – 17
Temperatura de ignición		°C	220	420
Solubilidad en agua		% en volumen	~ 0	100

Fuente: A.P.I 1998 Y Goldemberg y Macabeo (1994)

4.4 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS (ASTM G1)

Esta práctica se refiere a los procedimientos sugeridos para la preparación y limpieza para los especímenes de metal sólido que serán expuestos a las mezclas, para eliminar los productos de corrosión cuando se han completado las pruebas, y para la evaluación de la corrosión cuando se ha producido el daño, hace énfasis en la cuantificación de la de pérdida de masa y medición de agujeros. Se utilizaron papel lija número 220, 350, 400, 600 Las partículas abrasivas del papel suelen ser de carburo de silicio (SiC).

4.5 COMPOSICIÓN DE LAS ALEACIONES

En la tabla 6 se muestra la composición de las aleaciones utilizadas.

Tabla 7. Composición química de las aleaciones.

ELEMENTO	COMPOSICIÓN DEL LATÓN (S.A.E. 88 / A.S.T.M. B 455) (%)	COMPOSICIÓN DEL BRONCE (S.A.E. 40 / A.S.T.M. B 271) (%)
Cu	61,7	84,0-86,0(85,0)
Zn	35,1	4,0-6,0(5,0)
P		0,50
Sn		4,0-6,0(5,0)
Pb	2,5	4,0-6,0(5,0)
Fe	0,17	0,30
Sb		0,25
Al		0,005
Ni		1,0
Si		0,005
S		0,08

Fuente: Aceros y rodamientos S.A.

Metalografía

Esta se llevo a cabo basado en la norma ASTM E3-01 del 2007 siguiendo este procedimiento:

- Selección.
- Desbaste.
- Ataque.
- Corte.
- Pulido.
- Dureza

El proceso de selección y corte fue realizado a velocidad baja para evitar cambios en la microestructura del material.

- Pulido: se utilizaron papel lija número 220, 350, 400, 600 y 1200 Las partículas abrasivas del papel suelen ser de carburo de silicio (SiC).
- Paños: se usaron dos paños para metales no ferrosos y como abrasivo se utilizó alúmina de 1.0 μm 0.05 μm ,

- Ataque: en la Tabla 7 se observan los reactivos utilizados para el ataque de las probetas.

Tabla 8. Reactivos para ataque metalografico.

MATERIAL	REACTIVO	TIEMPO	OBSERVACIONES
LATÓN	CLORURO FÉRRICO ACUOSO (FeCL ₃ 10 g / HCL cc 20 ml / H ₂ O 80 ml)	1.5 MINUTOS	USO GENERAL PARA ALEACIONES DE COBRE. CONTROLANDO EL TIEMPO DE ATAQUE
BRONCE	CLORURO FÉRRICO ACUOSO (FeCL ₃ 10 g / HCL cc 20 ml / H ₂ O 80 ml)	30 s	

Fuente: los autores

Dureza: Se tomó la dureza en 6 puntos de la sección transversal de las probetas, en escala Rockwell B, con una carga aplicada de 100 Kg y un indentador con punta de redonda de 1/16 de pulgada para la medición del material Latón y se utilizo un medidor en escala Rockwell F, con una carga aplicada de 60 Kg e indentador de punta redonda de 1/16 de pulgada. Para mejor entendimiento los resultados fueron transformados a una escala única ROCKWELL B. En la Tabla 8 se muestran las diferentes medidas de dureza obtenidas para cada aleación.

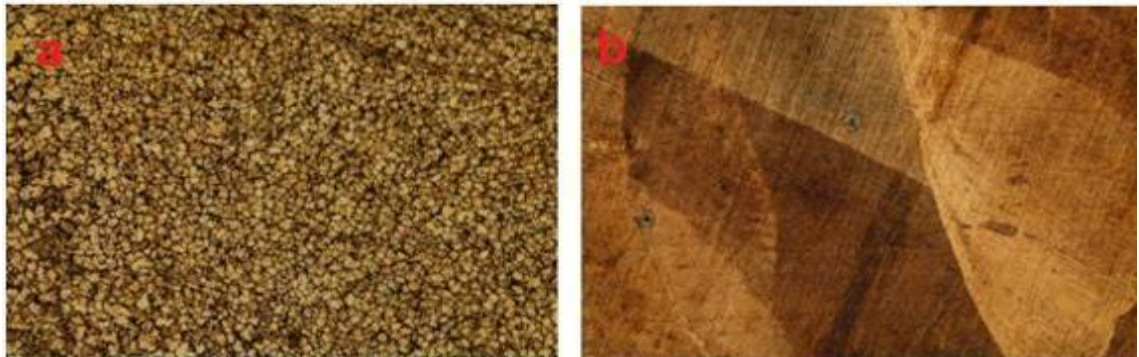
Tabla 9. Ensayo de dureza para el latón y bronce

DUREZA EN ROCKWELL B		
PUNTO	LATÓN	BRONCE
1	62	32,5
2	63	34
3	65	35
4	66	33,5
5	66	36
6	63	36
H.R.B prom.	64,2	34,5

Fuente: autores

En la Fotografía 2 se observan las metalografías obtenidas para las dos aleaciones.

Fotografía 2. Metalografía a) latón x100 tamaño de grano 0,001 mm
b) bronce x5 macrografía



Fuente: Microscopio Olympus Bx 51. Grupo Investigación En Corrosión G.I.C.

4.6 PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES (ASTM D4806-09)

Las soluciones se preparan según la norma ASTM D4806-09 que obedecen a las características de las mezclas de combustible que se comercializan en el país y en el mundo; se preparan 1000 ml de soluciones del 10% y 20% para realizar las pruebas de inmersión total y pruebas electroquímicas. Las soluciones de concentraciones de 5% y 15% fueron preparadas para su estudio, separadas del diseño experimental ya que eran concentraciones intermedias.

Fotografía 3. Preparación de las soluciones



Fuente: Los autores

4.7 ENSAYOS REALIZADOS

Equipos y materiales empleados en la experimentación.

En la Fotografía 4 se muestran los equipos empleados en la experimentación.

Fotografía 4. a) potenciostato A.C.M. b) microscopio óptico olympus Bx 51 c) celda plana d) electrodo de platino



a.



b.



c.



d.

Fuente: los autores, Grupo Investigación En Corrosión G.I.C

4.7.1 Ensayo método gravimétrico (ASTM D130 y ASTM G31). Estas prácticas describen los procedimientos y factores que influyen en la corrosión por ensayos de inmersión en pruebas de laboratorio, en particular en pruebas de pérdida de masa. Estos factores incluyen preparación de especímenes, de los aparatos, las condiciones del ensayo, los métodos de limpieza de especímenes, la evaluación de los resultados, y el cálculo y presentación de informes tipos de corrosión. Esta

práctica también hace hincapié en la importancia, grabación de todos los datos pertinentes y proporciona una lista de verificación los datos de los ensayos para la presentación de informes.

4.7.2 Ensayo por métodos electroquímicos (ASTM G3- G106-G102). En esta etapa se pretende evaluar la velocidad de corrosión y determinar la estabilidad de los óxidos que se forman en la superficie del metal, al igual que su comportamiento al ser expuesto a diferentes concentraciones; por medio de las técnicas electroquímicas de EIE. Y curvas de polarización Tafel.

Los ensayos electroquímicos se realizaron en una celda plana con un electrodo de referencia Ag/AgCl y como contraelectrodo un electrodo de platino 99% ver Fotografía 5 la temperatura de los ensayos fue la ambiente, regulada por un aire acondicionado y la campana extractora (22 ± 3 °C).

Espectroscopía de impedancia electroquímica. Esta técnica se caracteriza por utilizar una señal de corriente alterna para excitar el electrodo de trabajo, aplicando un potencial de 70 mV, y un barrido de frecuencia desde 1 Hz, hasta 30000 Hz, Cuando la corriente atraviesa la interfaz del electrodo, ésta se divide en dos partes: una corriente generada por el comportamiento capacitivo de la interfaz y la otra como una corriente de transferencia que se refiere al intercambio de cargas de las reacciones electroquímicas. Para analizar la variación de la impedancia con la frecuencia, se recurre al concepto de circuito equivalente.

4.7.3 Curvas de extrapolación Tafel. En las curvas de polarización Tafel se aplica un barrido de potencial de ± 250 mV con respecto al potencial de corrosión. El barrido se empieza en 250 mV, es decir en la zona catódica; con una velocidad de 50 mV/min, y un tiempo de estabilización de 300 s. El logaritmo de la densidad de corriente obtenida se grafica en función del barrido de potencial.

En las curvas de polarización (E Vs $\log i$) se obtienen unos segmentos lineales cerca al potencial de corrosión, estos segmentos son conocidos como las regiones Tafel donde se hallan las pendientes anódica y catódica, la extrapolación de estos segmentos al potencial de corrosión permiten encontrar la densidad de corriente de corrosión.[21]

En la fotografía 5 se observa el montaje implementado en la experimentación para el desarrollo de las pruebas electroquímicas.

Fotografía 5. Montaje electroquímico



Fuente: Los autores

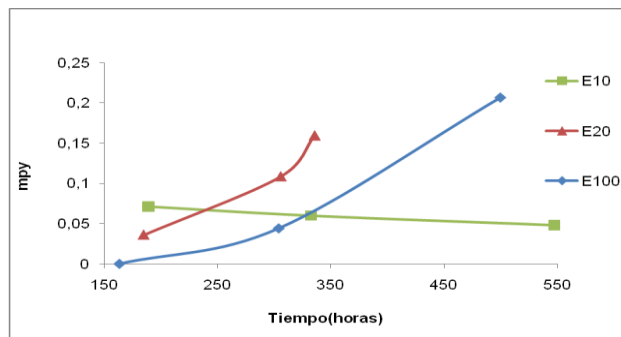
4.8 RESULTADOS Y ANÁLISIS

A partir de los datos obtenidos, se realizó el correspondiente análisis de resultados, para valorar la velocidad de corrosión obtenida en cada técnica gravimétrica y electroquímica para cada una de las soluciones estudiadas y Por último se llevó a cabo un análisis de las imágenes obtenidas en el microscopio

óptico Olympus B 51 x, ver Fotografía 4 con el fin de determinar la forma del ataque y las características de la superficie atacada.

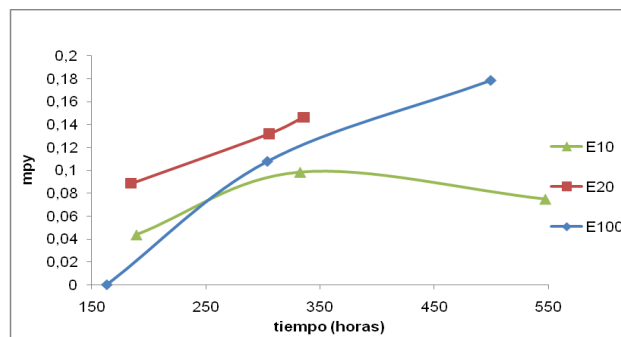
En la figura 5 y 6 se muestran curvas de velocidad de corrosión en milímetros de pulgadas por año para diferentes tiempos.

Figura 5. Gravimetría bronce



Fuente: Los autores

Figura 6. Gravimetría latón



Fuente: los autores

Gravimetría

En la tabla 9 se muestran los resultados obtenidos para la prueba de gravimetría.

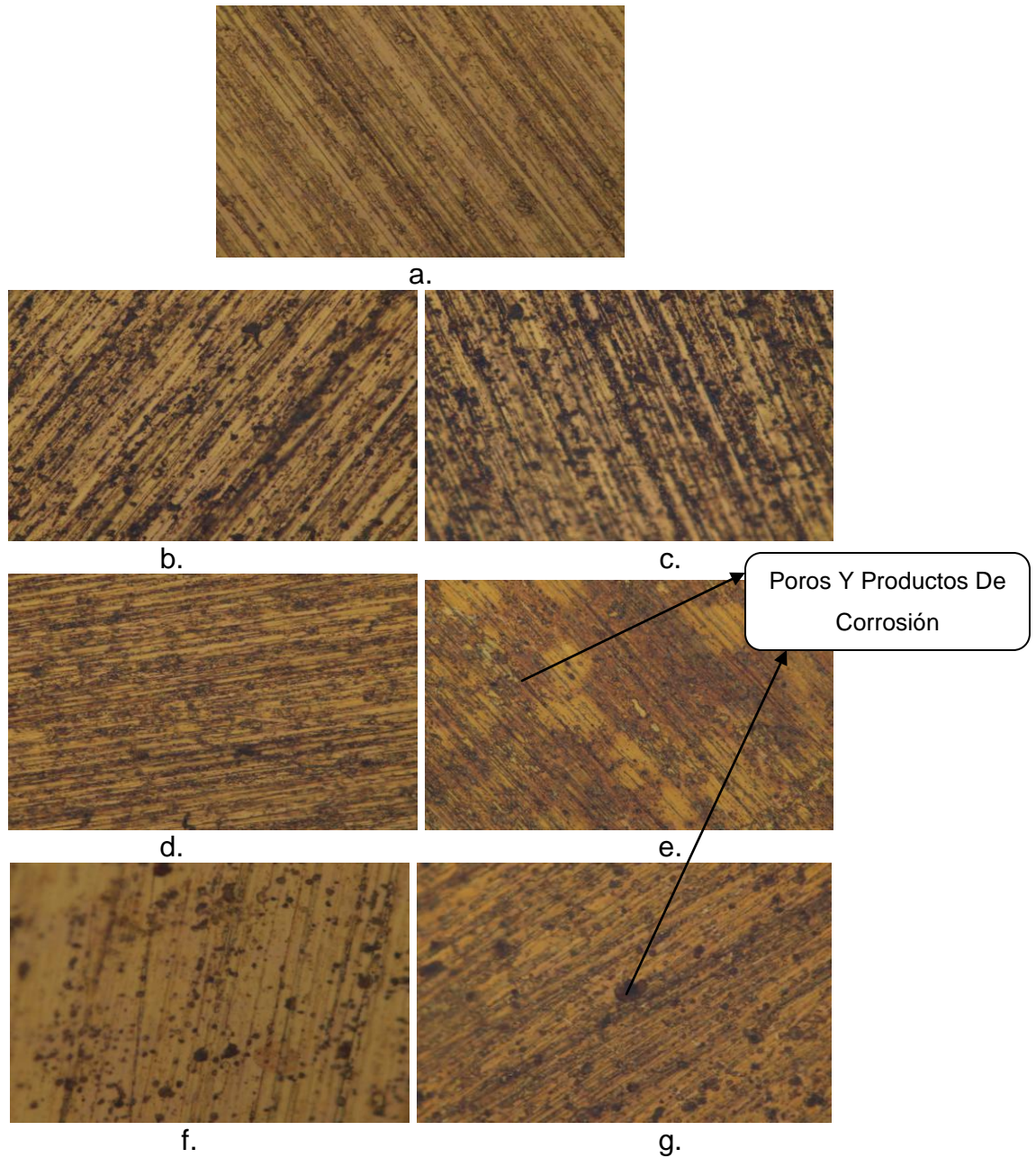
Tabla 10. Datos de gravimetría obtenidos

PROBETAS	MATERIAL	TIEMPO	TIEMPO (HORAS)	DIÁMETRO mm	ESPESOR mm	W I (gr)	W L (gr)	ÁREA cm ²	mpy
E10	LATÓN	T1	189	15,78	1,56	2,5337	0,0001	4,9042	0,0437
E10	LATÓN	T2	332,5	15,78	1,65	2,6322	0,0004	4,9559	0,0983
E10	LATÓN	T3	547,5	15,78	1,63	2,611	0,0005	4,9444	0,0748
E10	BRONCE	T1	189	17,29	1,62	3,3129	0,0002	5,7999	0,0710
E10	BRONCE	T2	332,5	17,29	1,72	3,5035	0,0003	5,8620	0,0599
E10	BRONCE	T3	547,5	17,29	1,77	3,5674	0,0004	5,8931	0,0483
E20	LATÓN	T1	184,5	15,78	1,65	2,7566	0,0002	4,9559	0,0886
E20	LATÓN	T2	305,5	15,78	1,77	2,7819	0,0005	5,0247	0,1319
E20	LATÓN	T3	335,5	15,78	1,64	2,7758	0,0006	4,9501	0,1463
E20	BRONCE	T1	184,5	17,29	1,72	3,5655	0,0001	5,8620	0,0360
E20	BRONCE	T2	305,5	17,29	1,74	3,5442	0,0005	5,8744	0,1085
E20	BRONCE	T3	335,5	17,29	1,66	3,3994	0,0008	5,8247	0,1594
E100	LATÓN	T1	163,5	15,78	1,65	2,7462	0	4,9559	0,0000
E100	LATÓN	T2	304	15,78	1,63	2,5688	0,0004	4,9444	0,1078
E100	LATÓN	T3	499,5	15,78	1,72	2,701	0,0011	4,9960	0,1785
E100	BRONCE	T1	163,5	17,29	1,69	3,4389	0	5,8434	0,0000
E100	BRONCE	T2	304	17,29	1,66	3,4228	0,0002	5,8247	0,0440
E100	BRONCE	T3	499,5	17,29	1,41	2,8682	0,0015	5,6694	0,2063

Fuente: los autores

En la fotografía 6 se observan el daño del Latón a diferentes tiempos de inmersión.

Fotografía 6. Latón a diferentes tiempos de inmersión a. T0, b. E100 T1, c. E100 T2 d. E10 T1 e. E10 T2 f. E20 T1 g. E20 T2



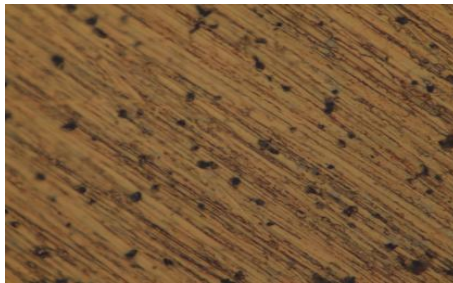
Fuente: *Microscopio Olympus bx 51 (tamaño: x100). Grupo Investigación En Corrosión G.I.C.*

En la Fotografía 7 se observan el daño del Bronce a diferentes tiempos de inmersión.

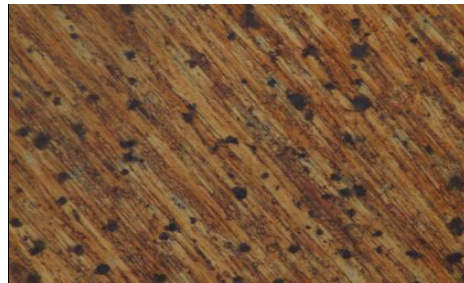
Fotografía 7. Bronce a diferentes tiempos de inmersión a. T0 b. E100 T1 c. E100 T2 d. E10 T1 e. E10 T2 f. E20 T1 g. E20 T2.



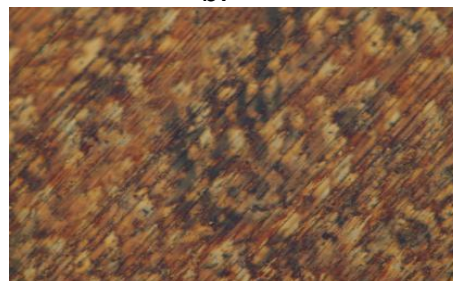
a.



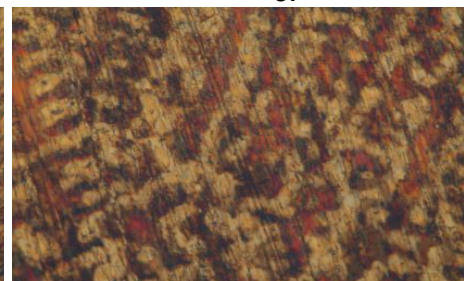
b.



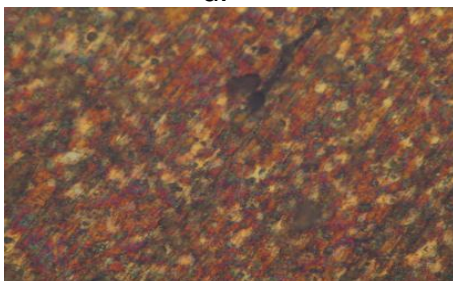
c.



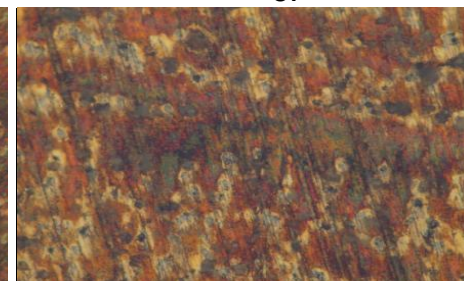
d.



e.



f.



g.

Fuente: *Microscopio Olympus bx 51 (tamaño: x100). Grupo Investigación En Corrosión G.I.C.*

Llama la atención la coloración observada en la superficie de las probetas de bronce; esta coloración que se presenta es generada por los productos de corrosión que quedan en la superficie; estos mismos productos de corrosión son en parte solubles en el electrolito causando un oscurecimiento de la mezcla.

En la Fotografía 8 se observa la tonalidad de las mezclas en un tiempo de exposición determinado comparadas con una recién preparada.

Fotografía 8. Cambio de color de las mezclas



Fuente: los autores

4.8.1 Curva extrapolación Tafel. Como puede ser inferido, no siempre que ocurre un aumento del potencial de electrodo hacia valores más positivos, implica una disminución en la velocidad de corrosión del metal. Por otro lado, no puede decirse a priori que cuando ocurre una disminución del referido potencial, significa un aumento de la velocidad de corrosión. La medida de la evolución del potencial de electrodo en el tiempo es con frecuencia útil para la comprensión de un proceso corrosivo. Sin embargo, es necesario tener un conocimiento previo del sistema para llegar a conclusiones útiles y válidas.

La Tabla 10 muestra los valores obtenidos de pendientes anódicas y catódicas, velocidad de corrosión para las diferentes mezclas, por técnica de electroquímica de extrapolación Tafel.

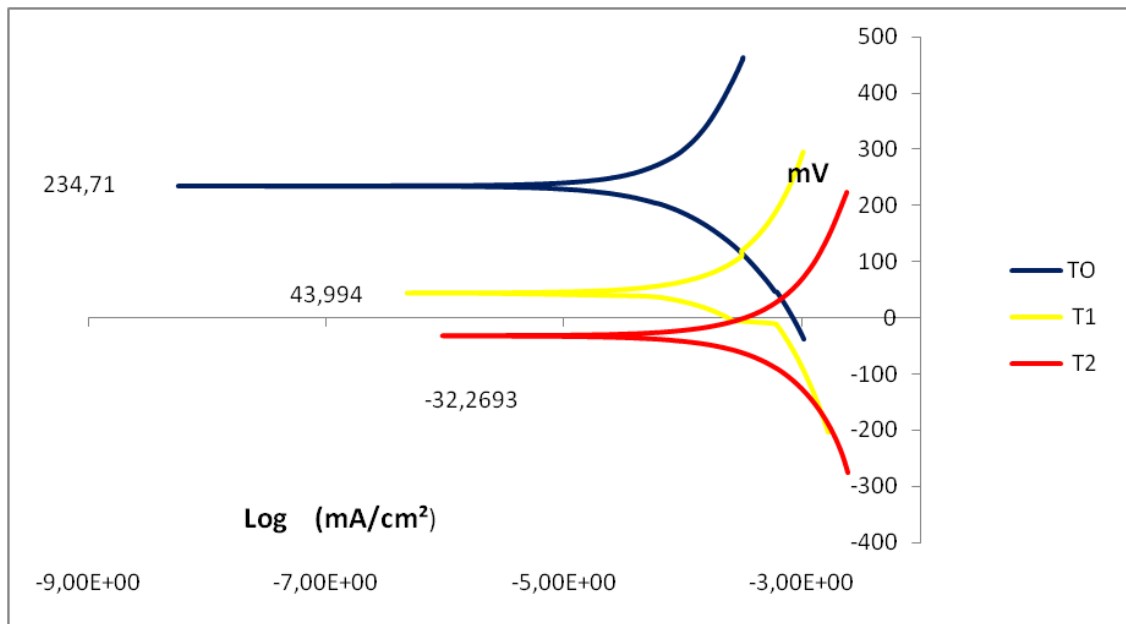
Tabla 11. Datos extrapolación Tafel

MATERIAL	□	Tiempo	β catódico	β anódico	$\mu\text{A}/\text{cm}^2$	mpy	B
Latón	E100	T0	1,27E+02	1,27E+02	2,18E-01	1,05E-04	8,71E+04
Latón	E100	T1	2,18E+02	1,15E+02	3,18E-01	1,54E-04	1,05E+02
Latón	E100	T2	1,25E+02	1,29E+02	2,37E-01	1,15E-04	-1,65E+03
Bronce	E100	T0	1,00E+02	1,35E+02	3,56E-02	1,64E-05	8,48E+03
Bronce	E100	T1	2,91E+02	1,30E+02	2,70E-01	1,24E-04	1,02E+02
Bronce	E100	T2	1,22E+02	1,31E+02	2,04E-01	9,39E-05	-7,14E+02
Latón	E20	T0	1,07E+02	1,24E+02	4,53E-03	2,19E-06	-3,44E+02
Latón	E20	T1	1,40E+02	1,22E+02	1,02E-03	4,93E-07	4,02E+02
Latón	E20	T2	1,17E+02	1,32E+02	3,93E-04	1,90E-07	-4,43E+02
Bronce	E20	T0	1,25E+02	1,20E+02	4,19E-03	1,93E-06	1,26E+03
Bronce	E20	T1	1,00E+02	1,38E+02	2,36E-03	1,09E-06	-1,59E+02
Bronce	E20	T2	9,99E+01	1,86E+02	3,52E-02	1,62E-05	-9,37E+01

Fuente: Los autores

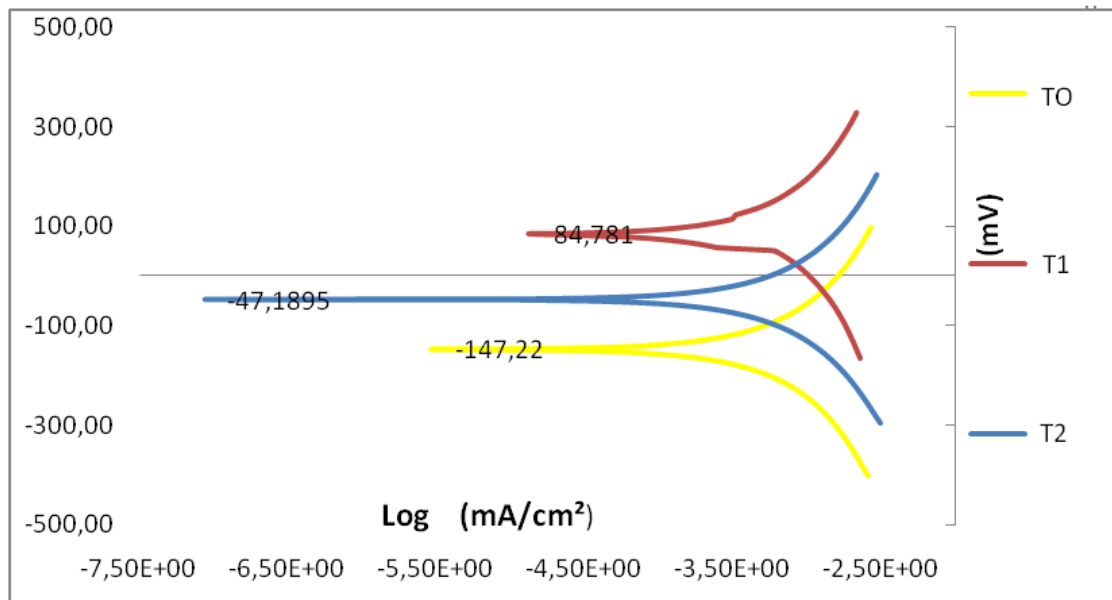
En la Figura 7 y 8 se observan las curvas Tafel, para la mezcla E100, en diferentes tiempos de inmersión, para las dos aleaciones.

Figura 7. Tafel Bronce E100 a diferentes tiempos.



Fuente: los autores

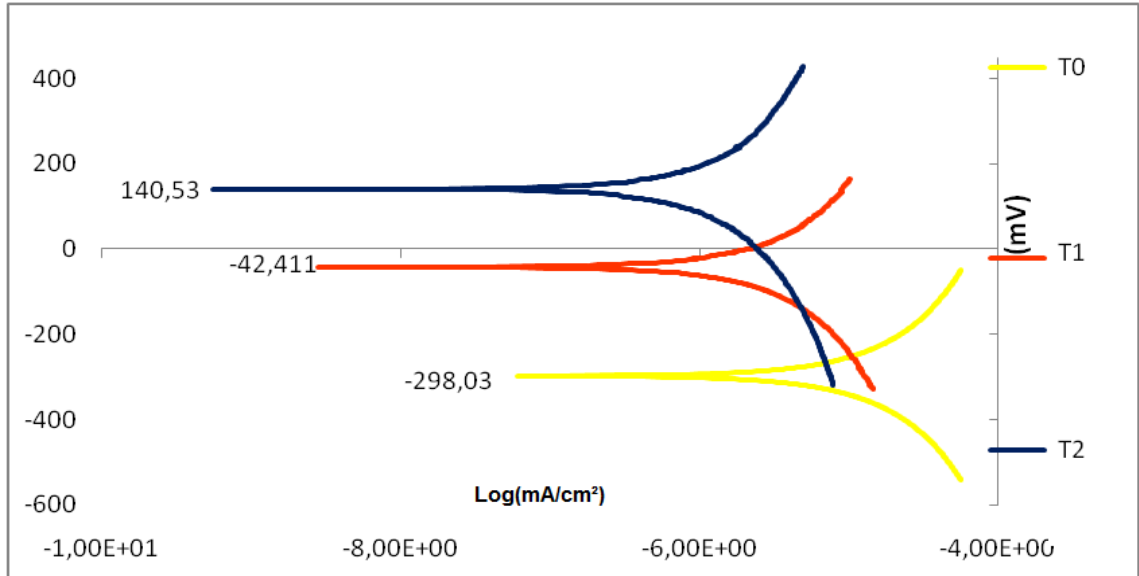
Figura 8. Tafel Latón E100 a diferentes tiempos.



Fuente: los autores

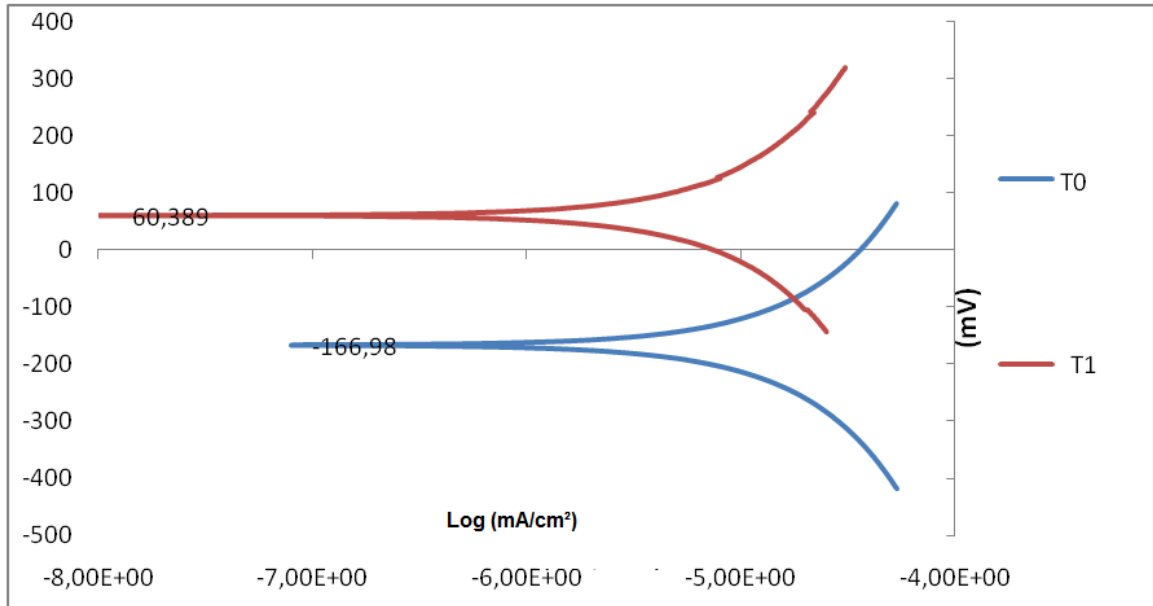
En la Figura 9 y 10 se observan las curvas Tafel, para la mezcla E20, en diferentes tiempos de inmersión, para las dos aleaciones.

Figura 9. Tafel Latón E20 a diferentes tiempos



Fuente: los autores

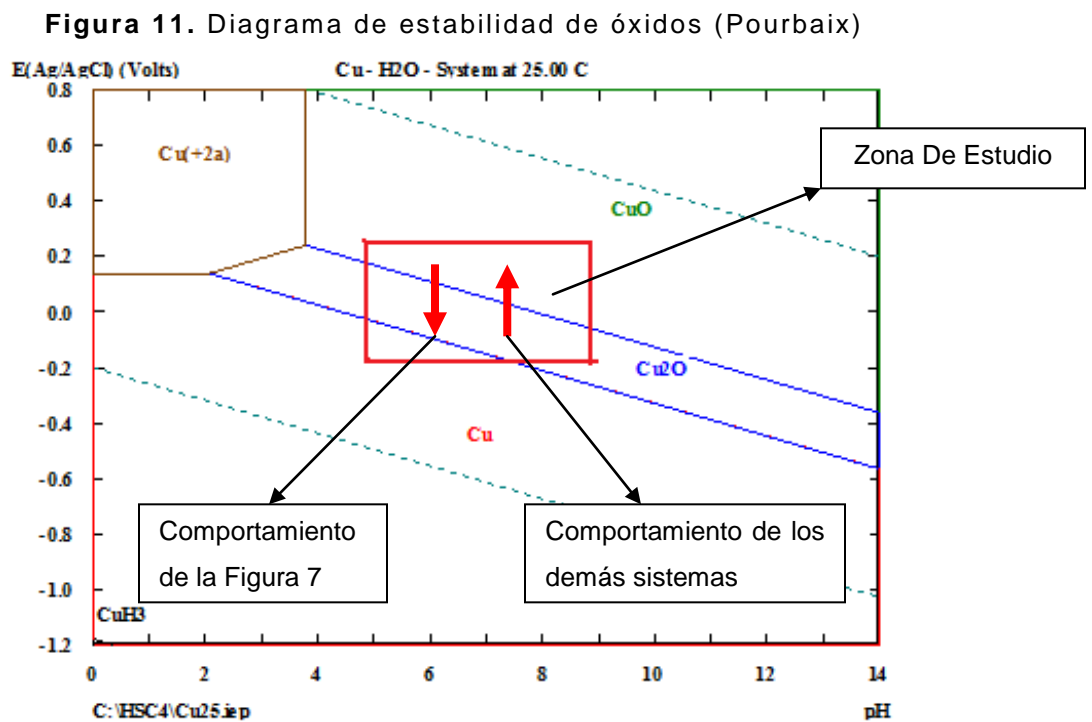
Figura 10. Tafel Bronce E20 a diferentes tiempos



Fuente: los autores

El método utilizado para el cálculo de las pendientes catódica y anódica para los electrodos de trabajo fue realizado según la norma ASTM G-102. La región de la curva donde se hallaron las pendientes corresponde \pm (40 mV - 50 mV) desde el potencial de corrosión, para calcular la pendiente catódica se utilizó un regresión lineal para 10 puntos que estuvieran sobre la parte lineal de la curva catódica, dentro de dicho rango.

Se observa en la Figura 7 una disminución en el potencial, es decir los productos de corrosión o el metal se están desplazando a una zona más noble, a una región de inestabilidad de óxidos ver figura 11; a su vez la densidad de corriente aumenta lo cual hace suponer la disolución de los productos de corrosión.



Fuente: Software H.S.C. Universidad Industrial de Santander UIS

Se puede decir para los demás sistemas que están sometidos a un control mixto de transferencia de carga y masa, lo cual se puede comprobar con el análisis de la pendiente de la linealidad de Tafel que tiende a tener valores muy cercanos.

Se puede apreciar un aumento en el potencial mixto de corrosión y a su vez existe una disminución de la densidad de corriente, se puede decir de este comportamiento que existe la formación de una capa de óxido protectora al inicio, porosa, Fotografía 6 imágenes (e. – f.) que permite el intercambio de electrones; involucrados en la formación de óxidos de cobre (Cu_2O - CuO) ver Figura 11.

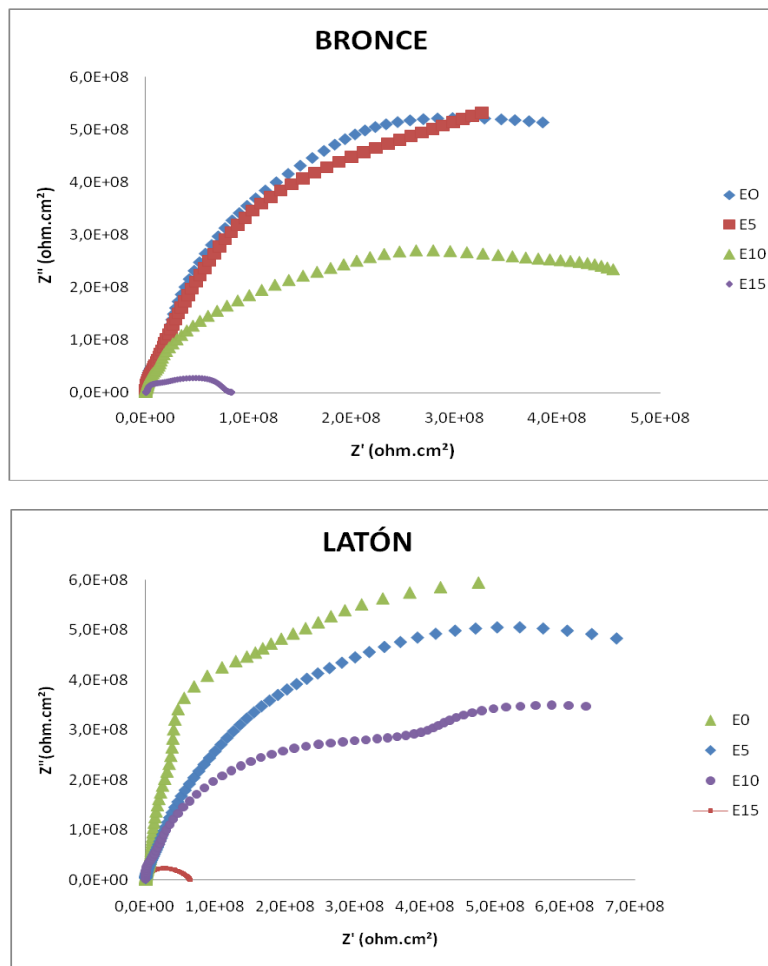
Cabe aclarar que estos fenómenos se dan en tiempos largos de experimentación y no se está estudiando una curva por individual sino el comportamiento del material en el transcurso del tiempo en la concentración.

4.8.2 Espectroscopía de impedancia electroquímica. Los diagramas de impedancia indican la presencia de dos constantes de tiempo que pueden asociarse con diferentes procesos que ocurren sobre la superficie del material. En el caso del latón y bronce inmersos en mezclas de E0 a E20, el ángulo de fase en el intervalo de altas frecuencias puede ser atribuido a la formación de una película superficial de óxido algo estable al inicio de la corrosión, pero al verificar en los diagramas de Bode del tipo $\log f$ vs. θ se observa que en la región de bajas frecuencias el ángulo de fase disminuye gradualmente alejándose de los 90° , valor que corresponde a un comportamiento capacitivo puro. Esto es un indicio de la presencia de poros en la película. Los valores de los ángulos de fase decrecen asta valores bajos para los diferentes tiempos. Lo que indica una película porosa, no estable y conductora; permitiendo una interacción o transferencia de carga en la superficie del metal.

Esto se observa con los valores obtenidos de las impedancias real e imaginaria los cuales disminuyen con el aumento de la concentración de etanol en la mezcla, es decir que la resistencia a la transferencia de carga se relaciona con el diámetro del semicírculo y tienden a disminuir considerablemente. Esto permite establecer que la película de productos de corrosión no es estable, al inicio. ver figura 12 (Para

E20 y E100 ver Anexo D y E) o bien sea que los productos de corrosión tenga una naturaleza distinta en las primeras horas que los presentados en largo tiempo de inmersión, este caso donde la primera capa es poco estable en las primeras horas y después se observan valores de impedancias mucho mayores a los anteriores, debido a una nueva capa más estable en el tiempo de inmersión más elevado, ver Figura 13 caso de las dos aleaciones inmersas en una solución de E10, donde se observa este comportamiento.

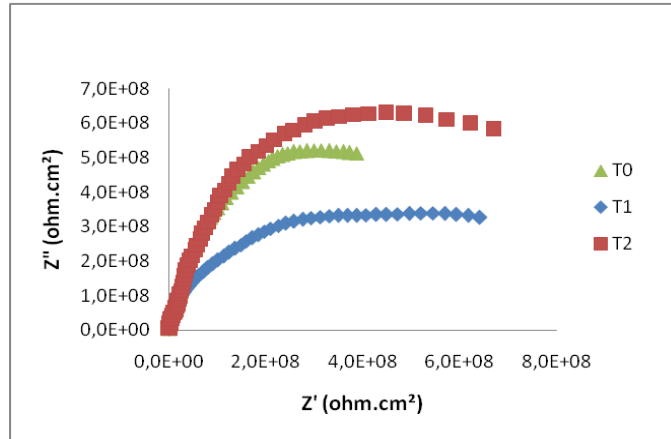
Figura 12. Diagramas Nyquist para el bronce y latón en un t=0 horas



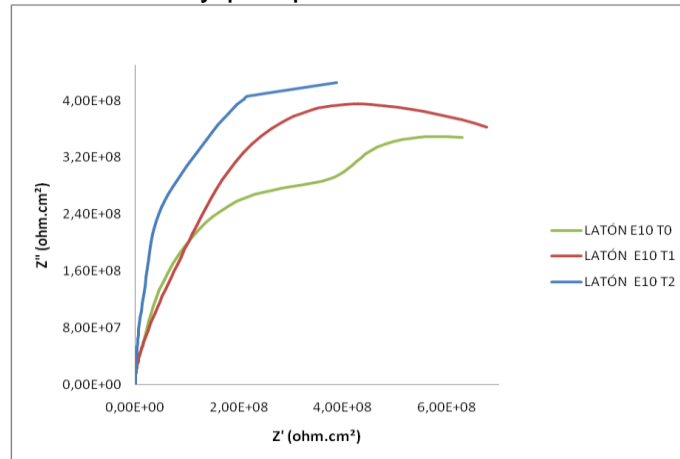
Fuente: los autores

En la Figura 13 se observa el comportamiento de las dos aleaciones en los diferentes tiempos de inmersión, en una mezcla E10.

Figura 13. Diagramas Nyquist para el bronce y latón en mezcla E10, en diferentes tiempos de inmersión.



a. Nyquist para el bronce en E10.



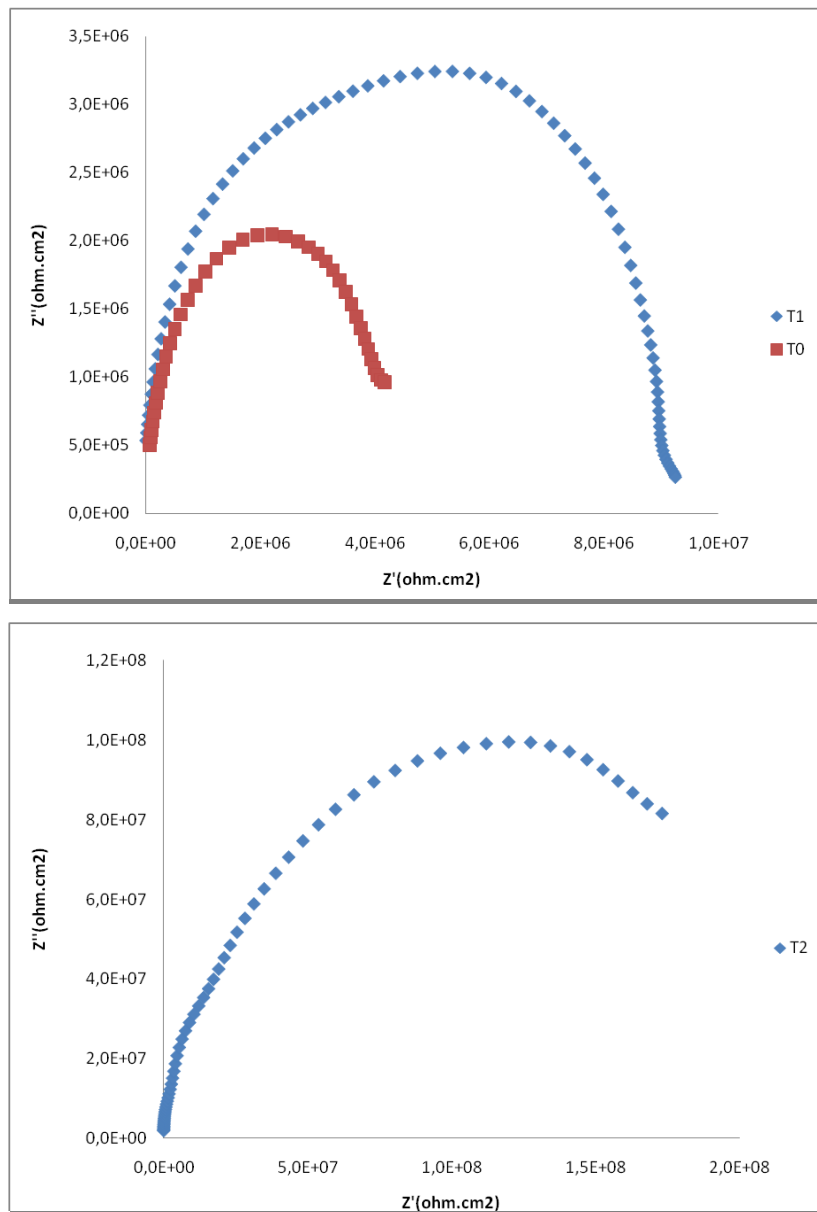
b. Nyquist para el latón en E10.

Fuente: los autores

Para las aleaciones inmersas en la mezcla E20, el comportamiento de los valores obtenidos de las impedancias real e imaginaria, aumentan con el tiempo, es decir que la resistencia a la transferencia de carga aumenta. Este aumento en los valores de los diámetros de los diámetros de los semicírculos, permite establecer que la película de los productos de corrosión es más estable.

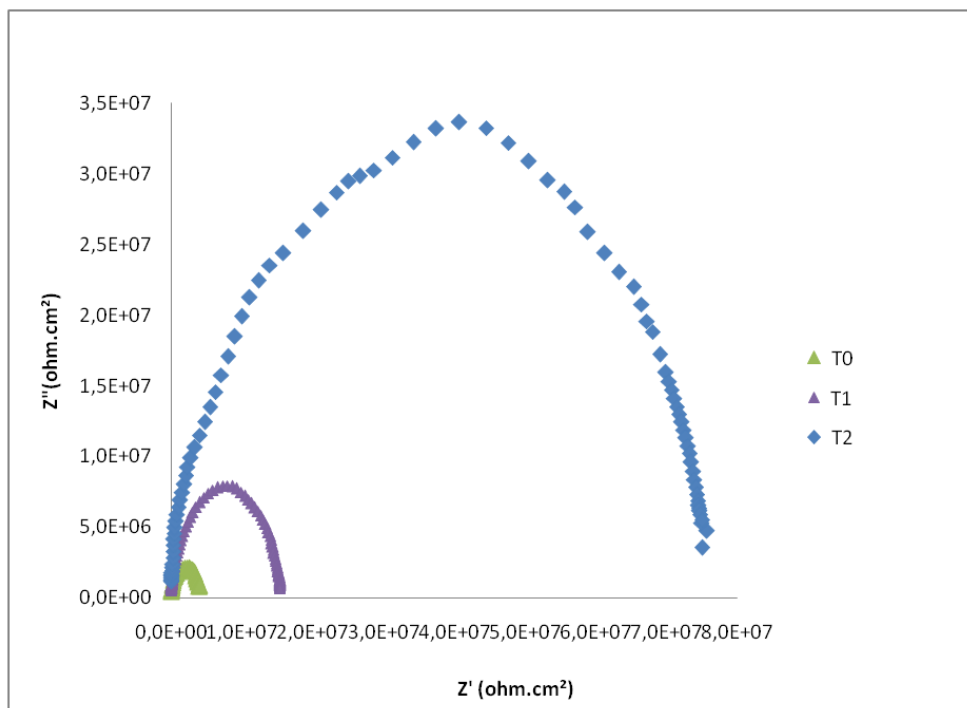
En la Figura 14 y 15 se observa el comportamiento de las dos aleaciones en los diferentes tiempos de inmersión, en una mezcla E20.

Figura 14 diagramas Nyquist para el bronce en mezcla E20, en los diferentes tiempos de inmersión.



Fuente: los autores

Figura 15 Diagramas Nyquist para el latón en mezcla E20, en los diferentes tiempos de inmersión.

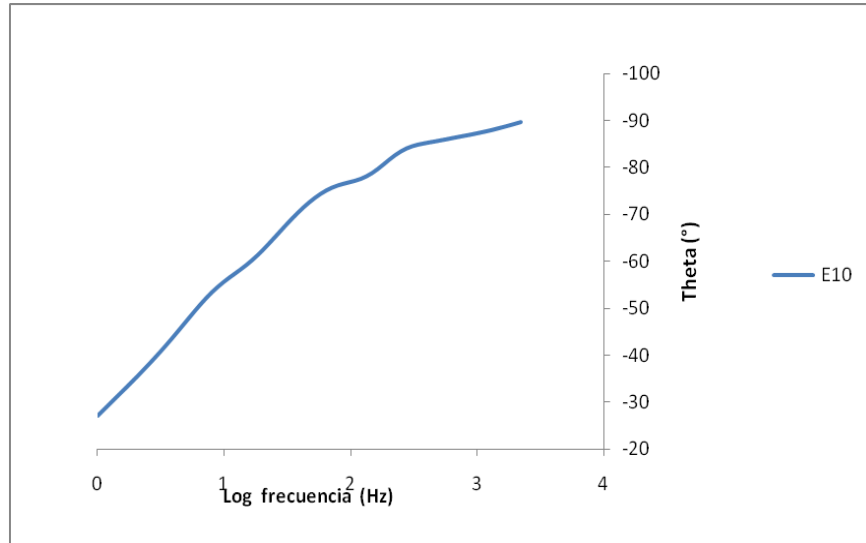


Fuente: los autores

El diagrama de Bode para el latón y el bronce en una mezcla E10, presenta un comportamiento similar de dos constante de tiempo, la primera se observa a frecuencias intermedias a un ángulo de fase de -79° y -78 respectivamente lo que sugiere la presencia de una película de óxido conductora, porosa, soluble, al comienzo del proceso, pero este valor desciende a valores bajos de frecuencia, de esta manera los puntos se alejan de los valores donde el oxido es estable, alcanzando la curva un valor de ángulo de fase de -28° para el latón y -53° para el bronce, lo que permite determinar que para el bronce existe una película menos porosa y conductora que para el latón donde se presenta un alto grado de transferencia de carga.

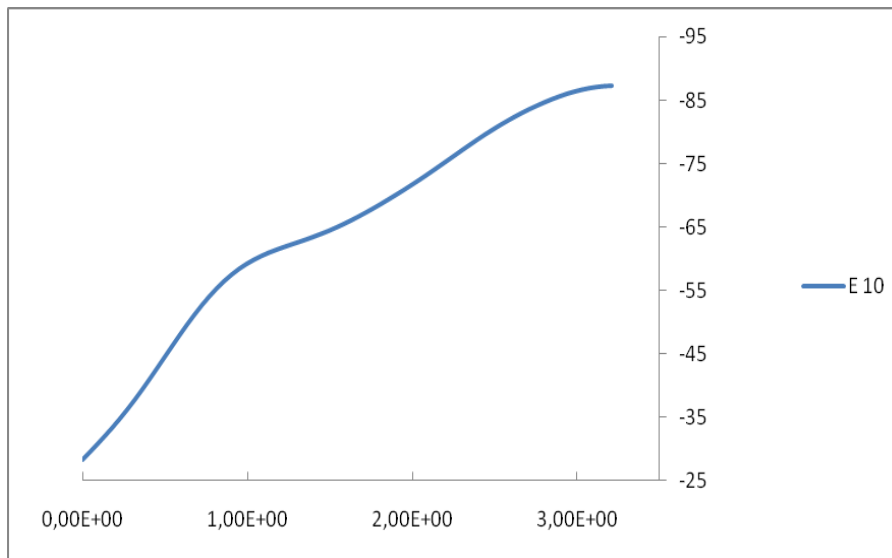
En la Figura 16 y Figura 17. Se muestran los diagramas de bode para las dos aleaciones.

Figura 16. Diagrama de Bode experimental Bronce



Fuente: los autores

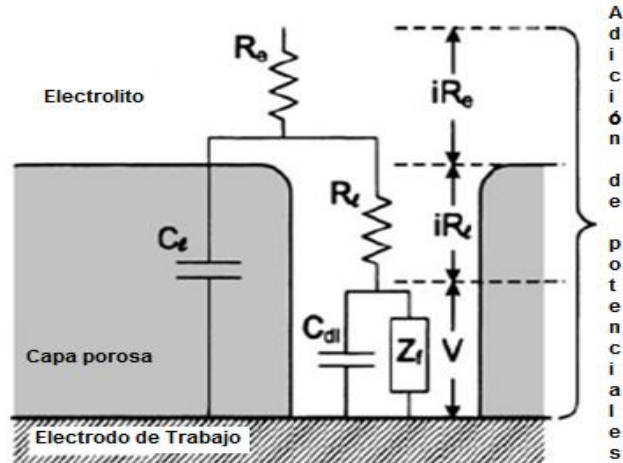
Figura 17. Diagrama de Bode experimental Latón



Fuente: los autores

En la Figura 18 se observa el circuito equivalente para películas porosas.

Figura 18. Circuito equivalente para película porosa



Fuente: Flórez, M. Juan. Espectroscopía de impedancia electroquímica en corrosión.

En el modelo R_e es la resistencia a la solución, C_l es la capacitancia de la doble capa electroquímica de la interface óxido-solución (CPEdc), dividida en 2 componentes: el C_{oxT} que está asociado a la transferencia de carga y el C_{oxP} relacionado con la fase; R_l es la resistencia a la transferencia de carga del óxido formado sobre la superficie metálica; C_{dl} es la capacitancia de la doble capa electroquímica medida desde la interface óxido-metal (CPEpel), dividida también en dos componentes: C_{dlT} asociada a la transferencia de carga y C_{dlP} relacionada con la fase; Z_f o R_{corr} es la resistencia a la transferencia de carga de dicha interface. Los datos obtenidos para cada capacitancia y resistencia se presentan en el anexo G.

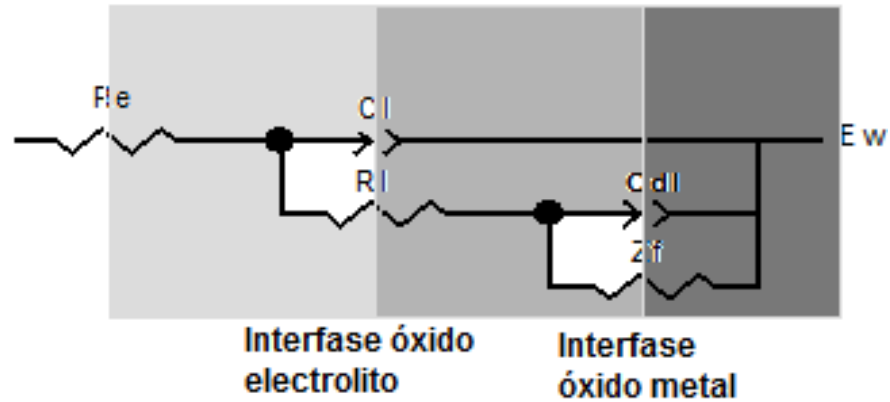
CPE es un elemento en el cual el valor de la admitancia ó de la impedancia es función de la frecuencia y cuya fase es independiente de ella. La admitancia (Y_Q) y la impedancia (Z_Q) se definen por las, ecuaciones 1 y 2:

$$Y_Q = Y_0 (j\omega)^n \quad (1)$$

$$Z_Q = 1/Y_0 (j\omega)^{-n} \quad (2)$$

Donde el subíndice (Q) representa al CPE, (Y_0) es el módulo de impedancia, (w) es la frecuencia angular y (n) es la fase. Por lo tanto, el capacitor es considerado ideal cuando ($n = 1$), y no ideal (superficie rugosa ó porosa) cuando $0.5 < n < 1$. [11]

Figura 19. Circuito equivalente capa menos porosa



Fuente: los autores

En la tabla 12 se muestran los valores de resistencia y capacitancia para las dos aleaciones.

Tabla 12. Valores de resistencia y capacitancia E100

BRONCE						
R_e (Ohm*cm ²)	C_i (F)	R_l (Ohm*cm ²)	C_{dl} (F)	Z_f (Ohm*cm ²)		
	C_{oxT}	C_{oxP}	C_{dlT}	C_{dlP}		
12899	1,6787E-10	0,9279	53629	9,8503E-6	0,75511	22782
LATÓN						
R_e (Ohm*cm ²)	C_i (F)	R_l (Ohm*cm ²)	C_{dl} (F)	Z_f (Ohm*cm ²)		
	C_{oxT}	C_{oxP}	C_{dlT}	C_{dlP}		
10921	1,584E-10	0,91926	63519	5,1525E-5	0,64054	10696

Fuente: los autores

Por otro lado los valores del CPE_{dc} , asociados a la capacitancia de la doble capa, obtenidos para los tiempos de inmersión menores, son similares. Sin embargo, en el tiempo mayor hay un aumento de su valor. Los valores de CPE_{pel} en la interface oxido-metal por el contrario tienden a disminuir con el incremento en el tiempo de inmersión, lo que probablemente sea ocasionado por la presencia de una película de productos de corrosión más compacta. En cuanto a los valores de las fases, como están asociados a la rugosidad o porosidad de la superficie de la doble capa, existe un aumento en su valor, indicando una menor rugosidad de la película de productos de corrosión al incrementarse el tiempo de inmersión.

5 CONCLUSIONES

La morfología de daño encontrada para las dos aleaciones coincide con un fenómeno de corrosión en placas donde incluye los casos intermedios entre corrosión uniforme y corrosión localizada. El ataque se extiende más en algunas zonas, pero se presenta aún como un ataque de corrosión general

Se determinó que en la velocidad de corrosión incide la estabilidad de las capas formadas, mostrando un decrecimiento en la densidad de corriente con el tiempo de exposición, incrementando la resistencia a la corrosión; dicho incremento puede atribuirse al crecimiento de una capa de óxido estable sobre la superficie metálica.

De las dos aleaciones estudiadas se encontró que en presencia de las mezclas el material que mejor resistió el ataque del medio fue el latón debido a su tamaño de grano fino y la presencia de dos fases ($\alpha + \beta$), mostrando potenciales más nobles.

En etanol el material que mejor comportamiento tuvo fue el bronce porque los óxidos que se forman en los potenciales donde se desplazó la aleación son más estables.

Los mecanismos propuestos de corrosión, por la técnica de Espectroscopía de impedancia electroquímica coincidieron con los parámetros cualitativos y cuantitativos obtenidos con las curvas de extrapolación Tafel.

6 RECOMENDACIONES

Evaluar la velocidad de corrosión mediante la adición de inhibidores de corrosión para estudiar la diferencia de agresividad del medio

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1]. HASEEB, A.S.M.A.; MASJUKI H.H.; Ann L.J.; FAZAL, M.A.; Corrosion characteristics of copper and leaded bronze in palm biodiesel; Fuel Processing Technology; Elsevier B.V. , 2009. p. 329–334.
- [2]. SOUZA, Pimenta Gutemberg; GARCIA, Bernal Adriano Aparecido; NAGAYASSU, Vanessa Yumi; PANOSSIAN, Zehbour; Improvement of the nace test for determination of the corrosive properties of gasoline and distillate fuels; NACE International Publication. Paper No.09578. 2009.
- [3]. RAWAT, Jaya; RAO, P.V.C.; CHOUDARY N.V.; Effect of Ethanol-Gasoline Blends on Corrosion Rate in the Presence of Different Materials of Construction used for Transportation, Storage and Fuel Tanks; SAE International. 2008.
- [4]. Bioetanol de caña de azúcar, energía para el desarrollo sostenible[en línea]. Rio de janeiro: banco de desarrollo de Brasil y centro de gestión e estudios estratégicos, 2008[consultado junio del 2009]. Disponible en internet: <http://www.bioetanoldecanadeazucar.org/>
- [5]. VALCARCE, M.B.; Vázquez, M.; DE SÁNCHEZ, S.R.; Determinación de la velocidad de corrosión de latón al aluminio en agua potable; División Corrosión, INTEMA, Facultad de Ingeniería, UNMdP. 2004.
- [6]. <http://www.jintaninternational.com/esCO/ArticleFiles/brass.htm>
- [7]. <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/archivosSoporteRevistas/4783.pdf>.

- [8]. <http://cci-calidad.blogspot.com/2009/02/corrosion-por-descinificacion.html>
- [9]. Camus, G. Manuel biocarburantes líquido biodiesel [artículo de internet]
http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt4_biocarburantes_liquidos_biodiesel_y_bioetanol.pdf>[consultado:18/07/2009]
- [10]. Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Decreto 1135 de 2009, Marzo 31, Por el cual se modifica el Decreto 2629 de 2007, en relación con el uso de alcoholes carburantes en el país y con las medidas aplicables a los vehículos automotores que utilicen gasolinas para su funcionamiento.
- [11]. Flórez, M. Juan. Espectroscopía de impedancia electroquímica en corrosión [artículo de internet] :
<http://depa.pquim.unam.mx/labcorr/libro/Manual-EIE-IMP-UNAM.PDF> >
[consultado:19/07/2009]
- [12]. Castellanos, González. Luís Estudio de la corrosión de uniones de latón en redes de distribución de agua [artículo de internet].<http://www.uo.edu.cu/ojs/index.php/tq/article/viewFile/491/335>.
[consultado: 19/07/2009]
- [13]. ASTM D130 - 04e1 Standard Test Method for Corroveness to Copper from Petroleum Products by Copper Strip Test.
- [14]. ASTM G 106 – 89 (Reapproved 1999) Standard Practice for Verification of Algorithm and Equipment for Electrochemical Impedance Measurements.

- [15]. ASTM G 31 – 72 (Reapproved 1999) Standard Practice for Laboratory Immersion corrosion Testing of Metals.
- [16]. ASTM G 5 – 94 (Reapproved 2004) Standard Reference Test Method for Making potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements.
- [17]. ASTM G1-90(1999) e1 Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens.
- [18]. ASTM G 3 – 89 (Reapproved 2004) Standard Practice for Conventions Applicable to Electrochemical measurements in Corrosion Testing.
- [19]. UHLIG, H. Herbert. Corrosion and corrosion control an introduction to corrosion science and engineering. 2 Ed. John Wiley & Sons Inc., New York-London; 1964. p. 284-294.
- [20]. TODT, Fritz. Corrosion y protección. Ed. Aguilar, S. A. de ediciones, Madrid; 1959. p 19-77 y 240-282.
- [21]. JONES, Denny A. Principles and Prevention of Corrosion. Second edition. Prentice Hall, Inc; 1996. p 9-162.
- [22]. <http://www.supliequip.com/pdf/Introduccionapolarizacionlineal.pdf>
- [23]. [http://www.alspi.com/Spanish/corrosion%20monitoring%20\(spanish\).pdf](http://www.alspi.com/Spanish/corrosion%20monitoring%20(spanish).pdf)
- [24]. ASTM G1-90(1999)e1 Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corroon Test Specimens

- [25]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4268/1/6788.pdf>.
- [26]. ASKELAND, Donald R., Ciencia e ingeniería de los materiales. E.d. International Thomson Editores. Tercera edición. 1998; p. 381-382.
- [27]. TORRES Jaime; MOLINA Daniel. Estudio de la mezcla de gasolina con 10% de etanol anhidro. Evaluación de propiedades fisicoquímicas. Junio, 2002 p. 81.
- [28]. ASTM E 112-96(reapproved 2004). Standard Test Methods for Determining Average Grain Size.
- [29]. ASTM G102-89 (reapproved 1999). Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements
- [30]. <http://effectmatrix.com> video
- [31]. TORRES Jaime; MOLINA Daniel. Estudio de la mezcla de gasolina con 10% de etanol anhidro. Evaluación de propiedades fisicoquímicas. Junio, 2002 p. 81.
- [32]. Manual para el manejo y disposición de los residuos peligrosos de la sede guatiguara; Universidad Industrial de Santander UIS; 2010
- [33]. CALDERON, Josrge Andres; analisis de la evolución del potencial de circuito abierto del cobalto en medio levemente alcalino; Revista Facultad de Ingeniería N.o 38. pp. 20-30. Septiembre, 2006

- [34].** H. J. Flitt, D. P. Schweinsberg. "A guide to polarisation curve interpretation: deconstruction of experimental curves typical of the Fe/H₂O/H⁺/O₂ corrosion system". Corros. Sci. Vol. 47. 2005. pp. 2125-2156.

ANEXOS

Anexo A. Manejo de reactivo inflamable

RIESGOS DE INCENDIO Y/O EXPLOSION

Punto de inflamación (°C): 17 c.c.

Temperatura de autoignición (°C): 422

Límites de inflamabilidad (%V/V): 3.3 - 19

Peligros de incendio y/o explosión:

Inflamable. Se evapora fácilmente. Sus vapores se depositan en las zonas bajas y pueden formar mezclas explosivas con el aire si se concentran en lugares confinados.

Productos de la combustión:

Se liberan óxidos de carbono.

Precauciones para evitar incendio y/o explosión:

Evitar toda fuente de ignición o calor. Separar de materiales incompatibles. Conectar a tierra los contenedores para evitar descargas electrostáticas. Mantener buena ventilación y no fumar en el área de trabajo. Los equipos de iluminación y eléctricos deben ser a prueba de explosión.

Procedimientos en caso de incendio y/o explosión:

Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Retirar los contenedores del fuego si no hay riesgo, en caso contrario, enfriarlos usando agua en forma de rocío desde una distancia segura.

Agentes extintores del fuego:

Polvo químico seco, espuma para alcohol, dióxido de carbono o agua en forma de rocío.

ALMACENAMIENTO Y MANIPULACION

Almacenamiento: Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor e ignición. Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente. Depositar en contenedores herméticamente cerrados. Los equipos eléctricos y de iluminación deben ser a prueba de explosión.

Tipo de recipiente:

Manipulación: Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer en donde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente.

PROCEDIMIENTOS EN CASO DE ESCAPE Y/O DERRAME

Evacuar o aislar el área de peligro. Eliminar toda fuente de ignición. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Ventilar el área. No permitir que caiga en fuentes de agua y alcantarillas. Si el derrame es pequeño dejarlo evaporar, también se puede absorber con toallas de papel. Si es grande recolectar el líquido con equipos que no desprendan chispas para evitar que se encienda. Lavar el residuo con abundante agua.

Fuente: Manuelita S.A.

Anexo B. Caracterización de la gasolina regular y mezcla E10

Parámetros	Unidad	ASTM	Etanol	Gasolinas		Gasolinas+10% EtOH	
				Regular	Extra	Regular	Extra
Densidad (15°C)	kg/l	D-4052	0,79	0,75	0,74	0,74	0,75
Gravedad API (15,6°C)		D-4052	46,55	57,51	58,1	58,20	55,60
Índice de refracción (20°C)		D-1218	1,3577	1,4282	1,4402	1,4114	1,423
Contenido de agua	ppm	D-1744	4083,60	201,00	320,00	518,00	565,00
% v/v de etanol	%	D-5845	99,96	0	0	10,28	10,16
Presión de vapor Reid (37,8°C)	kPa	D-323	18,33	55,14	55,14	54,38	56,24
% p/p de azufre	%	D-4294	0	0,07	0,07	0,02	0,03
Corrosión en lámina de cobre (50°C)	clasificación	D-130	1.	1.	1.	1.	1.
RON		D-2699	120	84,80	93,40	84,30	93,30
MON		D-2700	96	78,00	82,00	77,80	80,80
Índice antidetonante (RON+MON)/2			108	81,40	87,80	81,05	87,05
Índice de cierre de vapor ICV (%)	kPa			77,65	75,83	98,58	102,81
Hierumbre	clasificación	D-665	R1	R5	R5	R1	R1
Poder calorífico	MJ/kg	D-240	29,62	46,10	46,55	44,61	44,20
Destilación		D-86					
Punto inicial de ebullición	K			313,30	315,20	317,60	313,40
10%	K			333,40	335,40	330,00	327,60
50%	K			381,60	387,90	371,20	371,80
90%	K			450,50	461,10	432,20	444,80
Punto final de ebullición	K			493,20	505,90	480,10	494,20
% v/v a 70°C	%			19,90	18,30	39,10	41,20
% v/v a 100°C	%			44,00	41,60	51,10	50,50
% v/v a 190°C	%			93,60	90,50	96,50	93,90
Pérdidas	ml			0,70	1,00	1,00	1,00
Residuo	ml			0,70	1,00	1,00	0,80
Cromatografía % v/v	%	D-6623					
Parafinas			0	12,37	5,86	15,82	10,61
Isoparafinas			0	30,90	26,12	29,09	25,85
Aromáticas			0	22,07	30,66	16,24	22,76
Benceno			0	0,66	0,66	0,75	0,70
Naftenos			0,02	10,54	7,52	12,90	9,61
Olefinas			0,01	18,19	22,15	11,83	15,93
Origenados			99,97	0,37	0,52	10,41	10,82
No identificados			0	1,74	1,61	1,38	1,16
C12+			0	3,78	5,57	1,92	3,27

Fuente: TORRES Jaime; MOLINA Daniel. Estudio de la mezcla de gasolina con 10% de etanol anhidro. Evaluación de propiedades fisicoquímicas. Junio, 2002 p. 81.

Anexo C. Caracterización del etanol



Manuelita S.A.

NT 8913003241
AREA LABORATORIO PAC

No. 65824

RESULTADO DE ANALISIS

PRODUCTO : ALCOHOL CARBURANTE
 CLIENTE : TERPEL S.A.
 LOTE No : 0110002711
 No. DE DESPACHO : 92409119
 PLACAS VEHICULO : TKH818 - REMOLQUE: R37142
 FECHA DE PRODUCCION : Febrero 15 DE 2,010
 FECHA DE CERTIFICACIÓN : Febrero 15 DE 2,010
 FECHA DE DESPACHO : Febrero 16 DE 2,010
 CANTIDAD : 11,209.292 GALONES A 60 °F

CARACTERISTICA	UNIDAD	RESULTADO DEL ANALISIS	ESPECIFICACION (RESOLUCION 1985 DEL 27 DIC/2004 S.I.C.)		METODO PRUEBA
			MINIMO	MAXIMO	
ETANOL ANHIDRO EN TANQUE DE ALMACENAMIENTO			TABLA 1A		
COLOR PARA EL ALCOHOL		INCOLORO	Incoloro	Incoloro	VISUAL
ASPECTO		NOTA 1	Nota 1	Nota 1	VISUAL
ACIDEZ TOTAL (ACIDO ACETICO)	mg/L	24.00		56	ASTM D911 9902
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	uS/cm	78		500	ASTM D911 1967
DENSIDAD A 20 °C	Kg/L	789.70		791.5	ASTM D902
% ALCOHOLICO A 20°C	%Wt	99.90	99.5		ASTM D911
% ALCOHOLICO A 20°C	%Masa	99.79	99.2		ASTM D911
ALCALINIDAD		NEGATIVA	Negativo	Negativo	ASTM D911 9902
MATERIAL NO VOLATIL A 120°C	mg/L	0.20000		50	ASTM D911
ETANOL ANHIDRO DESNATURALIZADO EN CARRO TANQUE			TABLA 1B		
DENSIDAD A 20 °C (VEHICULO)	Kg/L	789.00		791.5	ASTM D902
% ETANOL (VEHICULO)	%Wt	97.67	95.3		
CONTENIDO DE AGUA	%Vol	0.0999		0.7	ASTM D1555
CONTENIDO DE DESNATURALIZANTE	%Vol	2.04	2	3	ASTM D1555
TEMPERATURA ALCOHOL CARBURANTE	°F	78.9	Nota 2	Nota 2	
PH		8.09	6.5	8.5	ASTM D902
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (VH)	uS/cm	79			ASTM D911 1967

NOTA: La Empresa certifica que el Producto denominado en este Documento cumple con los requisitos de calidad que se especifican.
 Los resultados de análisis corresponden al lote analizado en el Laboratorio, no se debe reproducir parcialmente el informe de ensayo sin la aprobación escrita del Laboratorio.

NOTA 1: Líquido, claro. libre de impurezas y de materiales en suspensión.

NOTA 2: Calculado a partir del registro de volúmenes de los surtidores de alcohol y gasolina.

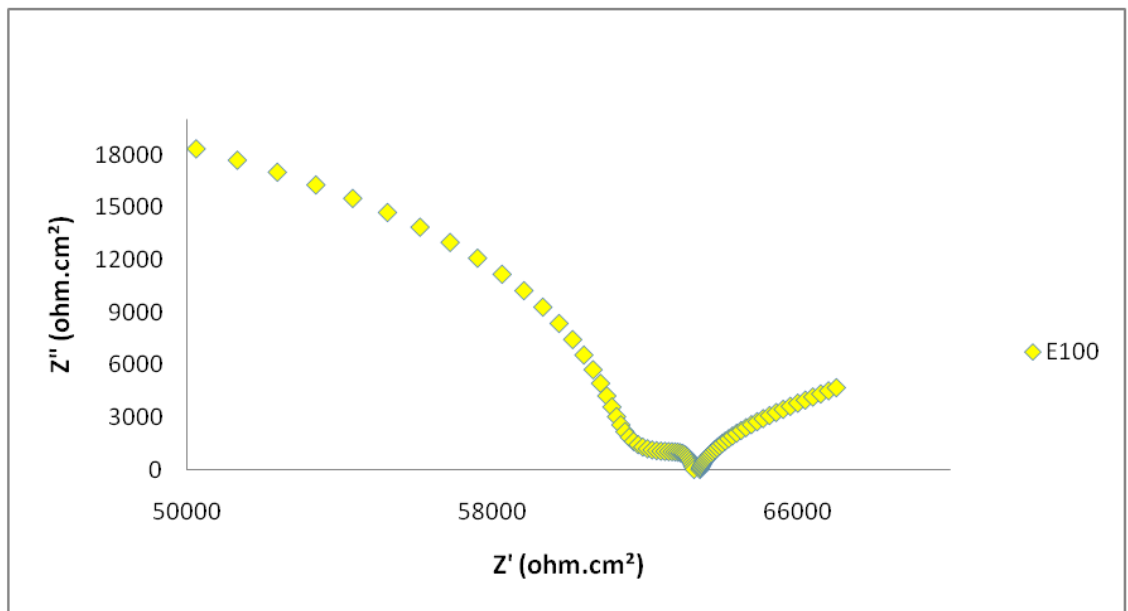
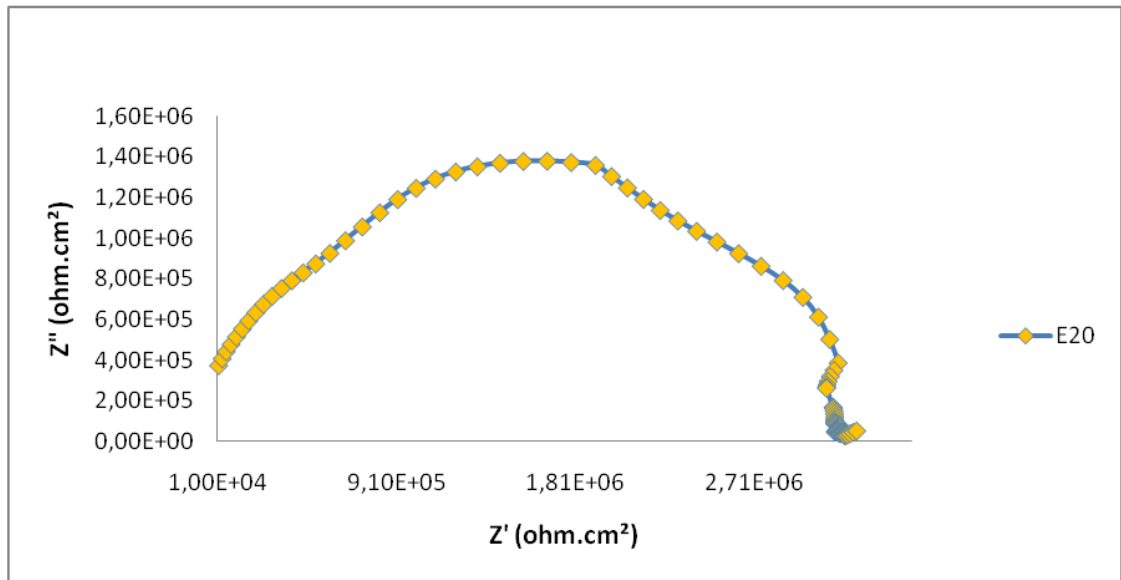
NOTA 3: Calculado a partir del registro de volúmenes y peso de los surtidores de alcohol y gasolina.

INOCENTE CASARETO

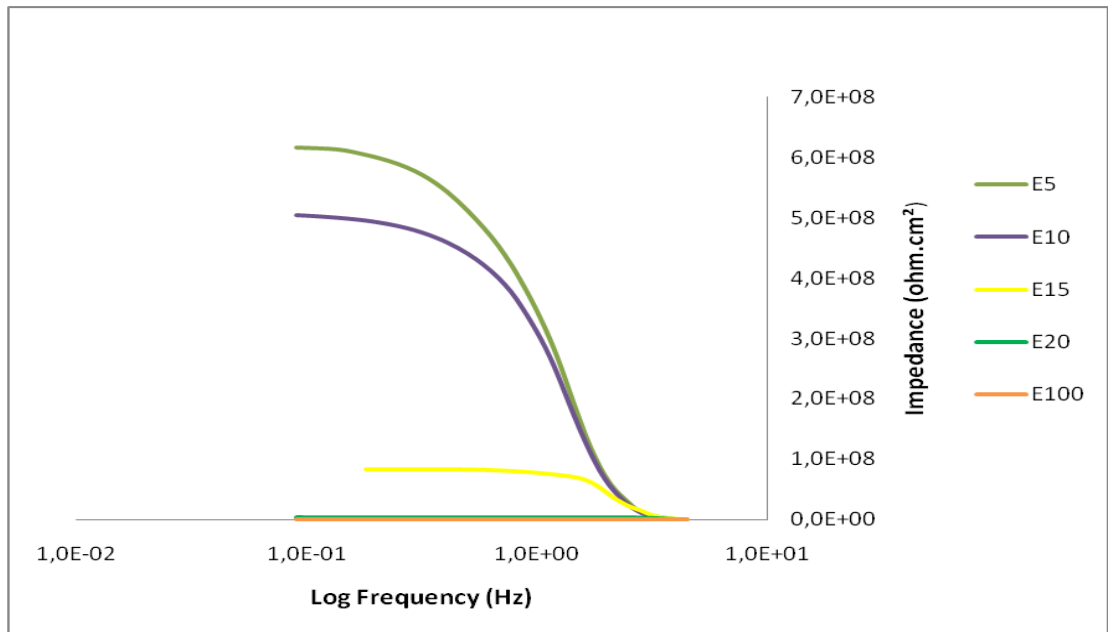
ANFI & PSICORRAB S.A.

Fuente: Manuelita S.A.

Anexo D. Diagramas de EIE Para Bronce

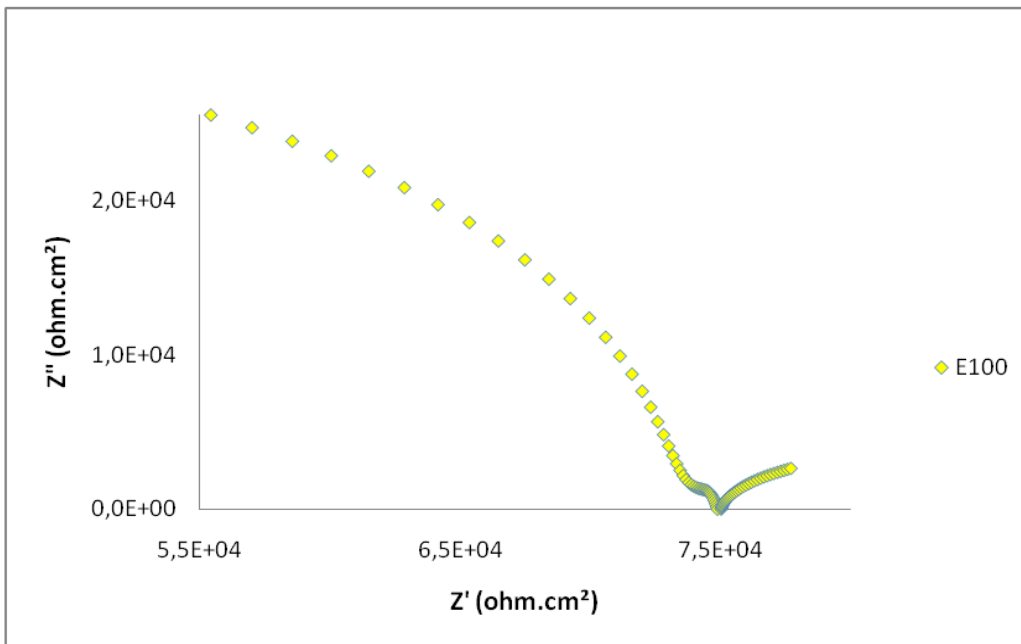
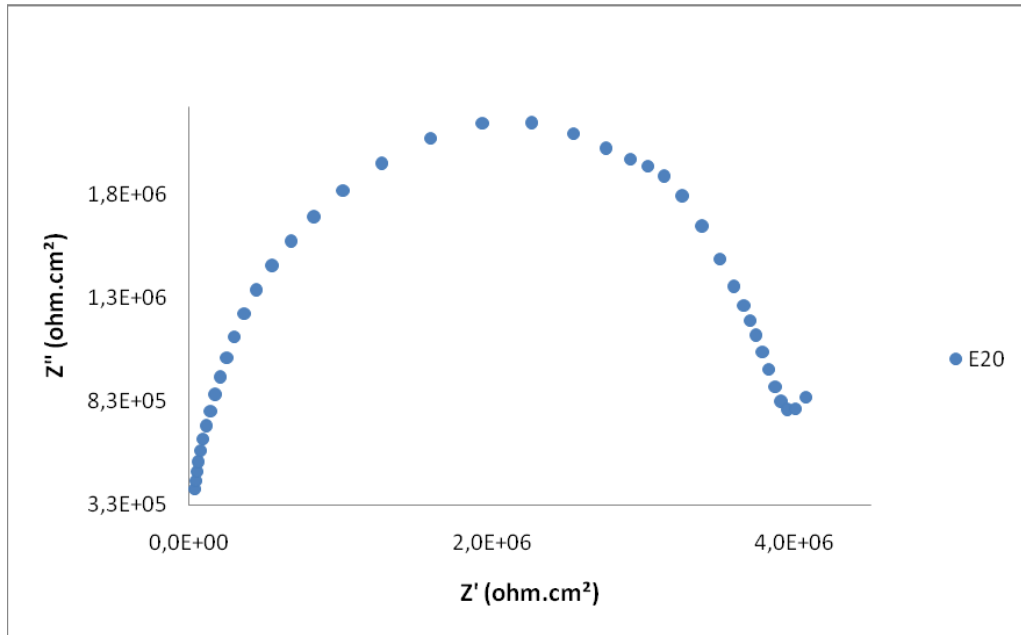


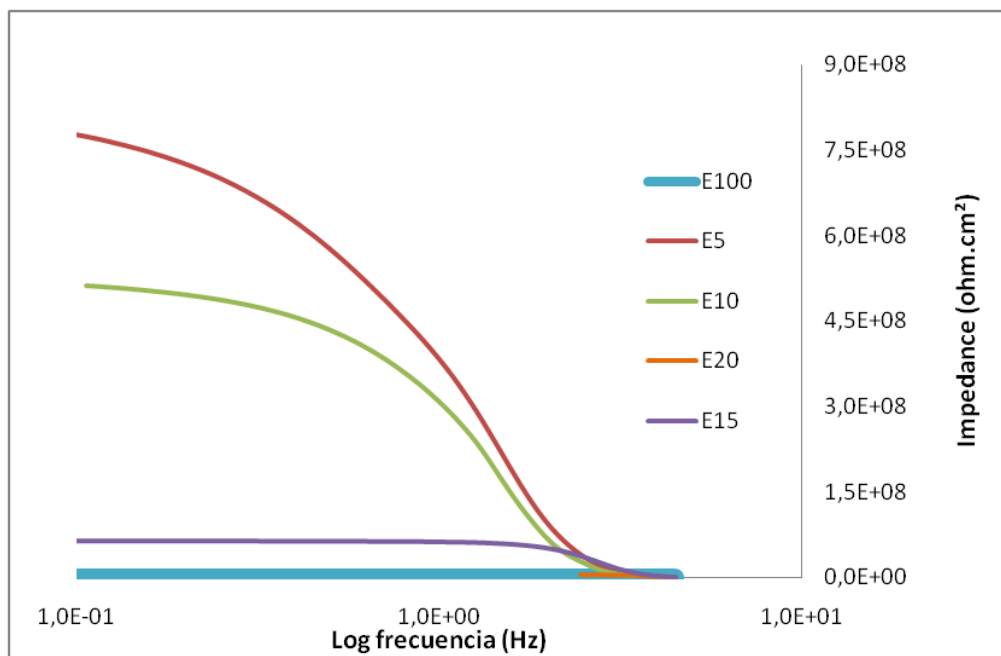
b.



Fuente: los autores

Anexo E. Diagramas de EIE Para Latón

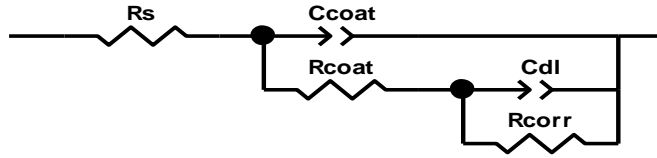




Fuente: los autores

Anexo F. Valores obtenidos mediante la simulación de los circuitos equivalentes.

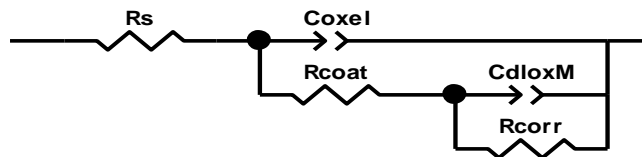
BRONCE



<u>Element</u>	<u>Freedom</u>	<u>Value</u>
Rs	Fixed(X)	12899
Ccoat-T	Fixed(X)	1,6787E-10
Ccoat-P	Fixed(X)	0,9279
Rcoat	Fixed(X)	53629
CdI-T	Fixed(X)	9,8503E-06
CdI-P	Fixed(X)	0,75511
Rcorr	Fixed(X)	22782

Chi-Squared: 0,00092065
 Weighted Sum of Squares: 0,11692

LATÓN



<u>Element</u>	<u>Freedom</u>	<u>Value</u>
Rs	Fixed(X)	10921
Coxel-T	Fixed(X)	1.584E-10
Coxel-P	Fixed(X)	0.91926
Rcoat	Fixed(X)	63519
CdloxM-T	Fixed(X)	5.1525E-05
CdloxM-P	Fixed(X)	0.64054
Rcorr	Free(±)	10696

Chi-Squared: 0.0020373
 Weighted Sum of Squares: 0.33615

Fuente: los autores