

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Estudio del comportamiento del acero inoxidable 316L en medios salinos mediante técnicas electroquímicas



Proyecto de Fin de Carrera

Valentina Nassekina

Curso 2011 / 2012

Agradecimientos

Quiero agradecer a Ginés Martínez, Ana Eva Jiménez y Joaquín Arias por haberme aportado todos los conocimientos necesarios para poder realizar este proyecto y siempre resolver todas y cada una de las dudas que me han surgido a lo largo de este tiempo.

A Fernando Ródenas, por darme su ayuda dentro del laboratorio y sus equipos.

A Samuel Aznar, por estar siempre a mi lado y apoyarme incondicionalmente en cualquier momento, ayudarme en todo lo posible y siempre estar a mi lado cuando lo necesito.

A Marina Nassekina y María Visitación Albertos, por confiar siempre que podría conseguirlo y nunca dejar de demostrarme todo su apoyo.

A todos, Gracias.

Índice

Capítulo I: Objetivos	11
Capítulo II. Introducción	15
1. Corrosión	15
2. Principios electroquímicos	15
3. Polarización	16
3.1. Polarización de activación	17
3.2. Polarización de concentración	18
3.3. Polarización de resistencia	18
4. Diagrama de Evans	18
5. Pasividad	21
5.1. Parámetros críticos de la transición actividad - pasividad ...21	
5.2. Comportamiento de los metales pasivables en distintos medios	23
5.3. Despasivación : potencial de Flade	24
Capítulo III. Materiales y métodos	29
1. Equipo y utensilios utilizados	29
1.1. Troceadora radial	29
1.2. Pulidora metalográfica y papeles de desbaste	30
1.3. Rugosímetro	31
1.4. Pie de Rey	31
1.5. Potenciostato	32
1.6. Calentador y agitador magnético	32
1.7. Otros materiales utilizados	33
2. Probeta del material	34
3. Realización de las medidas	36
4. Métodos experimentales	38
4.1. Potencial a circuito abierto	38

4.2.	Curva de polarización	38
4.3.	Velocidad de corrosión	40
5.	Métodos realizados con VoltaMaster 4	42
5.1.	Potencial a circuito abierto	42
5.2.	Curva de polarización	44
5.3.	Velocidad de corrosión	46
Capítulo IV. Resultados experimentales.		51
1.	Potencial a circuito abierto	51
1.1.	Disolución con salinidad del 2,7 % a temperatura ambiente ..	51
1.2.	Disolución con salinidad del 3,0% a temperatura ambiente ...	52
1.3.	Disolución con salinidad del 4,5%	53
1.3.1.	Ensayos a temperatura ambiente	53
1.3.2.	Ensayos a 45°C	54
2.	Curva de polarización	55
2.1.	Disolución con salinidad del 2,7% a temperatura ambiente ...	56
2.2.	Disolución con salinidad del 3,0% a temperatura ambiente ..	57
2.3.	Disolución con salinidad del 4,5%	58
2.3.1.	Ensayos a temperatura ambiente	58
2.3.2.	Ensayos a 45°C	59
3.	Velocidad de corrosión	61
3.1.	Disolución con salinidad del 2,7% a temperatura ambiente ...	61
3.2.	Disolución con salinidad del 3,0% a temperatura ambiente ...	62
3.3.	Disolución con salinidad de 4,5%	63
3.3.1.	Ensayos a temperatura ambiente	63
3.3.2.	Ensayos a 45°C	64
Capítulo V. Discusión de resultados		69
1.	Discusión de resultados a temperatura ambiente	69
1.1.	Potencial a circuito abierto	69

1.2. Curva de polarización	70
1.3. Velocidad de corrosión	72
2. Efecto de la temperatura	73
2.1. Potencial a circuito abierto	73
2.2. Curva de polarización	74
2.3. Velocidad de corrosión	76
Capítulo VI. Conclusiones	79
Bibliografía	81

Capítulo I: Objetivos

Capítulo I: Objetivos

Mediante técnicas electroquímicas, y una serie de ensayos se quiere obtener tanto el potencial a circuito abierto, las curvas de polarización y la velocidad de corrosión de un acero inoxidable 316L, para saber su comportamiento y su evolución en diferentes disoluciones de distintas salinidades y a diferentes temperaturas.

Este acero se puede utilizar tanto para la construcción de varios tanques tanto de laste como de combustible de buques como petroleros, quimiqueros, submarinos etc., en un contenedor cisterna para el transporte de gases peligrosos, cornamusas de amarre de embarcaciones y hasta se usa en relojería. Tiene infinidad de aplicaciones debido a sus propiedades.

Se utilizarán las disoluciones con salinidades de 2.7, 3.0, y 4.5% todas a temperatura ambiente.

Y las pruebas que se realicen en una disolución de una salinidad del 4.5% se realizará tanto a temperatura ambiente como a 45^aC ya que son las condiciones típicas que se analizan en una oficina técnica.

Antes de realizar ensayos electroquímicos es necesario realizar ensayos de inmersión, pero a partir de estudios anteriores, no se encuentra corrosión localizada en este material por lo que este proyecto se enfoca a estudios electroquímicos.

Debemos de comprobar el tipo de corrosión que se pueda producir en el material y su velocidad de desgaste, para ver así si es compatible para su utilización en un tanque de lastre en el cuál debido a su localización en el submarino, la temperatura oscila entre la temperatura ambiente y los 45°C.

Capítulo II: Introducción

Capítulo II. Introducción

1. Corrosión

Se denomina corrosión al ataque destructivo que sufre un material, generalmente metálico, por reacción química o electroquímica con su medio ambiente (atmósfera, suelo, agua, etc....)

El término corrosión suele referirse normalmente al ataque que sufren los metales, aunque otros materiales no metálicos, como cerámicos y los polímeros, también pueden ser deteriorados por ataques químicos directos, pero en estos casos suele utilizarse el término *degradación*.

La reacción que se produce en el fenómeno de la corrosión depende de la naturaleza química del entorno y de la concentración efectiva de las especies reactivas. El efecto de la corrosión es una alteración de las propiedades de los materiales afectados, que puede venir acompañada de una pérdida de material.

En los materiales metálicos el proceso de corrosión es normalmente electroquímico, es decir, una reacción química en la cual hay una transferencia de electrones de una especie a otra.

2. Principios electroquímicos

La energía necesaria para arrancar un electrón de un metal varía mucho en los diferentes casos. Si dos metales se ponen en contacto, uno de ellos tenderá a aceptar electrones del otro hasta que la diferencia de potencial establecida por la transferencia sea suficiente para oponerse a un nuevo paso de electrones a través de la superficie de contacto.

Si estos dos metales se unen por medio de una solución salina puede generarse una corriente eléctrica, siendo generada por cambios químicos.

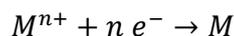
Al disolver una sal en agua, se produce su disociación instantánea, quedando electrolíticamente disociada en iones portadores de cargas eléctricas denominados:

- Cationes: iones de carga positiva
- Aniones: iones de carga negativa

Tanto para pilas productoras de corriente como para células electrolíticas consumidoras de energía eléctrica, se tienen las siguientes definiciones:

- Cátodo: polo o electrodo hacia el cual se dirigen los cationes
- Ánodo: polo o electrodo hacia el cual se dirigen los aniones

Una vez disociada la sal, si se tiene una fuente de electrones, pueden reducirse los cationes a metal



Esta reacción de reducción se produce en el cátodo. Mientras, en el ánodo, se produce una reacción de oxidación.

3. Polarización

Aunque el equilibrio energético entre un metal y su medio determinan su tendencia a la corrosión, para algunos metales, como el aluminio y el manganeso, la velocidad con la que se lleva a cabo la reacción puede ser tan lenta que el ataque corrosivo adquiriera mucha menos importancia que en otros metales con una tendencia menor.

La razón de esto se encuentra en la alteración de los estados de equilibrio iniciales. Un electrodo deja de estar en equilibrio cuando existe alguna corriente eléctrica que entre o salga por su superficie. El potencial de electrodo varía con el tiempo en función de la magnitud de la corriente y de su dirección. El sentido del cambio producido en el

potencial siempre tiende a oponerse al paso de corriente eléctrica, tanto si se aplica desde una fuente exterior como si es de origen galvánico.

Así, por ejemplo, en una pila galvánica, la diferencia de potencial que se tiene inicialmente, es siempre mayor que la diferencia de potencial medido cierto tiempo después de circular la corriente por un circuito exterior. Esto es consecuencia de que el potencial del ánodo se va haciendo más catódico, mientras que el del cátodo se hace más anódico.

Se denomina polarización a la variación del potencial de un electrodo, causado por la corriente aplicada o extraída de un electrodo. A la magnitud de dicha variación se le suele denominar sobrevoltaje, sobretensión o sobrepotencial.

El sobrevoltaje, medido en voltios expresa la diferencia que existe entre el potencial de electrodo a una intensidad de corriente determinada, E , y el potencial de electrodo en condiciones de equilibrio, E^0 .

$$\eta = E - E^0$$

La representación gráfica del sobrevoltaje en función de la intensidad de corriente que atraviesa el electrodo se denomina curva de polarización. Hay tres clases fundamentales de polarización: de activación, de concentración y de resistencia.

3.1. Polarización de activación

Las reacciones electroquímicas que intervienen en la corrosión se suceden en una serie de etapas que tienen lugar en la interfase electrodo/electrolito.

La polarización de activación está asociada a la etapa más lenta de reacción, en la que se produce la transferencia de carga electroquímica. Es el resultado de la barrera de energía de activación que aparece en la interfase electrodo/electrolito.

3.2. Polarización de concentración

Existe polarización de concentración cuando, como consecuencia del flujo de corriente, se producen cambios de concentración del electrolito en las inmediaciones de la superficie del electrodo.

Este tipo de polarización disminuye con la agitación o mediante cualquier otra medida que vuelva a restablecer las concentraciones.

3.3. Polarización de resistencia

Es una modificación del equilibrio debido a la presencia de una resistencia de un valor elevado que produce un desplazamiento del potencial.

Sus causas son los electrolitos con alta resistividad y la presencia de capas de productos de corrosión poco conductoras.

4. Diagrama de Evans

La mayoría de los factores que afectan a la velocidad de corrosión se pueden comprender a partir de la superposición gráfica de las curvas intensidad / potencial para las reacciones de disolución del metal y de reducción.

Ordenadas: valores crecientes del potencial

Abscisas: intensidades de las corrientes de oxidación y de reducción, sin tener en cuenta su signo (valores absolutos).

También es frecuente representar el potencial en función del logaritmo de la intensidad de corriente, con lo que en general se obtienen líneas rectas.

Punto de intersección -> potencial y corriente de corrosión.

La forma que presenta el diagrama de Evans depende de las características cinéticas de cada proceso.

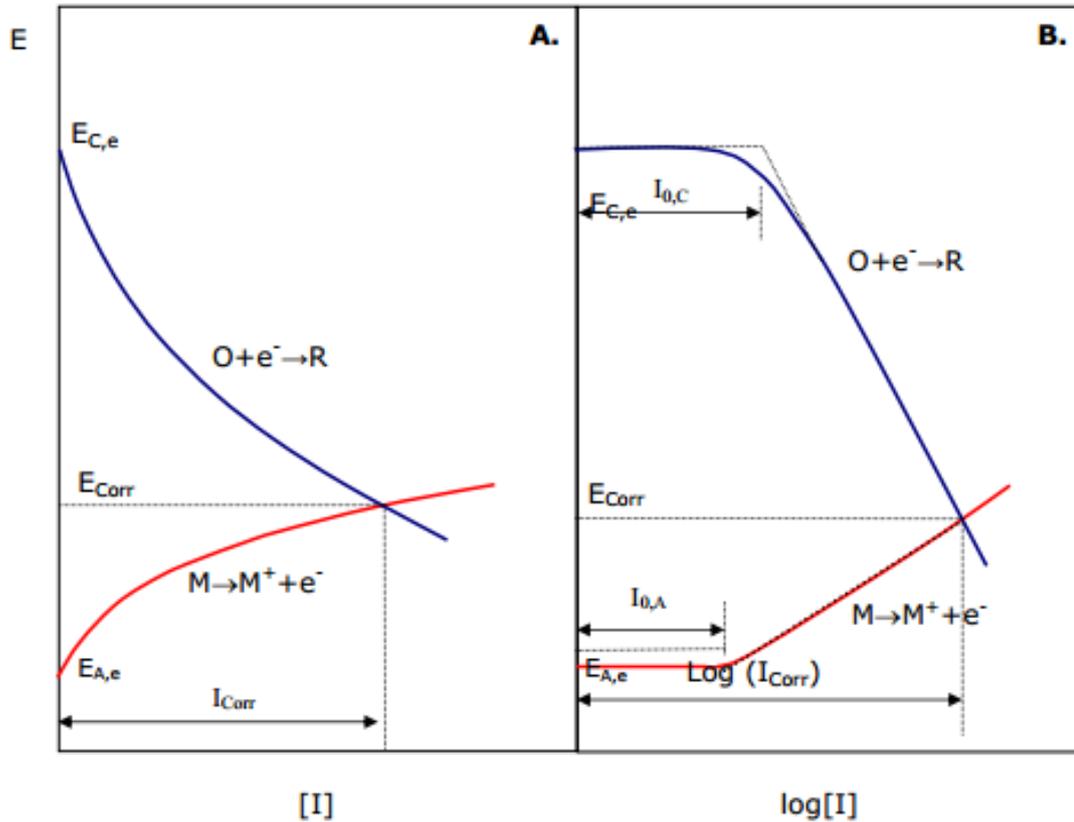


Figura 1. Diagrama de Evans: A. potencial vs. Intensidad de corriente; B. potencial vs. Logaritmo de la intensidad de corriente. El punto de intersección de las curvas define el potencial de corrosión y la corriente de corrosión.

Factores que afectan el comportamiento frente a la corrosión:

- Influencia de la corriente de intercambio catódico o anódico: desplazamiento del potencial de corrosión, con un aumento de la corriente de corrosión.
- Influencia de la pendiente de Tafel: aumentos de la pendiente de Tafel hace más negativo el potencial de corrosión y disminuye la velocidad de corrosión.
- Influencia del potencial de equilibrio: además de los factores señalados con anterioridad hay que tener en cuenta la resistencia del electrolito.

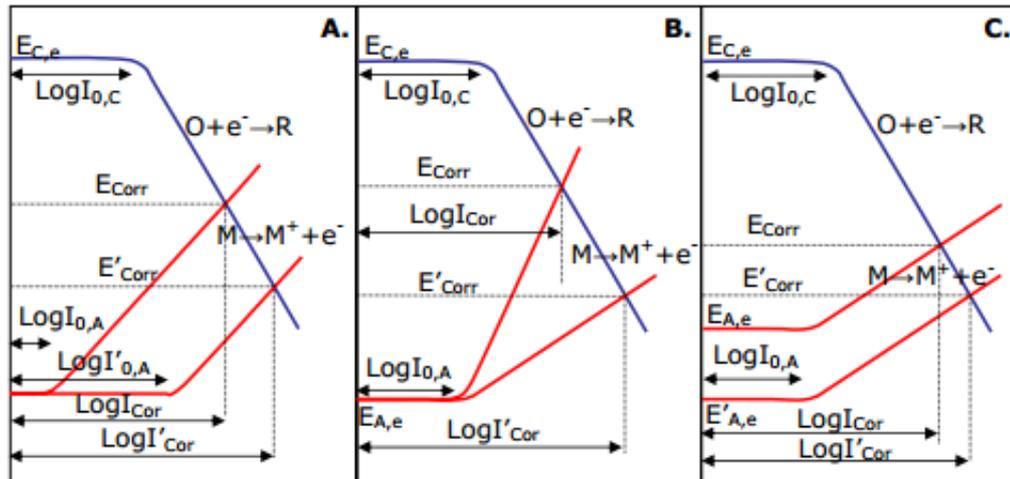
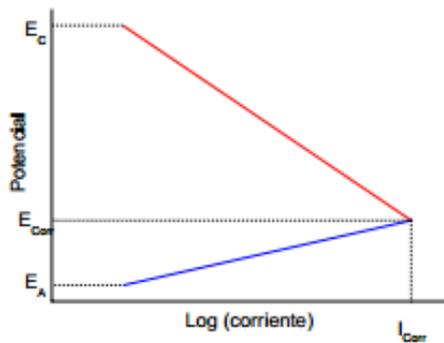


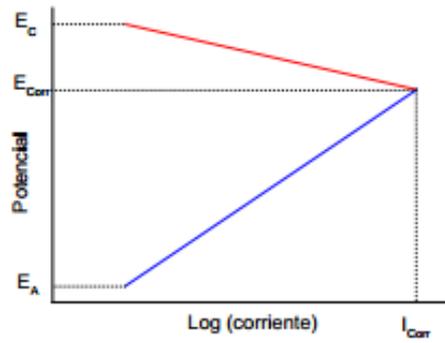
Figura 2. Diagrama de Evans. Efecto de: A. la corriente de intercambio; B. el coeficiente de transferencia y C. el potencial de equilibrio sobre la velocidad de corrosión de los metales.

Dependiendo del factor más importante se habla de diferentes tipos de control:

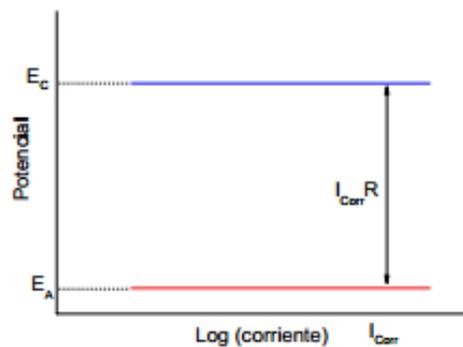
- i) Control anódico: La velocidad de corrosión depende ampliamente de la curva anódica
- ii) Control catódico: la velocidad de corrosión depende ampliamente de la curva catódica
- iii) Control mixto: ambos procesos determinan por igual la corriente de corrosión.
- iv) Control por difusión
- v) Control de resistencia



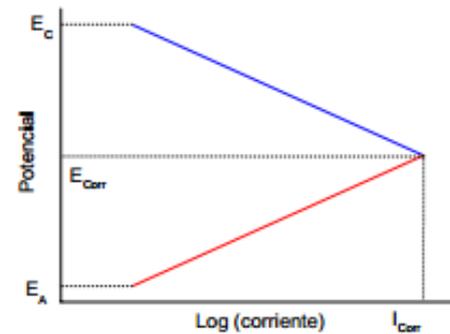
Control catódico



Control anódico



Control por resistencia



Control mixto

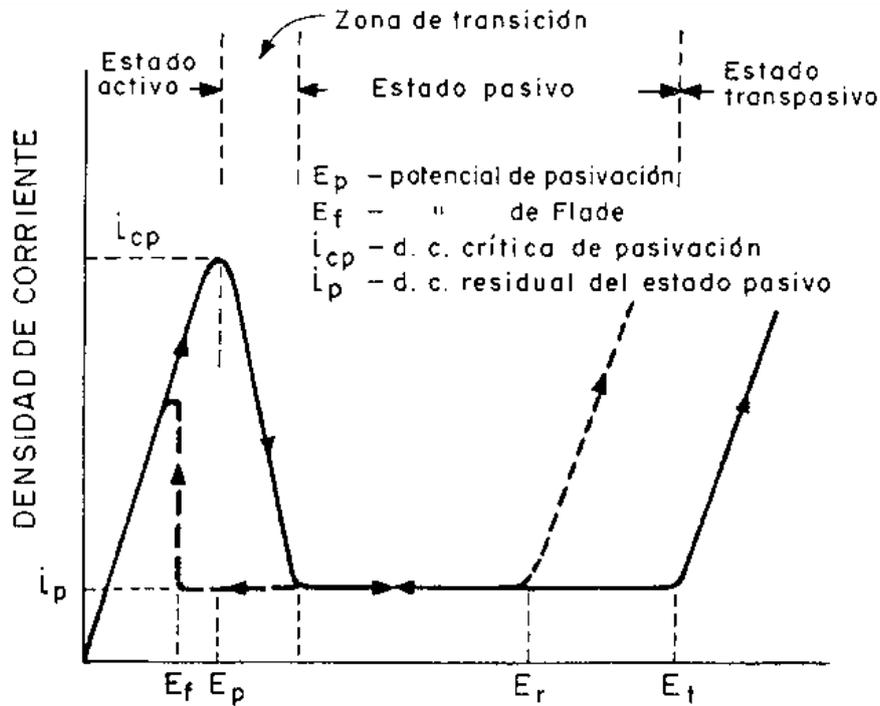
5. Pasividad

Se dice que un material está pasivado cuando se encuentra prácticamente inalterado, por largos periodos de tiempo, en medios en los que debiera reaccionar, si se tiene en cuenta su tendencia termodinámica, es decir, a potenciales comprendidos entre los de equilibrio de material metálico en el medio y otro superior correspondiente al de reducción del oxígeno, o de cualquier otra sustancia del medio susceptible de reducirse.

5.1. Parámetros críticos de la transición actividad - pasividad.

La curva de polarización anódica experimenta cambios fundamentales con respecto a la de los materiales sin transición entre los estados activo y pasivo, adquiriendo una forma característica que recuerda a una S

deformada. En la siguiente figura podemos ver el trazo típico y los parámetros característicos.



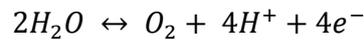
Gráfica 1. Curva de polarización

A potenciales no muy superiores del potencial de equilibrio (o del E_{corr} en los trazados experimentales) el metal se disuelve en forma iónica mostrando normalmente polarización por transferencia de carga, con el comportamiento de Tafel propio de los procesos controlados por activación. Es la región activa.

Al ir aumentando el potencial, la velocidad de disolución cae bruscamente a un valor muy pequeño, cuando se alcanza un valor característico del fenómeno, conocido como potencial de pasivación E_p , al que corresponde para cada sistema metal/medio una densidad de corriente crítica de pasivación, i_{cp} . Es el comienzo de la zona o región pasiva, con una densidad de corriente varios órdenes de magnitud

inferior a i_{cp} y que permanece esencialmente independiente del potencial entre amplios márgenes de esta variable; es la denominada densidad residual de pasivación o, simplemente, densidad de corriente del estado pasivo, i_p .

Finalmente, a potenciales muy positivos, la intensidad crece de nuevo con el potencial a partir de un valor E_i , entrando en la región transpasiva. Este incremento de la intensidad puede deberse, si las capas de pasivación son conductores electrónicos, a una simple descomposición del agua, para potenciales superiores a 1,23 V, valor estándar correspondiente a la reacción:



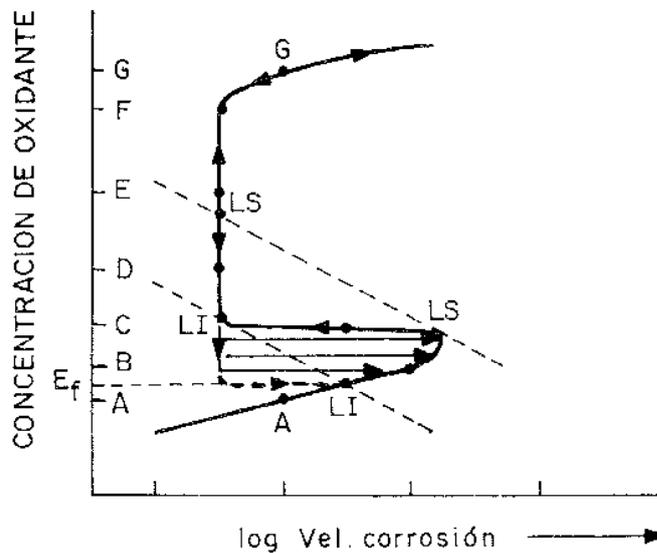
En otras ocasiones se debe a una nueva reacción de corrosión, con formación de productos en los que interviene el metal con un número de oxidación elevado. Es, por ejemplo, el caso del cromo o de los aceros inoxidable que, en lugar de disolverse como Cr^+ , lo hacen como CrO_4^- en la región transpasiva, por encima de 0,71 V.

5.2. Comportamiento de los metales pasivables en distintos medios

La tendencia a la pasivación puede ponerse de manifiesto por la forma característica de las curvas de polarización anódica de los metales y aleaciones pasivables, pero, para comprender como se comportan en la práctica, estas deben combinarse con la curva de polarización de la semirreacción catódica, para encontrar por intersección de ambas las condiciones de funcionamiento del sistema en estado estacionario.

5.3. Despasivación : potencial de Flade

Si se parte de la concentración de oxidante correspondiente a la curva y se va aumentando progresivamente, se recorrerá la curva de polarización anódica desde A a G y no se pasivará el metal hasta que se añada la cantidad de oxidante suficiente para proporcionar la densidad de corriente crítica de pasivación i_{cp} , la correspondiente al límite superior de la zona rayada.



Gráfica 2. Curva de polarización

En cambio si se parte del punto G, al ir disminuyendo la concentración del oxidante se recorrerá la curva desde G hasta A, sin que se produzca la transición al estado activo al entrar en la zona rayada, sino que se conserva la pasividad hasta llegar al límite inferior, siempre que alguna acción mecánica no fuerce la transición antes, una vez que se penetra en la zona de pasividad inestable.

La consecuencia práctica más importante de todo lo anterior es, que la cantidad o potencia del oxidante necesaria para producir la pasivación es mayor que la requerida para mantenerla una vez conseguida. Pero si se quiere la pasividad perfecta, debe utilizarse una concentración igual o

superior a la necesaria para producirla espontáneamente, con el fin de prevenir un posible tránsito inesperado al estado activo, con un aumento de la velocidad de corrosión de varios órdenes de magnitud.

Este comportamiento, en una representación de la concentración del oxidante frente a la velocidad de corrosión nos da una representación como la anterior expuesta y, teniendo en cuenta que a cada concentración del oxidante le corresponde un potencial característico, la reactivación de la curva de retorno se produciría a un potencial inferior E_p .

El fenómeno de reactivación fue estudiado por primera vez por Flade y al potencial al que tiene lugar se le denomina en su honor, potencial de Flade, E_f .

Capítulo III: Materiales y Métodos

Capítulo III. Materiales y métodos

1. Equipo y utensilios utilizados

Para el desarrollo del siguiente proyecto el equipo necesario para ello el siguiente:

1.1. Troceadora radial

Para el corte del acero inoxidable 316L se ha utilizado la troceadora radial de la casa Buehler Metaserv.

Equipada en su interior con un disco de carburo de silicio que se encuentra en el plano perpendicular al plano de la posición de la plancha del material.

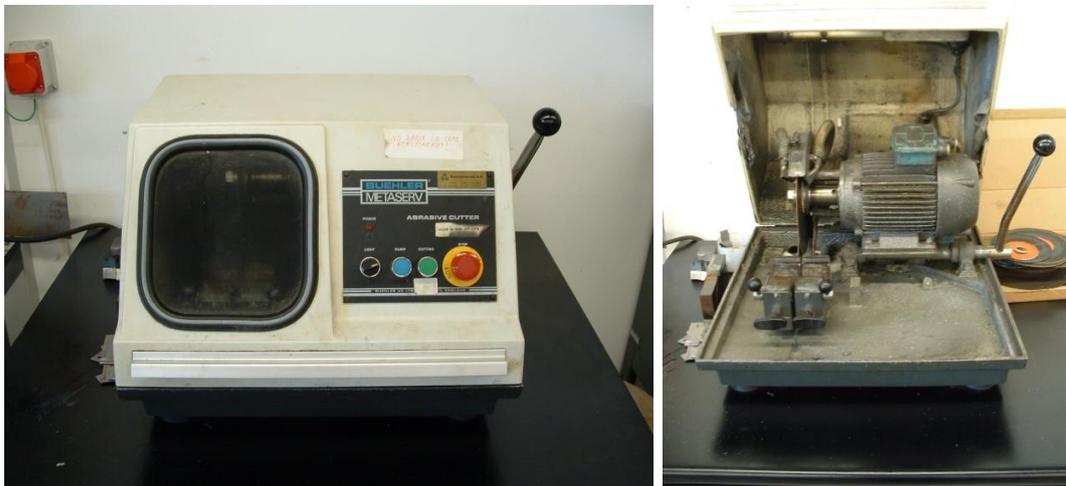


Ilustración 1 . Troceadora radial

1.2. Pulidora metalográfica y papeles de desbaste

Para llevar a cabo el pulido de la muestra de acero inoxidable 316L se empleó una pulidora de la casa Buehler, modelo Phoenix Beta. Las operaciones se realizaron de forma manual debido a la geometría de la probeta y mayor rapidez de manejo y se realizaron a una velocidad de 250 rpm.

Los papeles utilizados en el desbaste de la probeta son de la casa Presi siendo el número de grano empleado de 180, 400, 600 y 1200.



Ilustración 2. Pulidora metalográfica y papeles de desbaste

1.3. Rugosímetro

Para determinar la rugosidad de la muestra y siempre trabajar con el mismo rango de rugosidad se ha utilizado el rugosímetro SM7 de Profiltest.



Ilustración 3. Rugosímetro

1.4. Pie de Rey

Para determinar el área de trabajo de nuestra muestra de acero se empleó un pie de rey con una precisión de 0,02 mm.



Ilustración 4. Pie de rey

1.5. Potenciostato

Se ha utilizado el potenciostato/galvanostato PGP 201 VoltaLab para la obtención de todos los datos experimentales.



Ilustración 5. Potenciostato/galvanostato VoltaLab

1.6. Calentador y agitador magnético

Se ha utilizado para calentar el medio electrolítico hasta una temperatura de 45°C con una precisión de hasta $\pm 2^\circ\text{C}$ un calentador/agitador magnético equipado con un termómetro de contacto electrónico y regulador de temperatura que mantendrá la temperatura durante el experimento.



Ilustración 6. Calentador/agitador magnético

1.7. Otros materiales utilizados

También se deben de mencionar los siguientes materiales: las probetas del material (explicada su realización en el apartado siguiente), el contraelectrodo fabricado de platino, un electrodo de referencia Ag/AgCl 3M KCl y la disolución salina.

2. Probeta del material

Se debe de realizar varias probetas de nuestro acero inoxidable. El acero 316L forma parte de la familia de los aceros inoxidables austeníticos de molibdeno, cromo y níquel, que presenta la siguiente composición:

- Carbono máx. 0.035%
- Manganeso máx. 2.00%
- Fosforo máx. 0.04%
- Azufre máx. 0.03%
- Silicio máx. 0.75%
- Cromo 16.00 – 18.00 %
- Níquel 10.00 – 15.00 %
- Molibdeno 2.00 – 3.00 %

Los aceros inoxidables austeníticos tienen unas características muy definidas como: excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene-limpieza, son fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas, etc.

En concreto el acero 316L presenta la característica de tener un bajo contenido en carbono, lo que lo hace especialmente indicado en el caso de necesitar una buena resistencia a la corrosión en estructuras soldadas. Este bajo contenido en carbono se denota mediante la letra L. Este tipo de acero fue desarrollado a partir del acero inoxidable 316, que tiene un contenido mayor en carbono y presenta un peor comportamiento frente a la corrosión debido a ello. Este acero inoxidable austenítico es uno de los estándar dentro de esa familia, y se recomienda su utilización en ambientes marinos e industriales.

Las principales propiedades mecánicas del acero 316L son las siguientes:

- Mínima resistencia correspondiente al 0,2%: 220 N/mm²
- Resistencia última a tracción: 520-670 N/mm²
- Alargamiento de rotura: 40%

Para nuestros experimentos se realizaron 3 probetas siguiendo el método más recomendado.

En un primer momento se cortaron 3 trozos del material.

Siendo el área de la cara de 1,2 cm².

El método recomendado para el encapsulamiento del material es mediante una resina epoxi. Para preparar esta resina se deben de mezclar los componentes con un 27% de endurecedor, tras obtener la mezcla se vierte en un molde con el trozo del material puesto en el fondo del molde y siempre centrado, en contacto con un tornillo para una sujeción a la

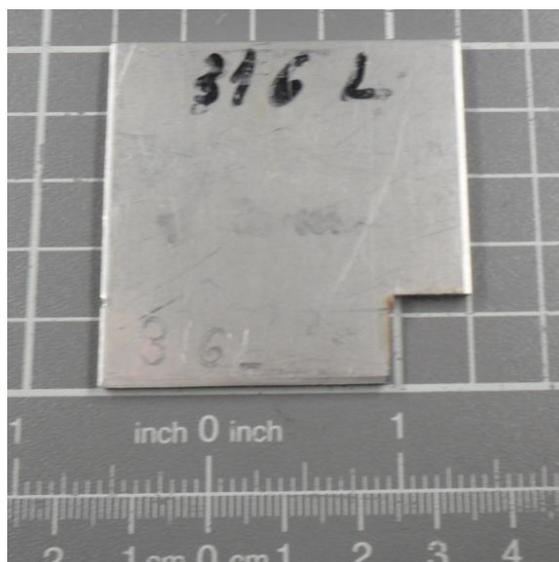


Ilustración 7. Placa acero inoxidable 316L del que se obtuvieron las probetas de estudio

hora de realizar las medidas electroquímicas y dejar pasar la corriente.

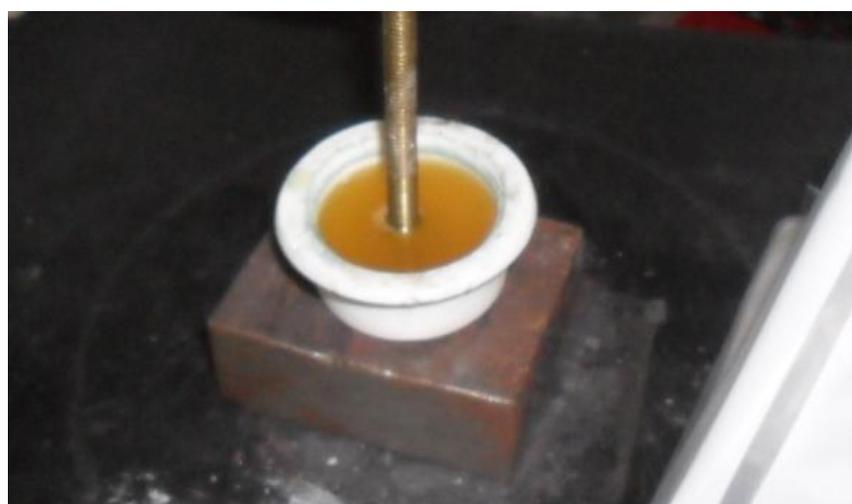


Ilustración 8. Molde con una mezcla epoxi y el acero inoxidable 316L

Se puede meter el molde en un horno y así se endurecerá mucho más rápido, pero en nuestro caso se dejó reposando a temperatura ambiente durante 24h.

Tras este tiempo se desmolda la probeta, se limpia y pule la parte en la que se encuentra el material a estudiar.

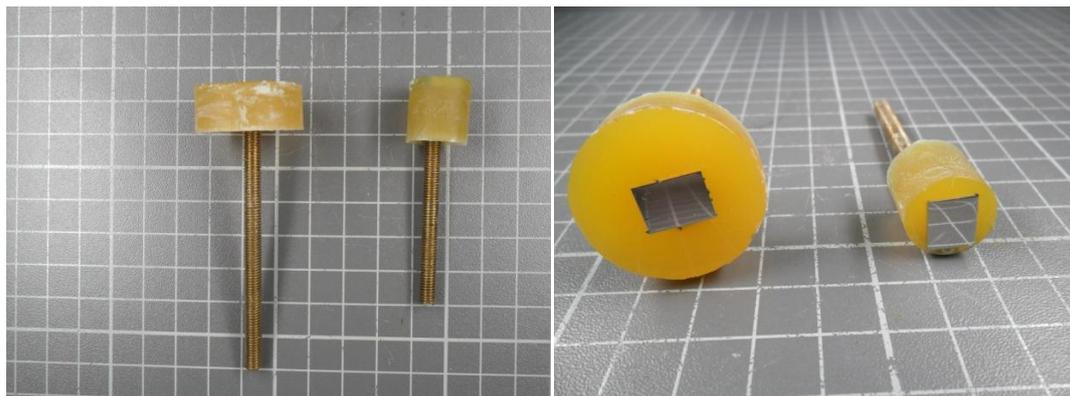


Ilustración 9. Probetas de estudio

Ilustración 10. Probetas de estudio

Después se debe de recubrir el tornillo por la parte de la resina con plástico para así asegurarnos que no esté en contacto con la disolución al realizar las medidas. Para asegurarlo completamente se recubre la parte de contacto del plástico y resina con adhesivo Loctite.

Tras obtener nuestras probetas siempre se debe de comprobar que no presenten una gran resistencia, para evitar resultados erróneos.

3. Realización de las medidas

En todos los métodos utilizados se debe de realizar la misma preparación experimental, y siempre que se vaya a realizar un nuevo experimento se debe de realizar una limpieza del material y un cambio de disolución.

Se utilizó un vaso de precipitado de 500 ml como recipiente para el electrolito. En este vaso se introduce una probeta, un contraelectrodo de platino, y un electrodo de referencia, todos sujetos por unas pinzas que se encuentran en un soporte. Dentro del vaso de precipitado se añade la disolución de estudio. Todos los electrodos se conectan al equipo VoltaLab, siendo “Aux.” el contraelectrodo, “Work” nuestro material de estudio y “Ref.” el electrodo de referencia.



Ilustración 11. Preparación y conexión del equipo

4. Métodos experimentales

4.1. Potencial a circuito abierto

En todo proceso corrosivo existen, necesariamente, dos tipos de reacciones electródicas, unas anódicas y otras catódicas. Dichas reacciones se dan simultáneamente en áreas diferentes de la superficie del metal. Normalmente las reacciones no son reversibles, pues no corresponden a procesos en equilibrio e involucran especies reactivas diferentes. En las áreas anódicas suceden reacciones de disolución u oxidación metálica.

En las áreas catódicas, se pueden presentar diferentes reacciones de reducción dependiendo de la naturaleza y concentración de las especies presentes en el medio.

El potencial en las áreas anódicas estará definido por la relación metal/ion metálico, mientras que el potencial en las áreas catódicas lo definirla el tipo de reacción o reacciones que predominen en el proceso catódico. Teniendo en cuenta el principio de que toda la superficie electródica es equipotencial, es decir, posee el mismo potencial eléctrico en toda la superficie, el metal que sufre corrosión tiende a asumir un único potencial de electrodo, haciendo que todas las áreas anódicas y catódicas se polaricen entre sí para alcanzar un único valor de potencial, el cual se conoce como potencial de circuito abierto o potencial de corrosión, E_{corr} .

4.2. Curva de polarización

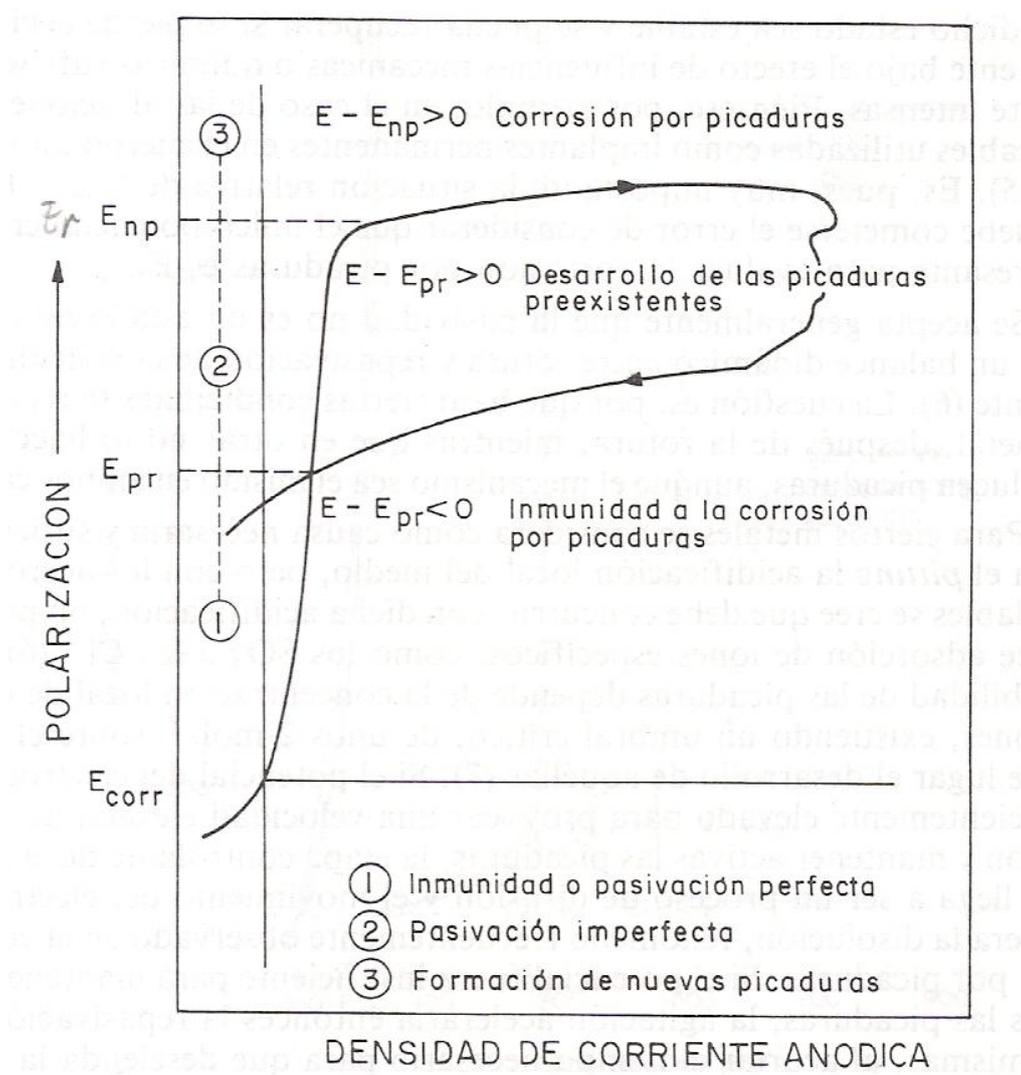
Con éste método básicamente evaluaremos la susceptibilidad a la corrosión por picadura de nuestro material.

Es preciso distinguir dos valores críticos del potencial en la corrosión por picaduras: el potencial de ruptura, E_r , también conocido por

potencial de nucleación de picaduras, E_{np} y el potencial de repasivación o protección E_{pr} .

El concepto físico de ambos potenciales es diferente, el potencial de ruptura indica el límite por encima del cual se inicia la formación de picaduras, mientras que el potencial de protección se refiere al límite por debajo del cual el metal permanece pasivo en cualquier circunstancia, marcando la frontera entre pasividad estable e inestable.

Para la determinación de estos potenciales se puede proceder de la siguiente forma, si se adopta el potencial como variable independiente, resulta el esquema siguiente, correspondiente al caso en el que se impone una variación continua más o menos rápida de potencial.



Gráfica 3. Curva de polarización

El trazado de la curva anódica en la dirección de los potenciales crecientes revela E_r ; si se completa el trazado con la curva de retorno hacia el potencial de corrosión, E_{corr} , se manifiesta también E_{pr} . El campo de variabilidad de los potenciales queda dividido en zonas bien definidas, que se ven claramente en la Grafica 3.

De la que se obtienen las siguientes orientaciones sobre la probabilidad de aparición de picaduras:

- Cuando mayor sea la diferencia $E_{np}-E_{corr}$ mayor es la resistencia y menos probable su aparición.
- Si $E_{pr}>E_{corr}$, el metal tendrá capacidad de regenerar la capa de pasivación ante una eventual ruptura de la misma y la repasivación será tanto más fácil cuando mayor sea la diferencia.
- Si $E_{pr}<E_{corr}$, el metal o aleación permanecerá en el estado activo una vez destruida la pasividad y las picaduras crecerán sin interrupción

El modo más efectivo de evitar las picaduras será, pues la elección de materiales con potenciales de ruptura y de repasivación mucho mayores que E_{corr} y con una pequeña histéresis anódica ($E_{np}-E_{pr}$)

4.3. Velocidad de corrosión

Para estudiar la velocidad de corrosión del material en contacto con un electrolito se utilizó el método de la resistencia de polarización.

El procedimiento se basa en que las curvas de polarización son prácticamente rectas en un pequeño entorno de E_{corr} , y su pendiente está relacionada con la velocidad de corrosión.

Teniendo en cuenta que en el límite:

$$x \rightarrow 0, e^x = 1 + x \quad y \quad e^{-x} = 1 - x$$

De la expresión general siguiente:

$$i_t = i_a + i_c = i_{corr} \left[e^{\left(\frac{\alpha n F}{RT} \eta\right)} - e^{\left(\frac{-\beta n F}{RT} \eta\right)} \right]$$

Se deduce que:

$$i_t = i_{corr} \left(\frac{\alpha n F}{RT} \eta + \frac{\beta n F}{RT} \eta \right)$$

Considerando los valores de las pendientes de Tafel considerándolas constantes y para $\eta \rightarrow 0$, podemos adaptar una expresión mucho más simple

$$i_{corr} = \frac{B}{R_p}$$

En la práctica le aplicaremos una pequeña polarización de 10 mV y mediremos la intensidad correspondiente siendo esta polarización entre la intensidad la resistencia buscada.

La determinación de las velocidades de corrosión como densidades de corriente ofrece una sensibilidad prácticamente ilimitada, gracias a la gran cantidad de electricidad que se necesita para disolver un equivalente químico. Quizás la ventaja esencial reside en que electroquímicamente se puede llegar a una estimación de la velocidad de ataque en tiempos muy cortos.

5. Métodos realizados con VoltaMaster 4

En los siguientes subapartados se explicará brevemente cómo utilizar el programa VoltaMaster 4, que controla el equipo electroquímico VoltaLab.

Siempre se supondrá que se ha abierto una nueva secuencia y los datos de área de la celda están correctamente introducidos.

En los apartados en los que no se indican los valores a introducir, se supondrá que los datos proporcionados por defecto por el programa son correctos.

5.1. Potencial a circuito abierto

En el apartado de Sequence, Sequence edition, elegimos en el apartado de corrosión el método de Open Circuit Potencial.

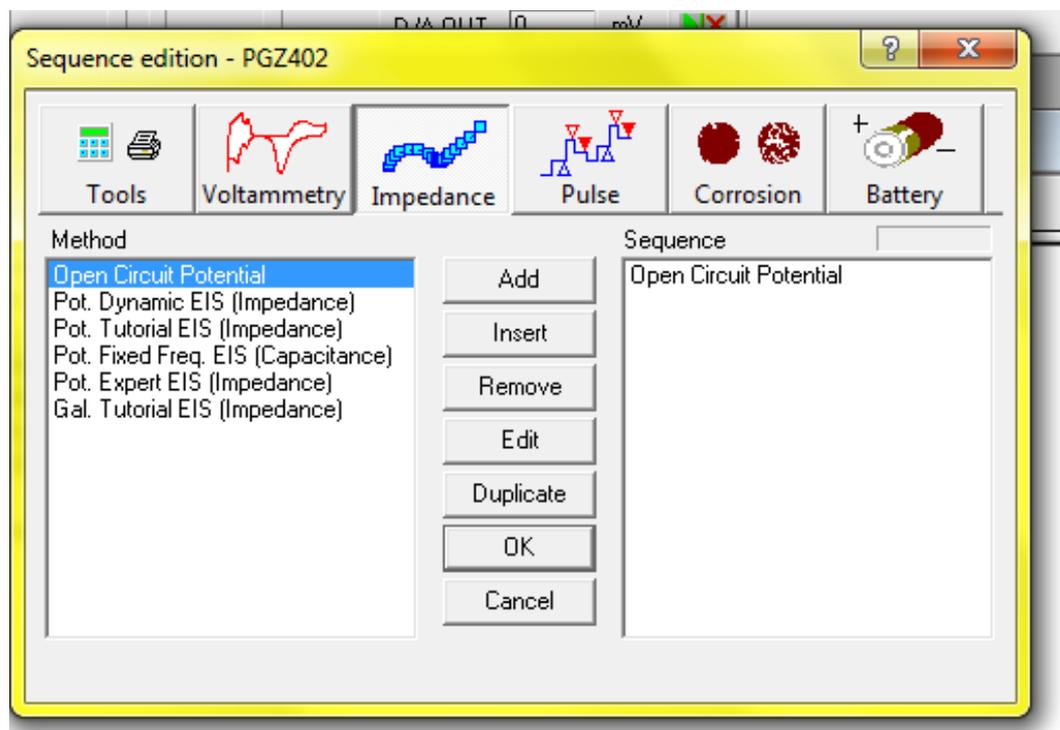


Ilustración 12. Captura de pantalla Open Circuit Potencial VoltaMaster 4

Se añade a secuencia y se editan los parámetros, deberemos de indicar la duración de nuestro experimento y cada qué intervalo de tiempo debe de registrar el potencial.

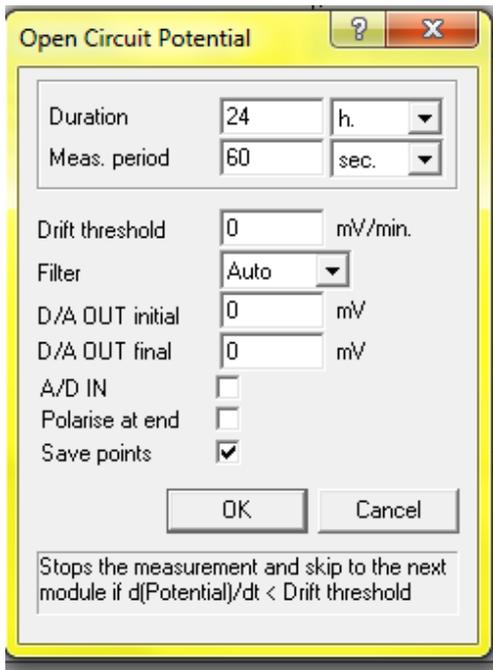


Ilustración 13. Edición Open Circuit Potential

Para nuestro caso siempre se utilizó una duración de experimento de 24 horas y un intervalo de toma de datos de 1 minuto. En el momento en el que el potencial se estabilizó, el experimento fue interrumpido.

5.2. Curva de polarización

En el apartado de Sequence, Sequence edition, elegimos en la parte de corrosión el método de Pitting corrosión.

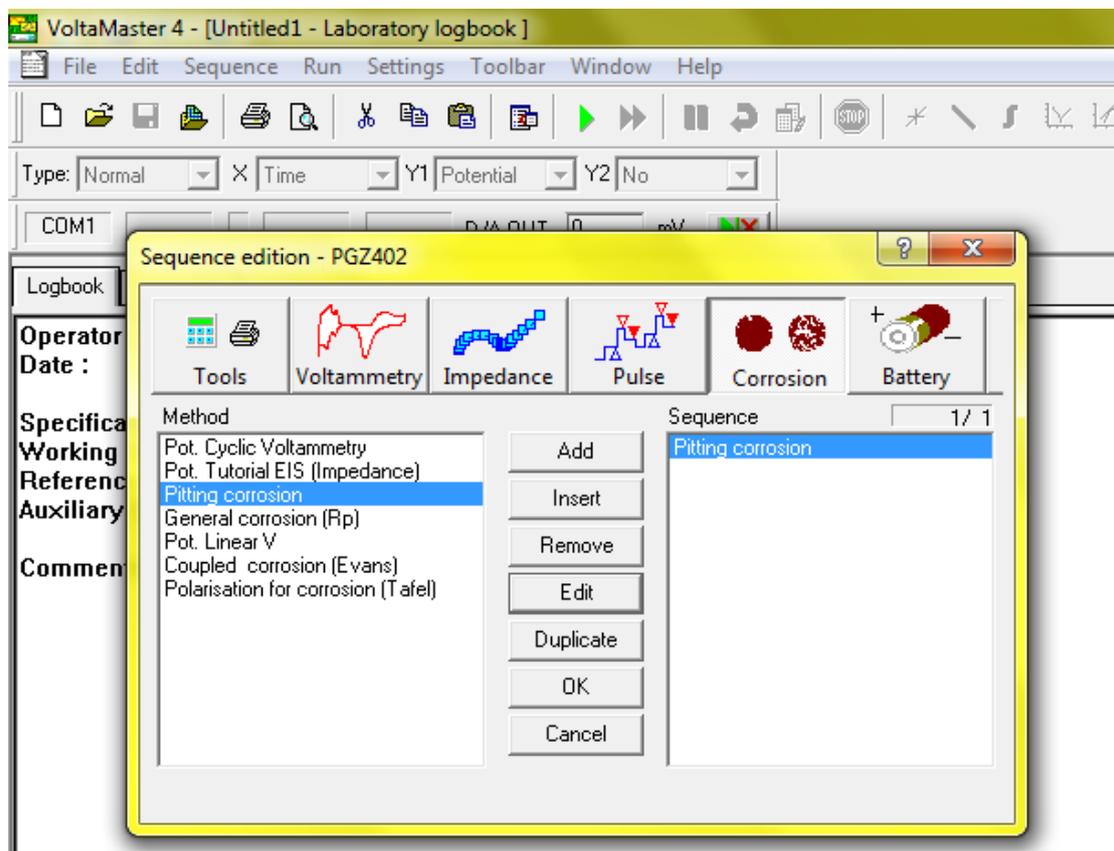


Ilustración 14. Método de curva de polarización para VoltaMaster

Se añade a secuencia y se editan los parámetros. Se indica que el valor del potencial inicial será frente al potencial de referencia, el potencial inicial de trabajo en el que se va a empezar la curva, una velocidad a la que debe de trabajar (siempre se nos recomienda una velocidad de 3 mV/seg), y finalmente se escoge el potencial en el que queremos que termine el test (normalmente se utiliza el mismo que el inicial para que empiece y termine en el mismo punto) y para que el experimento no termine por algún valor de corriente le ponemos el valor máximo que nos deja el programa, para así asegurarnos de ello.

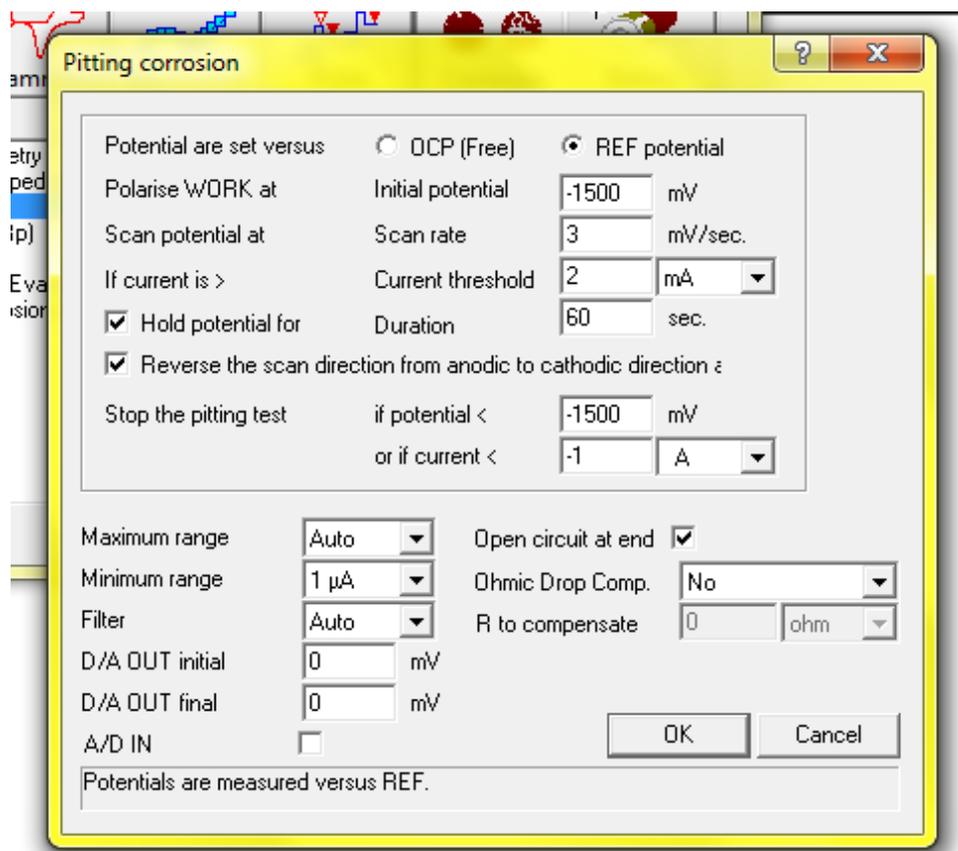


Ilustración 15. Edición para el método de curva de polarización según el programa VoltaMaster

En nuestro caso siempre se ha trabajado con un potencial inicial y final de -1500 mV, ya que el potencial de pasivación siempre se encuentra por encima de este valor.

Siempre, lo primero que se debe de hacer es un experimento rápido de evaluación a un potencial de -1500 mV y a la mayor velocidad posible del programa (5 mV/seg), para asegurarnos de que el valor de potencial utilizado es correcto y no se saldrá fuera de los márgenes de los puntos que debemos de obtener.

5.3. Velocidad de corrosión

En este caso, en el apartado Sequence, Sequence edition, elegimos el método en la parte de corrosión de general corrosión (R_p).

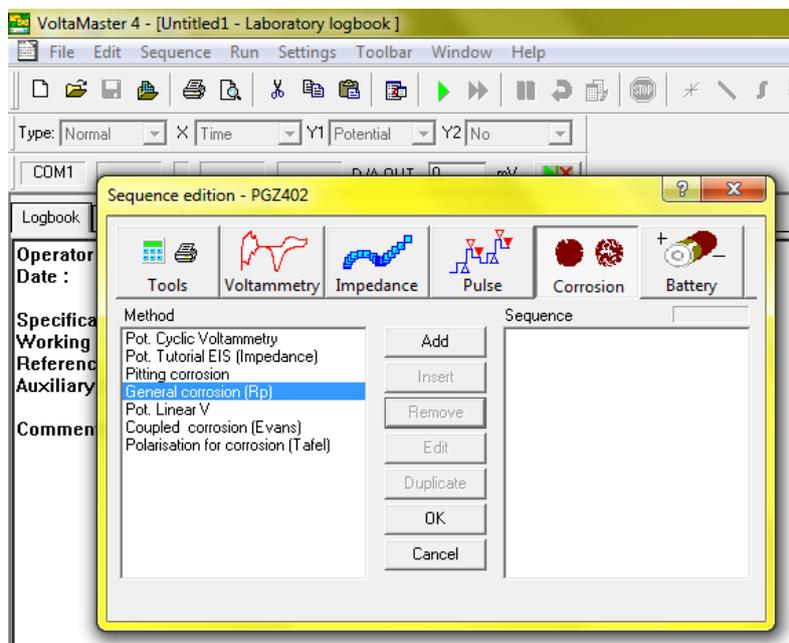


Ilustración 16. Método de Velocidad de Corrosión con VoltaMaster

Se añade a secuencia y se editan los parámetros. En la parte de Ramp/OCP debemos de elegir la velocidad a la que debe de realizarse el experimento, un sobrevoltaje frente al potencial de circuito abierto, que aplicaremos para obtener la resistencia. Podemos también indicar cada cuánto tiempo realizaremos una medida de resistencia de polarización y cuántas medidas realizar.

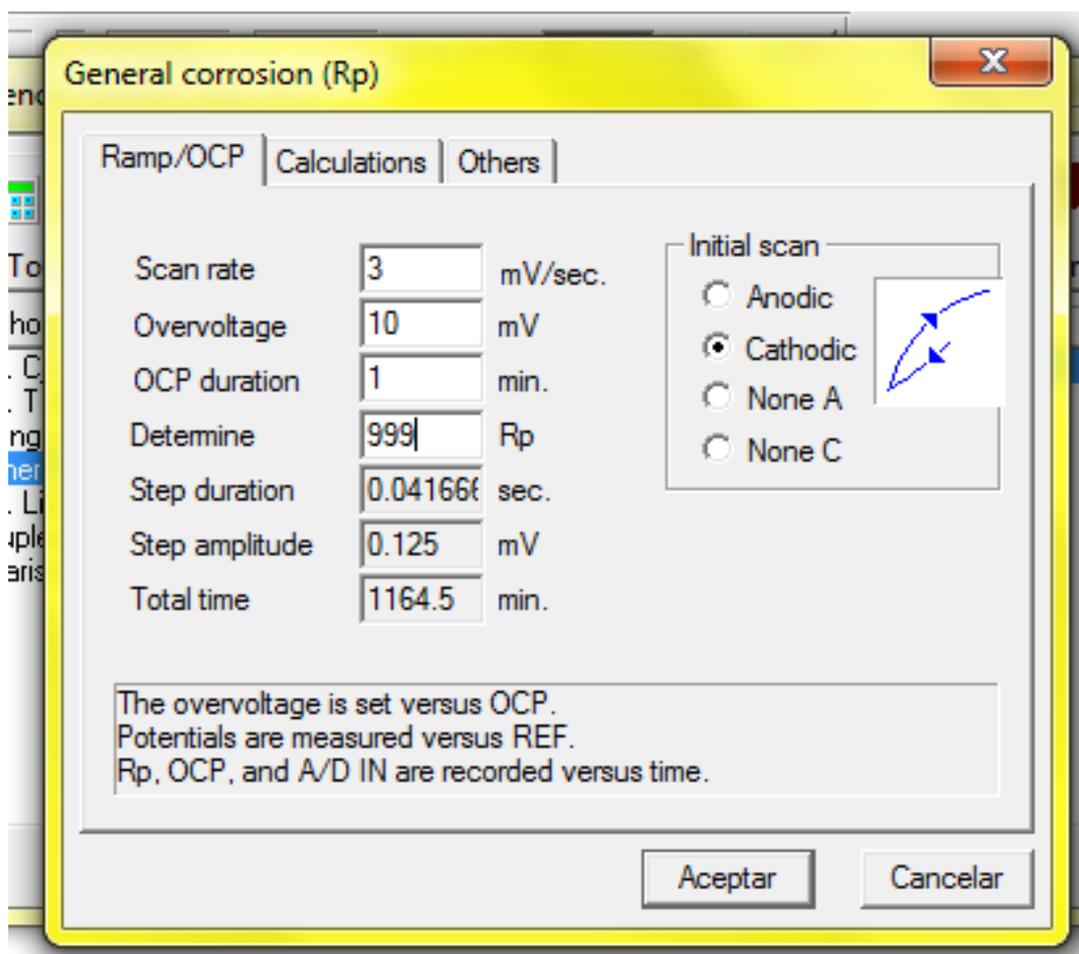


Ilustración 17. Edición del Método de Velocidad de Corrosión para el programa VoltaMaster

En nuestro caso se recomienda siempre una velocidad de 3 mV/seg, un sobrevoltaje pequeño (de 10 mV) para así no tener un resultado erróneo a la hora de aproximar la curva a una recta y calcular la pendiente.

El número de puntos a elegir se puso el máximo (999) permitido por el programa, siendo el experimento interrumpido si llega a estabilizarse en un valor de resistencia antes de llegar a ese número de puntos.

Capítulo IV: Resultados experimentales

Capítulo IV. Resultados experimentales.

Todas las pruebas han sido realizadas varias veces para comprobar la reproducibilidad de los resultados. En el proyecto se muestran los valores de tres pruebas de cada tipo, en las cuales el resultado no varía más de un 10%.

1. Potencial a circuito abierto

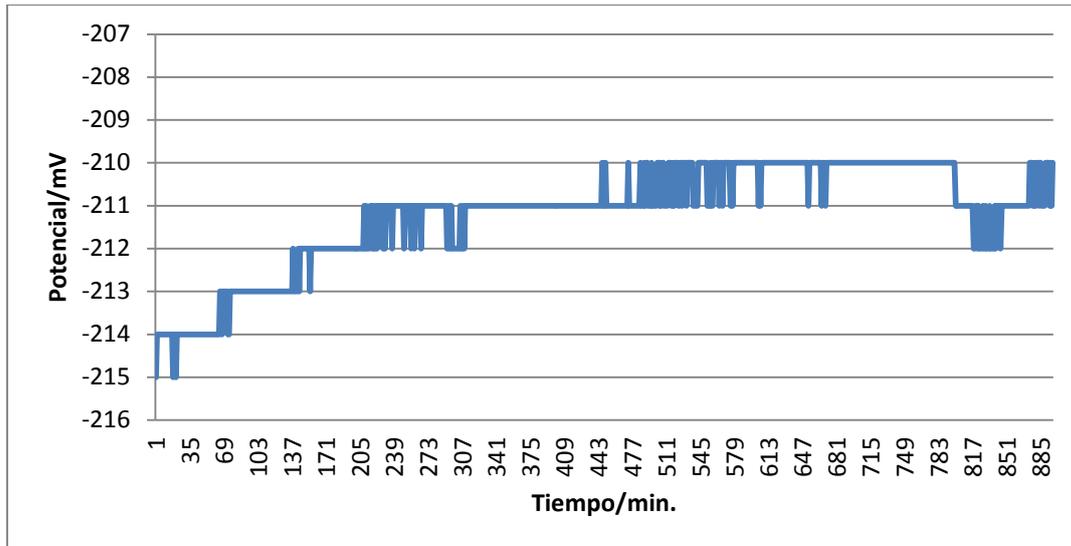
1.1. Disolución con salinidad del 2,7 % a temperatura ambiente

Número de ensayo	Potencial estabilizado (mV)
1	-210.5
2	-205.5
3	-213.0

Tabla 1. Resultados obtenidos tras tres ensayos de potencial a circuito abierto con una disolución a una salinidad de 2,7% a temperatura ambiente con el equipo VoltaLab

Obteniendo estos resultados tomamos para las próximas discusiones el valor medio que es de -209.7 mV

En la siguiente figura podemos ver la curva obtenida durante el ensayo 1 que duró 900 minutos y cómo podemos observar durante los 700 últimos minutos los valores del potencial variaban entre -212 y -210 mV, por lo que podemos considerarlo como estabilizado.



Gráfica 4. Curva de Potencial a circuito abierto con disolución de una salinidad del 2,7% a temperatura ambiente

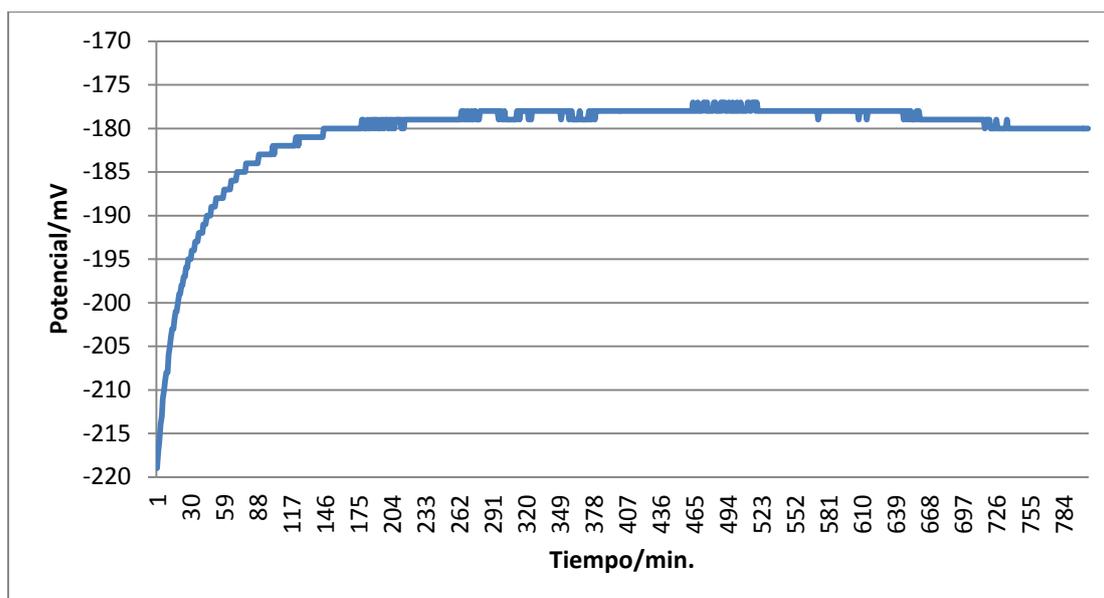
1.2. Disolución con salinidad del 3.0% a temperatura ambiente

Número de ensayo	Potencial estabilizado (mV)
1	-180.0
2	-180.0
3	-187.0

Tabla 2. Resultados obtenidos tras tres ensayos de potencial a circuito abierto con una disolución a una salinidad de 3.0% a temperatura ambiente con el equipo VoltaLab

Obteniendo estos resultados, para las próximas discusiones tomaremos como resultado el valor medio que es -182.3 mV.

En la siguiente figura podemos ver la curva obtenida durante el ensayo 1 que duró 800 minutos y cómo podemos ver el valor de potencial a circuito abierto del material se estabilizó a partir del minuto 200 aproximadamente.



Gráfica 5. Curva de Potencial a circuito abierto con disolución de una salinidad del 3,0% a temperatura ambiente

1.3. Disolución con salinidad del 4,5%

Para este valor de salinidad se han realizado los ensayos tanto a temperatura ambiente, (al igual que los ensayos anteriores) como a 45°C para poder conocer el comportamiento del material a distintos valores de temperatura.

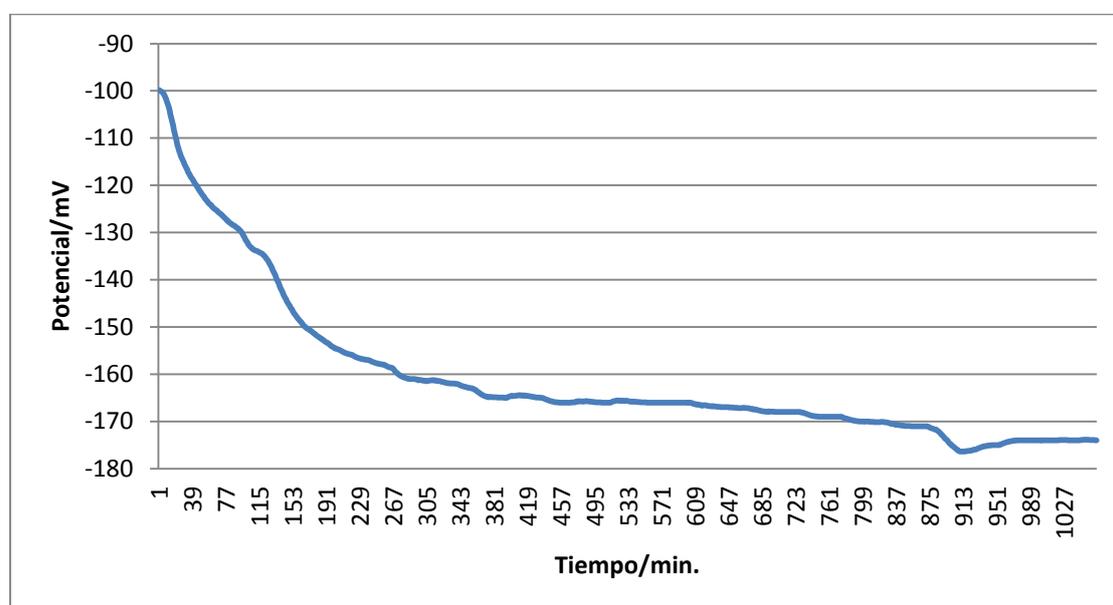
1.3.1. Ensayos a temperatura ambiente

Número de ensayo	Potencial estabilizado (mV)
1	-181.0
2	-193.0
3	-191.0

Tabla 3. Resultados obtenidos tras tres ensayos de potencial a circuito abierto con una disolución a una salinidad de 4,5% a temperatura ambiente con el equipo VoltaLab

A partir de estos resultados tomamos para las próximas discusiones el valor medio que es de -188.3 mV.

En la siguiente figura podemos ver la curva obtenida durante el ensayo 3 que duró 1200 minutos y cómo podemos observar desde el minuto 900 podemos considerar estabilizado el valor de potencial.



Gráfica 6. Curva de Potencial a Circuito abierto con una disolución a una salinidad del 4,5% a temperatura ambiente

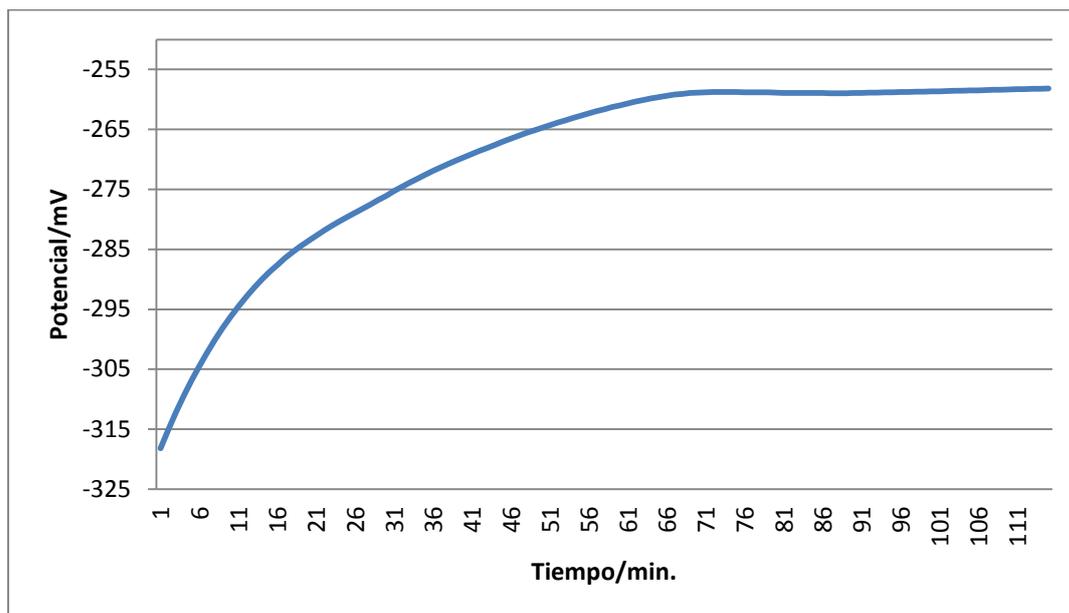
1.3.2. Ensayos a 45°C

Número de ensayo	Potencial estabilizado (mV)
1	-270.0
2	-288.0
3	-260.0

Tabla 4. Resultados obtenidos tras tres ensayos de potencial a circuito abierto con una disolución a una salinidad de 4.5% a temperatura 45°C con el equipo VoltaLab

A partir de estos resultados tomamos para las próximas discusiones el valor medio que es de -272.7 mV.

En la siguiente figura podemos ver la curva obtenida durante el ensayo 3 que duró 120 minutos y cómo podemos observar desde el minuto 60 podemos considerar estabilizado el valor de potencial.



Gráfica 7. Curva de potencial a Circuito abierto con una disolución a una salinidad de 4,5% a una temperatura de 45°C

2. Curva de polarización

Como ya hemos indicado anteriormente la curva de polarización nos muestra el potencial de pasivación de nuestro material, el potencial de traspasivación y el potencial de Flade, es decir, nos muestra el rango de pasivación del material (desde el potencial de pasivación hasta el potencial de traspasivación), el rango de pasivación en el cuál tenemos peligro de picadura (desde el potencial de Flade hasta el potencial de traspasivación) y el rango en el cuál el material se encuentra pasivado y sin peligro de picadura (desde el potencial de pasivación hasta el potencial de Flade). Vamos a mostrar las curvas de polarización obtenidas para el acero 316L en los diferentes medios electrolíticos estudiados.

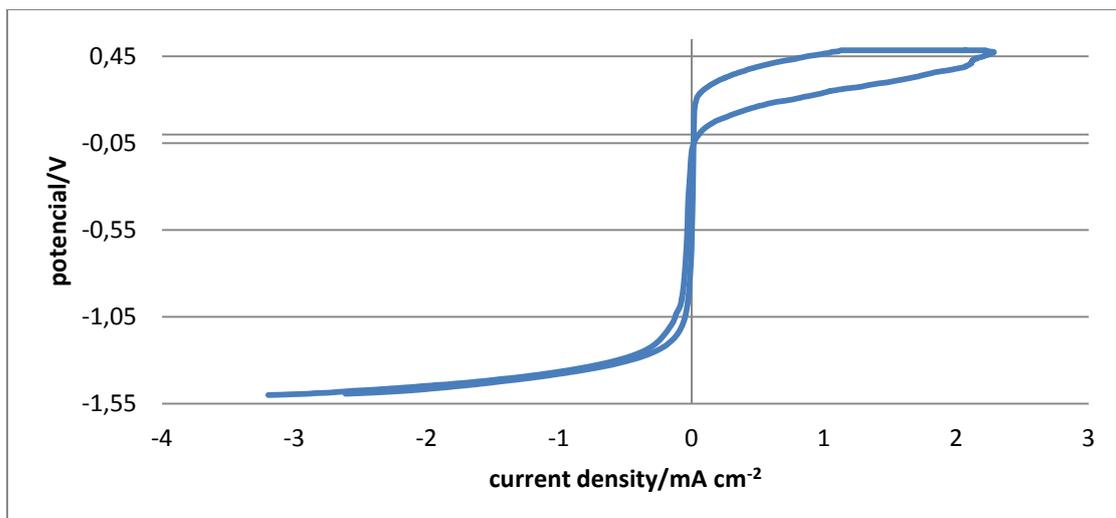
2.1. Disolución con salinidad del 2,7% a temperatura ambiente

Numero de ensayo	Potencial de pasivación (mV)	Potencial de Flade (mV)	Potencial de transpasivación (mV)
1	-783.0	-53.0	88.0
2	-800.0	-47.3	99.0
3	-910.0	-48.5	83.0

Tabla 5. Resultados obtenidos tras tres ensayos de curva de polarización con una disolución a una salinidad de 2,7% a temperatura ambiente con el equipo VoltaLab

A partir de estos resultados tomamos para las próximas discusiones los siguientes valores medios: para el potencial de pasivación -831.0 mV, para el potencial de Flade -49.6 mV y para el potencial de transpasivación 90 mV.

En la siguiente figura podemos ver la curva obtenida durante el ensayo 1 en el cual podemos observar el rango de pasivación del material que es la parte horizontal de la gráfica (desde el potencial -783.0 hasta 88.0 mV) y el potencial de Flade se obtiene del punto de intersección que tiene la curva tras volver al potencial inicial, en el punto -53.0 mV.



Gráfica 8. Curva de polarización con una disolución a una salinidad del 2,7% a temperatura ambiente

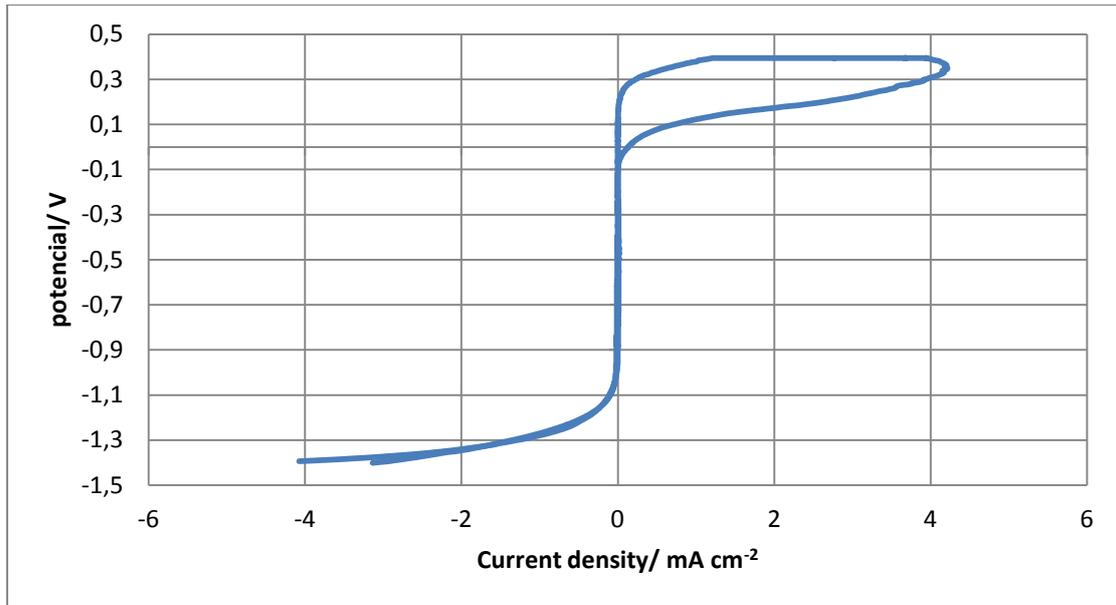
2.2. Disolución con salinidad del 3,0% a temperatura ambiente

Numero de ensayo	Potencial de pasivación (mV)	Potencial de Flade (mV)	Potencial de traspasivación (mV)
1	-956	-94.5	160
2	-980	-116	166
3	-899	-114.5	145

Tabla 6. Resultados obtenidos tras tres ensayos de curva de polarización con una disolución a una salinidad de 3.0% a temperatura ambiente con el equipo VoltaLab

La tabla anterior muestra los valores de potencial de pasivación, potencial de Flade y potencial de traspasivación obtenidos para el acero 316L en una disolución con una salinidad del 3.0%. A partir de estos resultados tomamos para las próximas discusiones los siguientes valores medios: para el potencial de pasivación -945.0 mV, para el potencial de Flade -108.3 mV y para el potencial de traspasivación 157.0 mV.

En la siguiente figura podemos ver la curva obtenida durante el ensayo 1 en el cual podemos observar cual es el rango de pasivación del material que es la parte horizontal de la gráfica (desde el potencial -956.0 hasta 160.0 mV) y el potencial de flade es el corte que tiene la curva tras volver al potencial inicial, en el punto -94.5 mV.



Gráfica 9. Curva de polarización con una disolución a una salinidad del 3,0% a temperatura ambiente

2.3. Disolución con salinidad del 4,5%

2.3.1. Ensayos a temperatura ambiente

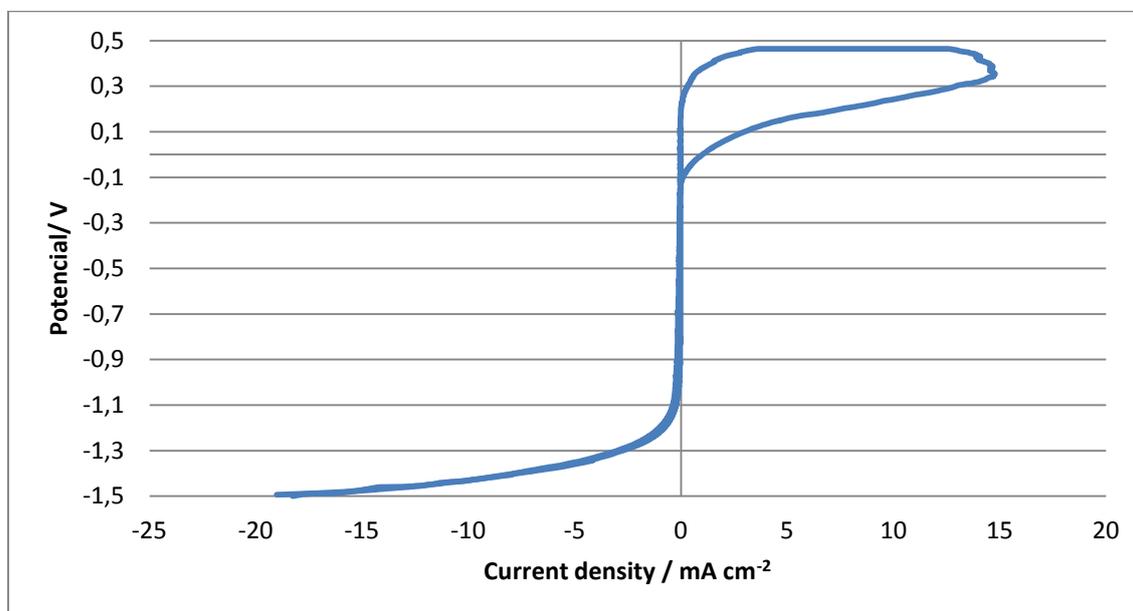
Numero de ensayo	Potencial de pasivación (mV)	Potencial de Flade (mV)	Potencial de traspasivación (mV)
1	-919.0	-83.0	198.0
2	-960.0	-97.0	170.0
3	-951.0	-85.0	188.0

Tabla 7. Resultados obtenidos tras tres ensayos de curva de polarización con una disolución a una salinidad del 4.5% a temperatura ambiente con el equipo VoltaLab

A partir de los resultados obtenidos mostrados en la tabla anterior tomamos para las próximas discusiones los siguientes valores medios: para el potencial de pasivación -943.3 mV, para el potencial de Flade -88.3 mV y para el potencial de traspasivación 185.3 mV.

En la siguiente figura podemos ver la curva obtenida durante el ensayo 3 en el cual podemos observar el rango de pasivación del material que es la

parte horizontal de la gráfica (desde el potencial -951.0 hasta 188.0 mV) y el potencial de Flade que es la intersección tiene la curva tras volver al potencial inicial, en el punto -85.0 mV.



Gráfica 10. Curva de polarización con una disolución a una salinidad del 4,5% a una temperatura ambiente

2.3.2. Ensayos a 45°C

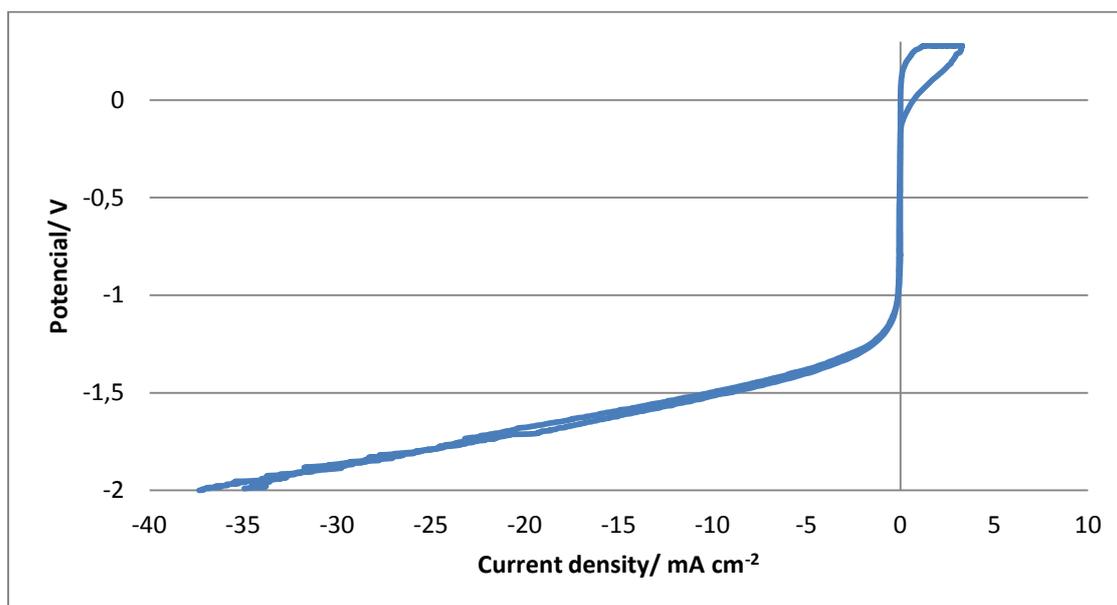
Numero de ensayo	Potencial de pasivación (mV)	Potencial de Flade (mV)	Potencial de transpasivación (mV)
1	-839.0	-141.0	45.0
2	-836.0	-162.0	41.0
3	-823.0	-158.0	49.0

Tabla 8. Resultados obtenidos tras tres ensayos de curva de polarización con una disolución a una salinidad del 4.5% a temperatura 45°C con el equipo VoltaLab

A partir de estos resultados tomamos para las próximas discusiones los siguientes valores medios: para el potencial de pasivación -832.7 mV,

para el potencial de Flade -153.7 mV y para el potencial de traspasivación 45.0 mV.

En la siguiente figura podemos ver la curva obtenida durante el ensayo 2 en el cual podemos observar el rango de pasivación del material que es la parte horizontal de la gráfica (desde el potencial -836.0 hasta 41.0 mV) y el potencial de Flade es el corte que tiene la curva tras volver al potencial inicial, en el punto -162.0 mV.



Gráfica 11. Curva de polarización con una disolución a una salinidad del 4,5% a una temperatura de 45°C

3. Velocidad de corrosión

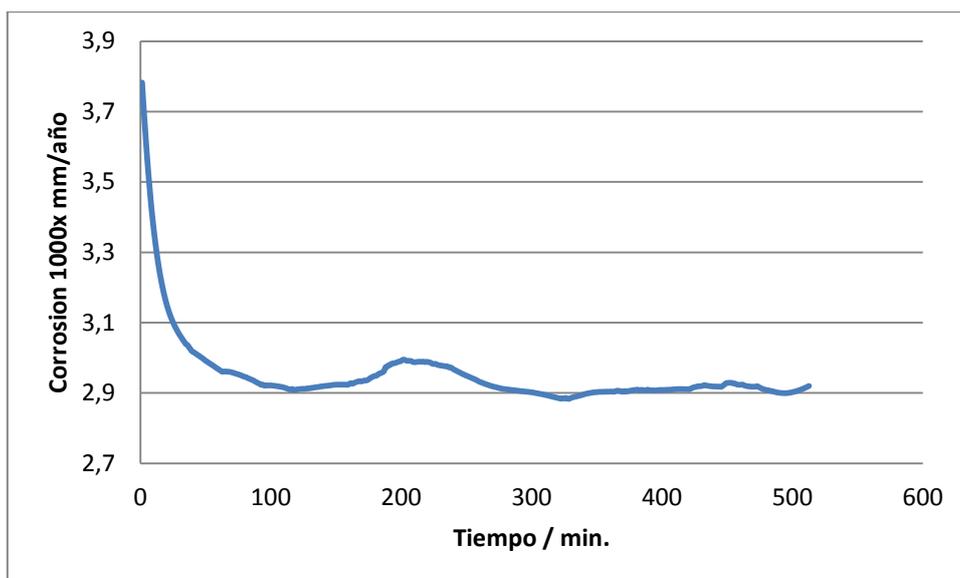
3.1. Disolución con salinidad del 2,7% a temperatura ambiente

Numero de ensayo	Resistencia (kOhm/cm ²)	Velocidad de corrosión (10 ⁻³ mm/año)
1	39.0	2.9
2	37.0	2.7
3	38.0	2.8

Tabla 9. Resultados obtenidos tras tres ensayos de velocidad de corrosión con una disolución a una salinidad del 2,7% a temperatura ambiente con el equipo VoltaLab

La tabla recoge los valores obtenidos tanto de la curva de resistencia como de la curva de velocidad de corrosión respecto al tiempo, tomaremos para las próximas discusiones los siguientes valores medios: resistencia 38.0 kOhm cm² y para la velocidad de corrosión 2.8 10⁻³mm/año.

En la siguiente gráfica podemos ver el experimento 1 y la velocidad de corrosión respecto del tiempo. Observamos cómo queda estabilizado en 2,9 10⁻³ mm / año



Gráfica 12. Curva de velocidad de corrosión con una disolución a una salinidad de 2,7% a temperatura ambiente

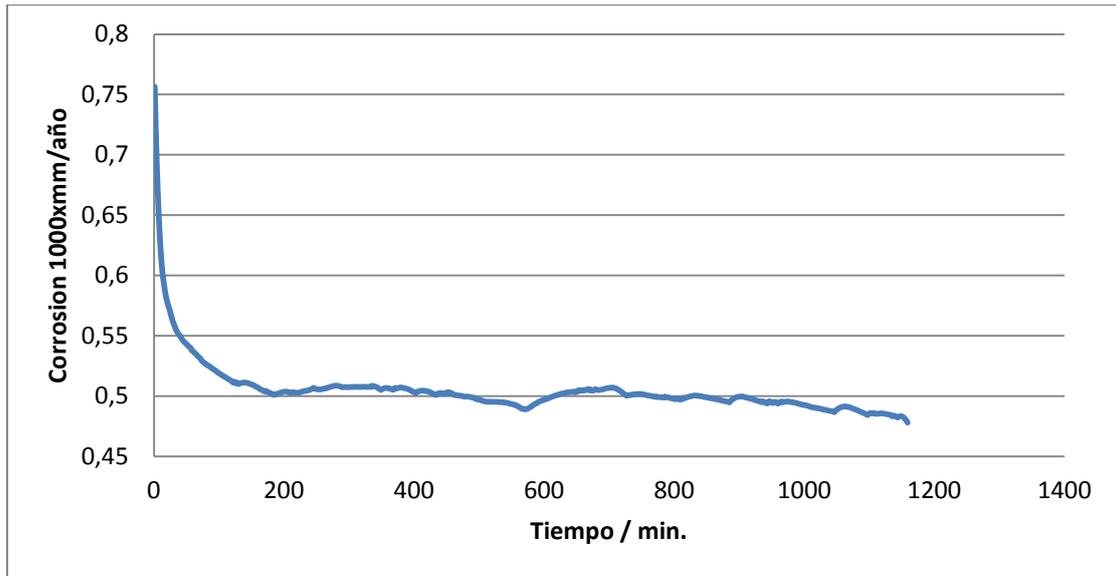
3.2. Disolución con salinidad del 3,0% a temperatura ambiente

Numero de ensayo	Resistencia (kOhm cm ²)	Velocidad de corrosión (10 ⁻³ mm/año)
1	22.5	5.0
2	23.0	4.9
3	26.0	4.3

Tabla 10. Resultados obtenidos tras tres ensayos de velocidad de corrosión con una disolución a una salinidad de 3.0% a temperatura ambiente con el equipo VoltaLab

A partir estos resultados tomamos para las próximas discusiones los siguientes valores medios: resistencia 23.8 kOhm cm² y para la velocidad de corrosión 4.7 10⁻³mm/año.

En la grafica n°13 vemos la evolución de la velocidad de corrosión en función del tiempo, podemos ver cómo queda estabilizado en 4,9 10⁻³ mm / año.



Gráfica 13. Curva de velocidad de corrosión con una disolución a una salinidad del 3,0% a una temperatura ambiente

3.3. Disolución con salinidad de 4,5%

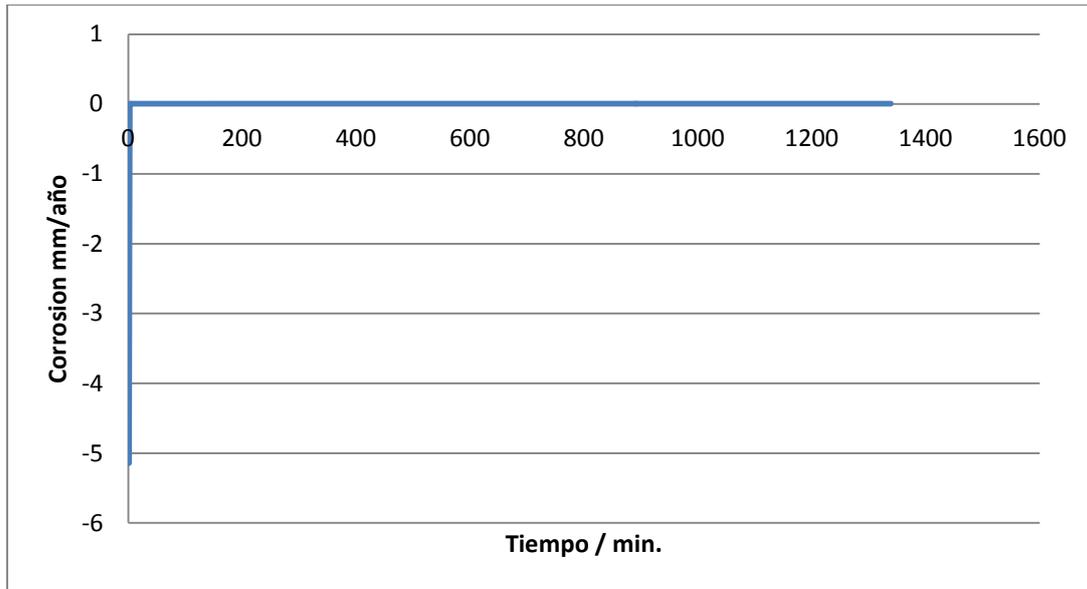
3.3.1. Ensayos a temperatura ambiente

Numero de ensayo	Resistencia (kOhm cm ²)	Velocidad de corrosión (10 ⁻³ mm/año)
1	31.5	3.6
2	35.0	3.2
3	32.0	3.6

Tabla 11. Resultados obtenidos tras tres ensayos de velocidad de corrosión con una disolución a una salinidad de 4.5% a temperatura ambiente con el equipo VoltaLab

A partir de estos resultados tomamos para las próximas discusiones los siguientes valores medios: resistencia 32.8 kOhm cm² y para la velocidad de corrosión 3.5 10⁻³mm/año.

En la siguiente gráfica vemos cómo en un instante estabilizado en 3.6 10⁻³ mm / año.



Gráfica 14. Curva de velocidad de corrosión con una disolución a una salinidad del 4,5% a una temperatura ambiente

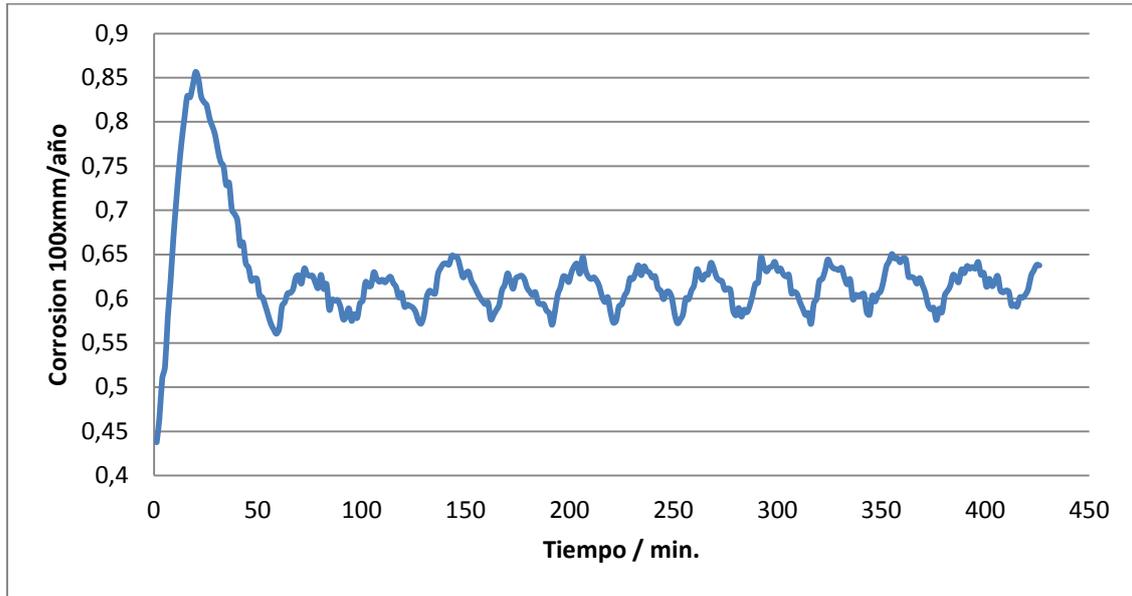
3.3.2. Ensayos a 45°C

Numero de ensayo	Resistencia (kOhm cm ²)	Velocidad de corrosión (10 ⁻³ mm/año)
1	18.5	6.1
2	18.4	6.1
3	18.2	6.2

Tabla 12. Resultados obtenidos tras tres ensayos de velocidad de corrosión con una disolución a una salinidad de 4.5% a temperatura de 45°C con el equipo VoltaLab

Obteniendo estos resultados tomamos para las próximas discusiones los siguientes valores medios: resistencia 18.4 kOhm cm² y para la velocidad de corrosión 6.1 10⁻³mm/año.

En la próxima figura podemos ver la curva obtenida durante el ensayo 2 en el cual podemos observar como la grafica hace la misma oscilación alrededor del valor medio de 6.1 10⁻³ mm/año , esto es debido a las fluctuaciones de la temperatura que se intenta mantenerla constante a 45° pero varía entre 45° y 50 °.



Gráfica 15. Curva de velocidad de corrosión con una disolución a una salinidad del 4,5% a una temperatura de 45°C

Capítulo V:

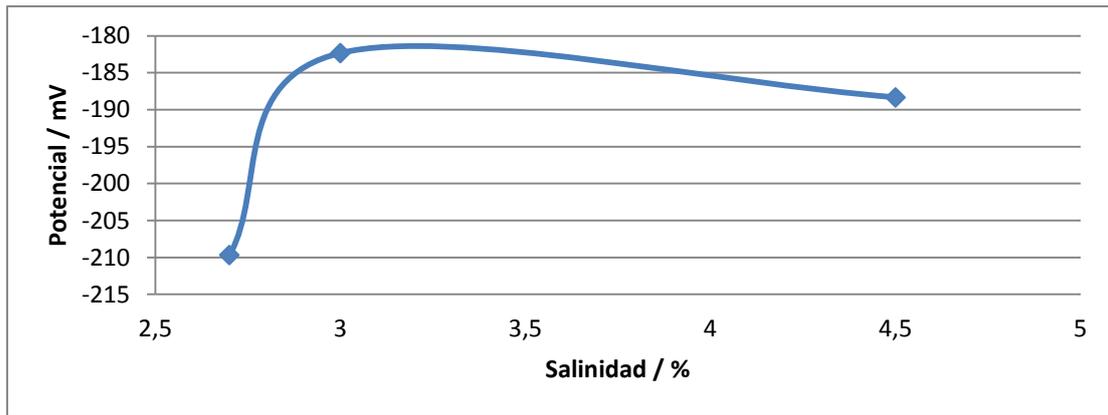
Discusión de resultados

Capítulo V. Discusión de resultados

1. Discusión de resultados a temperatura ambiente

1.1. Potencial a circuito abierto

En la siguiente gráfica se muestra la variación del potencial a circuito abierto en función de la salinidad en la disolución.



Gráfica 16. Curva de variación del potencial a circuito abierto en función de la salinidad de la disolución

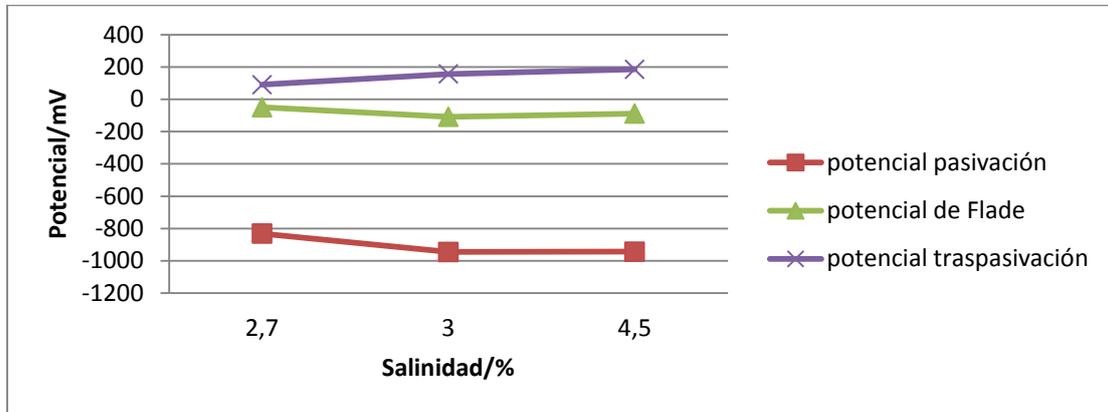
Como podemos observar tenemos un valor máximo para una salinidad del 3.0 %.

Se debe a que nuestro proceso tiene un control catódico, es decir, cuánto más oxígeno se encuentra en el medio mayor corrosión habrá. la solubilidad del oxígeno del agua depende del tipo de sales presentes en el electrolito y su concentración.

Tras estudios anteriores sabemos que la solubilidad del oxígeno alcanza un máximo para una concentración del 3.0% en peso.

1.2. Curva de polarización

La siguiente gráfica nos muestra los cambios del potencial de pasivación, potencial de Flade y potencial de traspasivación en función de la salinidad de la disolución.

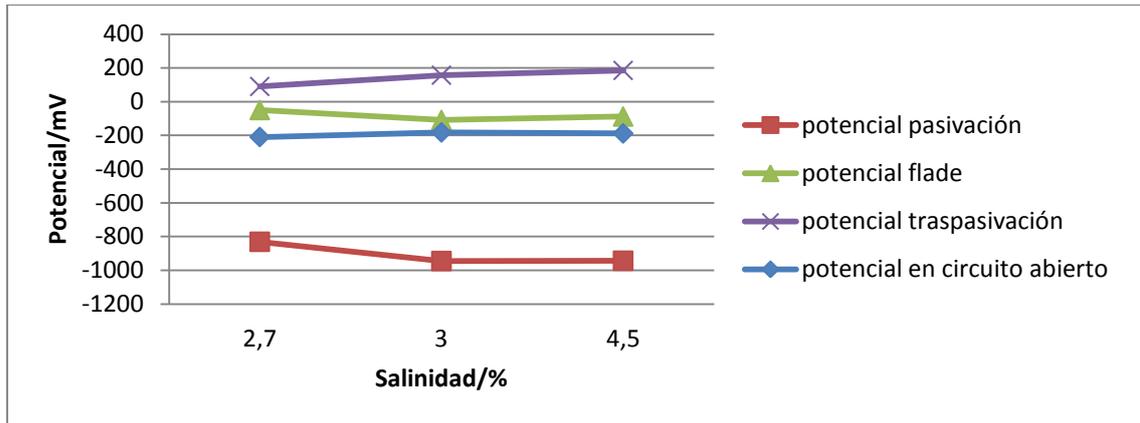


Gráfica 17. Variación de los valores más característicos de la curva de polarización (potencial de pasivación, de Flade y traspasivación) en función de la salinidad de la disolución

Como podemos observar el potencial de pasivación va disminuyendo (se hace más negativo) según aumenta la salinidad de la disolución, el potencial de Flade el potencial va disminuyendo hasta quedarse más o menos constante, mientras que el potencial de traspasivación aumenta (se hace más positivo) a la vez que aumenta la salinidad de la disolución.

Por lo consiguiente el rango de pasivación del material aumenta conforme aumenta la salinidad. Pero mientras que el intervalo de potenciales en los que el material está fuera de peligro de corrosión por picadura se mantiene más o menos constante, el intervalo de potenciales en el que el material está pasivado pero se encuentra en peligro de corrosión por picadura aumenta conforme aumenta la salinidad.

Queremos conocer en qué estado se va a encontrar el material, para ello solamente debemos juntar las dos gráficas, potencial a circuito abierto y curva de polarización.



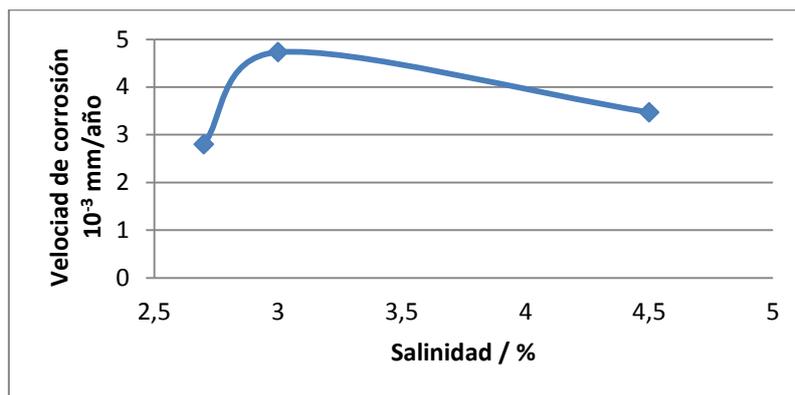
Gráfica 18. Representación de los valores de potencial a circuito abierto, potencial de pasivación, potencial de Flade y potencial de traspasivación en función de la salinidad de la disolución

Como podemos observar en la gráfica, el potencial a circuito abierto siempre se encuentra en el rango de pasivación fuera de peligro de corrosión por picadura.

Al ser la corrosión de picadura una corrosión localizada típica en los buques y la más frecuente de observar, al comprobar que nuestro material se encuentra fuera de peligro de corrosión por picadura vamos a ver el desgaste que tiene por corrosión generalizada nuestro material a lo largo del tiempo.

1.3. Velocidad de corrosión

En la siguiente grafica se muestra la evolución que tiene la velocidad de corrosión. Cómo se puede observar, su valor está relacionado con el de la resistencia a polarización, cuanto menor es la resistencia más velocidad de corrosión se obtiene.



Gráfica 19. Variación de la velocidad de corrosión en función de la salinidad de la disolución empleada.

Por lo tanto, atendiendo a lo explicado anteriormente, es normal encontrar un máximo para la salinidad de 3.0 %.

Lo que nos confirma el hecho de que la mayor concentración de oxígeno se encuentra en una disolución de una salinidad del 3.0 %. Cuando la concentración de las sales en el electrolito alcance este valor, se obtendrán las regiones de activación más largas en la curva de polarización catódica y, por lo tanto, los valores mayores de I_{corr} .

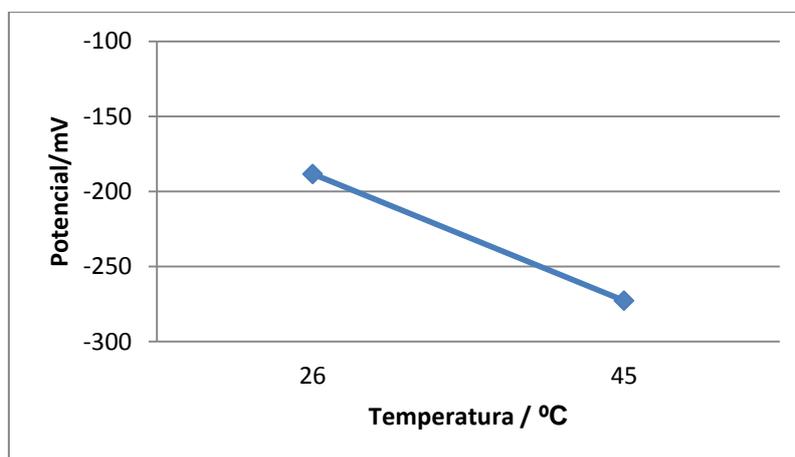
Concentraciones de la sal superiores o inferiores al 3.0 % darán lugar a velocidades de corrosión menores, tal y como se puede observar en nuestros resultados.

2. Efecto de la temperatura

En este apartado se discutirán los resultados a diferentes temperaturas en disoluciones con la misma salinidad de un 4,5%

2.1. Potencial a circuito abierto

En el siguiente gráfico se muestran los resultados del potencial a circuito abierto a temperatura ambiente, que ronda los 26°C y a 45°C.

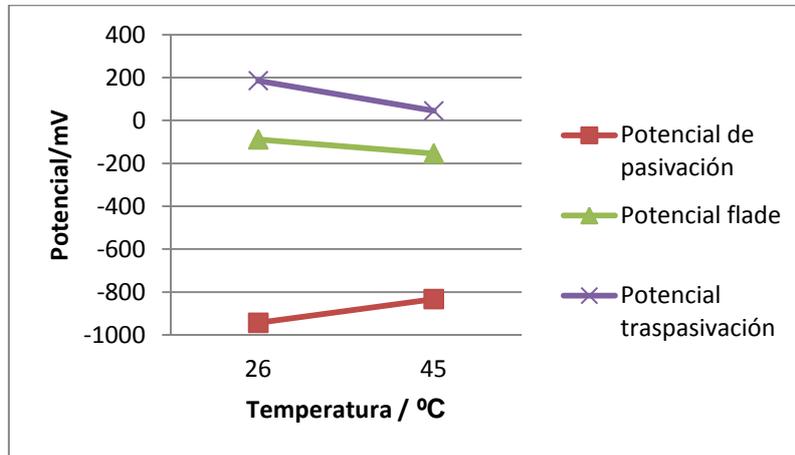


Gráfica 20. Variación del potencial a circuito abierto en función de la temperatura de la disolución empleada

Como podemos observar el potencial baja notablemente al aumentar la temperatura.

2.2. Curva de polarización

En el siguiente grafico se muestran los valores del potencial de pasivación, potencial de Flade y potencial de traspasivación en función de la temperatura.



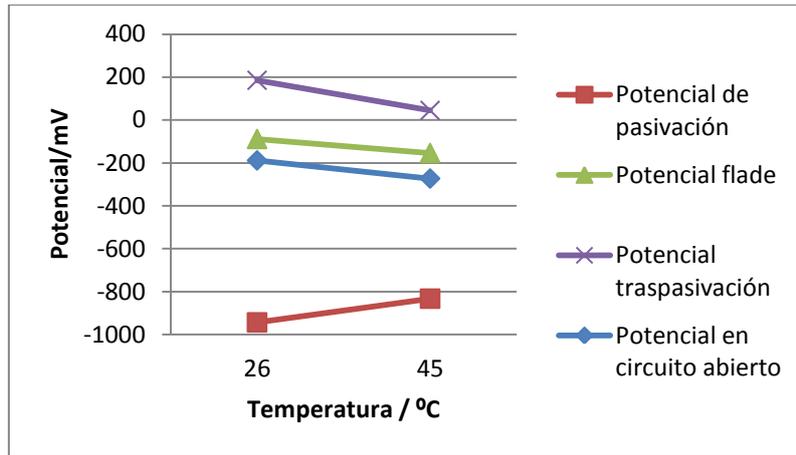
Gráfica 21. Variación de los valores característicos de la curva de polarización (potencial de pasivación, de Flade y de traspasivación) en función de la temperatura de la disolución empleada

Como podemos ver, el valor del potencial de pasivación aumenta con la temperatura mientras que los valores del potencial de Flade y traspasivación disminuyen.

Por lo tanto el rango de pasivación del material disminuye en conforme aumenta la temperatura, al igual que los intervalos de potencial en peligro de corrosión por picadura y fuera del peligro de corrosión por picadura.

Al igual que en el anterior apartado, nos interesa saber en qué estado se encontrará el material dependiendo de la temperatura.

Para ello, representaremos en un mismo grafico los valores de potencial a circuito abierto, potencial de polarización, potencial de Flade y potencial de traspasivación.



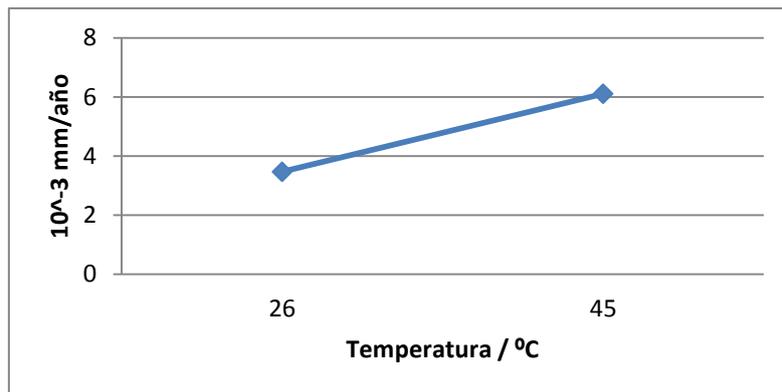
Gráfica 22. Representación del potencial a circuito abierto, potencial de pasivación, potencial de Flade y potencial de traspasivación en función de la temperatura de la disolución empleada

Como podemos observar en el gráfico el material seguirá trabajando fuera de la región de riesgo de corrosión por picadura.

Y al estar fuera de la corrosión localizada más típica vamos a ver el desgaste de nuestro material por corrosión generalizada a lo largo del tiempo.

2.3. Velocidad de corrosión

Como podemos mostrar la resistencia disminuye su valor notablemente en función de la temperatura, por ello obviamente obtendremos un aumento de velocidad de corrosión en función de la temperatura, que se muestra en el siguiente gráfico duplicándose prácticamente al aumentar la temperatura desde temperatura ambiente a 45°C.



Gráfica 23. Variación de la velocidad de corrosión en función de la temperatura de la disolución empleada

Esto es debido a que aumenta la solubilidad del oxígeno en función de la temperatura hasta aproximadamente unos 70-80°C como es habitual en la mayoría de los fenómenos químicos de solubilidad. Por lo tanto a medida que aumenta la solubilidad del oxígeno, y por lo tanto más oxígeno hay en el medio, aumenta la velocidad de corrosión.

Capítulo VI: Conclusiones

Capítulo VI. Conclusiones

Vamos a realizar una comparación general de todos los resultados obtenidos en la siguiente tabla:

	Salinidad 2.7%	Salinidad 3.0%	Salinidad 4,5%	
Temperatura	ambiente	ambiente	ambiente	45°C
Pot. a circuito abierto/mV	-209.7	-182.3	-188.3	-272.7
Pot. de pasivación/mV	-831.0	-945.0	-943.33	-832.7
Potencial de Flade/mV	-49.6	-108.3	-88.3	-153.7
Pot. de transpasivación/mV	90.0	157.0	185.3	45.0
Región de pasivación/mV	921.0	1102.0	1128.7	877.7
Región de pas. fuera de corrosión picadura/mV	781.4	836.7	855.0	679.0
Vel. de corrosión/$\mu\text{m/año}$	2.8	4.7	3.5	6.1

Tabla 13. Resumen de todos los valores medios obtenidos mediante los ensayos electroquímicos

Como podemos observar en la tabla y tras las discusiones anteriores, el peor de los casos de salinidad es el de 3,0% debido a que tiene la mayor concentración de oxígeno en el medio.

Nos encontramos con una mayor velocidad de corrosión en la disolución con una salinidad del 4,5% a 45°C de temperatura, esto es debido a que la influencia de la temperatura es mayor que la influencia de las sales en la disolución.

Tras todo lo explicado anteriormente podemos obtener dos conclusiones:

1. El material no presenta el tipo de corrosión localizada más típica en estos casos, que es la de picadura, al encontrarse en todos los casos estudiados, fuera de peligro de corrosión por picadura.

2. Como podemos observar la velocidad de corrosión de nuestro material es prácticamente inapreciable al ser en las condiciones más desfavorables estudiadas de sólo 6 micras por año, por lo que el material podría ser un buen candidato para su utilización en un tanque de lastre de una embarcación al estudiarse las diferentes situaciones de temperatura y concentración salina a las que puede estar expuesto durante su vida útil.

Bibliografía

1. Manual básico de corrosión para ingenieros, Félix C. Gómez de León Hijés, Universidad de Murcia.
2. Control de la corrosión, estudio y medida por técnicas electroquímicas, J.A. González Fernández, consejo superior de investigaciones científicas centro nacional de investigaciones metalúrgicas, Madrid, 1989
3. Corrosión y degradación de materiales, Enrique Otero Huerta, Editorial Síntesis, España, Septiembre 2001
4. Revista “acero inoxidable”, Centro para la investigación y desarrollo del acero inoxidable, el transporte y el acero inoxidable.
5. Aceros Inoxidables, ING. Sergio G. Laufgang, Termo SoldeX S.A. Tratamiento térmico de soldadura – prueba hidráulica de gasoductos.
6. Estudio de impedancia de la corrosión del acero inoxidable AISI 316L en las regiones pasiva y de picadura, José Luis Polo, Conceta Luz Torres, Emilio Cano y José María Bastidas.

