



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Química e Ingeniería Química
Escuela Profesional de Ingeniería Química

**Determinación de la velocidad de corrosión bajo
tensión de los metales que conforman la estructura de
brackets**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

AUTOR

Juan Marcelo BERNAL CELIS

ASESOR

Raúl Germán PIZARRO CABRERA

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Bernal, J. (2021). *Determinación de la velocidad de corrosión bajo tensión de los metales que conforman la estructura de brackets*. Tesis para optar el título de Ingeniero Químico. Escuela Profesional de Ingeniería Química, Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Hoja de metadatos complementarios

Código ORCID del autor	—
DNI o pasaporte del autor	Bernal Celis, Juan Marcelo 75724174
Código ORCID del asesor	0000-0003-1001-816X
DNI o pasaporte del asesor	Pizarro Cabrera, Raúl Germán 25459442
Grupo de investigación	Química cuántica y nuevos materiales para la innovación tecnológica
Agencia financiadora	-Perú. -Vicerectorado de investigación y postgrado de la UNMSM – VRIP.UNMSM -Programa de promoción de tesis de pregrado 2018 -2000 soles.
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación	Av. Carlos Germán Amezaga #375 - Cercado de Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Coordenadas geográficas: 12.06023497674801, -77.08350895131754.
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2017-2021
Disciplinas OCDE	Ingeniería química https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.01



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, Decana de América

FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

“Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia”

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUÍMICA

A C T A DE TITULACIÓN POR TESIS

Los suscritos Miembros del Jurado nombrados por la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, bajo la Presidencia de la **Ing. María Verónica Carranza Oropeza**, el **Ing. Raymundo Erazo Erazo** (Miembro) y el **Ing. Raúl German Pizarro Cabrera** (Asesor), habiendo presentado para el efecto la **TESIS**, titulada “**DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN BAJO TENSIÓN DE LOS METALES QUE CONFORMAN LA ESTRUCTURA DE BRACKETS**”, después de **SUSTENTADA Y APROBADA LA TESIS** elaborada por el Bachiller en Ingeniería Química: **JUAN MARCELO BERNAL CELIS**; para optar el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO**, acordando calificarlo con la **NOTA** de:

.....Dieciocho.....18.....
(LETRAS) (NÚMEROS)

Lima, 03 de febrero del 2021



Firmado digitalmente por CARRANZA
OROPEZA Maria Veronica FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 03.02.2021 19:10:25 -05:00

Ing. María Verónica Carranza Oropeza
Presidente de jurado



Firmado digitalmente por ERAZO
ERAZO Raymundo FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 04.02.2021 09:26:32 -05:00

Ing. Raymundo Erazo Erazo
Docente Revisor

Ing. Raúl German Pizarro Cabrera
Asesor



Firmado digitalmente por PALOMINO
INFANTE Ruben Alfredo FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 08.02.2021 08:16:50 -05:00

Dr. R. Alfredo Palomino Infante
Director de la Escuela Profesional de
Ingeniería Química

Tabla de contenido

1	RESUMEN	6
2	INTRODUCCIÓN	7
2.1	Situación Problemática	7
2.2	Justificación	9
2.3	Objetivos	10
2.3.1	Objetivo General:	10
2.3.2	Objetivos Específicos:	10
3	ANTECEDENTES	11
3.1	Antecedentes Relacionados a Corrosión en Acero Inoxidable	11
3.2	Antecedentes Relacionados a los Brackets Dentales	15
3.3	Antecedentes Relacionados al Método de Voltametría	18
4	PRINCIPIOS TEÓRICOS	23
4.1	Arcos y Brackets Dentales	23
4.2	Corrosión de los Metales	24
4.2.1	Fundamentos	24
4.2.1.1	Principios Electroquímicos	27
4.2.1.2	Factores que Influyen en la Corrosión	27

4.2.2	Fenómenos de Corrosión Localizados.....	29
4.2.2.1	Pilas de Corrosión.....	29
4.2.2.2	Corrosión por Picadura	30
4.2.2.3	Corrosión Bajo Tensión	32
4.2.2.3.1	Mecanismo del Proceso de Corrosión Bajo Tensión	33
4.2.2.4	Corrosión por Fatiga	38
4.2.2.4.1	Mecanismo del Proceso de Corrosión por Fatiga.....	42
4.2.3	Fenómenos de Pasivación	43
4.3	Aleación de Acero Inoxidable	46
4.3.1	Acero Inoxidable AISI 302	47
4.4	Equipo Generador de Esfuerzos	49
4.4.1	Bases para su Construcción.....	49
4.4.2	Mecánica de la Tensión Aplicada.....	51
4.5	Método - Voltametría Cíclica.....	55
4.5.1	Instrumentación.....	58
4.6	Efectos del Níquel en el Organismo	62
5	DETALLES EXPERIMENTALES	65
5.1	Diseño del Equipo.....	65
5.1.1	Descripción del Diseño.....	65

5.2	Adecuación de los Instrumentos	72
5.2.1	Sistema de Electroodos.....	74
5.2.2	Equipo Potenciostato	75
5.2.3	Equipo de Adquisición de Datos	79
5.2.4	Computadora y Software Cassylab.....	81
5.3	Probetas – Alambres de Brackets	83
5.3.1	Preparación de las Probetas.....	83
5.3.2	Codificación y Almacenamiento de Probetas	87
5.4	Medios Agresivos.....	90
5.4.1	Solución Salina – Solución de NaCl 0.0342 M	91
5.4.2	Solución Ácida – Solución de HCl pH 1.8.....	91
5.4.3	Solución Básica – Solución de NaOH pH 9.71	92
5.5	Descripción de los Ensayos.....	92
6	TABLAS DE DATOS Y RESULTADOS	94
6.1	Datos Generales	94
6.2	Datos de los Ensayos en Medio Salino	95
6.3	Datos de los Ensayos en Medio Ácido.....	101
6.4	Datos de los Ensayos en Medio Básico.....	107
6.5	Resultados.....	113

7	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	116
8	CONCLUSIONES	118
9	RECOMENDACIONES	119
10	REFERENCIAS	120
11	ANEXOS	127
11.1	Figuras y Tablas Relacionadas	127
11.2	Microscopía Óptica y Electrónica	135
11.3	Tablas de Datos y Resultados (complemento)	146

1 RESUMEN

El propósito del estudio es demostrar el efecto de la tensión intermitente a la que es sometido el material que conforma la estructura de los brackets respecto a la velocidad de corrosión al aplicar una tensión continua. La importancia de este estudio puede ser descrita desde dos puntos de vista, el primero es del punto de vista de materiales, ya que se demuestra que el acero inoxidable es vulnerable ante la aplicación de tensiones intermitentes en medios agresivos. El segundo es el punto de vista de la salud pública ya que el acero inoxidable es el material más usado en tratamientos de ortodoncia (brackets dentales) y a su vez éste contiene Níquel, elemento que provoca la alergia de contacto más común entre la población.

Para la realización de la evaluación de la velocidad de corrosión se hace uso de alambres usados en el tratamiento de ortodoncia (mejor conocido como brackets dentales), también se diseña y construye un equipo que permita aplicar una cierta tensión al arco de los brackets y al mismo tiempo quitarle la tensión y volverla a aplicar constantemente para de esta manera provocar una aceleración de la corrosión, y mediante la medición de potencial eléctrico por el método de voltametría cíclica, cuantificar dicha velocidad de corrosión.

Los ensayos demostraron que las estructuras de los brackets se corroen más para ambientes ácidos como lo son la mayoría de alimentos, se corroen un poco menos en medios salinos como lo es la saliva humana y se corroe mínimamente en medios básicos como los dentífricos; siendo sus velocidades de corrosión promedio: 4.01, 1.17 y 0.04 mA/cm² respectivamente. También se demuestra que la corrosión se acelera con la frecuencia de aplicación de tensión, ya que las lecturas obtenidas para tensiones intermitentes son mayores a las lecturas con tensiones continuas y que a su vez va aumentando con la frecuencia de aplicación de la tensión. Para frecuencias que van desde 0 a 3.73 hertz (o revoluciones por segundo) se tienen, para medio ácido, valores desde 3.58 hasta 4.37 mA/cm².

2 INTRODUCCIÓN

2.1 Situación Problemática

La corrosión en los brackets dentales es el resultado de varios factores, tales como el medio agresivo al que dichas estructuras están expuestas, ya sea la salinidad de la saliva, las pastas dentales, dentífricos y todo alimento que es ingerido por la persona que se encuentra en tratamiento de ortodoncia. Es sabido que la mayoría de metales se corroe, incluso los aceros inoxidable, además que dicha corrosión es acelerada por la tensión ya sea de manera continua o intermitente a la que el arco de los brackets se encuentra en todo momento durante el tratamiento, además de que el medio al que se encuentra sometido (la boca humana) es un medio agresivo que acelera los procesos corrosivos.

La tensión aplicada al diente a través de los arcos ocasiona el fenómeno de corrosión bajo tensión y al momento de masticar o reajustar los arcos (lo cual es parte del tratamiento) se producen ciclos de tensión (o tensión intermitente), lo cual acelera el proceso de corrosión que se da lugar en la estructura de los brackets.

Además de la tensión también existen otros factores que aceleran la corrosión, como la fricción entre el bracket en sí y el arco del bracket, que están siendo presionados el uno contra el otro de manera que, si al ser la vibración de uno considerable, origina fricción entre dichas partes debilitando la superficie del material o inclusive generando fisuras. Este factor no es considerado en el presente estudio, pero es de suma importancia conocerlo. También es importante conocer que los brackets están expuestos a todas las texturas de alimentos, ya sean líquidos, sólidos suaves como sólidos duros que por abrasión dañan la superficie del material deteriorando las capas pasivantes o generando fisuras. Otro factor importante es la corrosión por microorganismos debido a que la cavidad oral contiene diferentes microorganismos que pueden acelerar este proceso de corrosión.

Se puede evaluar esta problemática desde dos puntos de vista, uno visto desde la funcionalidad del material para cumplir con su función en la ortodoncia; ya que, como se aprecia en la figura A.1, el arco de bracket se puede romper en el transcurso del tratamiento de ortodoncia; y dos, desde el punto de vista de la salud humana ya que una misma agresión causal puede producir una gran variedad de respuestas en cada persona debido a las diferencias en la resistencia del huésped, sobre todo si dicho huésped padece de alguna clase de alergia o enfermedad.

De manera general, la corrosión puede entenderse como la tendencia general que tienen los materiales a buscar su forma más estable o de menor energía interna en un medio predeterminado. Teniendo esto en cuenta podemos decir que todo material corroído libera metales al medio que en este caso es la boca humana. Además, (Salud Revista.es, 2014) indican: "...esta alergia, que es la más frecuente de las llamadas 'de contacto', afecta a un 15 por ciento de la población española.", refiriéndose a la alergia al Níquel, metal incluido en la composición de brackets e implantes dentales.

Se sabe que la corrosión en el mundo actual es el principal problema por el cual los metales se deterioran y dejan de ser de utilidad; de igual manera los metales utilizados en las estructuras de los Brackets dentales son propensos a estos fenómenos de corrosión. Adicionalmente Europa Press (2015) afirma: "Uno de cada cuatro españoles tiene actualmente un tratamiento de ortodoncia en sus dientes o lo han llevado en algún momento de su vida, a pesar de que un 70 por ciento de la población asegura que utilizarían esta técnica...".

Teniendo en cuenta la problemática actual, podemos formular el problema: ¿Cuál es la velocidad de corrosión de las estructuras de los Brackets y que tanto es afectada por la tensión continua o intermitente aplicada por el movimiento de los dientes en la vida cotidiana?

2.2 Justificación

Al estudiar la corrosión en los metales que conforman la estructura de los brackets, se puede ver el comportamiento de la velocidad de corrosión frente a diferentes ciclos de tensión intermitente aplicados, tanto desde el punto de vista de la resistencia del material frente a medios agresivos como desde el punto de vista de la persona en tratamiento de ortodoncia y los riesgos a los que estos podrían estar expuestos.

Desde el punto de vista de la funcionalidad del material, después del estudio debemos ser capaces de identificar qué tanto el acero inoxidable se corroe y cómo varía su velocidad de corrosión frente a diferentes frecuencias de tensión aplicadas, además de cuál causa mayor corrosión, si la aplicación de tensión con un número mayor de ciclos por segundo o la corrosión bajo tensión continua (0 ciclos/seg). La identificación del proceso de corrosión del acero inoxidable es fundamental para explicar y prevenir casos de fallas en el material como lo es una ruptura del arco en pleno tratamiento de ortodoncia (ver figura A.1.1).

Desde el punto de vista de la salud pública, después del estudio, cada ortodoncista que tenga conocimiento del tema estará en la capacidad de recomendar a sus pacientes si es conveniente usar brackets de acero inoxidable común u otro material por lo general de mayor costo, dando énfasis a aquellas personas que son alérgicas ya sea al níquel o a otro componente ya que la corrosión de los brackets podría agravar su situación.

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo General:

- Determinar la velocidad de corrosión de los metales utilizados en las estructuras de los brackets frente a la tensión aplicada continua o intermitentemente.

2.3.2 Objetivos Específicos:

- Determinar el grado de corrosión del material que conforma la estructura de los brackets en los medios agresivos: ácido, salino y básico.
- Determinar si la aplicación de tensión de manera intermitente en el material, acelera considerablemente el proceso de corrosión frente a la corrosión bajo tensión continua; y su comportamiento frente a la variación de la frecuencia de aplicación de dicha tensión.
- Verificar la corrosión inducida al material de los brackets mediante el método de microscopía óptica y electrónica.

3 ANTECEDENTES

3.1 Antecedentes Relacionados a Corrosión en Acero Inoxidable

Raman, S. & Padmanabhan, K. (1996): Realizan pruebas de fatiga de bajo ciclo controladas por deformación a temperatura ambiente, “las pruebas se realizaron en especímenes de acero inoxidable austenítico AISI 304LN que se trabajaron en frío mediante el estampado a diferentes niveles (10, 20 y 30% de reducción en el área) antes de la prueba. El ablandamiento cíclico fue el más notorio. Se explica el cruce en los gráficos de la vida útil total de la tensión para el material con diferentes grados de trabajo previo en frío en términos de las diferencias en fuerza y ductilidad. El trabajo en frío previo aumentó la resistencia total a la fatiga de deformación con amplitudes de deformación totales menores que aproximadamente el 0,50%. Se observó una reducción en la vida de la fatiga de transición con un aumento en el porcentaje de trabajo en frío previo.”

Topic, M., Tait, R. & Allen, C. (2007): Investigaron el comportamiento de fatiga del acero inoxidable AISI 304 en función de la tensión de estirado. “Tanto las muestras de alambre lisas como entalladas fueron sometidas a pruebas de fatiga de tres puntos llevadas a cabo bajo control de carga a temperatura ambiente. Este estudio ha establecido que aproximadamente el 20% de la martensita inducida por deformación previa es una cantidad crítica que determina la posterior respuesta de fatiga de este acero. En el acero con menos del 20% de martensita inducida por deformación, cualquier martensita formada durante el proceso de fatiga actuará de manera beneficiosa al retardar el agrietamiento por fatiga, elevando el límite de fatiga y dando como resultado una fractura de fatiga dúctil. Sin embargo, en presencia de más del 20% de la martensita inducida por la deformación, cualquier martensita inducida por la deformación cíclica estimulará una iniciación más rápida de la fisura que conducirá a características superficiales más frágiles de la fractura. En este

estudio se ha propuesto un escenario para predecir el comportamiento de fatiga del alambre de acero inoxidable AISI 304 estirado en frío.”

Nikitin, I., & Besel, M. (2008). Investigan la influencia de la frecuencia en el comportamiento de fatiga isotérmica del acero inoxidable austenítico AISI 304. “Los experimentos de fatiga de jale-empuje se realizaron bajo condiciones anisotérmicas e isotérmicas (a 25 ° C). Las frecuencias entre 0.05 Hz y 10 Hz fueron investigadas sistemáticamente. Se encontró que las altas frecuencias en combinación con altos niveles de estrés dan como resultado un aumento de la temperatura de la muestra fatigada (condición anisotérmica). Por lo tanto, el gas nitrógeno que se evapora del nitrógeno líquido se utilizó como refrigerante para realizar un experimento de fatiga isotérmica a 25 ° C. También se investigó la influencia de la laminación profunda (Deep Rolling) sobre el comportamiento de fatiga de AISI 304 a diferentes frecuencias. La laminación profunda mejora el comportamiento de fatiga en el régimen LCF independientemente de las condiciones de prueba investigadas. La laminación profunda conduce a una tensión plástica significativamente de menor amplitud y como consecuencia a una mayor vida.”

Ye, D., Matsuoka, S., Nagashima, N. & Suzuki, N. (2006): Investigaron el comportamiento de fatiga de ciclo bajo (LCF) del acero inoxidable austenítico SUS304-HP de manera sistemática, “utilizando el ciclo de tensión-compresión bajo condiciones de control de amplitud de deformación total totalmente invertidas a temperatura ambiente en aire de laboratorio. Además de las pruebas en amplitudes de tensión constantes, también se llevaron a cabo pruebas escalonadas (IST). La respuesta al estrés cíclico, durante las pruebas de muestras complementarias (CST), reveló combinaciones de un endurecimiento cíclico variable, comportamiento estable y ablandamiento, según la amplitud de tensión cíclica aplicada, mientras que durante los ensayos de paso incremental mostró un carácter de endurecimiento cíclico en todos los niveles de deformación. Las observaciones de la

microestructura utilizando microscopía óptica y microscopía electrónica de transmisión (TEM) revelaron que, al aumentar las amplitudes de la deformación total, la densidad de la banda de deslizamiento se incrementó y la estructura de la dislocación cambió de una matriz plana a una estructura más similar al celular. Se observó una transformación de austenita / martensita inducida por deformación cíclica a mayores amplitudes de tensión cíclicas. El cambio en las microestructuras durante el ciclo es responsable del comportamiento de endurecimiento / ablandamiento por fatiga del material. Haciendo microscopía electrónica de barrido (SEM), se revela que, en las amplitudes de baja deformación, la nucleación de tipo de inclusión se produjo cerca de la superficie, mientras que, en las amplitudes de deformación más altas, la iniciación de la fisura caracterizada por la fisuración por división ocurrió no solo cerca de la superficie sino también en el interior de la muestra. Se observó un comportamiento lineal o de pendiente única tanto en el esfuerzo cíclico de tensión como en el diagrama de Coffin-Manson. El comportamiento de tensión-deformación cíclica enmascarante se presentó solo en el método IST, pero no en el método CST.”

Poncelet et al. (2010). Realizan una serie de pruebas biaxiales de fatiga de ciclo alto a temperatura ambiente para crear una base de datos extensa y bien documentada. “El espécimen de prueba es una cruz maltesa adelgazada en su centro con campos de deformación/estrés no homogéneos. El protocolo experimental utiliza exclusivamente mediciones de tensión de campo completo. Las cepas (cíclicas y residuales), así como la detección de inicio de grietas, se obtienen mediante el uso de técnicas de Correlación de imágenes digitales (DIC) combinadas con una adquisición de imágenes estroboscópicas multiescala en la instalación. Nueve especímenes cruciformes hechos de acero inoxidable austenítico tipo 304L son cargados por una máquina de prueba multiaxial. Se presentan dos tipos de rutas de carga: equibiaxial con una relación de carga de 0.1 y no proporcional con una carga cíclica en una dirección y una carga constante en la otra. Los resultados

experimentales se dan (amplitud de la deformación, deformación residual, número de ciclos para iniciar la fisuración) para cada ruta de carga. El historial de tiempo de las amplitudes de deformación locales y las cepas residuales se registran y trazan. Las curvas totales de fatiga versus número de ciclos de fatiga muestran las diferentes tendencias asociadas con cada ruta de carga. Por ejemplo, las cargas no proporcionales se encuentran muy dañinas y conducen a fuertes efectos de trinquete.”

Surajit, K., Sivaprasad, S., Dhar, S. & Tarafder, S. (2011). Realizan un estudio a los fenómenos de deformación plástica cíclica e incluyen el efecto Bauschinger, endurecimiento / ablandamiento cíclico, efecto de rango de deformación, memoria de historial de carga, trinquete, endurecimiento dependiente de la tensión media, relajación de tensión media y endurecimiento no proporcional. “En este trabajo, se exploran experimentalmente diferentes respuestas cíclicas de deformación plástica de los materiales de tuberías (acero SA333 C-Mn y acero inoxidable 304LN). El endurecimiento / ablandamiento cíclico depende de los tipos de carga (es decir, tensión / deformación controlada), historial de carga previa y rango de tensión / deformación. El esfuerzo previo seguido de LCF y la relajación de estrés media muestran un tipo similar de respuesta de material. Se observa una cantidad sustancial de endurecimiento no proporcional en el acero SA333 C-Mn durante la carga de tensión-torsión de 90 fuera de fase. Durante el trinquete, se acumula gran cantidad de tensión permanente con la progresión de los ciclos. La acumulación permanente de deformación en una dirección particular provoca una reducción del área transversal y da como resultado una alteración incontrolable de la tensión real en la prueba de trinquete controlada por esfuerzo de ingeniería. En este trabajo, el trinquete de control de tensión verdadero en materiales de tuberías se ha llevado a cabo en un entorno de laboratorio. Se analizan los efectos de la amplitud del estrés y la tensión media en los comportamientos de trinquete. También se ha realizado una comparación entre las pruebas controladas por el estrés verdadero y el de

ingeniería, y se encuentra una diferencia masiva en la vida de trinquete y la acumulación de deformación.”

3.2 Antecedentes Relacionados a los Brackets Dentales

Bakhtari, A., Bradley, T., Lobb, W., & Berzins, D. (2011): realizaron un estudio con el propósito de comparar las corrientes galvánicas generadas por diferentes combinaciones de soportes y arcos de Brackets dentales comúnmente utilizados. “Métodos: Los Brackets de acero inoxidable, níquel-titanio y betatitanio recibidos se acoplaron a soportes de acero inoxidable y titanio en un medio de saliva artificial. La corriente galvánica y la cantidad de carga transferida para cada par se controlaron con un amperímetro de resistencia cero durante 10 horas. Resultados: El análisis de varianza de dos vías (ANOVA) mostró una diferencia significativa en la carga y las corrientes galvánicas cuando se factorizó por el tipo de bracket, pero no hubo diferencia significativa entre ellas cuando se factorizó por tipo de arco. Específicamente, un soporte de acero inoxidable soldado fue significativamente mayor en la carga transferida y la corriente galvánica de 10 horas que el acero inoxidable moldeado por inyección de metal y los soportes de titanio, que no eran diferentes entre sí. Conclusiones: El método de fabricación de los brackets puede ser de igual o mayor relevancia para la susceptibilidad a la corrosión galvánica que la composición de los brackets.”

Martinez M., Iglesias F., Fernández P., Corpas F. & Gómez J. (2017). “La cavidad bucal tiene algunas características de alta concentración en sales minerales, enzimas, proteínas y células, que modifican la unidad implante-pilar-prótesis. La protección del tornillo de pilar de implante dental para la corrosión y la mejora de su estructura son una de las claves del éxito en nuestro nuevo tratamiento restaurador a largo plazo. El titanio y sus aleaciones liberan iones medios orales, que no se consideran perjudiciales para la salud. Sin embargo, gracias a su resistencia a la corrosión debido a la capa formada con óxido inerte, la capa permanece

constante. A pesar de este hecho, hay fenómenos que producen la estriación por fatiga. El aumento en la cantidad de fallas mecánicas y la aparición de microfisuras nos hacen revisar conceptos antiguos. Los mecanismos tales como la absorción de proteínas y la propagación de micro-fisuras de la estructura producen fenómenos de corrosión que pueden resultar en fallas. El uso de nanopartículas de plata y cobre para el recubrimiento del tornillo del pilar de implante dental inhibe en parte la producción de productos de corrosión y el aumento de elementos como el azufre, el cloro y el sodio, que son los productos que aumentan las microfisuras del mecanizado original del tornillo.”

Rosales Pérez A. (julio 2013). “El desarrollo de los brackets desde el punto de vista mecánico, la biofuncionalidad del material, ha ido siempre en la vanguardia de la innovación. Paralelamente, se realizaba el estudio del material desde la perspectiva de la biocompatibilidad. Estos estudios se basaban en la respuesta del organismo hacia el material en estudio. Pero un tratamiento ortodóncico no tiene una duración de días, sino de meses incluso años. Esto tiene como consecuencia la evolución del material en el interior del organismo. Las respuestas alérgicas o tóxicas de los pacientes a cierto tipo de material o el fallo del material antes de la finalización del tratamiento han conllevado que la corrosión se sitúe como un criterio básico en el diseño de materiales ortodóncicos. En este estudio se realiza una simulación del medio bucal mediante atmósfera de niebla de saliva artificial en contra de la inmersión además de considerar una posible interacción galvánica entre los arcos y los brackets. Se realiza una presentación de los materiales utilizados, los tipos de aparatos y sus diferentes configuraciones, la modelización de la cavidad bucal y mecanismos y formas de la corrosión en los aparatos ortodóncicos. Luego, se caracteriza el problema de la corrosión galvánica y su presencia en la ortodoncia. Como resultados se tiene evidencia de que todos los materiales estudiados que fueron sometidos a corrosión acelerada por el método de cámara de niebla salina presentan corrosión ya sea de manera moderada o en mayor

cantidad.”

Olson J., Liu Y., Nickel J., Walker M. & Iwasaki L. (2012) evalúan el comportamiento antideslizante de los arcos de brackets en función del método de ligadura y la vibración del arco. “Métodos: Se midieron las vibraciones de los alambres in vivo para obtener frecuencias y amplitudes para las pruebas ex vivo. Un acelerómetro piezoresistivo ligado a los caninos maxilares derechos de 6 sujetos transdujo las vibraciones intraorales. Todos los sujetos dieron su consentimiento informado para participar. La amplitud y la frecuencia de las vibraciones se cuantificaron y se usaron en un aparato de prueba de fricción de mesa. Se compararon los métodos de ligación activa y pasiva en 9 escenarios de vibración. La cantidad de tiempo para mover el soporte a lo largo de un cable de acero inoxidable se registró en 90 intentos. Se utilizaron análisis de varianza y pruebas post hoc para los análisis estadísticos de los datos. Resultados: Durante la picadura de zanahorias, las vibraciones de los cables de ortodoncia tuvieron una frecuencia media de 98 Hz y una amplitud media de pico a pico de 151 mV. Las pruebas de medición de adherencia de banco que contenían vibraciones de amplitud media (150 mV) y alta (190 mV) tuvieron significativamente menos fricción (ln, s), 4.81 +- 2.08 y 4.67 +- 2.00, respectivamente, que las sometidas a bajas (110 mV) amplitudes, 5.80 +- 1.39. No hubo diferencias significativas entre los métodos de ligación pasiva y activa. Conclusiones: Las amplitudes de las vibraciones de los arcos afectan el comportamiento de adherencia en las interfaces de soporte de arcos.”

Velazco, G., Ortiz, R., Yépez, J., & Kaplan, A. (2009). Afirman que: “la cavidad bucal puede representar un medio biológico desfavorable para ciertas aleaciones metálicas utilizadas para tratamiento odontológico, originando procesos de corrosión que alteran las propiedades del material. Las aleaciones de níquel-cromo son ampliamente usadas en odontología, siendo susceptibles de presentar fenómenos corrosivos que comprometen su integridad. El presente estudio tuvo como objetivo analizar por curvas de polarización cíclica,

la corrosión por picadura en aleaciones de níquel-cromo utilizadas en odontología. Se realizó un estudio de tipo experimental y corte transversal, comprobando el desarrollo de la corrosión en brackets de ortodoncia a base de níquel-cromo, sumergiéndolos en medios de saliva artificial modificada con café, gaseosa y vinagre. Las curvas de polarización cíclica no revelaron una diferencia significativa entre el potencial de protección y el potencial de picadura en los diferentes medios, pero sí se evidenció un cambio de potencial indicativo de procesos de corrosión por formación de porosidad en la superficie del material. El proceso de corrosión constituye un factor de riesgo importante para aquellos pacientes con tratamientos ortodóncicos con brackets a base de níquel-cromo. Los diferentes profesionales de la salud deben estar conscientes del estudio acentuado de las propiedades óptimas de un material y su interacción con los medios biológicos que lo soportan.”

3.3 Antecedentes Relacionados al Método de Voltametría

Porojan L., Savencu C., Costea L., Dan M. & Porojan S. (2018). “Las aleaciones de níquel-cromo (Ni-Cr) se han utilizado para prótesis dentales debido a sus bajos precios y excelentes propiedades físicas. Si bien la mayoría de las restauraciones de Ni-Cr tienen un buen rendimiento clínico, se sabe que los productos de corrosión y los componentes de estas aleaciones tienen el potencial de causar hipersensibilidad y otras reacciones tisulares. El objetivo de este estudio fue investigar el comportamiento a la corrosión de cuatro aleaciones dentales de Ni-Cr comerciales diferentes (S1, S2, S3, S4) en entornos orales simulados, relacionados con la composición química y la microestructura, por métodos electroquímicos, incluida la Espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS), investigaciones cronoamperométricas y cronopotenciométricas y estudios de voltametría cíclica. La caracterización de la superficie de las muestras se realizó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) antes y después de la inmersión en saliva artificial. Corroborando los resultados de los métodos de investigación, las aleaciones de Ni-Cr representan una

alternativa adecuada para estructuras de metal utilizadas en odontología protésica. Todas las aleaciones dentales presentan una baja tendencia a la corrosión, pero las aleaciones S1 y S2 fueron las más estables a la corrosión en la saliva artificial. El mejor comportamiento electroquímico debe atribuirse a la composición de las aleaciones (que contienen Cr y Mo) y a la microestructura de superficie compacta.”

Banul., Juganaru C. & Marcu M. (2017). “El propósito de este estudio es comparar el comportamiento a la corrosión y el deslustre de las aleaciones dentales fundidas de NiCrMo y CoCrMo en entornos biológicos artificiales. Las aleaciones de cromo cobalto han sido conocidas y utilizadas en odontología durante muchos años, pero su difícil maquinabilidad debido a su resistencia y dureza es un argumento para que los científicos estudien materiales alternativos con biocompatibilidad comparable. Por otro lado, para los dispositivos de odontología, además del comportamiento de corrosión, es importante la estética, por lo que las aleaciones usadas deben preservar su brillo y no mancharse. La resistencia a la corrosión se ha evaluado utilizando el método de espectroscopia atómica de masas para la determinación de la liberación de iones, las curvas de polarización anódica y el monitoreo del potencial de circuito abierto para la evaluación del comportamiento de corrosión y la microscopía óptica para el análisis de la estructura. La tendencia al empañamiento de las aleaciones se estimó utilizando el método de inmersión cíclica con una frecuencia de 10 segundos por cada minuto durante 72 horas en una solución que contiene Na₂S. La conclusión más importante es que las aleaciones son comparables desde el punto de vista de la corrosión y el deslustre, pero recomendamos utilizar la aleación de base de níquel solo para dispositivos de ortodoncia implantados durante cortos períodos de tiempo, debido a la mayor cantidad de iones liberados.”

Saleh T., Andre Mars J., Thovhogi N., Gihwala D., Baleg AA. & Maaza M. (2015). “El objetivo del estudio fue evaluar la influencia de la temperatura y el pH en la resistencia a la

corrosión de las aleaciones dentales de Ni-Cr y Co-Cr, a fin de caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de las propiedades de resistencia a la corrosión de Ni-Cr y Co-Cr. e investigar las correlaciones entre la corrosión y la biocompatibilidad de las aleaciones dentales e interpretar los resultados en comparación con las concentraciones de iones encontradas en los alimentos necesarios. Métodos: en este trabajo, el comportamiento a la corrosión de tres aleaciones dentales diferentes denominadas PD CASTA H, CERACAST NB libre de berilio y PD 2000 se probaron en la solución de Ringer de saliva artificial a diferentes valores de pH y temperatura. Las aleaciones dentales se sumergieron en la solución de Ringer durante 14 días. El análisis de la superficie se realizó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectrometría de dispersión de energía (EDS). Las características electroquímicas de los componentes metálicos individuales también se investigaron utilizando métodos de voltametría cíclica. Resultados: Sobre la base de los resultados obtenidos, se ha demostrado que el comportamiento a la corrosión de las aleaciones PD CASTA H y PD 2000, que contienen Co y un alto contenido de Cr, muestra la mejor resistencia a la corrosión en comparación con la aleación CERACAST NB en la solución de Ringer saliva artificial. Y la influencia en la temperatura, acidez y alcalinidad de los efectos de la solución sobre las propiedades de las aleaciones dentales en la cavidad oral.”

Mellado A., Igual A., Guiñón V. & Sola M. (2018). “El objetivo del estudio es analizar el comportamiento electroquímico de cinco aleaciones dentales diferentes: dos aleaciones de cromo-cobalto (CoCr y CoCr-c), una aleación de níquel-cromo-titanio (NiCrTi), una aleación de oro-paladio (Au) y una aleación de titanio (Ti6Al4V), y el efecto galvánico cuando se acoplan a los implantes de titanio (TiG2). Se llevó a cabo mediante técnicas electroquímicas (mediciones en circuito abierto, curvas potenciodinámicas y amperometría de resistencia cero) en saliva artificial (AS), con y sin fluoruros en diferentes condiciones ácidas. Las aleaciones estudiadas se pasivan espontáneamente, pero la aleación de NiCrTi tiene un

dominio pasivo muy estrecho y pierde su pasividad en presencia de fluoruros, por lo que no se considera una buena opción para las superestructuras de implantes. Las variaciones de pH de 6.5 a 3 en la saliva artificial no cambian el comportamiento electroquímico de las aleaciones de Ti, Ti6Al4V y CoCr, y sus parejas, pero cuando el pH de la saliva artificial está por debajo de 3.5 y el contenido de flúor es 1000 ppm, comienza el Ti y el Ti6Al4V a disolverse activamente, y las superestructuras de CoCr-c acopladas al Ti muestran una aceleración de la corrosión debido a los efectos galvánicos. Por lo tanto, NiCrTi no se recomienda para las superestructuras de implantes debido al riesgo de liberación de iones de Ni al cuerpo, y los fluoruros deben evitarse en medios ácidos porque las superestructuras de Ti, Ti6Al4V y CoCr-c muestran corrosión galvánica. Las mejores combinaciones son Ti / Ti6Al4V y Ti / CoCr como alternativa de aleaciones de oro noble.”

Tuna S., Ozcicek N., Keyf F. & Canli F. (2009). “Como la elección de la aleación de supraestructura que se combinará con el titanio para la cavidad oral sigue siendo un tema muy debatido, el objetivo de este estudio fue investigar la interacción electroquímica de las parejas de supraestructura / implante en las condiciones de experimento determinadas. Material y métodos: Se tomaron las curvas de polarización potenciodinámicas y los potenciales de circuito abierto (OCP) de cuatro supraestructuras de tipo UCLA junto con dispositivos de implante Swiss Plus rectos en una solución de saliva artificial de tipo Afnor a 37 ° C. La concentración de iones lixiviados en soluciones de saliva artificial se estimó con ICP-MS. Se obtuvieron imágenes SEM de los márgenes de las parejas de supraestructura / implante antes y después de las pruebas electroquímicas. Resultados: El valor de OCP del titanio se volvió pasivo en el potencial más negativo. La diferencia más baja entre el valor de OCP inicial y constante fue exhibida por la supraestructura basada en Au. Las infraestructuras hicieron mayores contribuciones a las curvas de polarización potenciodinámicas de las parejas de implante / supraestructura. De acuerdo con los resultados

de ICP-MS, las parejas basadas en Pd y basadas en Au se disolvieron menos que las basadas en Co-Ni y basadas en Co-Cr. Conclusiones: En las condiciones de este estudio, se puede concluir que el implante de titanio forma una capa de óxido pasivo estable en la saliva artificial expuesta al aire libre y no afecta las propiedades de corrosión de las estructuras. Se ha encontrado que las parejas basadas en Pd y basadas en Au son más resistentes a la corrosión que las parejas de aleación de base.”

4 PRINCIPIOS TEÓRICOS

4.1 Arcos y Brackets Dentales

Aunque popularmente el término bracket se refiere de forma habitual a cualquiera de los tipos de aparatos fijos de ortodoncia, hay que advertir que esta denominación corresponde en realidad a cada una de las piezas sujetadas por el arco de metal y que se adhieren a la superficie frontal del diente (o en la posterior, si se trata de una ortodoncia lingual o invisible) tal como se muestra en la figura 4.1.1.

Figura 4.1.1

Brackets Dentales



Hay que tener en cuenta que el arco metálico es la parte activa del aparato, es decir quien en conjunto con las ligas plásticas realmente ejercen la fuerza necesaria para empujar progresivamente los dientes hacia la posición que deben ocupar. Los brackets, en este caso, son elementos pasivos y cumplen la función de transmitir a los dientes dicha fuerza. También conviene decir que los brackets pueden ir soldados o pegarse directamente al diente, siendo

ésta última opción la que más se utiliza en la actualidad, ya que es la que menos daña el esmalte de los dientes. Los arcos dentales se pueden apreciar en la figura 4.1.2.

Figura 4.1.2

Arcos Dentales



4.2 Corrosión de los Metales

4.2.1 Fundamentos

“La corrosión puede definirse como la reacción química o electroquímica de un metal o aleación con su medio circundante con el consiguiente deterioro de sus propiedades” (Otero, 2012).

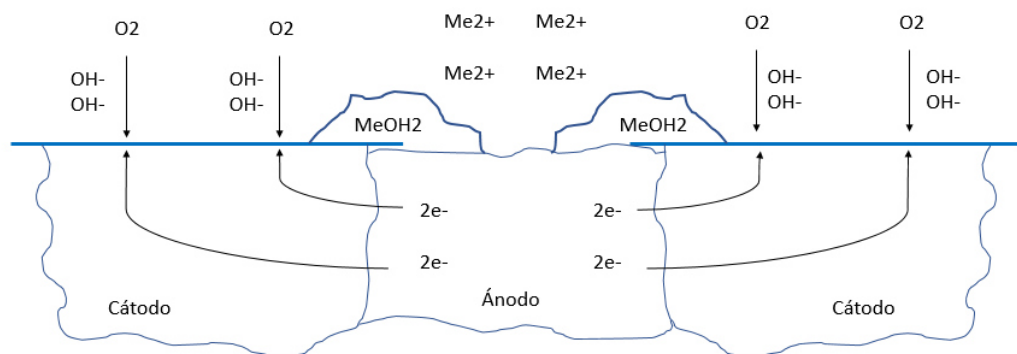
La Federación Europea de Corrosión establece una precisión adicional y distingue entre corrosión con oxidación del metal y formación de cationes metálicos y la disolución de un metal en otros metales o sales fundidas. De acuerdo con esta definición básica cambios de fase como por ejemplo la transformación de estaño blanco en su variedad alotrópica gris (peste del estaño) no cae dentro de la corrosión propiamente dicha. Problemas mecánicos

como ruptura por sobrecarga de una pieza metálica, desgaste, erosión, cavitación o la hinchazón de un plástico por transformaciones internas del polímero que lo constituye tampoco pueden clasificarse como corrosión porque no interviene un medio agresivo circundante.

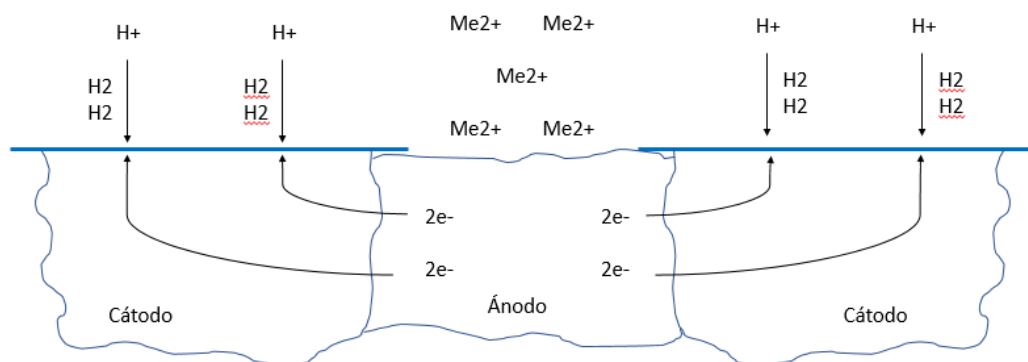
Sin embargo, sí se dan formas de corrosión en las cuales se sobreponen dos efectos, uno químico o electroquímico que constituye el de corrosión propiamente dicho y otro mecánico, por ejemplo, en el proceso de corrosión-erosión, o de corrosión bajo tensión.

Figura 4.2.1

Mecanismo del proceso de corrosión.



(a)



(b)

Nota: (a) En presencia de O_2 . (b) En presencia de iones H^+ .

Respecto a los materiales no metálicos como polímeros o cerámicos los mecanismos de deterioro difieren del de los metales; y en estos casos se habla en general de degradación. Por esta razón se dedica un capítulo aparte a cada uno de estos materiales de interés tecnológico y a los procesos a través de los cuales se lleva a cabo su deterioro.

Las reacciones básicas de corrosión son, por tanto:

- Reacción Anódica: $\text{Me} \rightarrow \text{Me}^{n+} + n\text{e}^-$
- Reacciones Catódicas: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
 $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$
 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$

De acuerdo con ello también es posible definir la corrosión desde un punto de vista más químico como el tránsito de un metal de su forma elemental a su forma iónica o combinada con cesión de electrones a un no metal como el oxígeno o el azufre, por ejemplo. Es decir, el metal, a través de la corrosión, retorna a la forma combinada formando óxidos, sulfuros, hidróxidos, etc. Que es como los metales se encuentran habitualmente en la naturaleza por tratarse de formas termodinámicamente más estables.

Desde el primer momento de su extracción, para lo cual es necesario cambiar las condiciones termodinámicas utilizando reductores, altas temperaturas, etc., el metal muestra una tendencia inherente a reaccionar con el medio ambiente (atmósfera, agua, suelo, etc.) retornando a la forma combinada. El proceso de corrosión es natural y espontáneo, y cuanto mayor es la energía gastada en la obtención del metal a partir del mineral, tanto más fácilmente el metal revierte al estado combinado, es decir, tanto más favorecida termodinámicamente está la reacción de corrosión.

“Metalurgia extractiva y corrosión son, por tanto, procesos de acción opuesta. Se ha dicho que el beneficio de los minerales y producción de los metales constituye media batalla:

la otra mitad es mantener estos metales en buen estado durante su vida en servicio. La corrosión ha sido descrita como una enorme industria al revés: todo son pérdidas sin jamás un beneficio” (Otero, 2012).

4.2.1.1 Principios Electroquímicos

La corrosión es un proceso netamente electroquímico, la cual requiere un flujo de corriente eléctrica entre ciertas áreas de la superficie. Según indica Otero (2012), “el primer investigador que atribuyó la corrosión a un mecanismo electroquímico fue De la Rive en 1830. Acababan de descubrirse las pilas galvánicas, y se conocía que en la pila Zn/H₂SO₄/Cu se disolvía el cinc y se desprendía gas hidrógeno sobre el cobre (que actuaba de cátodo). De la Rive comprobó diferencias en la velocidad de disolución del cinc en ácido sulfúrico según la pureza de este metal, y observó que el H₂ se producía solo sobre determinados puntos. Pensó que las impurezas ejercían el papel de pequeños cátodos y determinó en qué medida las adiciones de elementos aleantes aumentaban o disminuían la velocidad de corrosión del cinc. Fue unos años más tarde (1834-1840) cuando Faraday dio a conocer la relación cuantitativa entre corriente eléctrica y acción química, esto es, que 96.493 culombios (1 Faraday) transforman en oxidación o reducción un equivalente gramo, y observó que los procesos de corrosión se ajustaban a esta ley, lo que demostró la naturaleza electroquímica de la corrosión. Efectivamente, la coincidencia entre observaciones gravimétricas y eléctricas (medidas en función de la intensidad y el tiempo a través de la ley de Faraday) fue publicada por Evans y Hoar en el año 1932, mostrando experimentos llevados a cabo en placas de hierro sumergidas en soluciones de cloruro potásico (Otero, 2012).”

4.2.1.2 Factores que Influyen en la Corrosión

Uno de los factores más importantes es la diferencia del potencial eléctrico de metales no similares cuando están acoplados conjuntamente y sumergidos en un electrolito. Este

potencial se debe a las naturalezas químicas de las regiones anódica y catódica. Alguna indicación de cuáles pueden ser anódicos en comparación con el hidrógeno está dada por la serie estándar de fuerza electromotriz (Tabla A.1.1) más conocidas como tabla de potenciales estándar de reducción presentada por Callister, W. (2007) de manera que los metales más activos de la parte inferior de la lista exhiben una tendencia más fuerte a disolverse que aquellos que aparecen al principio de la lista. Un metal de una posición más baja en la serie al tener un potencial de reducción más negativo, se convertirá en ánodo, el cual se oxida ocasionando el proceso de corrosión.

Una tabla con mayor información es presentada por Vanýsek P., Haynes W., Lide D. & Bruno T. (2015). En donde se encuentran semirreacciones de una gran variedad de elementos químicos y sus potenciales estándar de reducción para condiciones de temperatura de 25°C y 1 atmósfera de presión. Tener en cuenta que este potencial tanto para esta tabla como para las demás, es una referencia del potencial de reducción comparado con el hidrógeno (razón por la cual en las tablas vemos que el potencial del hidrógeno es 0V).

La serie electromotriz es válida sólo para metales en condiciones que se determinó la serie. Los electrolitos contenían específicas concentraciones de sales del mismo metal del que se estudió. En condiciones reales, en otros electrolitos, su comportamiento puede ser diferente. En vez de la serie electromotriz, se utiliza una serie galvánica algo parecida, la cual se basa en la experiencia con combinaciones de metales en gran variedad de ambientes. En cualquier pareja, el metal cercano al tope de esta serie será anódico y sufrirá corrosión, mientras que el otro más próximo al final de la lista será catódico y recibirá alguna protección galvánica. La diferencia en potencial eléctrico entre dos metales está relacionada con la distancia entre ellos en la serie galvánica. Un metal acoplado con otro cercano a él sobre esta lista corroerá generalmente en formas más lenta que cuando se acopla con otro más alejado por debajo de él.

“Si el ion metálico se elimina mediante la formación de un compuesto insoluble precipitado sobre el ánodo y esta película es adherente e impermeable a la solución de corrosión, resulta un aislamiento completo y la corrosión se detiene” (Costilla & Ramos, 1992).

El efecto del oxígeno disuelto sobre la rapidez de corrosión es doble: actúa en la formación de óxidos o hidróxidos y como despolarizador catódico. Si la formación de óxidos o hidróxidos elimina los iones metálicos del metal, se incrementará la corrosión. El efecto de la película de productos de corrosión sobre el metal se abordará más a fondo en la sección 4.2.3 (fenómenos de pasivación). Si el oxígeno actúa para eliminar hidrógeno de los alrededores del cátodo, se incrementará la corrosión. La efectividad del oxígeno para eliminar hidrógeno está influida por la cantidad de área de cátodo. Con un cátodo grande el hidrógeno que lo alcanza se esparcirá y será más accesible a la eliminación mediante una reacción con el oxígeno. Por esta razón, es práctica inefectiva acoplar un cátodo grande con un ánodo pequeño, lo cual puede ilustrarse con el ejemplo siguiente: si placas de acero se unen con remaches de cobre y se sumergen en agua de mar por varios meses, los remaches de cobre se mantendrán en buenas condiciones y no habrá aceleración de la corrosión del acero cerca de los remaches; sin embargo, si las placas de cobre se unen con remaches de acero y se sumergen bajo las mismas condiciones, los remaches de acero se atacarán muy severamente.

4.2.2 Fenómenos de Corrosión Localizados

4.2.2.1 Pilas de Corrosión

Similar a lo establecido anteriormente, el mecanismo de corrosión es electroquímico y heterogéneo debido a la presencia de zonas anódicas y catódicas estables en el espacio y en el tiempo, debido a diferencias de potencial electroquímico entre las distintas partes de una superficie metálica. En el establecimiento de tales diferencias participa tanto el metal como el

electrolito en contacto con dicho metal. De la misma manera, en ciertas ocasiones pueden aparecer diferentes tipos de heterogeneidades.

Realizando mediciones de potencial a lo largo de una estructura metálica de grandes dimensiones es fácil detectar (en ciertas condiciones y principalmente si el electrolito es de baja conductividad), potenciales dispares según el lugar donde se realiza la medición. En el caso de pequeñas estructuras o probetas metálicas es necesario recurrir a electrodos de referencia tan pequeños (microelectrodos) que puedan poner de manifiesto las pequeñas diferencias de potencial encargadas del funcionamiento de las micropilas de corrosión.

Para entender las circunstancias que justifican la formación y funcionamiento de las pilas de corrosión, es importante destacar los diversos tipos de heterogeneidades del metal, del medio y de las condiciones físicas, capaces de crear las heterogeneidades electroquímicas (zonas con diferente potencial) que dan origen a las pilas de corrosión.

“En definitiva, se trata de justificar el hecho de que determinadas regiones de un metal requieren menor energía que otras para lograr que un átomo pierda electrones, abandone la red cristalina y pase al electrolito, es decir, presenten menor potencial de ionización. Estas regiones tendrán tendencia a comportarse anódicamente frente a sus vecinas, que actuarán como pequeños cátodos” (Otero, 2012).

4.2.2.2 Corrosión por Picadura

El fenómeno de corrosión por picadura es el caso límite en cuanto a la localización del fenómeno de corrosión. El ataque se centra en un área bastante reducida en comparación con la superficie total expuesta. En ocasiones la zona afectada no constituye más del 2% de la superficie libre total.

Sin embargo, la bajo porcentaje de afectación no resta gravedad a este tipo de corrosión, ya que en la mayoría de los casos, el ataque profundiza con mucha mayor rapidez que en el

caso de procesos de corrosión uniforme como consecuencia de ciertas condiciones. De nada sirve que el 98% de la superficie de una tubería que transporta gas permanezca intacta si algunas de las picaduras que se localizan en el 2% restante avanza lo suficientemente rápido como para atravesar la pared y provocar un escape de gas y una posible explosión.

En general, los fenómenos de ataque localizado y en particular los relacionados a la corrosión por picadura aparecen como consecuencia de una heterogeneidad, ya sea en la superficie del metal o en el electrolito en su contacto, que origina diferencias de potencial en la superficie, pero con la diferencia de que la región de bajo potencial de reducción que actuará como depósito de electrones presenta una superficie muy pequeña en comparación a la zona que constituye el cátodo de la pila de corrosión. Estas heterogeneidades pueden ser macroscópicas o microscópicas y en consecuencia favorecen al inicio o incubación de la picadura.

El mecanismo de progreso de la picadura indica que en el interior de dicha picadura se dan condiciones electroquímicas diferentes a las correspondientes en la superficie libre del material y que facilitan el progreso del ataque hacia la zona interna, de manera que el proceso se convierte en autocatalítico. Cuanto más se produce el fenómeno, más aumentan las condiciones para que se siga produciendo.

“Efectivamente: la región desprovista de capa pasiva se constituye en ánodo de la pila de corrosión generándose la cavidad. Los cationes que salen de la red metálica incorporándose al electrolito en el interior de la cavidad a través de la reacción anódica de corrosión son, en general, fácilmente hidrolizables, de manera que, tras una etapa inicial de hidratación en la cual el catión se rodea de moléculas polares de agua que orientan sus polos negativos hacia el catión, se produce la hidrólisis generando nuevos protones” (Otero, 2012).

4.2.2.3 Corrosión Bajo Tensión

“El fenómeno de agrietamiento por corrosión bajo tensión (“stress corrosion cracking” en inglés) se caracteriza por la aparición de grietas que avanzan en dirección aproximadamente normal a la de aplicación de la tensión. La velocidad de propagación de la fisura puede llegar a ser de varios milímetros por hora en casos extremos, lo que evidencia la gravedad del problema.” (Otero, 2012).

Probablemente sea el problema más grave del grupo de fenómenos de corrosión en el que participan en conjunto factores de tipo mecánico y electroquímico, no sólo por el tan elevado impacto que ocasiona en elementos estructurales, sino por lo común que es su aparición. Para que se dé el fenómeno de corrosión bajo tensión es necesario que la aparición de tres aspectos:

- a) Presencia de tensiones superiores a un cierto umbral actuando sobre el material, bien sean aplicadas o residuales.
- b) Material susceptible al agrietamiento. Este aspecto viene determinado por variables metalúrgicas, como la composición de la aleación, la microestructura, el tamaño del grano, el haber estado sometido a radiación, etc.
- c) Que el material esté en contacto con un medio agresivo específico.

“La confluencia de estas circunstancias marca el riesgo de aparición del fenómeno. Respecto a la primera condición, es preciso decir que no es necesario que se trate de una tensión aplicada cuando la aleación forma parte de un elemento estructural, pues es suficiente con que aparezcan tensiones internas de carácter residual derivadas del proceso de conformación del material, de su historia térmica, o que se hayan inducido durante la instalación y el acoplamiento de los distintos constituyentes del dispositivo.” (Otero, 2012).

La condición de susceptibilidad se refiere principalmente a la posibilidad de que, por medio de distintos mecanismos, el material puede fragilizarse localmente.

Históricamente, el primer ejemplo descrito en la literatura se refiere a la aparición del fenómeno en aceros de bajo carbono constituyente de calderas de vapor en medios alcalinos. En 1912 se demuestra con pruebas científicas, por primera vez, que el agrietamiento no se debe a defectos metalúrgicos en el material o problemas de diseño. A partir de 1930, y cambiando el medio agresivo mediante tratamiento del agua, el problema de corrosión bajo tensión (conocido entonces como *fragilidad cáustica*), empieza a ser corregido.

“Otro ejemplo curioso lo constituye el problema surgido en una etapa ya muy avanzada del proyecto espacial Apolo, cuando se observó que las aleaciones de titanio eran susceptibles a la corrosión bajo tensión en presencia de N_2O_4 “ (Otero, 2012).

4.2.2.3.1 Mecanismo del Proceso de Corrosión Bajo Tensión

En el mecanismo del proceso de corrosión bajo tensión se pueden diferenciar dos etapas: etapa de incubación y etapa de progreso o desarrollo de la grieta.

La etapa de incubación consiste principalmente en la formación de una fisura inicial que puede ser originada por efecto electroquímico, mecánico o por participación de ambos.

Habitualmente la grieta se incuba en una picadura, por lo que las causas de origen de la picadura, serían también causas de incubación de la grieta. Estas circunstancias son, principalmente: disolución selectiva de una fase activa minoritaria, fenómenos de aireación diferencial con zona desaireada muy restringida o rotura local de películas pasivas por acción de aniones agresivos y por lo tanto actividad de pilas activas-pasivas.

La fisura inicial puede también ser consecuencia de un mecanismo principalmente metalúrgico y mecánico que se describe a continuación.

Como el material está sometido a tensión, éste sufrirá deformación, al menos elástica. La deformación se produce gracias al movimiento de dislocaciones, que pueden desplazarse y aparecer en la superficie creando escalones de dislocación de una distancia atómica. En la práctica, la aparición de múltiples dislocaciones formaría un escalón a nivel microscópico e incluso puede llegar a ser de tamaño macroscópico.

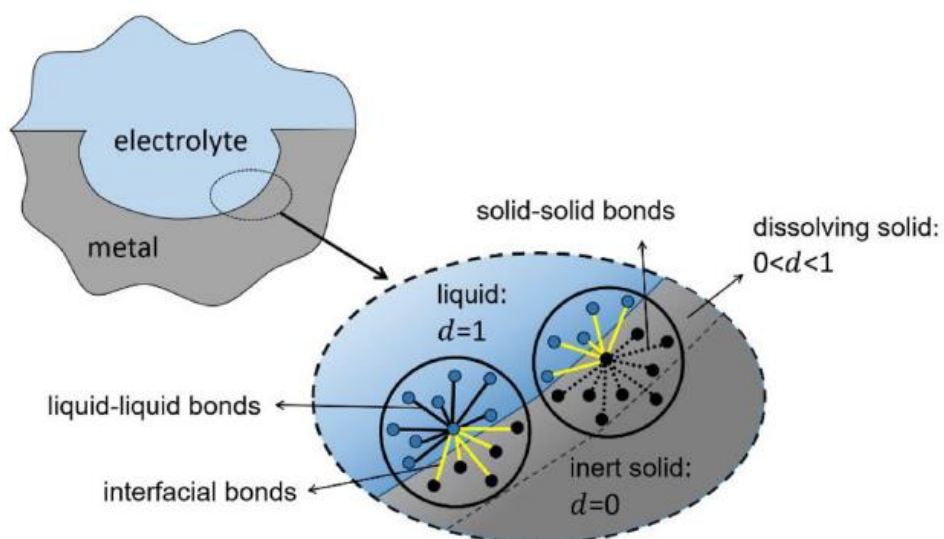
“En la siguiente etapa, la etapa de desarrollo de la grieta sabemos que no existe una teoría unificada y universalmente aceptada que describa el fenómeno. Por tanto, se hará mención de tres tendencias más reconocidas que explican el proceso. Mecanismo exclusivamente electroquímico, consistente en una disolución acelerada a partir del vértice de la fisura originada en el proceso de incubación. Una segunda teoría indica que el mecanismo se da fundamentalmente de tipo mecánico favorecido por aspectos electroquímicos y finalmente el mecanismo conocido como movilidad superficial, propuesto por Galvele en 1986, que parte de un planteamiento que trata de unificar éste con otros procesos de agrietamiento como el conocido por *fragilización por hidrógeno*. Éste último mecanismo indica que la movilidad de los átomos en el seno de un material metálico ocurre gracias a la existencia de defectos cristalinos conocidos como vacantes. Un átomo salta a una vacante vecina moviéndose una distancia atómica, lo mismo que lo hace la vacante en dirección contraria. El movimiento de átomos, a través de vacantes en el seno de un metal, aumenta exponencialmente con la temperatura, y es prácticamente despreciable a temperaturas inferiores a la mitad de la temperatura de fusión, también se sabe que la movilidad de los átomos en la superficie de un material cristalino es apreciablemente mayor que en el seno del mismo. Además, la acción del medio ambiente, a través de los mecanismos comunes de corrosión electroquímica, puede producir sobre la superficie del metal compuestos de bajo punto de fusión, lo que incrementaría, aún más, el movimiento de átomos en la superficie” (Otero, 2012).

Para entender mejor la corrosión bajo tensión, se hace un análisis al estudio presentado por Jafarzadeh, S., Chen, Z., Li, S. & Bobaru, F. (2019). Quienes presentan un modelo mecano-químico para la corrosión bajo tensión. “En el modelo, la disolución anódica controlada es una función de la dilatación no local del material cerca del frente de corrosión. Se utiliza un nuevo diseño experimental para medir la velocidad de disolución anódica del cobre bajo tensión de tracción aplicada y controlada. Se incluye un caso para la corrosión asistida por tensión en una geometría compleja con distribución de tensión no uniforme para demostrar las capacidades del modelo.”

Si bien Jafarzadeh, S. & Et. Al. (2019). presenta un modelo matemático, no se ahondará en ecuaciones si no en los conceptos presentados. La figura 4.2.2 presenta la interacción electroquímica que se da a lugar en la superficie del material, similar al mecanismo de corrosión por picadura (figura 4.2.1), sin embargo, éste es agudizado por factores mecánicos y deformaciones físicas del material.

Figura 4.2.2

Mecanismo del proceso de corrosión bajo tensión.



Nota: Imagen obtenida de Jafarzadeh, S. & Et. Al. (2019).

Figura 4.2.3

Ensayo montado por Jafarzadeh, S. & Et. Al. (2019).

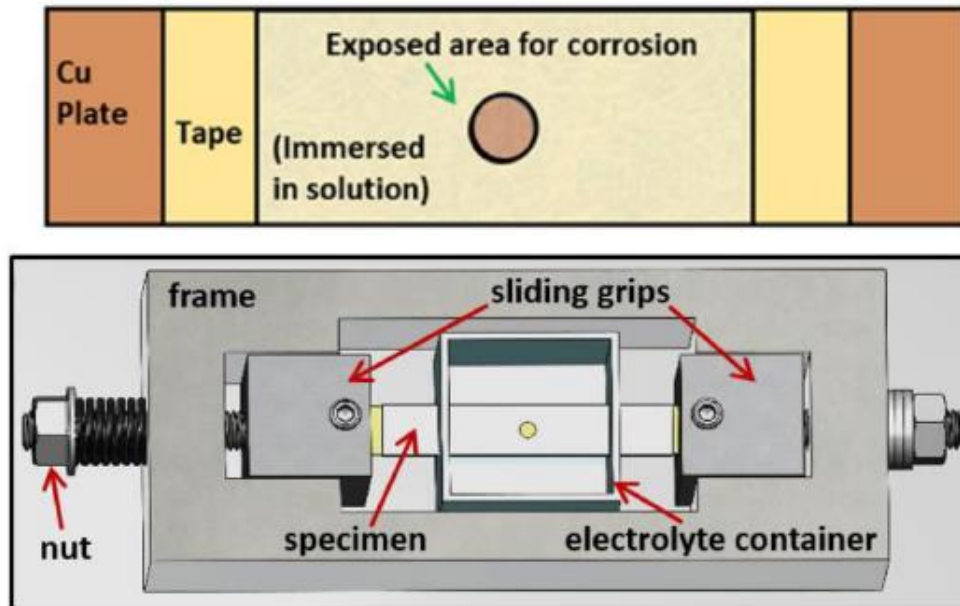
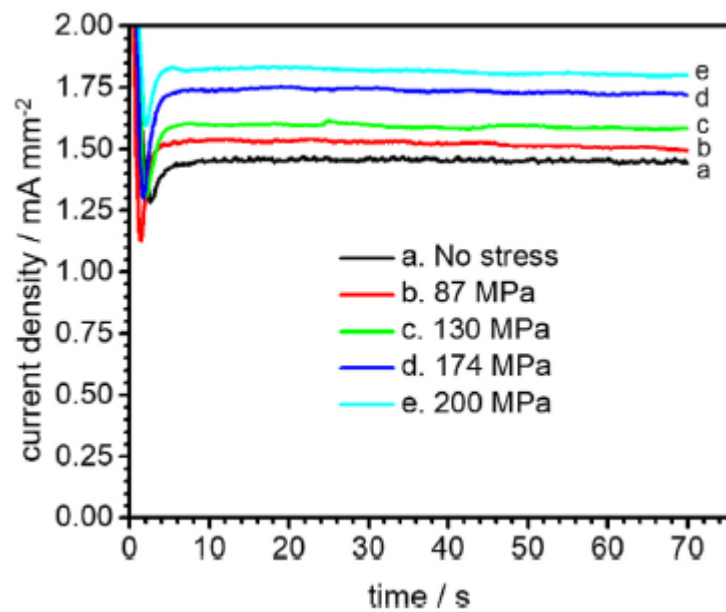


Figura 4.2.4

Resultados de los ensayos montados por Jafarzadeh, S. & Et. Al. (2019).



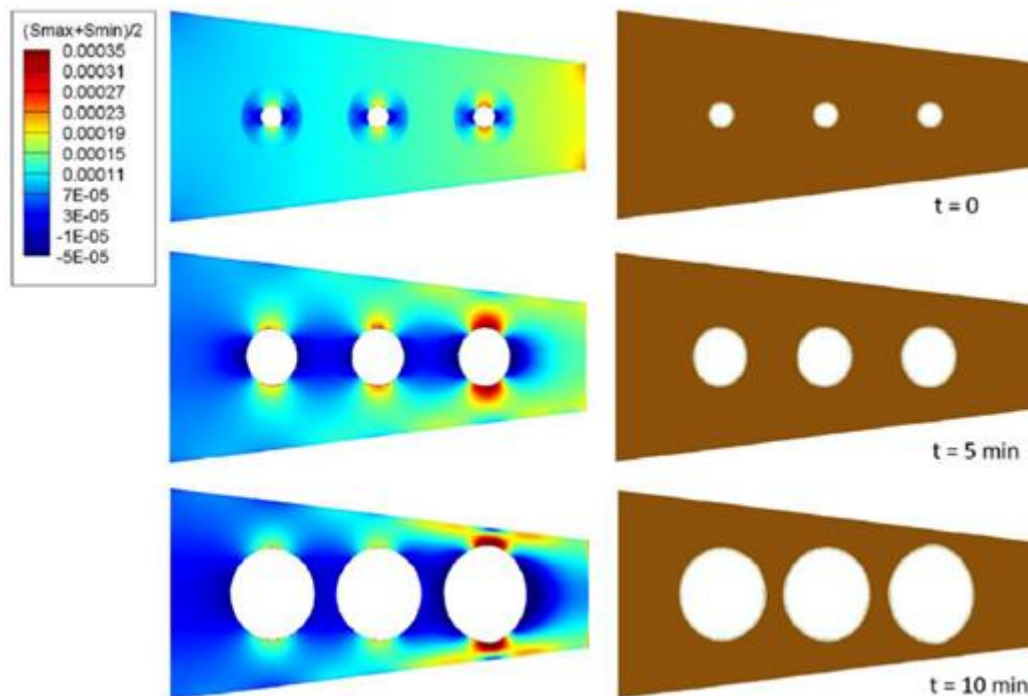
Para investigar el efecto de la tensión de tracción sobre la corrosión uniforme, se usó un marco de tensión con resorte para aplicar tensión uniaxial. Las tensiones de tracción deseadas se aplicaron a través de la compresión del resorte de carga, y el desplazamiento del resorte de carga se controló girando la tuerca en uno de sus lados como se muestra en la figura 4.2.3; dando los resultados expresados en la figura 4.2.4.

Estos resultados son de suma importancia ya que demuestran la influencia de la tensión en la velocidad de corrosión. Dichos resultados generan dudas respecto a lo que sucedería con una figura no uniforme y como sería su velocidad de corrosión bajo tensión en sus diferentes secciones; por lo que Jafarzadeh, S. & Et. Al. (2019). toma una probeta como la mostrada en la figura 4.2.5 donde la sección transversal disminuye gradualmente; como es sabido, al aplicarle una sola fuerza de tracción, la tensión es proporcional al área transversal de la probeta por lo que dicha tensión se centra en la zona más angosta como se demuestra en el perfil de esfuerzos mostrado y en la forma que toma el material tras suceder la corrosión.

La corrosión bajo tensión en la figura 4.2.5 demuestra que las reacciones electroquímicas en la superficie del material fueron aumentadas significativamente en la zona de mayor esfuerzo de tracción (menor área transversal) generando el incremento del diámetro del orificio del metal.

Figura 4.2.5

Efecto del esfuerzo de tracción en la velocidad de corrosión.



4.2.2.4 Corrosión por Fatiga

“Se conoce como corrosión por fatiga al proceso a través del cual se produce agrietamiento por la acción simultánea y combinada de una tensión cíclica y la presencia de un medio agresivo desde el punto de vista de la corrosión” (Otero, 2012).

“Aparecen inmediatamente dos características diferenciales con respecto al fenómeno de agrietamiento por corrosión bajo tensión: la tensión debe ser cíclica, no estática, y no es necesaria la presencia de un medio agresivo específico para cada material metálico, Una consecuencia de lo anterior es que el hecho de que un material sea inmune a la corrosión bajo tensión en unas condiciones de operación determinadas no presupone un buen comportamiento frente a fenómenos de corrosión por fatiga” (Otero, 2012).

“Desde el punto de vista exclusivamente mecánico los fenómenos de fatiga se caracterizan a través de curvas T.N. con T representa la tensión cíclica aplicada y N el número de ciclos que se aplica. La curva correspondiente define las regiones en que se produce rotura, que corresponden a situaciones a la izquierda de dicha curva y aquellas en las que no hay riesgo de rotura situadas a la derecha de la misma. En determinados materiales, entre los que se incluyen los aceros al carbono, queda definido lo que se conoce como “límite de fatiga”, es decir, existe un valor de la tensión por debajo del cual, aunque la carga se aplique un número prácticamente infinito de veces, no se produce fallo” (Otero, 2012).

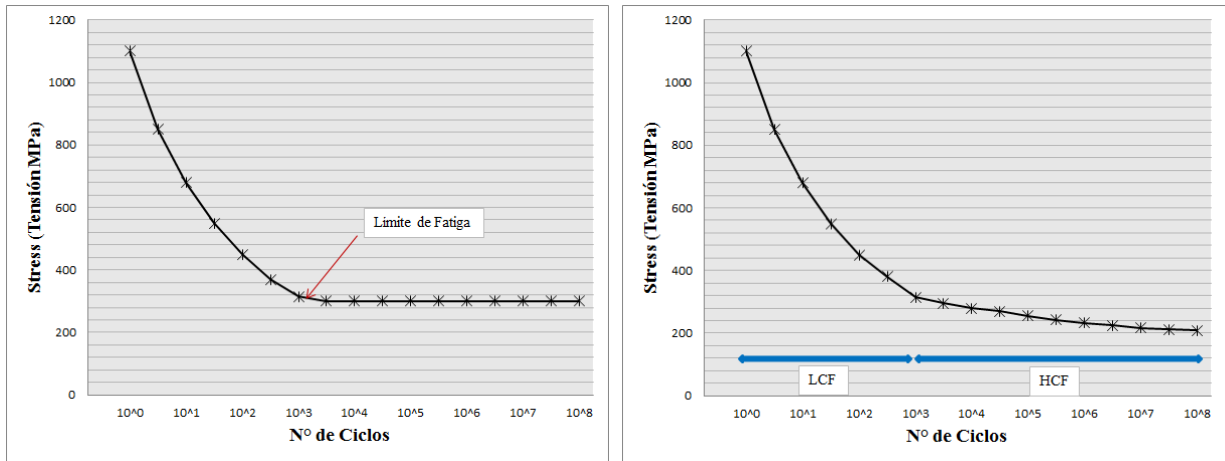
Conceptualmente el límite de fatiga es algo similar a la tensión de rotura cuando la carga es estática. Si la carga por unidad de superficie no supera la tensión de rotura habrá deformación, pero no se producirá fallo. Ver figura 4.2.6 (a).

Cuando el material está sometido a tensión cíclica y además se sitúa en un medio agresivo el valor del límite de fatiga puede descender significativamente, e incluso, en la mayoría de los casos desaparecer. En general, en presencia del medio agresivo la curva T-N no se hace asintótica al eje de abscisas, lo que supone que por muy pequeña que sea la tensión basta con aplicarla un número suficientemente elevado de veces para que se produzca rotura (Otero, 2012). Esto se comprende mejor en la figura 4.2.6 (b).

“Como ocurre en general con todos los casos de deterioro en los que participan simultáneamente factores de tipo mecánico y electroquímico el daño producido por ambos factores combinados es mayor que el originado por la suma de ambos actuando de forma independiente” (Otero, 2012).

Figura 4.2.6

Diagramas de Wöler S-N (Curva T-N).



(a)

(b)

Nota: (a) Medio inerte. (b) Medio agresivo.

Se sabe que cuando los metales están sujetos a una carga fluctuante, la falla se produce a un nivel de tensión mucho más bajo que la tensión de fractura correspondiente a una carga de tensión monotónica. “Con el desarrollo del ferrocarril en el siglo XIX, la falla de fatiga de los ejes ferroviarios se convirtió en un problema y se prestó mucha atención a la comprensión del fenómeno de falla de fatiga. En 1852, el ingeniero ferroviario alemán August Wohler (Director de Ferrocarriles Imperiales en Alemania de 1847 a 1889), realizó varias pruebas de fatiga de amplitud constante en ejes ferroviarios a pequeña escala. Los resultados de este trabajo se presentaron en forma de gráficos de la tensión de falla como una función del número de ciclos a fallar. Esta gráfica es una herramienta útil para la predicción de vida total de una pieza sometida a una carga cíclica de amplitud constante y se conoce como el diagrama S-N de Wohler (figura 4.2.6). El enfoque S-N sigue siendo una herramienta útil para evaluar la falla por fatiga de muchas estructuras modernas que se someten a cargas repetidas, donde la tensión aplicada está por debajo del límite elástico del material y el número de ciclos a fallar es grande.” (Farahmand B., Bockrath G. & Glassco J., 1997).

“Cuando la falla del material ocurre bajo un *número relativamente grande de ciclos*, y las tensiones están dentro del *rango elástico* (tensiones bajas) del material, el mecanismo de falla se llama *fatiga de ciclo alto* (**High Cycle Fatigue, HCF**). Si la magnitud de la tensión fluctuante ya no está en el rango elástico del material, se produce una *deformación plástica* significativa en todo el cuerpo, especialmente en las áreas altamente localizadas en los sitios de concentración de tensión, y se espera que el *número de ciclos hasta el fallo sea relativamente corto*. Este mecanismo de falla se conoce como *fatiga de ciclo bajo* (**Low Cycle Fatigue, LCF**).” (Farahmand B., et al. 1997).

“La falla de fatiga de ciclo bajo, a veces conocida como el enfoque de tensión controlada o vida de tensión (e-N), ya no se puede caracterizar por una curva S-N. La vida de fatiga de ciclo bajo generalmente se asocia con una cantidad de ciclos a fallas entre 100 y 10,000 ciclos (dependiendo de la resistencia del material y la ductilidad) y para la fatiga de ciclo alto, el número es superior a 10,000 ciclos. Los resultados de las pruebas de fatiga de ciclo bajo pueden ser importantes en el diseño y análisis de fallas de hardware industrial cuando se someten a una tensión repetida inducida mecánica o térmicamente donde la falla ocurre en ciclos relativamente cortos (menos de 10,000 ciclos).” (Farahmand B., et al. 1997).

“Un ejemplo de fatiga de ciclo alto (HCF) es el siguiente incidente que ocurrió en mayo de 1998 en el Sistema de Eliminación de Calor Residual (RHRS) de la central nuclear francesa Civaux 1. Este incidente fue clasificado como nivel 2 de la escala INES que incluye 7 niveles. De hecho, no tuvo impacto en el medio ambiente (y no hubo riesgo para las personas) y desde entonces se ha realizado una modificación de todos los circuitos de RHRS. La función de este sistema de tuberías es evacuar el calor del sistema de enfriamiento primario y la potencia residual del combustible, y mantener el agua del refrigerante primario a baja temperatura. En Civaux 1, se detectó una fuga de líquido primario en la RHRS que se encontraba en las condiciones de cierre en caliente y las inspecciones revelaron una grieta

longitudinal en una soldadura que une dos secciones de tubería forjada en la tubería de derivación del intercambiador de calor RHRS. También se identificó una red de microfisuras. El circuito RHRS, que consta de dos rutas redundantes, la fuga se detuvo aislando una de ellas. Las investigaciones para comprender los mecanismos de la ruptura señalaron que la pared interna de las tuberías está sometida a fluctuaciones de temperatura en el tiempo, junto con fluctuaciones espaciales en las zonas de mezcla de fluidos. Este fenómeno de Fatiga Térmica de Ciclo Alto ocurre en tuberías donde los flujos a diferentes temperaturas y diferentes proporciones de velocidad de flujo se mezclan de manera turbulenta. Los campos de temperatura local o global que resultan de esta mezcla turbulenta conducen principalmente a tensiones biaxiales y no periódicas que pueden causar daños por fatiga. La frecuencia de las fluctuaciones térmicas es un espectro aleatorio, que conduce rápidamente a la acumulación de un gran número de ciclos. En resumen, tal carga compleja combina fluctuaciones de tensiones biaxiales de alta frecuencia (con amplitudes variables y de bajo nivel) con un estrés medio biaxial debido a la presión constante y la heterogeneidad permanente de la temperatura de largo alcance. Este tipo de carga ya se conocía como capaz de inducir daños por fatiga caracterizados por una red de microfisuras y grietas más profundas a lo largo de singularidades geométricas como soldaduras, como en la configuración Civaux 1, donde el flujo puede ser perturbado localmente” (Poncelet M., et al 2010).

4.2.2.4.1 Mecanismo del Proceso de Corrosión por Fatiga

“Por efecto de la tensión cíclica se producen deslizamientos, fundamentalmente a través de los planos de deslizamiento, en el interior de los granos del material metálico, lo que conduce a la formación de “extrusiones” e “intrusiones” del metal en su superficie. En estas bandas de deslizamiento tiene lugar la rotura local de películas protectoras que suelen presentar baja resistencia y ductilidad, lo que origina la formación de pilas activas-pasivas con regiones anódicas de superficie reducida respecto a las zonas catódicas, en las cuales,

además, la disolución del metal está muy favorecida como consecuencia del bajo nivel de polarización anódica al tratarse del metal en proceso de deformación. La rotura por efecto de las deformaciones originadas por la tensión cíclica es más rápida que el posible proceso de repasivación, aunque éste sea relativamente rápido” (Otero, 2012).

Habitualmente, como consecuencia de lo mencionado anteriormente, tiene lugar un ataque por picadura. Las picaduras que se forman en estas condiciones suelen ser más profundas que las formadas debido a fenómenos de aireación diferencial con región desaireada en una superficie de menor tamaño o por rotura local de películas pasivas a causa de un anión agresivo.

Los productos de corrosión secundarios formados en la “boca” de la picadura hacen difícil la llegada de oxígeno hacia el interior por lo que aparece un factor adicional que ayuda a impedir la posible formación de una nueva capa pasiva en el interior de la fisura, lo que permite que esta región continúe con un comportamiento anódico a lo largo del tiempo, y el progreso sea en profundidad del ataque. Por otra parte, esta condición ocasiona fenómenos adicionales de ataque por aireación diferencial. La concentración de tensiones en el interior de las fisuras y la acción electroquímica permite la formación de pequeñas grietas a partir de las picaduras.

“La propagación de la grieta se debe a los continuos movimientos relativos de las paredes de la grieta por efecto del ciclo de fatiga, lo que favorece el acceso, hasta el interior, de electrolito “fresco” y, probablemente, como factor adicional, a la adsorción sobre la superficie de las paredes de la grieta de O_2 , y distintas especies iónicas, lo que reduce la energía superficial del metal y evita la posible soldadura entre ambas” (Otero, 2012).

4.2.3 Fenómenos de Pasivación

Se entiende por pasividad a la propiedad que presentan determinados metales y

aleaciones a permanecer prácticamente inertes en determinados medios en los cuales, de acuerdo con la termodinámica, deberían comportarse como metales activos y disolverse con velocidades altas a través de mecanismos de corrosión electroquímica.

Aunque parece que la primera información sobre el fenómeno de pasivación data de mediados del siglo XVIII fue Schonbein, casi un siglo después, en 1836, quién publicó los primeros resultados de experimentos relacionados con estos hechos. Se describe cómo el hierro sufre un ataque violento, cuando se encuentra en contacto con HNO_3 diluido por mecanismos de corrosión ácida, con desprendimiento de H_2 como reacción catódica, pero al estar sumergido en HNO_3 concentrado no se produce dicho ataque, o éste ocurre con una intensidad muy pequeña. También se observa que cuando el hierro entra en contacto con HNO_3 concentrado, y posteriormente se sitúa en presencia de HNO_3 diluido tampoco hay ataque. El HNO_3 concentrado es capaz de producir ciertas transformaciones en la superficie del hierro que le permiten que este metal se comporte como lo haría un metal noble. Schonbein definió este estado del hierro como “pasivo”, y al fenómeno le dio el nombre de pasivación o pasividad.

Faraday comprobó más tarde que una pila formada por platino y hierro en HNO_3 concentrado prácticamente no producía corriente, lo que significa que en este medio el hierro presenta alto potencial de reducción, en otras palabras, se comporta como si fuera un metal noble. De acuerdo con esto, Faraday sugirió que el criterio para establecer si existe o no pasividad debería basarse en la magnitud de la corriente que es generada cuando el material forma pila con el platino.

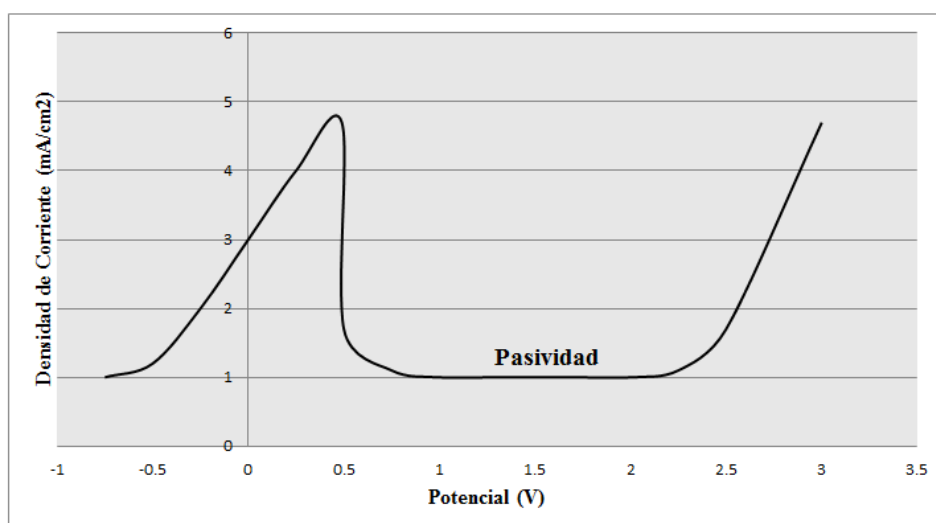
“Aunque durante mucho tiempo se mantuvo una disparidad de criterios en cuanto a cuál es la razón de la pasividad, hoy se sabe que el fenómeno puede ser consecuencia de la formación de una capa de productos oxidados de muy pequeño espesor, pero compacta:

adherente y de muy baja porosidad que prácticamente aísla al metal del medio. Éste es el caso más habitual, pero no el único. El fenómeno de pasivación también puede ser consecuencia de la presencia de capas monoatómicas, generalmente de oxígeno, absorbidas sobre las superficies metálicas. Este caso es bastante menos común” (Otero, 2012).

Para entender la pasivación mejor tenemos la figura 4.2.7 donde se muestra la curva ideal para un metal donde se evidencia que variando el potencial del sistema obtenemos diferentes niveles de corriente eléctrica lo que significa que las reacciones químicas están sucediendo a distintas magnitudes. La velocidad de corrosión es mayor cuando haya más reacciones y por lo tanto mayor intensidad de corriente, como se evidencia en la figura 4.2.7 donde resaltan 3 zonas, la primera con pendiente positiva en donde el material está activo o se corroe con mayor intensidad, la segunda es la zona de pasivación, donde la intensidad de corriente disminuye y se mantiene bajo (menos reacciones químicas, menos corrosión) y finalmente una zona donde la velocidad de corrosión vuelve a aumentar.

Figura 4.2.7

Curva característica para el fenómeno de pasivación



4.3 Aleación de Acero Inoxidable

“El término acero sirve comúnmente para denominar, en ingeniería metalúrgica, a una mezcla de hierro con una cantidad de carbono variable entre el 0,03 % y el 1.67 % en masa de su composición, y menos de 1% de otros elementos; mientras que los aceros inoxidable contienen menos de 0.5% de carbono y como otros metales contiene un mínimo de 12% de cromo.” Dominguez, E. & Ferrer, J. (2014).

“Los aceros inoxidable se caracterizan principalmente por su resistencia a la corrosión. Se llaman inoxidable porque en presencia de oxígeno (aire) forman una película delgada y dura muy adherente de óxido de cromo, que protege al metal por medio del fenómeno de pasivación. Además de cromo, típicamente otros elementos de aleación en el acero inoxidable son el níquel, molibdeno, cobre, titanio, etc. Se utiliza la L en su denominación para identificar los aceros inoxidable de bajo carbono, ya que mientras más elevado sea el contenido de carbono, menor será la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable. Por lo general los aceros inoxidable se dividen en cinco tipos, los austeníticos (serie 200 y 300), los ferríticos (serie 400), los martensíticos (serie 400 y 500), y los aceros dúplex que son una combinación de ferríticos y austeníticos (serie 2000).” Kalpakjian & Schmid (2002).

“Los aceros inoxidable son aleaciones basadas en hierro que contienen más cromo que el 12% necesario para producir el fenómeno de pasivación, pero menos de 30% de cromo. Aleaciones con más de 30% de Cr, usados principalmente en aplicaciones de elevada temperatura, son descritas como aleaciones resistentes al calor.” Lyman T., Boyer H., Unterweiser P., Foster J., Hontas J. & Lawton H (1964).

Los diferentes tipos de acero inoxidable son denominados mayormente con la nomenclatura dada por el Instituto Americano de Hierro y Acero (AISI por sus siglas en inglés) pero también existen otras como la nomenclatura europea (EN) o el Sistema

Unificado de Numeración (UNS por sus siglas en inglés).

Para el presente estudio se utilizaron alambres de Brackets en barra marca Morelli, con composición indicada en la tabla A.1.2. El acero inoxidable utilizado en la fabricación de dicho alambre es el acero AISI 302, también denominado UNS S30200 o EN 1.4310.

4.3.1 Acero Inoxidable AISI 302

“La aleación 302 es una variación del 18% de cromo / 8% de aleación austenítica de níquel, que es la más familiar y la más utilizada en la familia del acero inoxidable. La aleación 302 es una versión ligeramente más alta de carbono de 304, que se encuentra a menudo en tiras y alambres. Es un grado resistente y dúctil que demuestra una resistencia a la corrosión comparable, no es magnético y no se puede endurecer por tratamiento térmico. La aleación 302 se usa generalmente en su condición de recocido y tiene una gran facilidad de fabricación y es fácilmente moldeable.” Penn Stainless Products (2013).

Tabla 4.3.1

Composición Química del Acero Inoxidable

%m/m	ASTM	Metal Handbook	Morelli
Carbono	0.15	0.15	0.15
Magnesio	2	2	2
Fósforo	0.045	0.045	0.045
Azufre	0.03	0.03	0.03
Silicio	1	1	1
Cromo	17.00 - 19.00	17.00 - 19.00	17.00 - 19.00
Níquel	8.00 - 10.00	8.00 - 10.00	8.00 - 10.00
Nitrógeno	0.1	...	0.1
Otros	...	...	...

Tabla 4.3.2

Propiedades mecánicas del Acero Inoxidable

		ASTM	Metal Handbook
Resistencia a la tracción, min	ksi	90	90
	MPa	620	---
Límite elástico min	ksi	45	37
	Mpa	310	---
Elongación en 2 plg, min, %		30	55
Reducción de Área, min, %		40	65
Dureza Brinell máx.		---	---
Dureza Rockwell máx.		---	B82

Las propiedades del acero AISI 302 están normalizadas por el estándar ASTM A-276/A276M – 17 en donde se indica tanto la composición química de los aceros inoxidable como sus propiedades mecánicas. Para el caso del acero inoxidable AISI 302, según: American Society for Testing and Materials (2017); Lyman Et. Al (1964) y Morelli (2017) se tiene la tabla 4.3.1 para su composición química y la tabla 4.3.2 para sus propiedades mecánicas.

Los aceros inoxidable si bien son conocidos por su alta resistencia a la corrosión, no son invulnerables a los efectos producidos por el efecto de fatiga, tal como lo demuestra Lopes J., Neves S., Scarpini V., Oliveira A. & James F. (2017) en su estudio: “La transformación martensítica se puede inducir por deformación plástica en aleaciones a base de hierro, como los aceros inoxidable que contienen cantidades limitadas de C, Ni y Cr. Esta transformación tiene lugar en el rango de temperatura, generalmente a valores de temperatura relativamente más bajos. La martensita transformada se ha asociado con la máxima resistencia final y una

ductilidad relativamente alta. En su trabajo, se investigaron las características de fractura por tracción de un acero inoxidable AISI tipo 302 en el rango de temperaturas de -196°C a 25°C . Las propiedades mecánicas se compararon con las de un acero inoxidable austenítico AISI tipo 310. Se encontró que en el acero 302, tiene una mayor resistencia y además tiene complejos modos de fractura, uno de los cuales consiste en martensita que rodea las inclusiones globulares.”

Lopes Et. Al. (2017) demuestra que el acero inoxidable AISI 302 es sensible a la fatiga de ciclo bajo (LCF) sin mencionar a la corrosión; sin embargo Baldissera P. & Delprete C. (2010) hace referencia a la corrosión del acero inoxidable AISI 302 y a un tratamiento criogénico profundo (DCT) ya que su uso podría mejorar las características de resistencia a la fatiga y la resistencia a la corrosión de este acero inoxidable. “El análisis incluye una evaluación de la influencia que los parámetros de tratamiento más importantes tienen en el resultado final. Teniendo en cuenta su importancia estadística a diferentes niveles de confiabilidad, los resultados muestran que el DCT puede mejorar el comportamiento de fatiga del AISI 302. Además, no se detectaron diferencias en la resistencia a la corrosión del material criotratado”, que junto a lo ya descrito previamente sobre aceros inoxidables en general, indican que la corrosión por fatiga de ciclo alto es un parámetro importante a estudiar.

4.4 Equipo Generador de Esfuerzos

4.4.1 Bases para su Construcción

Actualmente en el mercado podemos encontrar diferentes equipos ya sea para diferentes ensayos mecánicos como para la medición de fallas por fatiga, como lo son los diseños conocidos como máquina de ensayos de fatiga Moore o su modificación conocida como máquina de ensayos tipo Schenck dónde se aplica tensión de manera perpendicular a la

probeta mientras ésta es sometida a rotación por un motor. Un equipo similar es el comercializado por Edibon donde la única variación respecto a las 2 anteriores es el sistema que aplica la tensión ya que ésta es por resortes y no por pesas.

Los equipos comercializados actualmente difieren bastante al equipo sustentado en este documento ya que el equipo en mención aplica tensión no perpendicular si no de manera longitudinal y además elimina la variable de rotación.

Otro equipo de fatiga comercializado por Muver en España evalúa la fatiga de diferentes materiales plásticos o cauchos diseñado especialmente para evaluar desgaste de pisos o calzados.

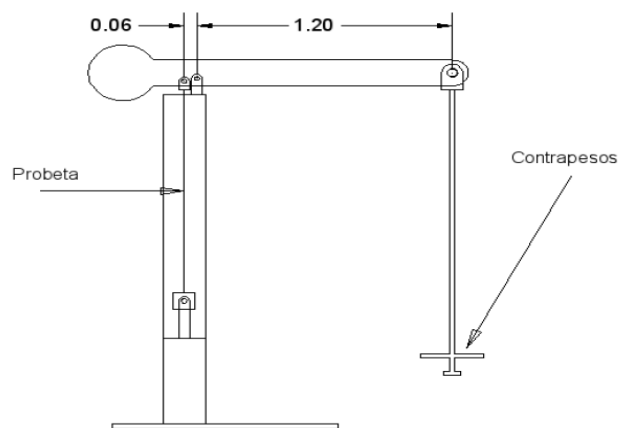
El equipo más usado industrialmente son los extensómetros, equipo que mide la fuerza aplicada a la probeta la cual aumenta gradualmente hasta la ruptura y a su vez mide la elasticidad de dicha probeta, usualmente estos equipos van acompañados de un software que grafica deformación vs tensión aplicada. Dicho equipo solo aplica tensión de manera continua, mas no de manera intermitente.

Finalmente el equipo el cual se tomó como base para el presente diseño, es descrito por Fernandez, J. (2015) en su tesis para la obtención del grado de magister denominada: “Comportamiento frente a corrosión bajo tensión en ambiente marino de armaduras de acero inoxidable dúplex” en donde hace uso de un dispositivo de ensayo de fluencia con las adaptaciones necesarias las cuales consisten principalmente en la colocación de una cubeta que cubre la zona de ensayo, la cual contiene la solución que actuará como ambiente agresivo actuando así sobre la zona expuesta de la muestra. El sistema que se utilizó para realizar los ensayos ha sido mediante una máquina de ensayos de fluencia (Figura 4.4.1), con la cual se ha aplicado la tensión necesaria para que las probetas se encuentren a una tensión cercana al límite elástico del material. Esta máquina se compone de un marco rígido donde la pieza a

ensayar se fija en las partes inferior y superior. En la parte inferior se encuentra una caja de engranajes que permite desplazar ligeramente el punto de fijación para ajustarse a la longitud de la probeta, mientras que en la parte superior se encuentra la palanca que aplicará la carga a la probeta.

Figura 4.4.1

Máquina de ensayos de fluencia utilizada por Fernandez, J. (2015)



El equipo descrito fue diseñado para aplicar tensión continua lo que hace a la invención descrita en el presente estudio importante ya que gracias a la adición de un motor eléctrico se logra hacer que la tensión aplicada se aplique de manera intermitente añadiendo la variable de fatiga al sistema e ideal para el estudio en mención.

4.4.2 Mecánica de la Tensión Aplicada

Como se observa en la figura A.1.3, específicamente en el detalle B donde se muestra la leva giratoria y la pesa, el equipo permite retirar de leva y reemplazarla con el fin de cambiar la manera en que se aplica la tensión además de cambiar el peso aplicado que genera la tensión en la probeta; para el estudio se realizó un análisis de las fuerzas que existen en el movimiento de los dientes durante el tratamiento de ortodoncia.

Inicialmente se tiene la tensión que es aplicada por las ligas de cada diente, estas deforman el alambre ocasionando un acortamiento entre el alambre en su posición inicial sin liga y la posición con la liga. Posteriormente se analiza el movimiento de los dientes al masticar ya que estos al ejercer presión de manera vertical genera un movimiento de los dientes sumamente ligero hacia afuera, efecto que es absorbido por los alambres de brackets para propiciar el alineamiento de los dientes que es en sí la base de la ortodoncia.

Se tiene la figura 4.4.2 donde se muestra una exageración de lo ocurrido al alambre de bracket, el alambre inicialmente está completamente liso sin las deformaciones y al aplicarle la tensión mediante las ligas, la zona entre cada bulto (entre cada diente) es tensada y al realizar el movimiento de los dientes se genera la tensión intermitente.

Figura 4.4.2

Deformación exagerada en los alambres durante el tratamiento de ortodoncia.



Respecto a la cantidad de tensión aplicada, se realiza un estudio con el fin de determinar el esfuerzo de tracción a aplicar. Alfaro, P., Ángeles, F., Osorno, M., Nuñez, J. & Romero, G. (2012), indica que “en hombres adultos jóvenes sanos se ha reportado un valor promedio de 727 N (74.15 Kgf), en niños con dentición permanente y oclusión normal un valor de 425 N (43.35 Kgf), en mujeres jóvenes con enfermedad periodontal un valor de 370 N (37.74 Kgf), en niños sanos con dentición temporal un valor de 186.20 N (18.99 Kgf), en adultos mayores con dentaduras parciales removibles o dentaduras totales un valor de 181 N (18.46 Kgf) y en

niños con dentición mixta y mordida cruzada un valor de 114 N (11.62 Kgf).” Sin embargo, estos valores son de la fuerza de mordida, fuerza que se aplica a la base de cada diente y se distribuye en los huesos y músculos de toda la mandíbula y solo una pequeña parte hacia el movimiento de los dientes y a los alambres de brackets.

Si bien la norma ASTM indica que el valor máximo aplicable para que no suceda deformación plástica en el acero inoxidable AISI 302 es 310 MPa, Kaur, G. & Hazarey, P. (2002) realiza un estudio donde someten diferentes marcas de alambres de brackets ya sea de acero inoxidable o de titanio a pruebas de resistencia a la tracción obteniendo resultados de valores del límite elástico que van desde 1675 hasta 2261 MPa por lo que en el presente estudio se toma como valor máximo permitido el mínimo valor encontrado por la literatura que es el valor dado por la norma ASTM de 310 MPa.

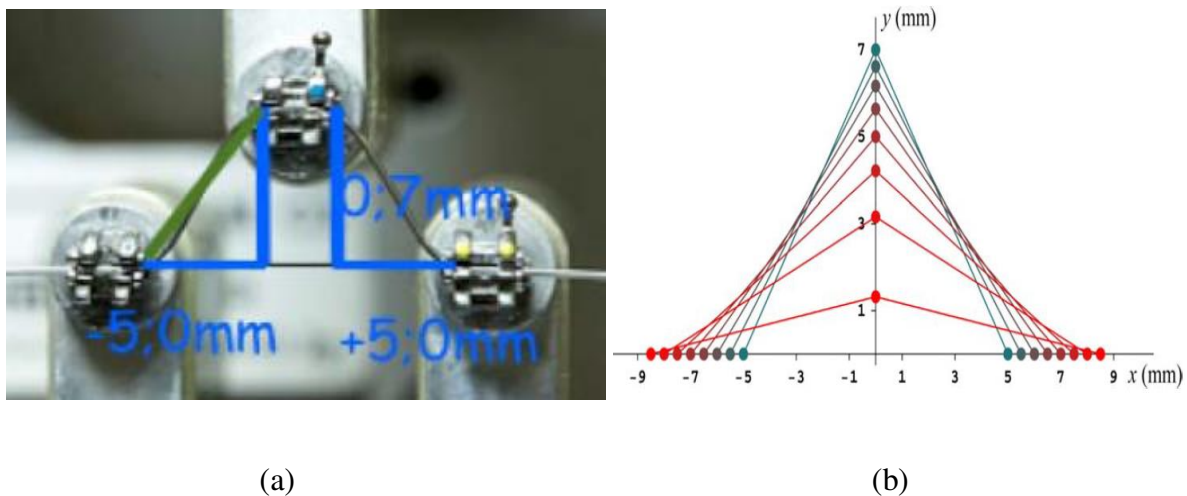
Para los casos donde un diente está muy por encima del otro se tiene la figura 4.4.3 donde Bantleon, H. (2011) realiza pruebas midiendo el esfuerzo de los dientes en el transcurso del tratamiento de ortodoncia, como se puede apreciar en la figura 4.4.3 (b), “la distancia entre los dientes 1-2 y 2-3 (las hipotenusas) siempre son constantes e iguales a 8.6mm pero los valores de esfuerzo van en algunos casos desde 378 cN hasta 239 cN (38 – 24 MPa). Con estos resultados se pueden interpretar 2 cosas, la primera es que los valores de tensión estática en el tratamiento de ortodoncia son valores que pueden ir desde 0 MPa hasta 38 MPa, sin embargo esta medición es en el diente y no en el alambre y ya que el alambre sujeta 2 dientes se le atribuye el doble del esfuerzo al alambre, además el sistema descrito solo utiliza 3 dientes y no el resto lo que en un tratamiento de ortodoncia no se cumple, entonces se puede decir que los esfuerzos estáticos podrían llegar hasta aproximadamente 80MPa; la segunda interpretación de estos resultados se basa en la adición de esfuerzos intermitentes producidos por acción de la fuerza de mordida no se toman en cuenta pero a pesar de que no se han magnificado hasta el día de hoy es seguro afirmar que los picos de

tensión son superiores a 80MPa.”

Finalmente, se decide utilizar la capacidad mínima del equipo construido para los ensayos, valor que se midió con un dinamómetro, resultando un valor de 5.4kg-f que al convertirlo se tiene un valor de 261.4 MPa, valor que acertadamente se encuentra sobre los 80 MPa y menor al límite elástico del material (310 MPa). Se presume que los picos de tensión ocasionados por la fuerza de mordida sean valores ligeramente menores sin embargo para ensayos acelerados de corrosión es acertado el uso del valor de 261.4 MPa ya que lo que ocurra con dicha tensión ocurrirá en una medida proporcional con la tensión real.

Figura 4.4.3

Prueba de esfuerzos de Bantleon, H. (2011).



Nota: (a) Posición inicial (b) Patrón de movimiento.

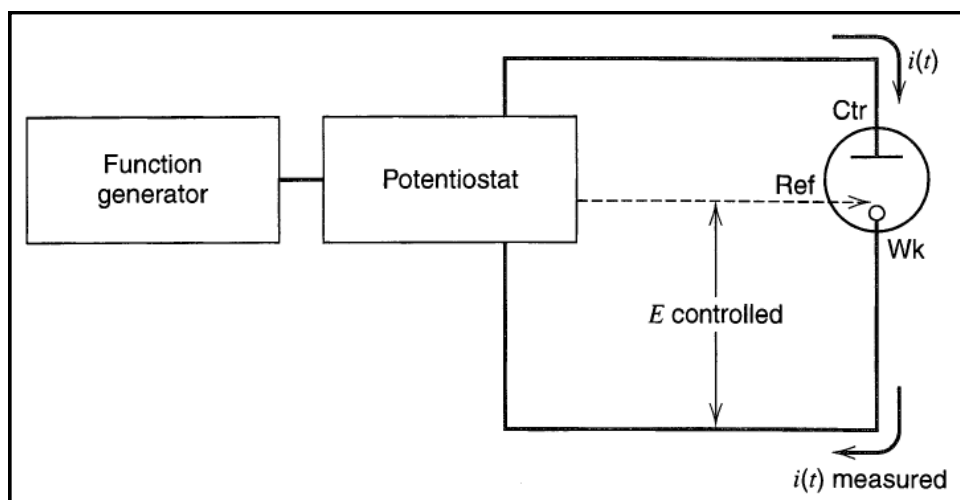
Para la frecuencia de aplicación de tensión se decidió utilizar desde el mínimo (0 hz) hasta el máximo permitido por el equipo construido (3.73 hz); para mayor detalle ver la tabla 5.3.1. En el caso de las levas se decidió utilizar solo la que tiene un cambio brusco de diámetro por simplicidad de uso ya que el equipo necesita desarmarse para realizar el cambio de levas y su aplicación causa el mismo efecto en la velocidad de corrosión que es la aceleración por corrosión bajo tensión intermitente.

4.5 Método - Voltametría Cíclica

La figura 4.5.1 es una imagen del sistema experimental básico. “Un instrumento conocido como potenciostato controla el voltaje a través del par electrodo de trabajo - contraelectrodo, y ajusta este voltaje para mantener la diferencia de potencial entre los electrodos de trabajo y de referencia (que detecta a través de un circuito de retroalimentación de alta impedancia) de acuerdo con el programa definido por un generador de funciones. Uno puede ver el potenciostato alternativamente como un elemento activo cuyo trabajo es forzar a través del electrodo de trabajo, la corriente necesaria para alcanzar el potencial deseado en cualquier momento. Dado que la corriente y el potencial están relacionados funcionalmente, esa corriente es única. Químicamente, es el flujo de electrones necesarios para soportar los procesos electroquímicos activos a tasas compatibles con el potencial. Así, la respuesta del potenciostato (la corriente) en realidad es el observable experimental. Los observables habituales en experimentos de potencial controlado son las corrientes como funciones de tiempo o potencial.” Allen J. & Faulkner L. (2001).

Figura 4.5.1

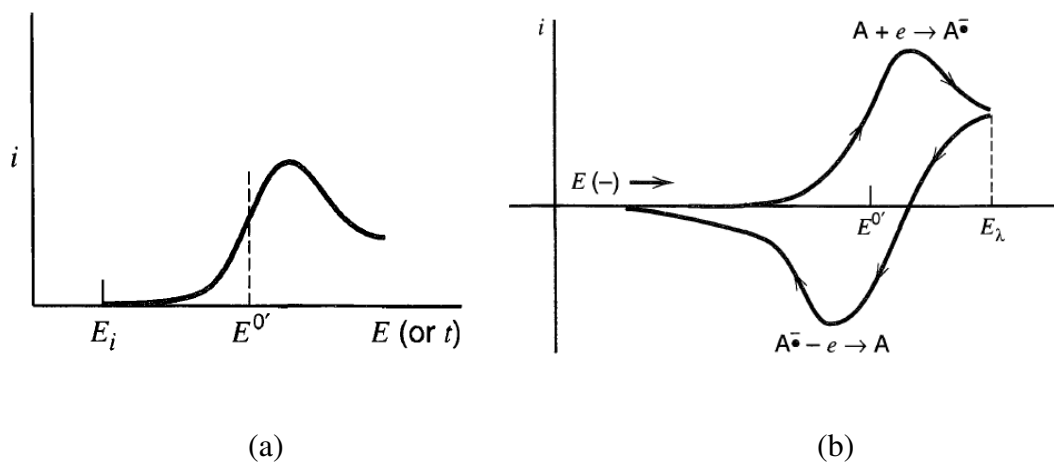
Circuito básico de un potenciostato.



“Por lo general, el potencial varía de manera lineal con el tiempo (es decir, la señal aplicada es una rampa de voltaje) con tasas de barrido que van desde 10 mV/s hasta aproximadamente 1000 V/s con electrodos convencionales y hasta 10^6 V/s con electrodos especiales. En este experimento, es habitual registrar la corriente en función del potencial, lo que obviamente es equivalente a registrar la corriente en función del tiempo. El nombre formal del método es cronoamperometría de barrido de potencial lineal, pero la mayoría de los trabajadores se refieren a él como voltametría de barrido lineal (LSV). La voltametría cíclica (CV), es una técnica de reversión y es el equivalente de exploración potencial de la cronoamperometría (LSV) de doble paso. Ver figura 4.5.2. La voltametría cíclica se ha convertido en una técnica muy popular para los estudios electroquímicos iniciales de nuevos sistemas y ha demostrado ser muy útil para obtener información sobre reacciones de electrodos bastante complicadas.” Allen J. & Faulkner L. (2001).

Figura 4.5.2

Voltamogramas:



Nota: (a) Lineal (b) Cíclica

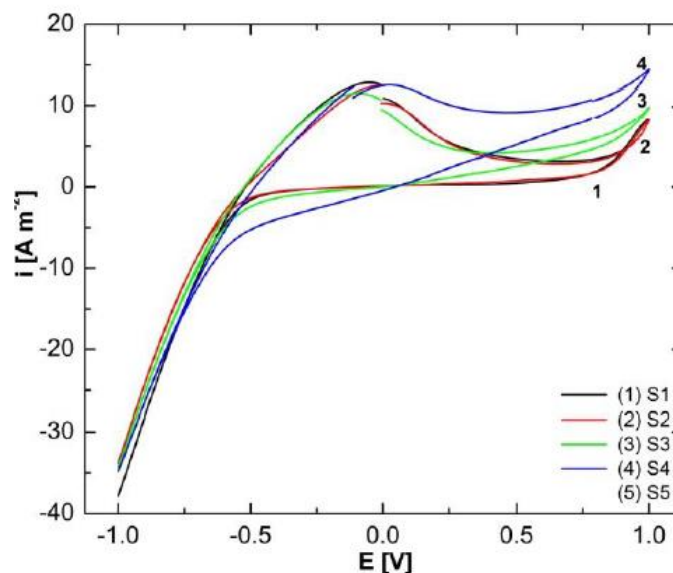
Para conseguir los voltamogramas es de suma importancia conocer la instrumentación involucrada como se explica a continuación:

“La instrumentación electroquímica generalmente consiste en un potencióstato, para imponer un potencial controlado en un electrodo (o un galvanostato, para controlar la corriente a través de la celda), junto con un generador de funciones, para producir la perturbación deseada, y un sistema de registro y visualización para medir y presentar los valores de corriente potencial y/o tiempo. El instrumento está conectado a la celda electroquímica, típicamente una celda de tres electrodos que consiste en un electrodo de trabajo, un contraelectrodo y un electrodo de referencia. En la instrumentación moderna, el potencióstato, así como los amplificadores y otros módulos empleados para acondicionar las señales de corriente y potencial, son dispositivos analógicos construidos con amplificadores operacionales. Los dispositivos analógicos son sistemas electrónicos para manejar señales continuas, como voltajes. El generador de funciones también puede ser un dispositivo analógico, pero a menudo la señal deseada se genera en forma digital con una computadora y luego se alimenta al potencióstato a través de un convertidor digital a analógico (DAC). Las señales analógicas se pueden grabar en grabadores de gráficos de bandas o X-Y o con un osciloscopio, pero la adquisición de señales se realiza con mayor frecuencia con una computadora a través de un convertidor de analógico a digital (ADC).” Allen J. & Faulkner L. (2001).

Un ejemplo de voltamograma cíclico orientado al presente estudio es realizado por Porojan, Et. Al. (2018) en brackets de Cr-Ni en saliva artificial (figura 4.5.3).

Figura 4.5.3

Voltamogramas cíclicos registrados por Porojan, Et. Al. (2018).



Nota: Las curvas S1, S2, S3 y S4 se refiere a las muestras de diferentes aleaciones dentales comerciales utilizadas en el estudio realizado por Porojan, Et. Al. (2018).

4.5.1 Instrumentación

Se utilizó básicamente un bipotenciostato modelo AFRDE5 con ciertas adaptaciones; un bipotenciostato es un instrumento electroquímico de propósito general con un generador de barrido de voltaje analógico incorporado. Puede funcionar como un potenciostato o galvanostato tradicional utilizando tres electrodos (electrodos de trabajo, de referencia y contraelectrodos), y también puede controlar de forma independiente un (segundo) electrodo de trabajo adicional. Si bien esta característica de "bi-potenciostato" se diseñó originalmente para su uso en la voltamperometría clásica de electrodo de disco anular, el instrumento también se ha utilizado en muchas otras técnicas de electrodo de trabajo dual.

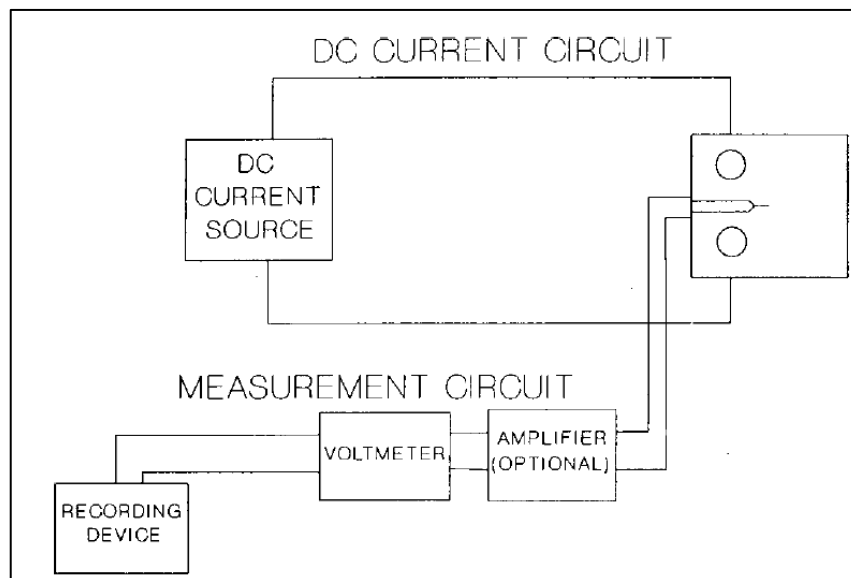
Inicialmente se toma el estándar ASTM E647 - 15e1, según American Society for Testing and Materials (2015), que especifica el método para la medición del agrietamiento

producido por el efecto de fatiga. Este método implica una carga cíclica de muestras con microfisuras que han sido aceptablemente agrietadas en fatiga. El tamaño de la grieta se mide, ya sea visualmente o por un método equivalente, en función de los ciclos de fatiga transcurridos y estos datos se someten a un análisis numérico para establecer la tasa de crecimiento de la grieta. Las tasas de crecimiento de grietas se expresan en función del rango del factor de intensidad de estrés, DK , que se calcula a partir de expresiones basadas en análisis de estrés elástico lineal.

Sin embargo, este método propone un sistema muy simple como lo es la figura 4.5.4, el cual no es completamente adecuado para nuestro sistema, sin embargo, se toma como referencia para mejorar el sistema y aplicarlo al tamaño de muestra que se requiere.

Figura 4.5.4

Diagrama para la medición de fisuras según el estándar ASTM E647 - 15e1.



Luego se evalúa el estándar ASTM G102 - 89(2015), según American Society for Testing and Materials (1989), donde se calcula la velocidad de corrosión mediante métodos electroquímicos. Las mediciones de la tasa de corrosión electroquímica pueden proporcionar

resultados en términos de resistencia eléctrica. La conversión de estos resultados a pérdidas de masa o tasas de penetración requiere información electroquímica adicional. Se dan algunos enfoques para estimar esta información. El uso de esta práctica ayuda a producir datos de velocidad de corrosión más consistentes a partir de resultados electroquímicos. Esto hace que los resultados de diferentes estudios sean más comparables y minimiza los errores de cálculo que pueden ocurrir al transformar los resultados electroquímicos en valores de velocidad de corrosión. Se define la velocidad de corrosión como Densidad de Corriente y se calcula de la siguiente manera:

$$i_{cor} = \frac{I_{cor}}{A}$$

Donde:

i_{cor} = densidad de corriente (en $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ o sus variaciones).

I_{cor} = intensidad de corriente total (en μA o sus variaciones).

A = área expuesta del espécimen (en cm^2 o sus variaciones).

Es importante resaltar que tomando estos datos en conjunto con otros datos adicionales y en condiciones de ensayo adecuadas se puede aplicar las leyes de Faraday de la electroquímica para calcular el desprendimiento de masa en el tiempo, que se describe según Strong F. C. (1961) con la siguiente fórmula:

$$q = n \times F$$

Donde:

q = carga eléctrica total (en Coulombs) = Intensidad de corriente x tiempo ($I_{cor} \times t$)

t = tiempo transcurrido.

n = número de equivalentes = #moles x valencia ($m/M \times z$)

m = masa desprendida por reacción.

M = peso molecular del metal sometido.

z = número de valencia del metal sometido.

F = constante de Faraday = 96500 C/mol

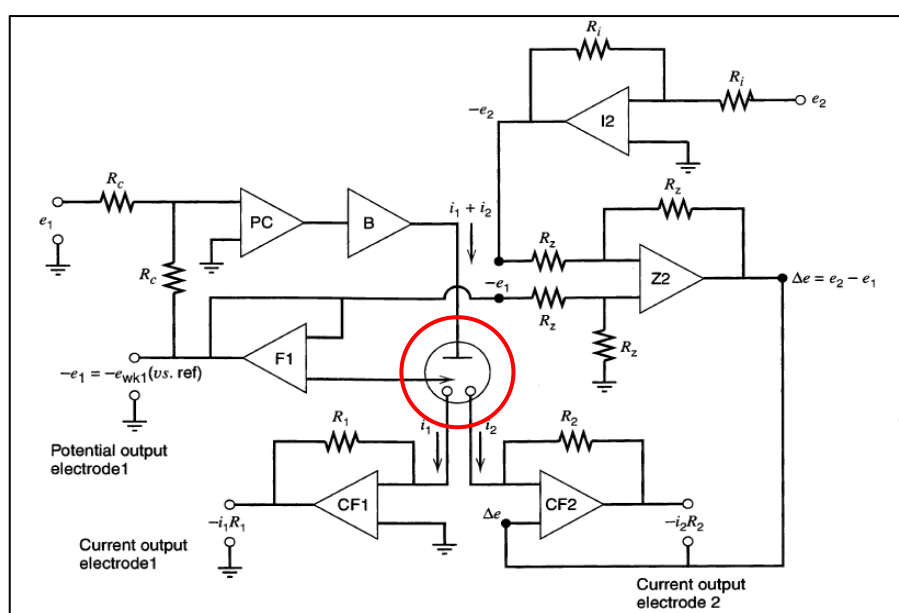
Donde reemplazando podemos calcular la masa desprendida por reacción con la siguiente formula:

$$m = \frac{M}{z} \times \frac{t}{96500} \times I_{cor}$$

Finalmente se toma ambos estándares ASTM y teniendo en cuenta los estudios mencionados en el apartado 3.3 (antecedentes relacionados al método) se toma como base la figura 4.5.5, circuito mostrado por Allen J. & Faulkner L. (2001). El cuál es el circuito clásico de un bipotenciostato.

Figura 4.5.5

Circuito clásico de un bipotenciostato.



4.6 Efectos del Níquel en el Organismo

El níquel es un elemento metálico presente en la corteza terrestre por lo que son muchos los alimentos que lo poseen en su composición. La esencialidad del níquel no ha sido demostrada hasta el momento y, por lo tanto, no se ha establecido una ingesta recomendada. De lo que sí hay constancia es del efecto tóxico que puede producir. Así, sales de níquel ingeridas por vía oral pueden causar efectos nocivos en riñón, bazo, pulmones y sistema mieloide y/o aparato reproductor. Sobre su posible acción carcinogénica, tras una ingesta oral, no hay suficientes investigaciones que lo confirmen o que lo nieguen. Asimismo, se ha postulado la posible correlación entre la incidencia de úlceras causadas por el *Helicobacter pylori* y la ingesta de níquel. Debido a su acción tóxica la OMS ha establecido una IDA oral de 5 ug/kg/día.

Además de estos efectos producidos por la ingestión de níquel, “este elemento puede producir dermatitis alérgicas de contacto, problemas dérmicos que pueden ser agravados en el caso de ingestas elevadas de este metal que podrían llegar a ser de 300 ug/día.” Fernández, I., Mateos, C., Aguilar, M. & Martínez, M. (2007).

De la misma manera, Fernández, I. & Et. Al. (2007) determina que la ingesta dietética de níquel de la población oscila entre 55,4 y 336 ug/día (Tabla 4.6.1) con un valor medio de $160,46 \pm 66,75$ ug/día. Estos valores son comparables a los reseñados por otros autores (Tabla 4.6.2).

Tabla 4.6.1

Ingesta de Níquel en la población estudiada por Fernández, I. & Et. Al. (2007).

Población	Ingesta de Níquel (µg/día)
Masculina	161,60 ± 65,78
Femenina	159,63 ± 68,13
Media	160,46
Mínimo	55,4
Máximo	336,0

Tabla 4.6.2

Ingesta de Níquel en la población, por autores; según Fernández, I. & Et. Al. (2007).

Autor	País	Ingesta diaria
Myron y col.	EEUU	140-221 µg/día
Becker y Kumpulainen	Suecia	82-115 µg/día
Dabeka y Mckanzie	Canadá	286 µg/día
Barceloux	-	100-300 µg/día
Ysart y col.	Reino Unido	120 µg/día
Anke y col.	Alemania	25-35 µg/día
Larsen y col.	Dinamarca	167 µg/día
Marzec	Polonia	124-166 µg/día
Bocio y col.	España	138,3 µg/día
Shriaishi	Japón	172 µg/día

Gómez, V., Mercado, J., Herrera, A., Fang, L. & Díaz, A. (2014), estudian el agrandamiento gingival generadas por el uso de aparatología ortodóncica fija. “Inicialmente fue descrito como producto de la respuesta alérgica del huésped al níquel, y estudios recientes

demonstraron que este metal induce proliferación fibroblástica. El objetivo de su estudio consistió en cuantificar la concentración de níquel en muestras de saliva, placa dental y encía de individuos con aparatología ortodóncica fija con y sin agrandamiento gingival. Se evaluó un total de 24 individuos, los cuales fueron clasificados en 2 grupos: 12 con agrandamiento gingival (grupo A) y 12 sin agrandamiento gingival (grupo B). De cada participante se obtuvieron muestras de: encía, saliva estimulada y placa dental. Se observaron niveles significativamente mayores de níquel en las muestras de encía del grupo A (medias = 0,61 mg/l vs 0,36 mg/l). Sin embargo, no se observó diferencia significativa en las muestras de saliva (medias = 0,502 mg/l vs 0,473 mg/l; A y B respectivamente).”

Posteriormente, Gómez, V., Fang, L., Herrera, A. & Díaz, A. (2015), presentan el caso de una paciente de 28 años, con tratamiento ortodóncico activo, que acudió a consulta odontológica por motivos estéticos. “Luego del examen intraoral se le diagnosticó agrandamiento gingival y exostosis maxilar. Lo que evidencia lo perjudicial que puede llegar a ser este elemento como producto de la corrosión de los brackets.”

Tomando un peso promedio de 70 kg para calcular el límite permisible designado por la OMS, se calcula un límite de 350 ug/día. A su vez se toma la ingesta promedio de 160 ug/día que estaría dentro de los límites permisibles; sin embargo, es importante resaltar que el uso de brackets dentales incrementa esta ingesta ya que, según Gómez, V. & Et. Al. (2014), se puede llegar a tener 0.5 mg/l en saliva (al masticar); asumiendo conservativamente 3 comidas al día y que por comida se producen 2 ml de saliva se tiene un valor de 300ug/día que sumado con la ingesta normal promedio se tiene un valor de Níquel ingerido de 460 ug/día (> 350 ug/día) superior al valor límite permisible.

5 DETALLES EXPERIMENTALES

5.1 Diseño del Equipo

Al equipo construido se le denomina “Máquina generadora de esfuerzos de tracción intermitente en alambres de pequeño diámetro y baja elongación”. Y fue registrado como posible patente por Pizarro R., Bernal J. & Pereda R. (2019) en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos con número de registro 002420, para que posteriormente sea derivada a INDECOPI para su evaluación y posible certificación como patente por modelo de utilidad.

La función principal del equipo es generar esfuerzos de tracción en alambres de manera intermitente o continua; adicionalmente tiene las funciones de controlar el tiempo de aplicación de la carga, variar la carga total aplicada al alambre, variar la frecuencia con la que se aplica la carga, y con ligeras modificaciones permite realizar la sujeción de diferentes formas y tamaños de alambres; además permite la adición de un medio a la probeta y de instrumentos de medición que acompañen al experimento.

5.1.1 Descripción del Diseño

El presente diseño está relacionado con el sector de la Mecánica / ensayos mecánicos. El diseño es una máquina que produce esfuerzos en probetas de alambres delgados, que se originan por fuerzas de tracción cíclicas, produciendo fatiga en ellos. La fuerza de tracción se transmite a la probeta en un extremo de una palanca pivotante, que es el resultado de la multiplicación de la carga ejercida en el otro extremo de la palanca como efecto de la acción de una pesa metálica que además es un elemento seguidor del perfil de una leva que gira a una velocidad previamente fijada. El perfil de la leva define la característica del ciclo de tensión a la que es sometida la probeta; en un caso la tensión puede tomar un valor determinado durante un lapso y pasar bruscamente a un valor igual a cero y en el segundo caso ir variando paulatinamente de un valor máximo a otro valor menor.

Para atender los requerimientos del ensayo, la máquina es capaz de variar algunos parámetros como la velocidad de rotación de la leva que determina el número de ciclos a los que se someterá la probeta. Es capaz también de variar el esfuerzo al que será sometido el alambre relacionando la multiplicación de la carga según las dimensiones de la palanca pivotante y el efecto de la pesa metálica cuyo valor en peso puede ser cambiado y fijado previamente.

La figura A.1.3 presenta el detalle de la máquina ensamblada, y sus partes:

1. Estructura de soporte, de acero, en forma de canal.
2. Aditamento de agarre de probeta, con un alojamiento que sujeta a la probeta.
3. Horquilla de agarre de la probeta, que tienen dos agujeros circulares en la parte superior, uno en cada brazo de la horquilla. La parte inferior consiste en una varilla roscada que en su extremo se fija el otro extremo de la probeta.
4. Columna de soporte del pivote de la palanca, consta de planchas de acero que en la parte superior presentan agujeros circulares.
5. Palanca, consiste en una lámina de dimensiones y materiales convenientes. Tiene tres agujeros circulares.
6. Horquilla de amarre de pesas, que tienen dos agujeros circulares en la parte superior, uno en cada brazo de la horquilla; la parte inferior consiste en una varilla roscada en cuyo extremo se fija la pesa.
7. Caja de alojamiento de motor.
8. Pesa de masa variable
9. Eje del motor monofásico.

10. Leva, se muestra la leva que cambia la tensión de 0 al máximo instantáneamente (en la caída de diámetro) pero se puede variar de leva para hacer el cambio de tensión de manera gradual (leva ovalada).
11. Regulador manual de velocidad de giro del motor, y en consecuencia de la leva (10).
12. Luces indicadoras de funcionamiento, la primera (de la izquierda) indica el paso de corriente al motor, la segunda indica funcionamiento con parada automática en el tiempo, y la última (de la derecha) indica funcionamiento con parada manual.
13. Programador de tiempo de funcionamiento, es decir del tiempo de ensayo al que será sometido el alambre.
14. Interruptor.

Para La estructura de soporte (1) de acero, cuyo perfil en forma de canal le da mayor rigidez, es la base en la que se fijan los demás componentes. El aditamento de agarre de probeta inferior (2), está fijada a la estructura mediante una tuerca que la ajusta por la cara interior de la estructura de soporte (1). Complementando el mecanismo de agarre del alambre, está la horquilla de agarre de la probeta (3), consistente en una varilla que es soldada en un extremo a los dos brazos que forman la horquilla. La parte inferior de la horquilla fija el otro extremo de la probeta y en la parte superior se encuentran los brazos que tienen un agujero circular en cada uno y están separados una distancia tal que permiten que la palanca (5) se aloje en medio de ellas y formen una unión deslizante rotativa con un pin de diámetro conveniente que pasa por los agujeros de la horquilla y el agujero que correspondiente que existe en la palanca (5).

La columna de soporte del pivote de la palanca (4), presenta un agujero redondo, por donde pasa un pin que también atraviesa el agujero correspondiente de la palanca (5), para pivotar causando el “efecto palanca” es decir se produce “efecto multiplicador de la carga”

cuyo resultado es el que se ejerce en la probeta. Este elemento de máquina tan importante consiste en una lámina de dimensiones y materiales convenientes, tiene tres agujeros circulares: dos donde se vincula con las dos horquillas (3 y 6) y una que se encuentra en la columna de soporte (4). La horquilla de amarre de pesas (6), similar a (3), permite que la palanca (5) se aloje en medio de ellas y formen una unión deslizante rotativa con un pin de diámetro conveniente que pasa por los agujeros de la horquilla y el agujero correspondiente que existe en la palanca en su extremo derecho (según la figura de la vista isométrica). La parte inferior consiste en una varilla roscada en un extremo donde se fija la pesa (8) que se asienta en la leva (10) seleccionada para producir el tipo de esfuerzo deseado.

El movimiento de giro de la leva (10) la origina un motor monofásico instalado dentro de la caja de alojamiento (7), en cuyo eje (9) se monta la leva. El movimiento de la leva se puede regular manualmente a través de (11) para seleccionar la velocidad de giro y también se puede programar de tiempo de funcionamiento del motor (13), en otras palabras, el tiempo de ensayo/ciclos de ensayo al que será sometido el alambre.

Figura 5.1.1

Máquina generadora de esfuerzos de tracción intermitentes en alambres de pequeño diámetro y baja elongación.



Figura 5.1.2

Sistema de sujeción de probetas y retención de los medios agresivos.



Figura 5.1.3

Sistema de pesas y levas para la aplicación de tensión intermitente.

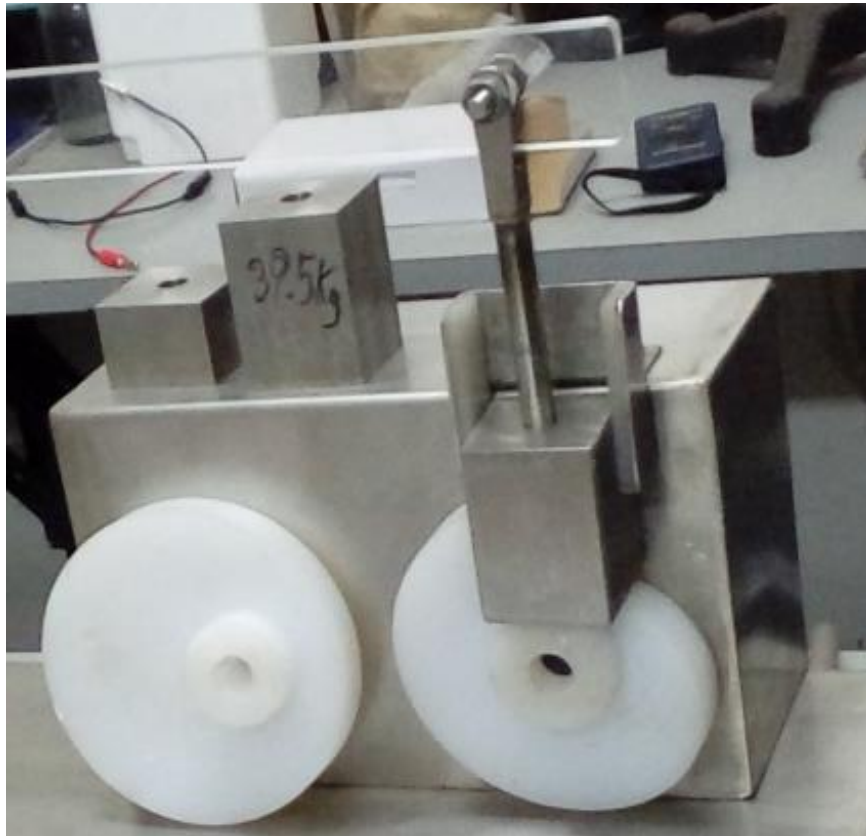


Figura 5.1.4

Panel de Control.



5.2 Adecuación de los Instrumentos

El bipotenciostato, internamente tiene un circuito como la figura 4.5.5 exceptuando lo resaltado ya que estos son los electrodos, de trabajo, de referencia y el contraelectrodo que se tuvo que adaptar un circuito aparte para su correcto funcionamiento; además se adaptó un software externo que permita obtener los datos de manera precisa y rápida en una computadora. Si bien el bipotenciostato es la parte más compleja, se puede representar el sistema utilizado como un conjunto de 4 partes principales que son:

- Sistema de Electrodo (Electrodo combinado y electrodo de trabajo).
- Equipo Potenciostato (Bipotenciostato AFRDE5).
- Equipo de adquisición de datos (Cassylab).
- Computadora (software Cassylab).

Figura 5.2.1

Electrodo combinado HANNA HI3230B



Figura 5.2.2

Equipo Potenciostato (Bipotenciostato AFRDE5).



Figura 5.2.3

Equipo de adquisición de datos (Cassylab).



5.2.1 Sistema de Electroodos

El electrodo combinado usado ha sido el que se muestra en las figuras 5.2.1 y 5.2.4 que consta de un electrodo de referencia de Ag/AgCl y el contraelectrodo de platino con un rango de trabajo de $\pm 2000\text{mV}$, de 20 a 40°C de temperatura y un máximo de 2 bar de presión; tiene su terminal del tipo BNC el cuál se adaptó para realizar la conexión con el potencióstato. La figura 5.2.5 muestra la posición adecuada en la que debe estar el electrodo para ser capaz de leer la corriente eléctrica generada por las reacciones de corrosión producidas en la superficie de las probetas, aproximadamente a 1 mm de distancia de la zona a tratar.

Figura 5.2.4

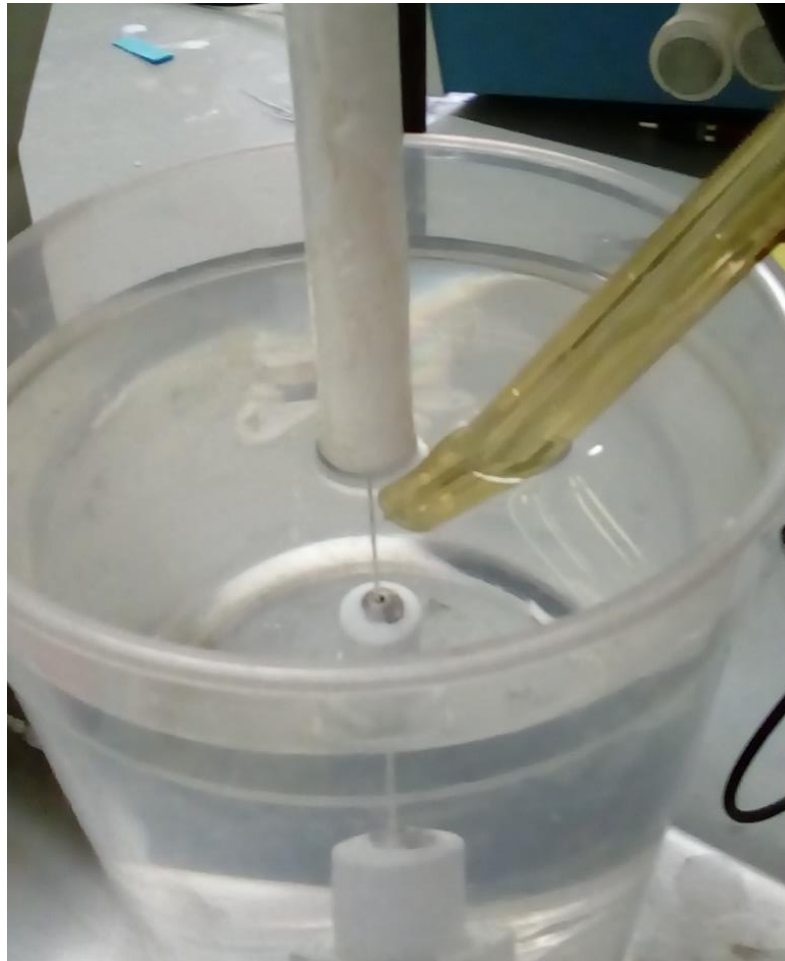
Electrodo combinado HANNA HI3230B previo a su uso.



En la figura 5.2.4 se aprecia el electrodo combinado de la marca HANNA importado por Kossodo, junto a su líquido de almacenamiento especial y su conector del tipo BNC.

Figura 5.2.5

Electrodo conectado para realizar la medición.



5.2.2 Equipo Potenciostato

El potenciostato utilizado es un equipo con capacidad de realizar 2 mediciones a la vez (K1 y K2) por ello el nombre de bipotenciostato, pero el sistema evaluado utiliza un solo sistema de electrodos por lo que se usó solo las ranuras K1, teniendo la siguiente nomenclatura:

- CE = Contraelectrodo.
- K1 = Electrodo de trabajo.
- REF = Electrodo de Referencia.
- E1 = Voltaje (mV).
- I1 = Corriente (A).

Se usaron diferentes tipos de conectores para poder realizar las interconexiones sobre todo en el caso de REF ya que es un conector BNC y por lo tanto tiene 2 salidas, el pin central (polo positivo) y las paredes externas (polo negativo), lo que llevó a la necesidad de adquirir el adaptador que separa ambos polos del BNC como se aprecia en las figuras 5.2.6 y 5.2.7. Los conectores necesarios para la adaptación se muestran en la tabla 5.2.1.

Figura 5.2.6

Interconexión entre potencióstato y electrodo

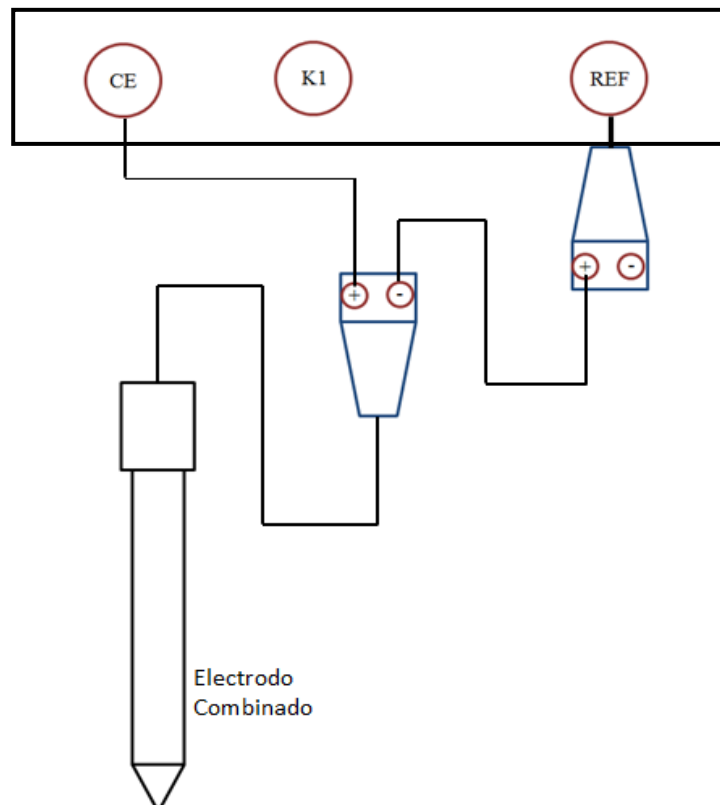


Figura 5.2.7

Potenciostato con sus conectores ya armados.

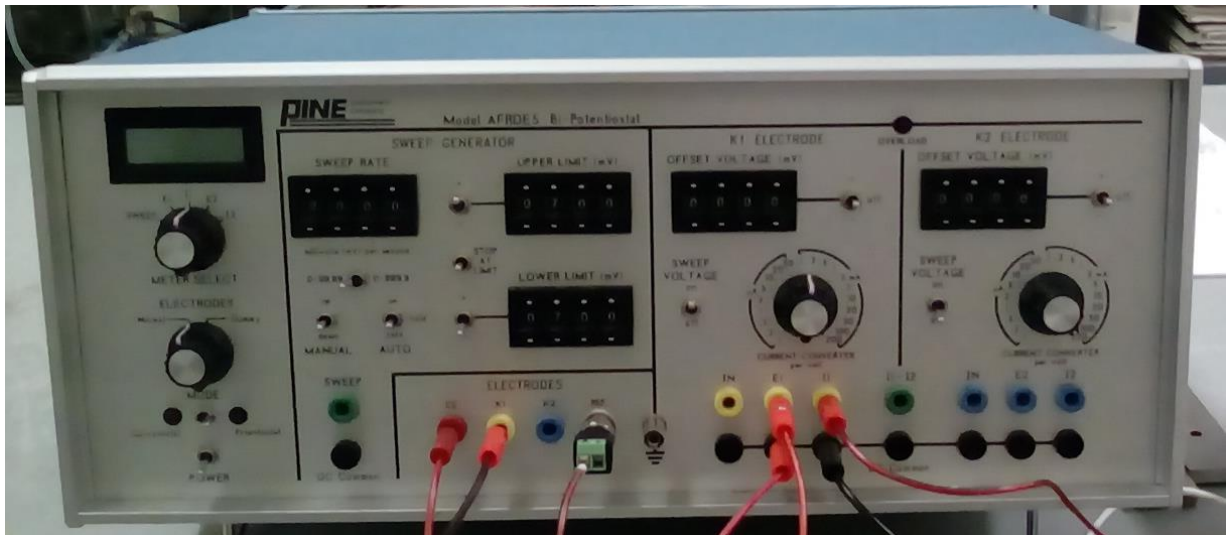


Figura 5.2.8

Conector cocodrilo conectado al electrodo de trabajo.



Tabla 5.2.1

Tipos de conectores necesarios para la interconexión.

	Potenciostato	Electrodo	Cassy Lab
CE	Banana	Adaptador BNC+	-
K1	Banana	Cocodrilo	-
REF	Adaptador BNC+	Adaptador BNC-	-
E1+	Banana	-	Banana
E1-	Banana	-	Banana
I1+	Banana	-	Banana
I1-	Banana	-	Banana

Para describir las funciones utilizadas en el potenciostato se toma como referencia la figura 5.2.2 o 5.2.7 y se los describe de izquierda a derecha. Primero se tiene la pantalla donde se dan los resultados y su perilla indicando qué mostrar en la pantalla, sin embargo no se hace uso de éstas porque se cuenta con un software más avanzado; la segunda perilla me indica el modo de funcionamiento, se utiliza “Dummy” para las configuraciones previas al ensayo y “Normal” una vez iniciado el ensayo.

En la sección “Sweep Generator” se le gradúa a manera de utilizar una velocidad de barrido (sweep rate) de 20mV por segundo y se establecen los parámetros máximos y mínimos siendo el máximo +400 mV (excepto el medio básico que se trabajó con +500mV) y el mínimo -600mV (excepto el medio salido que se trabajó con -550 mV). Para los ensayos se utilizó la palanca “Auto” y nunca “Manual” sin activar la opción de detenerse en los límites (Stop at limit).

Las salidas tanto de electrodos como de corriente se utilizaron los mostrados en la figura 5.2.7 ya que los otros no eran necesarios. No se utilizó el desfase de voltaje (Offset Voltage) y la perilla de convertir corriente (Current Converter) se utilizó en 0.5mA, 0.2mA y 10uA por voltio ya que en el software se grafica Voltaje vs Voltaje y se necesita ese parámetro para convertir a corriente; se utilizó el parámetro más adecuado para cada medio a manera que permita visualizar mejor las gráficas dibujadas. No se utiliza la última sección ya que no se tiene un segundo electrodo K2.

Tener en cuenta que previo a cada medio se ajustaron los parámetros del equipo potencióstato de manera conveniente para cada medio agresivo con el fin de visualizar bien las gráficas. De esta manera se tuvo que preparar más probetas y realizar ensayos preliminares antes de cada serie de ensayos con un medio determinado.

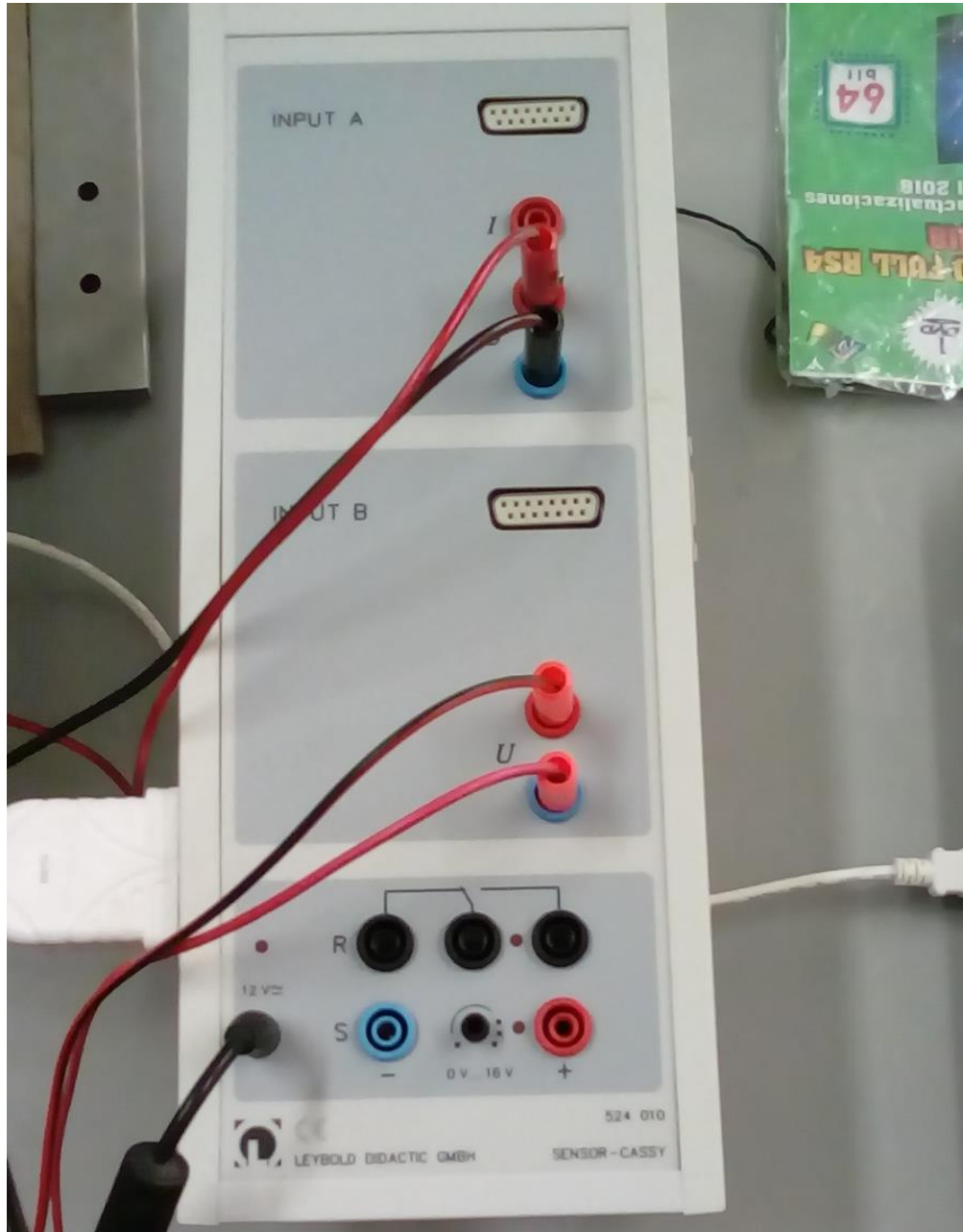
5.2.3 Equipo de Adquisición de Datos

En pocas palabras el equipo de adquisición de datos cumple la función de transformar los datos obtenidos del potencióstato en datos procesables por el software de la misma marca Cassylab; para que de esta manera poder guardar los datos automáticamente en una computadora e incluso graficarlos.

Como se observa en la figura 5.2.3 y 5.2.9, este equipo tiene 2 ingresos, input A e input B, en nuestro caso se hace uso de los conectores banana siendo input A el voltaje correspondiente a la corriente en amperios (se usa factor del potencióstato para su conversión), e input B el voltaje aplicado por el potencióstato al medio. Para la salida de datos del equipo hacia la laptop se utiliza un cable adaptador Serial-Usb como se ve en la figura 5.2.9.

Figura 5.2.9

Equipo de adquisición de datos Cassylab con sus conectores instalados.



Tener en cuenta que los pares de conectores salientes del potencióstato deben ir juntos hasta el Input del equipo Cassylab y siempre respetando los polos positivos y negativos; el polo positivo del potencióstato debe ir en el polo positivo del equipo Cassylab y de igual manera para el polo negativo tanto en Input A como en Input B.

5.2.4 Computadora y Software Cassylab

La interface utilizada para la visualización de los resultados de las pruebas es una computadora (ver figura 5.2.10) en el cual se le instaló el software perteneciente al equipo de adquisición de datos, el cual recibe los datos y los muestra en forma de tabla y como gráficas. Su configuración consta de seleccionar el puerto COM en donde se conectó la parte de usb del adaptador Serial-Usb (ver figura 5.2.11) y configurar los parámetros para que la intensidad de corriente se encuentre en el eje Y y el potencial se encuentre en el eje X (ver figura 5.2.12).

Figura 5.2.10

Interface máquina – humano (Computadora).



Tener en cuenta que en la interface aún se muestra en el eje Y datos de voltaje, sin embargo, estos pertenecen a la intensidad de corriente sin haberse corregido con el factor que se selecciona previamente en el potencióstato.

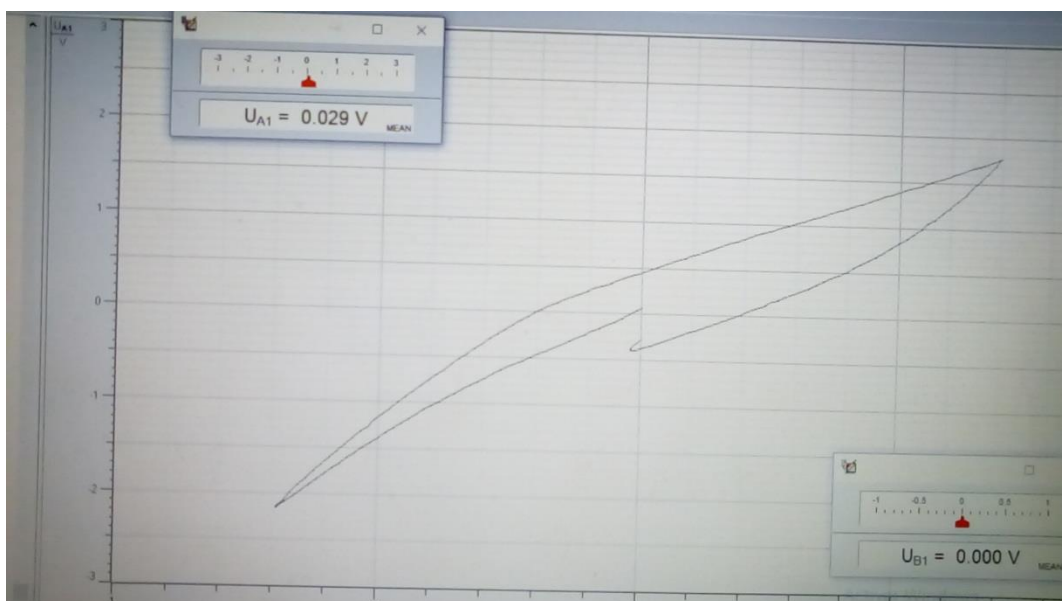
Figura 5.2.11

Configuración inicial del software Cassylab.



Figura 5.2.12

Ejemplo de gráfica Corriente vs Potencial.



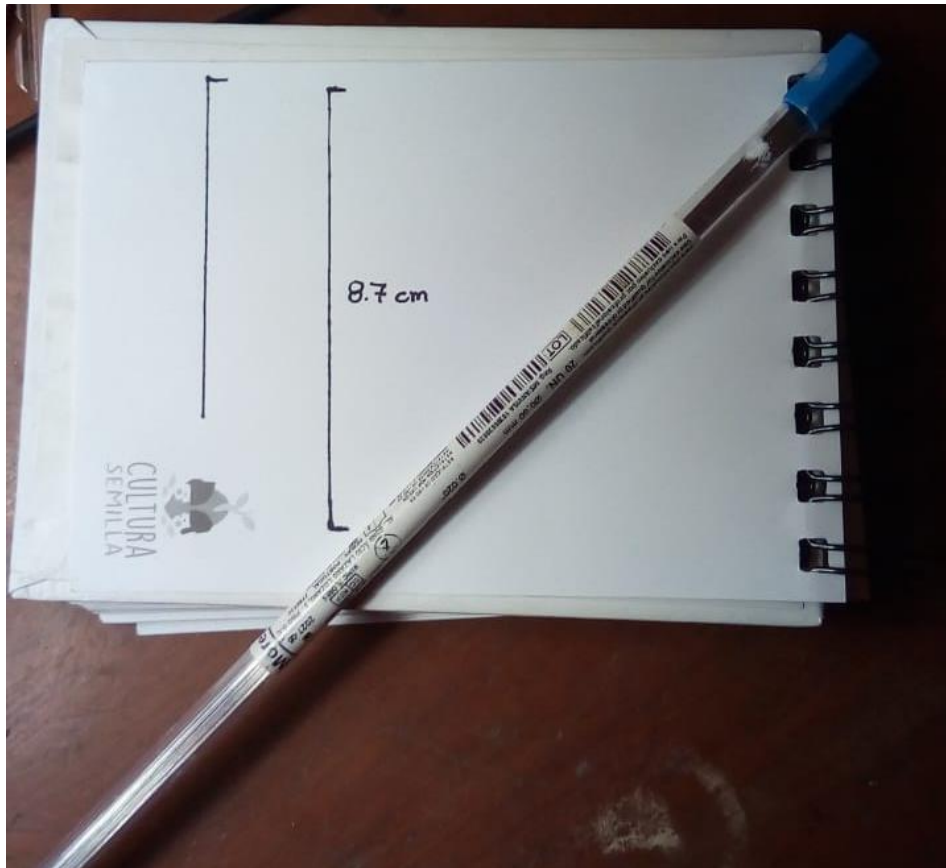
5.3 Probetas – Alambres de Brackets

5.3.1 Preparación de las Probetas

Las probetas son alambres de brackets importados por la empresa Morelli, hechas de acero inoxidable AISI 302 del diámetro más grande encontrado en el mercado, 0.02 pulg o 0.508 mm; como podemos observar en la figura 5.3.1 su presentación es en varillas de 20 cm de largo en un tubo de plástico por lo que se necesita cortar para realizar los ensayos.

Figura 5.3.1

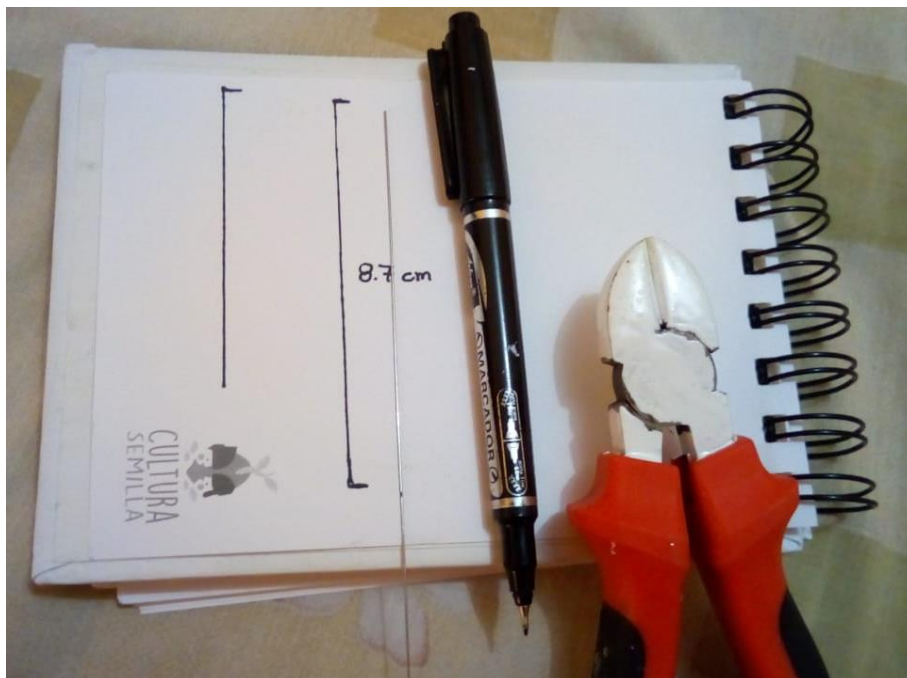
Alambre de bracket antes de ser cortado.



Las probetas requieren ser de 8.7 cm exactos para entrar en la máquina diseñada para los ensayos por lo que se procede a realizar una marca con plumón indeleble y posteriormente a cortar con un alicate de corte común, como podemos ver en figura 5.3.2.

Figura 5.3.2

Alambre de bracket a cortar en exactamente 8.7 cm.



Es necesario acortar esta distancia de exposición a un rango controlado ya que se requiere tener lectura de las reacciones de corrosión en un área determinada y controlada, por lo que se realizará el recubrimiento de la superficie con pintura epóxica especial en todo el alambre excepto en 3 mm del mismo como podemos ver en las figuras 5.3.3 y 5.3.6.

El proceso de pitado se realizó inicialmente con un pincel especial, sin embargo, no se obtuvo muestras muy homogéneas por lo que se realizó un pintado por inmersión de los alambres; adecuando un recipiente al tamaño de los alambres se utilizó una cañita normal en donde se colocó la pintura previamente preparada y se procedió con el baño a la altura correspondiente (figura 5.3.5). Este pintado se realizó en 2 etapas, inicialmente se pinta un lado de los 3 mm libres, se lo pone a secar por un tiempo de 24 horas (figura 5.3.6); pasado este tiempo se pinta la parte restante a manera de solo tener 3mm sin pintura y se lo deja secar por otras 24 horas.

Figura 5.3.3

Alambre de bracket con 3mm marcados antes de realizar el pintado.

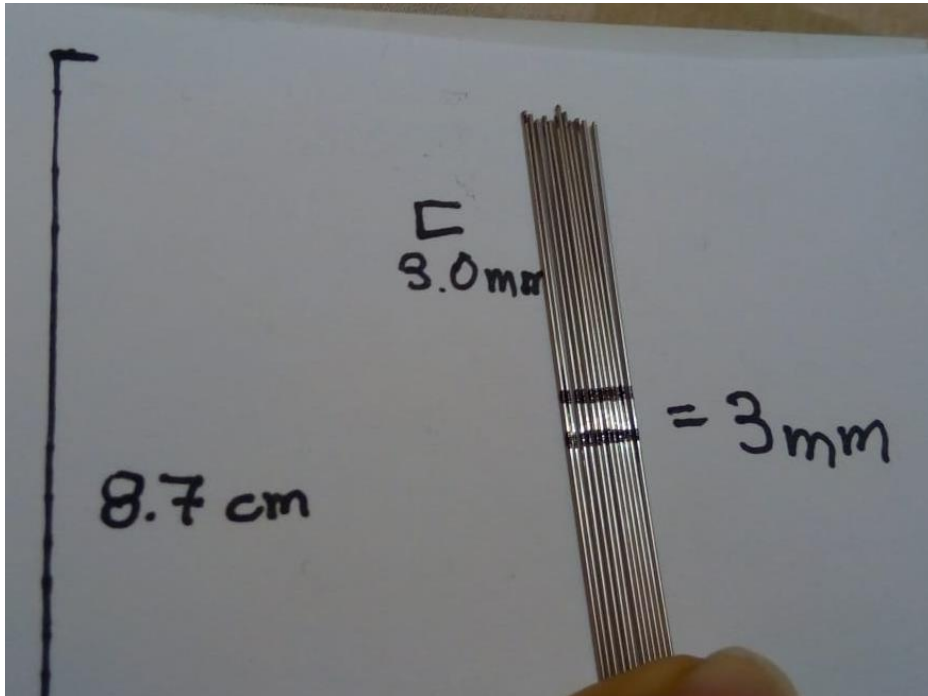


Figura 5.3.4

Componentes de la pintura epóxica.



Figura 5.3.5

Baño de pintura epóxica.



Figura 5.3.6

Alambres pintados y secados por 48 horas.



La pintura epóxica es una combinación de 3 componentes como se aprecia en la figura 5.3.4 donde se tiene de izquierda a derecha un agente endurecedor, un solvente y la pintura en sí; la pintura es líquida hasta el momento que entra en contacto con el endurecedor, sin embargo, estos no se mezclan sin el tercer componente que es el solvente. La mezcla se realiza en partes iguales y por el tamaño de las probetas se decidió realizar la mezcla en una tapa de pequeño tamaño.

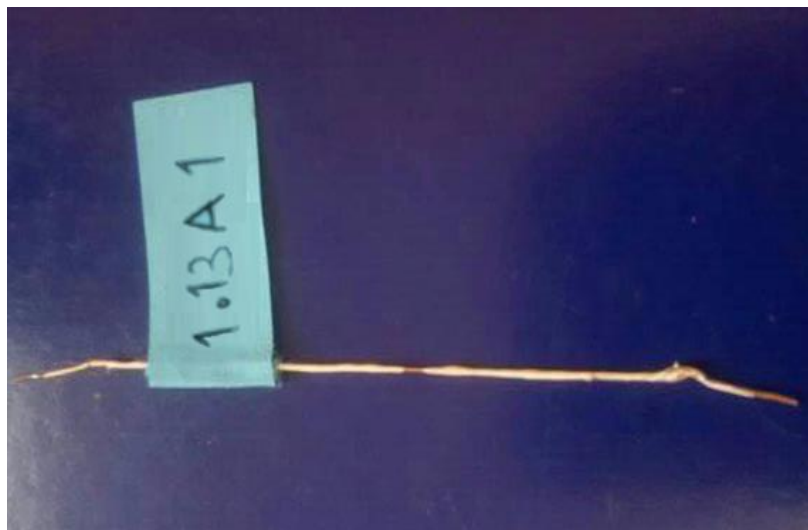
5.3.2 Codificación y Almacenamiento de Probetas

La codificación se realiza previo a cualquier ensayo, sin embargo, las probetas no llevan su identificador físico hasta después de haber sido sometidos ya que este identificador entraría en contacto con la solución y se malograría.

Luego de ser sometidas a los medios agresivos y al efecto de tensión intermitente se requiere una correcta manipulación y almacenamiento de las probetas ya que estas serán sometidas a pruebas de microscopía tanto óptica como electrónica debido a su diferencia en el aumento que cada tipo de microscopía posee.

Figura 5.3.7

Probeta tras ser sometidos a los ensayos de corrosión.



La figura 5.3.7 muestra un ejemplo de probeta después de realizarse los ensayos de corrosión, como se puede apreciar, los costados de donde han sido sujetadas las probetas fueron deformadas por acción de la compresión aplicada por el sujetador, lo cual es un pequeño impedimento para la microscopía óptica ya que las muestras deben ser planas, sin embargo, eso se resuelve cortando la probeta como se muestra en la figura 5.3.9.

El almacenamiento de las probetas se realiza en un taper completamente lleno de algodón (figura 5.3.8) a manera de que éstas no tengan roces que puedan dañar la superficie y se pueda realizar una buena lectura en ambos tipos de microscopía.

Figura 5.3.8

Almacenamiento de muestras – Previo a la microscopía óptica.



Un segundo corte se realiza para el ensayo de microscopía electrónica y su almacenamiento difiere del inicial, ya que debido al tamaño de la muestra no es posible almacenarlo en algodón, si no que para ésta prueba se lo almacena en bolsas herméticas rotuladas con la codificación asignada que se muestra en la tabla 5.3.1.

Figura 5.3.9

Muestra cortada para ensayos de microscopía óptica.

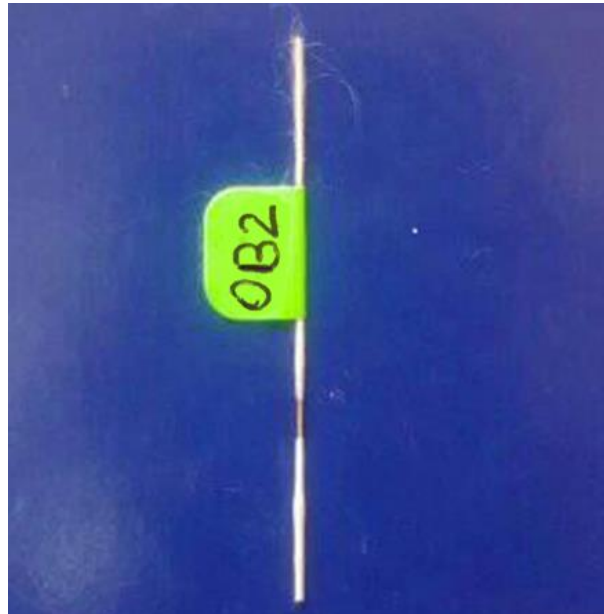


Figura 5.3.10

Muestra cortada y almacenada para ensayos de microscopía electrónica.



Según la tabla 5.3.1 se puede afirmar que un rótulo que diga 1.13A1 significa que la muestra fue la primera probeta sometida a corrosión bajo tensión intermitente en medio ácido con ciclos de 1.13 revoluciones por segundo.

Tabla 5.3.1

Codificación para el rotulado de probetas (Frecuencia en Hz o RPS).

1ra Cifra	2ra Cifra	3ra Cifra
Frecuencia	Código	Nro. Prueba
0	A	1
1.13	B	2
1.85	S	3
2.77	-	-
3.73	-	-

5.4 Medios Agresivos

Para la selección de los medios se tuvo en cuenta los diferentes medios a los que la cavidad oral está expuesto, inicialmente se tiene la saliva que es un medio salino, luego se decidió preparar medio ácido y básico ya que la cavidad oral no está en reposo con saliva únicamente si no que es sometida a diferentes alimentos y dentífricos con valores de pH muy variados.

Para la preparación de los medios se utilizó agua destilada y desmineralizada de la marca Vistony como se puede ver en la figura 5.3.11. Las soluciones ya preparadas se almacenaron en galoneras. Para cada medio se preparó una cantidad de 7L ya que el envase del equipo hace uso de poco menos de 1L por cada muestra y las pruebas se realizaron 6 por medio agresivo con 1 litro de reserva en caso de alguna falla en los ensayos. Es importante resaltar que la solución se preparó 7L en una sola preparación para que las pruebas sean completamente homogéneas en cuanto al medio al que se somete la probeta.

Figura 5.3.11

Agua destilada y desmineralizada.



Todas las pruebas se realizaron a condiciones ambientales 20 – 25°C y 1 atm de presión; en el transcurso de los días aproximadamente a la misma hora de la tarde para que no haya diferencias significativas en cuanto a condiciones ambientales.

5.4.1 Solución Salina – Solución de NaCl 0.0342 M

Para la solución salina se tomó como referencia la solución usada en los ensayos de corrosión de Costilla, J., & Ramos, S. (1992) preparando una solución de NaCl de 2g/L o en nuestro caso 14g/7L manteniendo un pH de 7.8.

5.4.2 Solución Ácida – Solución de HCl pH 1.8

Para la solución ácida se toma el pH del alimento más ácido consumido por las personas ya que los arcos de brackets entran en contacto con todo alimento ingerido. McGlynn, W. (2000) hace el estudio del pH de los diferentes alimentos siendo el valor más crítico el valor de pH de la lima cuyo valor inferior es de 1.8. Para la lista completa de valores de pH de los alimentos, ver tabla A.1.5.

5.4.3 Solución Básica – Solución de NaOH pH 9.71

Para la solución básica se toma el pH del producto más básico que ingresa a la cavidad oral del ser humano, y ya que los alimentos son muy poco alcalinos se toma el pH de los dentífricos como las pastas dentales. Pardo, C. (2008) analiza 4 dentífricos para comparar el pH de cada producto obteniendo resultados que van desde 7.35 hasta 9.71 con un promedio de 8.87. Para el estudio se toma el valor más crítico de pH igual a 9.71.

5.5 Descripción de los Ensayos

La primera parte consta del diseño y construcción del equipo (sección 5.1) y de la adecuación de los instrumentos (sección 5.2). Posteriormente se realiza la preparación para los ensayos que consta de la preparación de las probetas (sección 5.3) y la preparación de los medios agresivos (sección 5.4).

Es importante resaltar que previo a cada cambio de condición en los ensayos, ya sea un cambio de solución o un cambio de frecuencia, se realizaron N pruebas previas para calcular el mejor comportamiento de las gráficas y los datos obtenidos, de igual manera en esta etapa, realizando un gran número de pruebas y errores se determinan los parámetros con los que el equipo potenciostato realizará la lectura como los límites superior e inferior de trabajo, el factor de conversión de corriente a usar y otros parámetros del software.

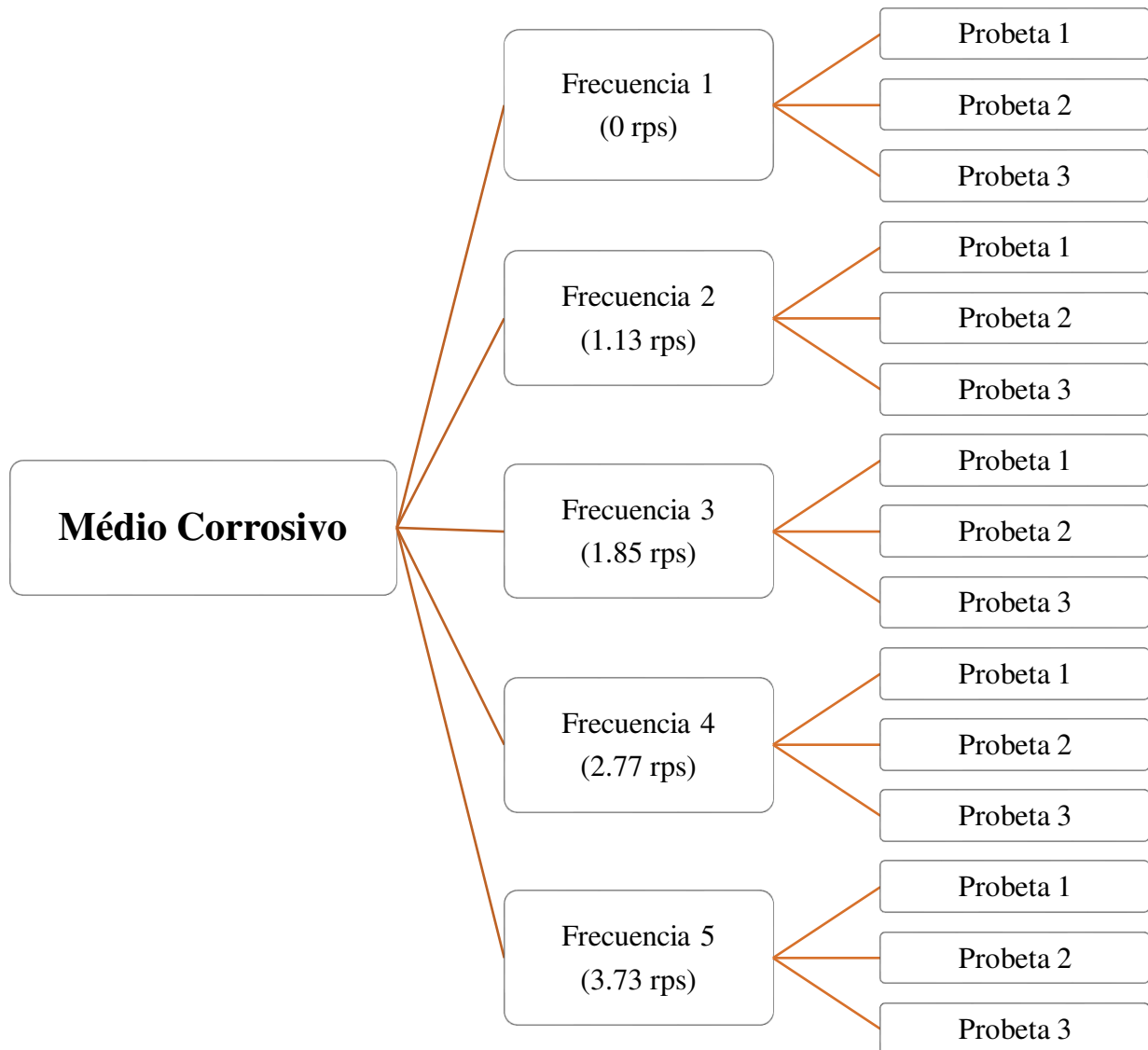
Se inserta cada probeta en la máquina, se le añade el medio agresivo y la tensión intermitente por 5 minutos previos a las lecturas; se realiza la medición, se guarda todo resultado en el software y posteriormente en una hoja de datos. Todo ensayo se realiza por triplicado para cada combinación del medio agresivo y de la frecuencia de aplicación de tensión. Para los datos de los ensayos adicionales, ver el anexo 11.3. La cantidad de pruebas se expresa de mejor manera en el Figura 5.5.1. Tener en cuenta que lo expresado en este gráfico, se realizó 3 veces (1 por cada medio) y además una serie de ensayos previos para

ajustar los diferentes parámetros llevando a un total superior a los 200 ensayos.

Después de cada ensayo se procede como descrito en la sección 5.3.2 para posteriormente realizar los ensayos de microscopía tanto óptica como electrónica resultando el apartado 11.2.

Figura 5.5.1

Distribución y cantidad de pruebas.



6 TABLAS DE DATOS Y RESULTADOS

6.1 Datos Generales

Tabla 6.1.1

Variables del medio.

Variable	Valor	Unidades
Temperatura	20 - 25	°C
Presión	0.9 - 1.1	atm
Conc. salina	2	g/l
pH ácido	1.80	-
pH básico	9.71	-

Tabla 6.1.2

Variables de las probetas.

Variable	Valor	Unidades
Long. total de probeta	87	mm
Long. expuesta de probeta	3	mm
Diámetro de probeta	0.508	mm
Tensión	5.4	kg-f
Esfuerzo	261.36	MPa

Tabla 6.1.3

Variables del potencióstato.

Variable	Salino	Ácido	Básico	Unidades
Velocidad de barrido	20	20	20	mV
Límite máximo	400	400	500	mV
Límite mínimo	-550	-600	-600	mV
Convertidor de corriente	0.2	0.5	10	mA/V

6.2 Datos de los Ensayos en Medio Salino

Tabla 6.2.1

Datos del ensayo OSI.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.015	-0.025	-0.424	-0.313	-0.273	0.087	0.129	0.116	0.365	0.073
-0.03	-0.034	-0.436	-0.343	-0.258	0.092	0.143	0.117	0.35	0.068
-0.045	-0.041	-0.451	-0.376	-0.243	0.095	0.158	0.119	0.339	0.061
-0.06	-0.046	-0.466	-0.411	-0.229	0.098	0.172	0.122	0.324	0.046
-0.075	-0.05	-0.48	-0.443	-0.214	0.099	0.186	0.124	0.309	0.036
-0.09	-0.055	-0.495	-0.473	-0.203	0.101	0.202	0.127	0.294	0.033
-0.105	-0.059	-0.51	-0.501	-0.188	0.103	0.216	0.13	0.28	0.027
-0.117	-0.062	-0.524	-0.526	-0.173	0.104	0.231	0.133	0.265	0.017
-0.132	-0.067	-0.539	-0.549	-0.159	0.105	0.242	0.136	0.25	0.013
-0.146	-0.071	-0.545	-0.518	-0.144	0.105	0.257	0.14	0.235	0.008
-0.162	-0.075	-0.53	-0.445	-0.129	0.106	0.272	0.145	0.221	0.001
-0.176	-0.08	-0.518	-0.362	-0.115	0.106	0.286	0.153	0.206	-0.003
-0.191	-0.085	-0.504	-0.292	-0.1	0.106	0.3	0.159	0.194	-0.005
-0.205	-0.092	-0.489	-0.233	-0.085	0.106	0.315	0.165	0.179	-0.012
-0.221	-0.098	-0.474	-0.183	-0.07	0.106	0.33	0.174	0.165	-0.017
-0.235	-0.105	-0.46	-0.14	-0.059	0.106	0.344	0.185	0.15	-0.021
-0.25	-0.113	-0.446	-0.103	-0.044	0.106	0.359	0.196	0.135	-0.026
-0.265	-0.121	-0.431	-0.07	-0.029	0.106	0.373	0.208	0.12	-0.031
-0.277	-0.131	-0.416	-0.042	-0.015	0.107	0.388	0.217	0.106	-0.036
-0.291	-0.142	-0.402	-0.018	0	0.107	0.4	0.233	0.091	-0.041
-0.306	-0.154	-0.387	0.003	0.015	0.107	0.414	0.254	0.076	-0.046
-0.321	-0.168	-0.372	0.017	0.029	0.108	0.429	0.275	0.061	-0.05
-0.336	-0.183	-0.36	0.033	0.043	0.108	0.444	0.299	0.047	-0.053
-0.35	-0.201	-0.346	0.047	0.059	0.109	0.439	0.214	0.035	-0.056
-0.365	-0.22	-0.332	0.058	0.073	0.11	0.424	0.164	0.02	-0.06
-0.38	-0.241	-0.317	0.068	0.087	0.111	0.409	0.128	0.005	-0.063
-0.395	-0.265	-0.302	0.075	0.099	0.113	0.395	0.108		
-0.409	-0.29	-0.287	0.082	0.114	0.115	0.38	0.085		

Tabla 6.2.2

Datos del ensayo 1.13SI.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.022	-0.028	-0.522	-0.365	0.022	0.11	0.322	0.077
-0.037	-0.036	-0.508	-0.297	0.036	0.111	0.306	0.07
-0.052	-0.043	-0.493	-0.239	0.051	0.112	0.291	0.054
-0.067	-0.047	-0.478	-0.189	0.066	0.113	0.277	0.046
-0.082	-0.053	-0.464	-0.153	0.081	0.114	0.266	0.041
-0.097	-0.058	-0.452	-0.115	0.095	0.114	0.251	0.034
-0.112	-0.063	-0.438	-0.08	0.11	0.116	0.236	0.023
-0.126	-0.068	-0.423	-0.051	0.125	0.118	0.221	0.014
-0.141	-0.072	-0.408	-0.025	0.139	0.119	0.206	0.005
-0.156	-0.078	-0.394	-0.004	0.153	0.121	0.192	-0.001
-0.171	-0.082	-0.379	0.015	0.166	0.123	0.177	-0.007
-0.182	-0.088	-0.364	0.032	0.18	0.127	0.162	-0.011
-0.198	-0.093	-0.35	0.046	0.195	0.13	0.147	-0.017
-0.212	-0.1	-0.335	0.057	0.209	0.134	0.133	-0.023
-0.227	-0.106	-0.321	0.067	0.224	0.138	0.12	-0.027
-0.242	-0.114	-0.306	0.073	0.238	0.143	0.106	-0.03
-0.257	-0.122	-0.294	0.081	0.253	0.149	0.091	-0.034
-0.271	-0.131	-0.28	0.087	0.268	0.155	0.076	-0.039
-0.286	-0.142	-0.265	0.092	0.282	0.164	0.062	-0.043
-0.301	-0.153	-0.251	0.096	0.296	0.17	0.047	-0.048
-0.316	-0.166	-0.235	0.099	0.308	0.18	0.032	-0.052
-0.331	-0.176	-0.222	0.102	0.323	0.191	0.018	-0.055
-0.342	-0.192	-0.206	0.103	0.338	0.202	0.003	-0.059
-0.357	-0.209	-0.192	0.106	0.352	0.215		
-0.371	-0.228	-0.177	0.107	0.366	0.223		
-0.387	-0.249	-0.163	0.108	0.381	0.241		
-0.401	-0.271	-0.151	0.109	0.396	0.256		
-0.416	-0.296	-0.136	0.109	0.41	0.282		
-0.43	-0.322	-0.121	0.109	0.425	0.301		
-0.446	-0.35	-0.106	0.109	0.44	0.327		
-0.461	-0.379	-0.092	0.11	0.436	0.281		
-0.475	-0.41	-0.077	0.11	0.424	0.216		
-0.487	-0.436	-0.063	0.11	0.41	0.181		
-0.502	-0.464	-0.048	0.11	0.395	0.155		
-0.516	-0.494	-0.033	0.11	0.381	0.132		
-0.531	-0.517	-0.018	0.11	0.365	0.118		
-0.546	-0.542	-0.004	0.11	0.35	0.102		
-0.537	-0.446	0.007	0.11	0.336	0.088		

Tabla 6.2.3

Datos del ensayo 1.85SI.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.024	-0.029	-0.479	-0.208	0.108	0.114	0.195	0.013
-0.036	-0.038	-0.465	-0.172	0.123	0.115	0.180	0.007
-0.051	-0.044	-0.453	-0.133	0.138	0.117	0.166	0.000
-0.066	-0.049	-0.438	-0.099	0.152	0.118	0.150	-0.008
-0.081	-0.055	-0.423	-0.069	0.164	0.119	0.136	-0.014
-0.096	-0.059	-0.409	-0.043	0.178	0.122	0.121	-0.019
-0.111	-0.064	-0.395	-0.020	0.193	0.124	0.110	-0.025
-0.126	-0.069	-0.380	0.000	0.207	0.126	0.095	-0.031
-0.141	-0.073	-0.365	0.017	0.222	0.128	0.080	-0.037
-0.155	-0.079	-0.350	0.032	0.236	0.132	0.065	-0.041
-0.170	-0.083	-0.336	0.045	0.251	0.135	0.050	-0.046
-0.182	-0.088	-0.322	0.056	0.266	0.139	0.035	-0.049
-0.197	-0.094	-0.306	0.064	0.280	0.143	0.021	-0.054
-0.211	-0.101	-0.295	0.072	0.295	0.147	0.005	-0.058
-0.227	-0.108	-0.281	0.079	0.309	0.153		
-0.241	-0.116	-0.266	0.085	0.321	0.158		
-0.256	-0.125	-0.252	0.090	0.336	0.167		
-0.285	-0.146	-0.222	0.098	0.364	0.186		
-0.300	-0.158	-0.207	0.101	0.380	0.202		
-0.315	-0.171	-0.193	0.103	0.394	0.218		
-0.330	-0.183	-0.178	0.105	0.408	0.230		
-0.342	-0.199	-0.164	0.106	0.423	0.254		
-0.356	-0.217	-0.149	0.107	0.438	0.277		
-0.386	-0.259	-0.122	0.109	0.428	0.194		
-0.401	-0.282	-0.108	0.109	0.413	0.159		
-0.415	-0.308	-0.093	0.110	0.399	0.139		
-0.430	-0.334	-0.078	0.110	0.385	0.118		
-0.446	-0.362	-0.064	0.111	0.369	0.107		
-0.460	-0.392	-0.049	0.111	0.354	0.092		
-0.474	-0.423	-0.035	0.110	0.340	0.085		
-0.490	-0.448	-0.020	0.111	0.325	0.078		
-0.501	-0.479	-0.005	0.110	0.310	0.066		
-0.516	-0.508	0.006	0.111	0.295	0.057		
-0.546	-0.557	0.035	0.110	0.269	0.049		
-0.537	-0.464	0.050	0.112	0.254	0.039		
-0.523	-0.382	0.065	0.112	0.239	0.032		
-0.508	-0.316	0.079	0.112	0.225	0.024		
-0.493	-0.258	0.094	0.113	0.209	0.016		

Tabla 6.2.4

Datos del ensayo 2.77SI.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.021	-0.019	-0.480	-0.221	0.104	0.119	0.200	0.031
-0.036	-0.028	-0.466	-0.175	0.119	0.119	0.188	0.023
-0.051	-0.034	-0.452	-0.143	0.134	0.119	0.173	0.014
-0.066	-0.041	-0.437	-0.109	0.148	0.120	0.158	0.007
-0.082	-0.046	-0.422	-0.082	0.163	0.125	0.143	0.000
-0.096	-0.051	-0.408	-0.054	0.177	0.126	0.129	-0.009
-0.111	-0.055	-0.393	-0.031	0.192	0.133	0.114	-0.017
-0.123	-0.060	-0.379	-0.011	0.206	0.132	0.099	-0.023
-0.138	-0.065	-0.364	0.003	0.221	0.133	0.084	-0.030
-0.153	-0.070	-0.352	0.020	0.235	0.141	0.069	-0.037
-0.168	-0.076	-0.338	0.034	0.250	0.140	0.054	-0.041
-0.182	-0.081	-0.324	0.046	0.262	0.146	0.040	-0.044
-0.198	-0.088	-0.309	0.056	0.276	0.148	0.028	-0.049
-0.212	-0.094	-0.294	0.066	0.290	0.154	0.013	-0.053
-0.242	-0.110	-0.266	0.080	0.320	0.166		
-0.257	-0.120	-0.251	0.085	0.335	0.178		
-0.272	-0.128	-0.236	0.091	0.348	0.186		
-0.283	-0.144	-0.222	0.096	0.363	0.194		
-0.298	-0.153	-0.206	0.098	0.378	0.204		
-0.313	-0.168	-0.196	0.100	0.392	0.212		
-0.343	-0.198	-0.167	0.106	0.418	0.250		
-0.357	-0.217	-0.151	0.107	0.432	0.272		
-0.373	-0.240	-0.137	0.111	0.447	0.303		
-0.387	-0.261	-0.122	0.112	0.434	0.210		
-0.402	-0.283	-0.107	0.112	0.419	0.173		
-0.417	-0.301	-0.093	0.113	0.405	0.161		
-0.432	-0.323	-0.079	0.113	0.390	0.147		
-0.444	-0.363	-0.064	0.113	0.375	0.128		
-0.459	-0.392	-0.052	0.113	0.360	0.121		
-0.474	-0.414	-0.037	0.114	0.344	0.114		
-0.488	-0.473	-0.023	0.114	0.333	0.110		
-0.518	-0.543	0.006	0.113	0.303	0.088		
-0.533	-0.560	0.021	0.114	0.289	0.083		
-0.548	-0.589	0.035	0.113	0.274	0.076		
-0.535	-0.468	0.050	0.114	0.259	0.070		
-0.521	-0.390	0.065	0.116	0.244	0.060		
-0.509	-0.327	0.079	0.116	0.230	0.048		
-0.495	-0.272	0.093	0.118	0.214	0.039		

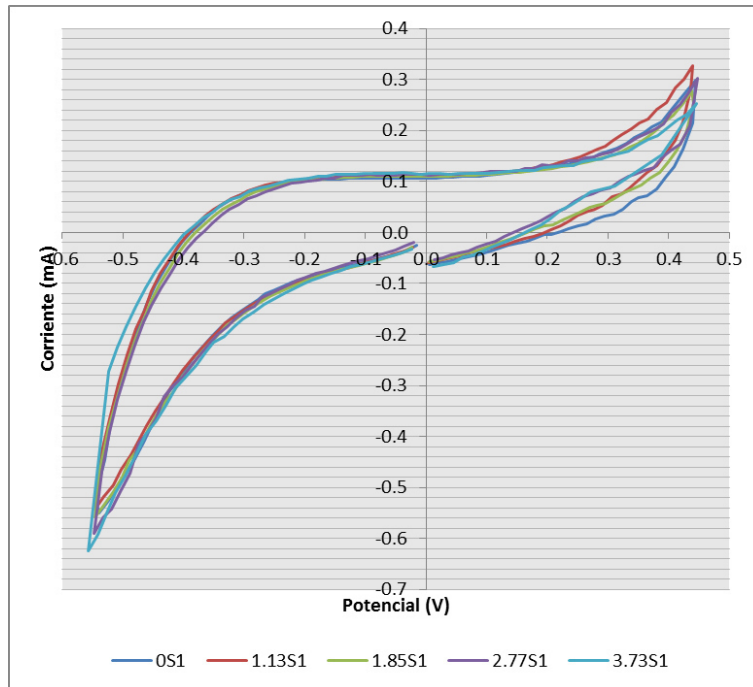
Tabla 6.2.5

Datos del ensayo 3.73SI.

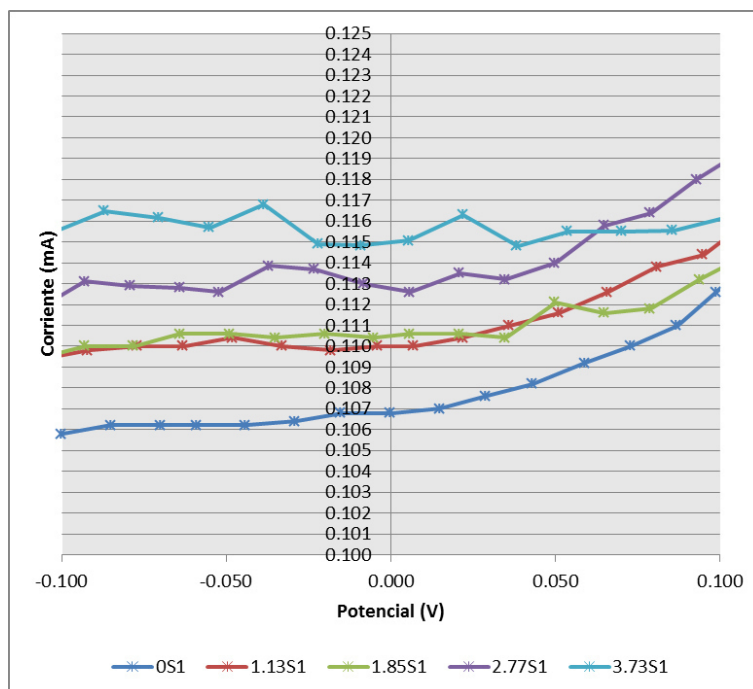
V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.024	-0.033	-0.415	-0.026	0.226	0.131
-0.041	-0.040	-0.399	-0.005	0.242	0.132
-0.057	-0.046	-0.383	0.013	0.257	0.139
-0.075	-0.052	-0.367	0.029	0.274	0.143
-0.091	-0.057	-0.352	0.040	0.289	0.145
-0.108	-0.062	-0.339	0.053	0.306	0.153
-0.124	-0.068	-0.322	0.064	0.321	0.155
-0.141	-0.074	-0.307	0.070	0.333	0.160
-0.156	-0.080	-0.292	0.082	0.351	0.172
-0.174	-0.088	-0.275	0.087	0.366	0.183
-0.189	-0.093	-0.259	0.092	0.382	0.190
-0.202	-0.101	-0.243	0.098	0.397	0.205
-0.219	-0.110	-0.227	0.102	0.414	0.220
-0.235	-0.120	-0.211	0.105	0.430	0.231
-0.252	-0.131	-0.195	0.107	0.446	0.253
-0.267	-0.141	-0.179	0.110	0.388	0.151
-0.285	-0.156	-0.166	0.110	0.312	0.091
-0.317	-0.184	-0.134	0.114	0.255	0.066
-0.333	-0.204	-0.118	0.115	0.238	0.053
-0.351	-0.216	-0.102	0.116	0.222	0.043
-0.363	-0.235	-0.087	0.117	0.205	0.026
-0.380	-0.261	-0.070	0.116	0.189	0.015
-0.396	-0.283	-0.055	0.116	0.173	0.006
-0.413	-0.305	-0.039	0.117	0.156	-0.005
-0.429	-0.340	-0.022	0.115	0.140	-0.013
-0.446	-0.370	-0.009	0.115	0.123	-0.022
-0.462	-0.397	0.006	0.115	0.108	-0.028
-0.477	-0.433	0.022	0.116	0.094	-0.037
-0.495	-0.475	0.039	0.115	0.077	-0.044
-0.512	-0.510	0.054	0.116	0.062	-0.049
-0.527	-0.550	0.070	0.116	0.045	-0.059
-0.540	-0.591	0.086	0.116	0.028	-0.062
-0.557	-0.625	0.101	0.116	0.011	-0.068
-0.508	-0.224	0.133	0.119		
-0.495	-0.185	0.150	0.121		
-0.479	-0.144	0.162	0.122		
-0.462	-0.108	0.178	0.121		
-0.447	-0.076	0.194	0.127		

Figura 6.2.1

Ensayos en medio salino - Prueba 1.



(a)



(b)

Nota: (a) Completa, (b) Aumentada

6.3 Datos de los Ensayos en Medio Ácido

Tabla 6.3.1

Datos del ensayo 0A1.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.004	-0.003	-0.444	-0.372	-0.429	-0.132	-0.015	0.337	0.277	0.275
-0.015	-0.022	-0.456	-0.398	-0.417	-0.110	-0.003	0.340	0.264	0.254
-0.028	-0.033	-0.468	-0.426	-0.406	-0.088	0.007	0.341	0.252	0.231
-0.040	-0.042	-0.480	-0.458	-0.395	-0.069	0.019	0.343	0.240	0.212
-0.052	-0.050	-0.492	-0.490	-0.384	-0.048	0.030	0.343	0.230	0.195
-0.065	-0.059	-0.504	-0.524	-0.372	-0.028	0.042	0.344	0.218	0.176
-0.076	-0.066	-0.516	-0.562	-0.363	-0.012	0.051	0.344	0.205	0.155
-0.088	-0.074	-0.528	-0.602	-0.351	0.005	0.062	0.345	0.194	0.134
-0.101	-0.083	-0.538	-0.648	-0.340	0.021	0.073	0.345	0.181	0.115
-0.111	-0.089	-0.550	-0.698	-0.329	0.038	0.086	0.345	0.170	0.098
-0.123	-0.097	-0.563	-0.752	-0.318	0.055	0.097	0.342	0.158	0.082
-0.136	-0.104	-0.575	-0.813	-0.306	0.071	0.108	0.341	0.145	0.068
-0.147	-0.112	-0.587	-0.879	-0.294	0.087	0.119	0.340	0.135	0.057
-0.160	-0.119	-0.599	-0.952	-0.283	0.103	0.131	0.339	0.123	0.045
-0.172	-0.127	-0.611	-1.033	-0.272	0.118	0.140	0.338	0.111	0.033
-0.184	-0.134	-0.623	-1.120	-0.262	0.130	0.151	0.338	0.099	0.023
-0.196	-0.141	-0.635	-1.197	-0.251	0.145	0.163	0.337	0.087	0.015
-0.208	-0.147	-0.645	-1.300	-0.239	0.160	0.174	0.338	0.074	0.006
-0.218	-0.155	-0.641	-1.240	-0.228	0.173	0.185	0.337	0.063	-0.003
-0.230	-0.162	-0.629	-1.129	-0.216	0.187	0.197	0.338	0.051	-0.011
-0.242	-0.169	-0.619	-1.029	-0.205	0.201	0.208	0.340	0.038	-0.019
-0.255	-0.177	-0.607	-0.938	-0.194	0.215	0.220	0.342	0.029	-0.025
-0.267	-0.184	-0.596	-0.853	-0.183	0.228	0.229	0.343	0.017	-0.031
-0.279	-0.192	-0.584	-0.771	-0.171	0.236	0.240	0.347	0.004	-0.039
-0.291	-0.200	-0.573	-0.693	-0.162	0.248	0.252	0.353		
-0.302	-0.209	-0.564	-0.638	-0.150	0.260	0.263	0.362		
-0.315	-0.218	-0.552	-0.574	-0.139	0.272	0.275	0.369		
-0.325	-0.227	-0.541	-0.513	-0.128	0.282	0.286	0.374		
-0.337	-0.236	-0.529	-0.457	-0.116	0.291	0.297	0.384		
-0.349	-0.247	-0.518	-0.411	-0.104	0.299	0.308	0.398		
-0.361	-0.258	-0.506	-0.361	-0.093	0.306	0.320	0.414		
-0.373	-0.271	-0.495	-0.317	-0.081	0.312	0.331	0.432		
-0.386	-0.285	-0.484	-0.279	-0.070	0.319	0.337	0.422		
-0.409	-0.317	-0.463	-0.218	-0.050	0.326	0.313	0.343		
-0.421	-0.332	-0.452	-0.188	-0.038	0.330	0.300	0.314		
-0.432	-0.351	-0.441	-0.159	-0.026	0.334	0.288	0.295		

Tabla 6.3.2

Datos del ensayo 1.13A1.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.007	-0.009	-0.491	-0.462	-0.339	0.039	0.125	0.356	0.078	0.007
-0.021	-0.024	-0.503	-0.498	-0.327	0.056	0.136	0.354	0.066	-0.001
-0.032	-0.034	-0.512	-0.530	-0.316	0.073	0.148	0.352	0.054	-0.007
-0.044	-0.044	-0.525	-0.572	-0.304	0.089	0.160	0.354	0.045	-0.015
-0.056	-0.052	-0.537	-0.621	-0.292	0.104	0.171	0.351	0.032	-0.022
-0.069	-0.060	-0.549	-0.668	-0.281	0.117	0.182	0.350	0.021	-0.030
-0.081	-0.068	-0.560	-0.725	-0.272	0.133	0.194	0.351	0.009	-0.035
-0.093	-0.075	-0.573	-0.786	-0.260	0.148	0.205	0.349	0.000	0.000
-0.103	-0.083	-0.585	-0.848	-0.248	0.162	0.215	0.352		
-0.115	-0.090	-0.597	-0.923	-0.237	0.177	0.227	0.351		
-0.139	-0.104	-0.619	-1.070	-0.213	0.206	0.250	0.357		
-0.150	-0.111	-0.630	-1.153	-0.203	0.218	0.261	0.360		
-0.163	-0.117	-0.642	-1.246	-0.191	0.231	0.273	0.367		
-0.175	-0.124	-0.644	-1.250	-0.178	0.245	0.284	0.369		
-0.186	-0.131	-0.632	-1.133	-0.170	0.254	0.295	0.376		
-0.199	-0.136	-0.621	-1.032	-0.158	0.267	0.307	0.389		
-0.208	-0.143	-0.610	-0.940	-0.145	0.278	0.317	0.395		
-0.233	-0.155	-0.586	-0.782	-0.123	0.300	0.337	0.400		
-0.244	-0.162	-0.577	-0.701	-0.112	0.307	0.325	0.347		
-0.257	-0.168	-0.565	-0.632	-0.101	0.317	0.313	0.318		
-0.268	-0.177	-0.554	-0.567	-0.088	0.324	0.300	0.291		
-0.281	-0.184	-0.542	-0.504	-0.079	0.329	0.289	0.269		
-0.292	-0.190	-0.530	-0.451	-0.067	0.336	0.277	0.247		
-0.302	-0.198	-0.519	-0.398	-0.056	0.341	0.265	0.228		
-0.314	-0.205	-0.508	-0.351	-0.044	0.346	0.255	0.212		
-0.326	-0.214	-0.496	-0.311	-0.032	0.350	0.243	0.195		
-0.338	-0.222	-0.484	-0.275	-0.021	0.353	0.231	0.176		
-0.349	-0.232	-0.475	-0.241	-0.009	0.357	0.220	0.161		
-0.361	-0.245	-0.463	-0.205	0.002	0.357	0.207	0.147		
-0.374	-0.255	-0.452	-0.174	0.011	0.360	0.195	0.131		
-0.386	-0.269	-0.441	-0.149	0.023	0.360	0.183	0.114		
-0.398	-0.284	-0.429	-0.118	0.035	0.360	0.172	0.100		
-0.408	-0.297	-0.417	-0.095	0.046	0.363	0.159	0.086		
-0.431	-0.332	-0.395	-0.051	0.070	0.360	0.138	0.059		
-0.444	-0.354	-0.383	-0.034	0.081	0.361	0.126	0.048		
-0.456	-0.377	-0.371	-0.014	0.092	0.359	0.114	0.037		
-0.468	-0.402	-0.361	0.003	0.104	0.358	0.102	0.026		
-0.479	-0.434	-0.350	0.022	0.114	0.356	0.090	0.015		

Tabla 6.3.3

Datos del ensayo 1.85A1.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.004	-0.002	-0.480	-0.435	-0.346	0.049	0.122	0.398	0.144	0.034
-0.016	-0.023	-0.491	-0.468	-0.335	0.066	0.134	0.396	0.133	0.024
-0.028	-0.035	-0.503	-0.506	-0.323	0.081	0.145	0.395	0.121	0.015
-0.040	-0.044	-0.515	-0.547	-0.314	0.097	0.157	0.393	0.109	0.006
-0.052	-0.052	-0.527	-0.592	-0.302	0.114	0.169	0.392	0.097	-0.001
-0.061	-0.060	-0.539	-0.643	-0.290	0.130	0.180	0.390	0.086	-0.009
-0.073	-0.069	-0.550	-0.698	-0.279	0.146	0.190	0.389	0.073	-0.017
-0.086	-0.076	-0.563	-0.758	-0.267	0.162	0.202	0.388	0.062	-0.023
-0.098	-0.084	-0.573	-0.814	-0.255	0.177	0.213	0.387		
-0.121	-0.099	-0.596	-0.964	-0.232	0.207	0.236	0.386		
-0.133	-0.106	-0.608	-1.050	-0.220	0.222	0.248	0.386		
-0.145	-0.114	-0.620	-1.142	-0.210	0.234	0.260	0.384		
-0.157	-0.119	-0.631	-1.244	-0.199	0.248	0.272	0.385		
-0.167	-0.126	-0.643	-1.353	-0.187	0.262	0.281	0.386		
-0.178	-0.132	-0.643	-1.334	-0.175	0.275	0.292	0.389		
-0.191	-0.138	-0.632	-1.228	-0.164	0.288	0.304	0.393		
-0.202	-0.143	-0.622	-1.110	-0.152	0.300	0.316	0.398		
-0.214	-0.149	-0.611	-1.000	-0.141	0.312	0.328	0.405		
-0.226	-0.155	-0.599	-0.899	-0.129	0.323	0.339	0.412		
-0.237	-0.161	-0.587	-0.807	-0.119	0.332	0.350	0.420		
-0.262	-0.171	-0.564	-0.642	-0.096	0.351	0.365	0.392		
-0.271	-0.178	-0.552	-0.570	-0.084	0.359	0.353	0.337		
-0.283	-0.184	-0.540	-0.504	-0.072	0.366	0.342	0.301		
-0.295	-0.191	-0.529	-0.454	-0.060	0.373	0.330	0.276		
-0.306	-0.198	-0.519	-0.398	-0.049	0.379	0.318	0.254		
-0.319	-0.205	-0.507	-0.348	-0.036	0.384	0.306	0.234		
-0.330	-0.214	-0.496	-0.301	-0.027	0.388	0.294	0.210		
-0.342	-0.222	-0.484	-0.258	-0.015	0.392	0.282	0.189		
-0.354	-0.232	-0.472	-0.220	-0.004	0.395	0.271	0.174		
-0.364	-0.242	-0.461	-0.185	0.007	0.398	0.261	0.159		
-0.376	-0.253	-0.450	-0.152	0.019	0.400	0.249	0.143		
-0.388	-0.266	-0.438	-0.123	0.031	0.401	0.237	0.129		
-0.399	-0.280	-0.426	-0.100	0.043	0.402	0.225	0.113		
-0.423	-0.314	-0.405	-0.051	0.066	0.402	0.202	0.087		
-0.434	-0.334	-0.393	-0.029	0.077	0.402	0.190	0.075		
-0.447	-0.357	-0.382	-0.008	0.087	0.401	0.178	0.064		
-0.458	-0.381	-0.369	0.011	0.099	0.401	0.166	0.055		
-0.468	-0.404	-0.358	0.030	0.111	0.399	0.156	0.044		

Tabla 6.3.4

Datos del ensayo 2.77A1.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.005	-0.009	-0.483	-0.466	-0.344	0.051	0.123	0.401	0.079	0.007
-0.018	-0.026	-0.494	-0.502	-0.335	0.067	0.135	0.399	0.067	-0.001
-0.030	-0.035	-0.506	-0.541	-0.322	0.085	0.146	0.398	0.056	-0.009
-0.042	-0.044	-0.518	-0.585	-0.311	0.102	0.158	0.397	0.043	-0.018
-0.051	-0.051	-0.530	-0.635	-0.299	0.119	0.168	0.396	0.031	-0.025
-0.063	-0.059	-0.541	-0.689	-0.288	0.136	0.179	0.397	0.019	-0.033
-0.075	-0.067	-0.553	-0.747	-0.276	0.153	0.191	0.396	0.007	-0.038
-0.087	-0.074	-0.565	-0.801	-0.265	0.169	0.203	0.397	0.000	0.000
-0.100	-0.083	-0.575	-0.871	-0.253	0.185	0.214	0.398		
-0.111	-0.090	-0.587	-0.948	-0.241	0.198	0.226	0.400		
-0.123	-0.098	-0.599	-1.031	-0.232	0.213	0.237	0.403		
-0.147	-0.112	-0.623	-1.217	-0.208	0.243	0.261	0.413		
-0.157	-0.119	-0.634	-1.319	-0.196	0.257	0.270	0.417		
-0.169	-0.126	-0.646	-1.420	-0.185	0.271	0.281	0.426		
-0.180	-0.132	-0.640	-1.372	-0.173	0.285	0.293	0.435		
-0.192	-0.138	-0.629	-1.247	-0.162	0.297	0.305	0.443		
-0.204	-0.145	-0.620	-1.130	-0.150	0.309	0.317	0.458		
-0.216	-0.152	-0.608	-1.020	-0.139	0.319	0.329	0.474		
-0.228	-0.159	-0.596	-0.918	-0.129	0.330	0.333	0.438		
-0.252	-0.171	-0.573	-0.737	-0.105	0.349	0.309	0.347		
-0.261	-0.176	-0.561	-0.657	-0.094	0.358	0.299	0.312		
-0.273	-0.183	-0.549	-0.583	-0.082	0.366	0.287	0.286		
-0.285	-0.192	-0.538	-0.527	-0.070	0.373	0.276	0.263		
-0.297	-0.199	-0.528	-0.464	-0.059	0.378	0.264	0.240		
-0.309	-0.206	-0.516	-0.407	-0.047	0.384	0.253	0.218		
-0.321	-0.215	-0.505	-0.355	-0.037	0.389	0.240	0.201		
-0.333	-0.224	-0.493	-0.307	-0.025	0.392	0.228	0.182		
-0.344	-0.234	-0.481	-0.264	-0.013	0.395	0.217	0.165		
-0.356	-0.243	-0.470	-0.225	-0.003	0.398	0.205	0.151		
-0.366	-0.254	-0.459	-0.189	0.009	0.401	0.195	0.133		
-0.390	-0.282	-0.435	-0.126	0.032	0.403	0.172	0.102		
-0.402	-0.298	-0.425	-0.101	0.044	0.404	0.160	0.088		
-0.413	-0.316	-0.414	-0.076	0.056	0.404	0.147	0.074		
-0.425	-0.335	-0.403	-0.051	0.065	0.404	0.136	0.062		
-0.437	-0.357	-0.391	-0.027	0.077	0.404	0.123	0.048		
-0.450	-0.381	-0.380	-0.006	0.088	0.403	0.113	0.036		
-0.459	-0.403	-0.367	0.014	0.100	0.402	0.101	0.027		
-0.470	-0.432	-0.355	0.033	0.112	0.401	0.090	0.018		

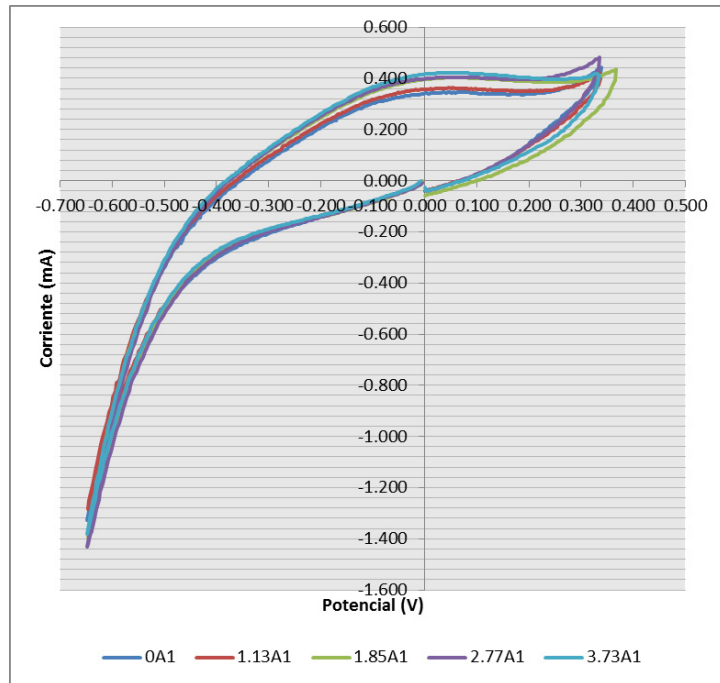
Tabla 6.3.5

Datos del ensayo 3.73A1.

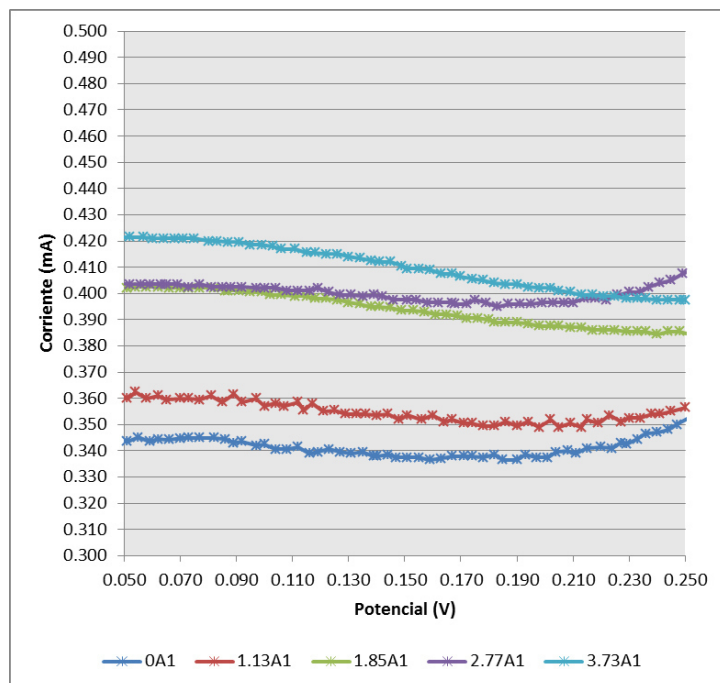
V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.008	-0.001	-0.484	-0.439	-0.344	0.061	0.126	0.415	0.072	0.000
-0.018	-0.018	-0.495	-0.474	-0.333	0.079	0.138	0.413	0.060	-0.007
-0.029	-0.030	-0.507	-0.512	-0.321	0.096	0.149	0.411	0.049	-0.015
-0.042	-0.039	-0.519	-0.555	-0.309	0.114	0.159	0.409	0.036	-0.022
-0.053	-0.048	-0.529	-0.594	-0.297	0.130	0.170	0.407	0.025	-0.029
-0.066	-0.056	-0.541	-0.644	-0.286	0.146	0.182	0.404	0.013	-0.035
-0.077	-0.064	-0.553	-0.700	-0.275	0.163	0.194	0.403	0.003	-0.041
-0.089	-0.072	-0.565	-0.761	-0.263	0.176	0.205	0.401	0.000	0.000
-0.113	-0.086	-0.588	-0.902	-0.241	0.208	0.229	0.398		
-0.123	-0.093	-0.600	-0.982	-0.230	0.224	0.240	0.398		
-0.135	-0.101	-0.612	-1.069	-0.218	0.239	0.250	0.398		
-0.146	-0.107	-0.624	-1.166	-0.206	0.254	0.262	0.398		
-0.159	-0.114	-0.633	-1.246	-0.195	0.268	0.273	0.398		
-0.171	-0.121	-0.645	-1.352	-0.182	0.282	0.285	0.399		
-0.182	-0.127	-0.641	-1.299	-0.172	0.296	0.296	0.401		
-0.194	-0.133	-0.630	-1.176	-0.160	0.306	0.308	0.404		
-0.206	-0.140	-0.618	-1.064	-0.150	0.319	0.320	0.411		
-0.218	-0.145	-0.607	-0.958	-0.139	0.331	0.332	0.420		
-0.239	-0.156	-0.583	-0.770	-0.115	0.354	0.317	0.309		
-0.251	-0.162	-0.572	-0.687	-0.103	0.363	0.305	0.275		
-0.263	-0.169	-0.562	-0.624	-0.091	0.372	0.292	0.251		
-0.275	-0.174	-0.550	-0.552	-0.080	0.380	0.281	0.228		
-0.286	-0.181	-0.538	-0.488	-0.068	0.389	0.269	0.203		
-0.299	-0.189	-0.526	-0.428	-0.056	0.394	0.258	0.185		
-0.310	-0.195	-0.515	-0.374	-0.046	0.399	0.245	0.168		
-0.322	-0.202	-0.503	-0.324	-0.035	0.405	0.234	0.151		
-0.332	-0.210	-0.491	-0.279	-0.023	0.410	0.222	0.138		
-0.344	-0.219	-0.480	-0.238	-0.011	0.414	0.212	0.128		
-0.355	-0.229	-0.469	-0.201	0.000	0.417	0.201	0.116		
-0.367	-0.239	-0.459	-0.172	0.011	0.419	0.189	0.102		
-0.380	-0.251	-0.447	-0.140	0.023	0.420	0.177	0.089		
-0.392	-0.265	-0.435	-0.111	0.035	0.421	0.165	0.078		
-0.403	-0.279	-0.424	-0.084	0.046	0.422	0.153	0.067		
-0.414	-0.296	-0.412	-0.059	0.057	0.422	0.141	0.054		
-0.436	-0.332	-0.389	-0.013	0.080	0.420	0.118	0.036		
-0.448	-0.354	-0.378	0.007	0.091	0.420	0.107	0.026		
-0.460	-0.380	-0.365	0.023	0.103	0.418	0.096	0.018		
-0.471	-0.408	-0.356	0.042	0.115	0.416	0.085	0.009		

Figura 6.3.1

Ensayos en medio ácido - Prueba 1.



(a)



(b)

Nota: (a) Completa, (b) Aumentada

6.4 Datos de los Ensayos en Medio Básico

Tabla 6.4.1

Datos del ensayo 0B1.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.035	0.000	-0.470	-0.013	-0.290	-0.004	0.146	0.005	0.414	0.006
-0.043	0.000	-0.485	-0.013	-0.275	-0.004	0.154	0.005	0.407	0.005
-0.051	0.000	-0.493	-0.013	-0.268	-0.003	0.170	0.006	0.392	0.005
-0.066	-0.001	-0.509	-0.014	-0.252	-0.003	0.177	0.006	0.384	0.005
-0.074	-0.001	-0.516	-0.014	-0.244	-0.002	0.193	0.006	0.368	0.004
-0.089	-0.001	-0.532	-0.015	-0.229	-0.002	0.200	0.006	0.360	0.004
-0.098	-0.001	-0.540	-0.015	-0.222	-0.002	0.215	0.007	0.345	0.004
-0.113	-0.002	-0.555	-0.016	-0.206	-0.001	0.223	0.007	0.338	0.004
-0.121	-0.002	-0.563	-0.016	-0.199	-0.001	0.238	0.007	0.322	0.004
-0.137	-0.002	-0.579	-0.017	-0.183	-0.001	0.246	0.007	0.314	0.004
-0.144	-0.002	-0.586	-0.017	-0.175	0.000	0.261	0.007	0.298	0.003
-0.160	-0.002	-0.596	-0.018	-0.160	0.000	0.269	0.007	0.291	0.003
-0.168	-0.003	-0.589	-0.017	-0.152	0.000	0.284	0.007	0.275	0.003
-0.183	-0.003	-0.574	-0.017	-0.144	0.000	0.291	0.007	0.268	0.003
-0.191	-0.003	-0.566	-0.016	-0.129	0.000	0.307	0.008	0.252	0.002
-0.206	-0.004	-0.550	-0.016	-0.121	0.001	0.315	0.008	0.244	0.002
-0.214	-0.004	-0.543	-0.015	-0.106	0.001	0.330	0.008	0.229	0.002
-0.230	-0.004	-0.527	-0.015	-0.099	0.001	0.337	0.008	0.221	0.002
-0.237	-0.004	-0.520	-0.015	-0.083	0.001	0.353	0.008	0.205	0.002
-0.253	-0.005	-0.504	-0.014	-0.075	0.001	0.360	0.008	0.198	0.002
-0.261	-0.005	-0.497	-0.014	-0.060	0.001	0.376	0.009		
-0.277	-0.006	-0.481	-0.013	-0.052	0.002	0.384	0.009		
-0.299	-0.006	-0.459	-0.011	-0.029	0.002	0.406	0.010		
-0.307	-0.007	-0.451	-0.011	-0.013	0.002	0.421	0.010		
-0.323	-0.007	-0.435	-0.010	-0.006	0.002	0.429	0.010		
-0.331	-0.008	-0.428	-0.010	0.009	0.003	0.445	0.010		
-0.346	-0.008	-0.412	-0.009	0.017	0.003	0.452	0.011		
-0.354	-0.008	-0.405	-0.009	0.032	0.003	0.468	0.011		
-0.369	-0.009	-0.390	-0.009	0.040	0.003	0.475	0.011		
-0.377	-0.009	-0.382	-0.008	0.054	0.003	0.490	0.012		
-0.393	-0.010	-0.367	-0.008	0.063	0.004	0.497	0.012		
-0.401	-0.010	-0.359	-0.007	0.077	0.004	0.484	0.010		
-0.416	-0.011	-0.344	-0.007	0.086	0.004	0.476	0.010		
-0.423	-0.011	-0.336	-0.006	0.101	0.004	0.461	0.009		
-0.447	-0.012	-0.313	-0.005	0.123	0.005	0.438	0.007		
-0.462	-0.012	-0.298	-0.004	0.131	0.005	0.430	0.006		

Tabla 6.4.2

Datos del ensayo 1.13B1.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.057	0.000	-0.532	-0.015	-0.200	-0.001	0.267	0.011	0.255	0.006
-0.064	0.000	-0.540	-0.014	-0.184	0.000	0.282	0.011	0.246	0.005
-0.080	-0.001	-0.554	-0.014	-0.177	0.000	0.290	0.011	0.231	0.005
-0.088	-0.001	-0.562	-0.016	-0.161	0.000	0.305	0.011	0.223	0.005
-0.104	-0.001	-0.578	-0.016	-0.153	0.001	0.313	0.012	0.206	0.005
-0.111	-0.002	-0.585	-0.016	-0.139	0.001	0.329	0.012	0.200	0.004
-0.127	-0.002	-0.597	-0.016	-0.130	0.001	0.336	0.012	0.184	0.004
-0.135	-0.002	-0.589	-0.016	-0.115	0.002	0.352	0.012	0.175	0.004
-0.150	-0.003	-0.574	-0.015	-0.107	0.002	0.359	0.013		
-0.175	-0.003	-0.551	-0.015	-0.084	0.003	0.383	0.013		
-0.182	-0.004	-0.544	-0.014	-0.069	0.003	0.397	0.013		
-0.198	-0.004	-0.528	-0.013	-0.060	0.003	0.406	0.013		
-0.205	-0.004	-0.520	-0.014	-0.045	0.004	0.420	0.013		
-0.221	-0.005	-0.505	-0.013	-0.038	0.004	0.426	0.014		
-0.229	-0.005	-0.497	-0.012	-0.023	0.004	0.443	0.014		
-0.244	-0.006	-0.482	-0.012	-0.015	0.004	0.451	0.014		
-0.252	-0.006	-0.474	-0.012	0.001	0.005	0.465	0.014		
-0.268	-0.006	-0.459	-0.011	0.007	0.005	0.471	0.015		
-0.275	-0.006	-0.452	-0.011	0.022	0.005	0.489	0.015		
-0.298	-0.007	-0.429	-0.010	0.047	0.006	0.486	0.015		
-0.315	-0.008	-0.414	-0.009	0.052	0.006	0.479	0.014		
-0.322	-0.008	-0.406	-0.009	0.070	0.006	0.463	0.013		
-0.337	-0.008	-0.390	-0.009	0.077	0.007	0.454	0.013		
-0.345	-0.009	-0.382	-0.008	0.092	0.007	0.440	0.013		
-0.360	-0.009	-0.368	-0.007	0.101	0.007	0.432	0.012		
-0.369	-0.009	-0.359	-0.007	0.115	0.008	0.416	0.011		
-0.384	-0.010	-0.344	-0.007	0.122	0.007	0.410	0.011		
-0.392	-0.010	-0.338	-0.006	0.137	0.008	0.394	0.011		
-0.407	-0.010	-0.321	-0.006	0.145	0.008	0.386	0.010		
-0.414	-0.011	-0.315	-0.005	0.160	0.008	0.369	0.010		
-0.430	-0.011	-0.299	-0.005	0.168	0.009	0.363	0.009		
-0.439	-0.011	-0.290	-0.004	0.183	0.009	0.347	0.009		
-0.453	-0.012	-0.277	-0.004	0.191	0.009	0.339	0.009		
-0.462	-0.012	-0.268	-0.003	0.206	0.009	0.324	0.008		
-0.469	-0.012	-0.253	-0.003	0.213	0.010	0.316	0.008		
-0.484	-0.013	-0.245	-0.002	0.229	0.010	0.299	0.007		
-0.508	-0.013	-0.222	-0.002	0.252	0.010	0.278	0.007		
-0.515	-0.014	-0.206	-0.001	0.261	0.011	0.269	0.007		

Tabla 6.4.3

Datos del ensayo 1.85B1.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.072	0.000	-0.549	-0.015	-0.183	0.000	0.282	0.009	0.239	0.004
-0.082	0.000	-0.557	-0.015	-0.167	0.000	0.297	0.010	0.231	0.004
-0.097	-0.001	-0.573	-0.016	-0.160	0.001	0.305	0.009	0.215	0.004
-0.105	-0.001	-0.581	-0.016	-0.144	0.001	0.320	0.010	0.207	0.004
-0.120	-0.001	-0.596	-0.017	-0.137	0.001	0.328	0.010	0.192	0.003
-0.129	-0.001	-0.595	-0.017	-0.121	0.001	0.343	0.010	0.184	0.003
-0.137	-0.002	-0.579	-0.016	-0.113	0.002	0.351	0.011	0.169	0.003
-0.151	-0.002	-0.571	-0.016	-0.099	0.002	0.365	0.011	0.161	0.003
-0.160	-0.002	-0.556	-0.014	-0.091	0.002	0.373	0.011		
-0.175	-0.003	-0.548	-0.015	-0.075	0.002	0.388	0.011		
-0.199	-0.003	-0.525	-0.014	-0.053	0.003	0.411	0.011		
-0.206	-0.003	-0.509	-0.013	-0.044	0.003	0.418	0.012		
-0.223	-0.004	-0.502	-0.013	-0.037	0.003	0.434	0.012		
-0.230	-0.004	-0.487	-0.013	-0.021	0.004	0.441	0.011		
-0.245	-0.004	-0.480	-0.012	-0.014	0.004	0.457	0.012		
-0.255	-0.005	-0.465	-0.012	0.000	0.004	0.465	0.012		
-0.269	-0.005	-0.458	-0.011	0.007	0.004	0.480	0.013		
-0.277	-0.005	-0.442	-0.011	0.024	0.004	0.487	0.013		
-0.292	-0.006	-0.434	-0.010	0.030	0.005	0.496	0.013		
-0.300	-0.006	-0.418	-0.009	0.046	0.005	0.487	0.012		
-0.316	-0.007	-0.411	-0.009	0.053	0.005	0.472	0.011		
-0.325	-0.007	-0.396	-0.008	0.069	0.005	0.463	0.011		
-0.346	-0.008	-0.373	-0.008	0.093	0.006	0.441	0.010		
-0.364	-0.008	-0.365	-0.007	0.100	0.006	0.425	0.010		
-0.371	-0.008	-0.350	-0.006	0.115	0.006	0.417	0.009		
-0.387	-0.009	-0.343	-0.006	0.122	0.006	0.403	0.009		
-0.394	-0.009	-0.327	-0.005	0.136	0.007	0.394	0.009		
-0.410	-0.010	-0.320	-0.005	0.146	0.007	0.378	0.008		
-0.418	-0.010	-0.304	-0.004	0.161	0.007	0.371	0.008		
-0.433	-0.011	-0.296	-0.004	0.168	0.007	0.355	0.007		
-0.441	-0.010	-0.282	-0.003	0.183	0.008	0.347	0.007		
-0.457	-0.012	-0.274	-0.003	0.191	0.007	0.332	0.007		
-0.465	-0.012	-0.259	-0.002	0.205	0.008	0.324	0.007		
-0.479	-0.012	-0.252	-0.002	0.213	0.008	0.309	0.006		
-0.487	-0.013	-0.236	-0.002	0.229	0.008	0.301	0.006		
-0.511	-0.014	-0.213	-0.001	0.251	0.009	0.277	0.005		
-0.526	-0.013	-0.205	-0.001	0.258	0.009	0.262	0.005		
-0.533	-0.014	-0.190	0.000	0.273	0.009	0.254	0.005		

Tabla 6.4.4

Datos del ensayo 2.77B1.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.051	0.000	-0.534	-0.018	-0.203	-0.001	0.264	0.009	0.266	0.005
-0.059	0.000	-0.550	-0.018	-0.188	0.000	0.272	0.009	0.258	0.005
-0.075	-0.001	-0.558	-0.019	-0.181	0.000	0.288	0.009	0.243	0.004
-0.083	-0.001	-0.574	-0.020	-0.166	0.000	0.294	0.009	0.235	0.004
-0.100	-0.001	-0.582	-0.020	-0.158	0.000	0.310	0.010	0.216	0.004
-0.106	-0.001	-0.596	-0.020	-0.143	0.001	0.316	0.010	0.210	0.004
-0.123	-0.002	-0.594	-0.020	-0.135	0.001	0.332	0.010	0.196	0.003
-0.132	-0.002	-0.578	-0.019	-0.119	0.001	0.338	0.010	0.186	0.003
-0.147	-0.003	-0.571	-0.019	-0.111	0.002	0.354	0.011		
-0.155	-0.003	-0.557	-0.018	-0.096	0.002	0.362	0.011		
-0.179	-0.003	-0.532	-0.016	-0.073	0.002	0.385	0.011		
-0.193	-0.004	-0.526	-0.016	-0.067	0.002	0.400	0.012		
-0.203	-0.004	-0.510	-0.016	-0.051	0.003	0.406	0.012		
-0.218	-0.005	-0.502	-0.015	-0.044	0.003	0.421	0.012		
-0.226	-0.005	-0.488	-0.014	-0.028	0.003	0.427	0.012		
-0.243	-0.005	-0.481	-0.014	-0.021	0.003	0.444	0.013		
-0.250	-0.006	-0.465	-0.013	-0.005	0.004	0.452	0.013		
-0.265	-0.006	-0.458	-0.012	0.001	0.004	0.467	0.013		
-0.272	-0.006	-0.443	-0.012	0.017	0.004	0.475	0.013		
-0.291	-0.007	-0.436	-0.011	0.024	0.004	0.489	0.014		
-0.298	-0.007	-0.421	-0.011	0.040	0.005	0.495	0.014		
-0.313	-0.008	-0.412	-0.010	0.047	0.005	0.487	0.013		
-0.320	-0.008	-0.399	-0.010	0.061	0.005	0.478	0.013		
-0.337	-0.009	-0.391	-0.009	0.068	0.005	0.463	0.012		
-0.344	-0.009	-0.376	-0.009	0.083	0.005	0.454	0.011		
-0.361	-0.010	-0.367	-0.008	0.091	0.006	0.439	0.011		
-0.385	-0.011	-0.346	-0.007	0.115	0.006	0.415	0.010		
-0.392	-0.011	-0.332	-0.006	0.129	0.006	0.406	0.009		
-0.408	-0.012	-0.323	-0.006	0.136	0.006	0.392	0.009		
-0.416	-0.012	-0.316	-0.005	0.151	0.007	0.383	0.008		
-0.430	-0.013	-0.301	-0.005	0.160	0.007	0.376	0.008		
-0.439	-0.014	-0.293	-0.004	0.175	0.007	0.359	0.008		
-0.456	-0.015	-0.278	-0.004	0.182	0.007	0.352	0.007		
-0.464	-0.015	-0.271	-0.003	0.195	0.007	0.336	0.007		
-0.479	-0.015	-0.256	-0.003	0.203	0.008	0.330	0.006		
-0.487	-0.016	-0.248	-0.002	0.221	0.008	0.313	0.006		
-0.511	-0.017	-0.225	-0.002	0.241	0.008	0.290	0.006		
-0.526	-0.017	-0.211	-0.001	0.249	0.008	0.281	0.005		

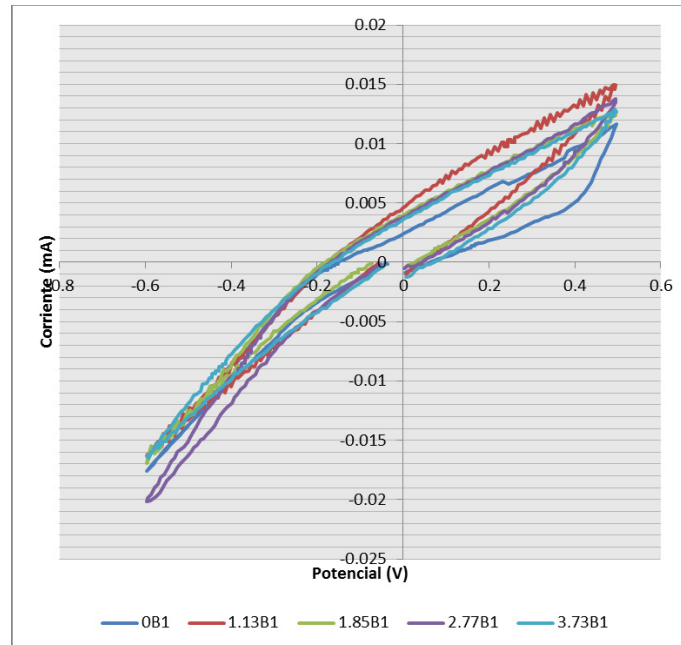
Tabla 6.4.5

Datos del ensayo 3.73B1.

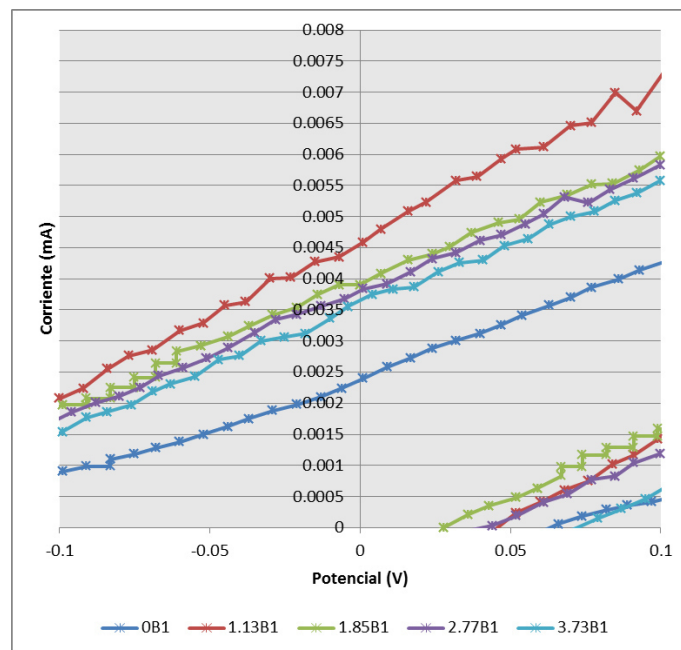
V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.042	0.000	-0.537	-0.014	-0.209	-0.001	0.245	0.008	0.288	0.005
-0.050	0.000	-0.553	-0.015	-0.195	-0.001	0.252	0.008	0.280	0.005
-0.067	-0.001	-0.560	-0.015	-0.188	0.000	0.268	0.009	0.265	0.004
-0.074	-0.001	-0.578	-0.016	-0.172	0.000	0.275	0.009	0.257	0.004
-0.090	-0.001	-0.585	-0.016	-0.166	0.000	0.289	0.009	0.239	0.004
-0.099	-0.002	-0.597	-0.016	-0.149	0.000	0.296	0.009	0.232	0.004
-0.116	-0.002	-0.590	-0.016	-0.143	0.000	0.311	0.009	0.215	0.003
-0.123	-0.002	-0.576	-0.015	-0.129	0.001	0.318	0.010	0.208	0.003
-0.140	-0.003	-0.568	-0.015	-0.120	0.001	0.333	0.010		
-0.148	-0.003	-0.553	-0.014	-0.106	0.001	0.341	0.010		
-0.172	-0.004	-0.531	-0.013	-0.084	0.002	0.361	0.010		
-0.189	-0.004	-0.522	-0.013	-0.076	0.002	0.377	0.011		
-0.197	-0.004	-0.509	-0.012	-0.063	0.002	0.384	0.011		
-0.213	-0.005	-0.501	-0.012	-0.055	0.002	0.399	0.011		
-0.222	-0.005	-0.487	-0.011	-0.040	0.003	0.406	0.011		
-0.238	-0.005	-0.480	-0.011	-0.033	0.003	0.420	0.011		
-0.244	-0.005	-0.466	-0.010	-0.018	0.003	0.427	0.011		
-0.262	-0.006	-0.457	-0.010	-0.010	0.003	0.443	0.012		
-0.270	-0.006	-0.444	-0.010	0.004	0.004	0.449	0.012		
-0.294	-0.007	-0.421	-0.009	0.026	0.004	0.472	0.012		
-0.309	-0.007	-0.413	-0.008	0.033	0.004	0.486	0.013		
-0.318	-0.007	-0.406	-0.008	0.048	0.005	0.493	0.013		
-0.335	-0.008	-0.392	-0.007	0.056	0.005	0.490	0.013		
-0.343	-0.008	-0.385	-0.007	0.070	0.005	0.482	0.012		
-0.358	-0.009	-0.370	-0.007	0.078	0.005	0.465	0.011		
-0.366	-0.009	-0.362	-0.006	0.092	0.005	0.458	0.011		
-0.383	-0.009	-0.348	-0.006	0.100	0.006	0.450	0.010		
-0.392	-0.009	-0.341	-0.005	0.113	0.006	0.433	0.010		
-0.407	-0.010	-0.326	-0.005	0.121	0.006	0.425	0.009		
-0.415	-0.010	-0.319	-0.005	0.136	0.006	0.408	0.009		
-0.432	-0.011	-0.304	-0.004	0.143	0.006	0.401	0.008		
-0.456	-0.012	-0.282	-0.003	0.165	0.007	0.378	0.008		
-0.464	-0.012	-0.275	-0.003	0.179	0.007	0.361	0.007		
-0.480	-0.012	-0.260	-0.003	0.186	0.007	0.352	0.007		
-0.488	-0.013	-0.253	-0.002	0.202	0.007	0.337	0.006		
-0.504	-0.013	-0.238	-0.002	0.208	0.008	0.329	0.006		
-0.512	-0.014	-0.231	-0.002	0.223	0.008	0.314	0.006		
-0.528	-0.014	-0.216	-0.001	0.231	0.008	0.304	0.005		

Figura 6.4.1

Ensayos en medio básico - Prueba 1.



(a)



(b)

Nota: (a) Completa, (b) Aumentada

6.5 Resultados

Para obtener los resultados como densidad de corriente es necesario la corriente total y el área expuesta. La corriente total se obtiene de las gráficas, específicamente en la zona de pasivación de las muestras (zona aumentada en las gráficas de los apartados 6.2, 6.3 y 6.4). Por lo tanto para un mismo valor de potencial se toma las intensidades de corriente en cada ensayo a diferente frecuencia. Para los medios básico y salino se toma la corriente en el potencial de 0V pero para el medio ácido se toma en el valor de 0.15V; de esta manera se reemplaza en la siguiente ecuación:

$$i_{cor} = \frac{I_{cor}}{A}$$

Donde:

i_{cor} = densidad de corriente (en mA/cm²).

I_{cor} = corriente anódica total (en mA).

A = área expuesta del espécimen (en cm²).

El área expuesta se lo obtiene a partir de los datos de la tabla 6.1.2 ya que el área de la superficie expuesta es $2.\pi$ x Diámetro x longitud expuesta.

Según lo expuesto en el estándar ASTM G102 - 89(2015), es correcto expresar la velocidad de corrosión como la densidad de corriente generada por las reacciones químicas en la superficie del material expuesto; entonces se tienen los resultados mostrados en las tablas 6.5.1 y 6.5.2.

Tabla 6.5.1

Velocidad de corrosión en mA/cm² para cada probeta.

	0 rps	1.13 rps	1.85 rps	2.77 rps	3.73 rps
Ácido 1	3.58	3.75	4.18	4.22	4.35
Ácido 2	3.64	3.79	4.00	4.24	4.34
Ácido 3	3.51	3.80	4.01	4.31	4.42
Salino 1	1.14	1.17	1.17	1.20	1.22
Salino 2	1.14	1.16	1.17	1.18	1.21
Salino 3	1.13	1.15	1.15	1.18	1.18
Básico 1	0.03	0.05	0.04	0.04	0.04
Básico 2	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04
Básico 3	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04

Tabla 6.5.2

Velocidad de corrosión en mA/cm² promedio.

	Ácido	Salino	Básico
0 rps	3.58	1.13	0.02
1.13 rps	3.78	1.16	0.04
1.85 rps	4.06	1.16	0.04
2.77 rps	4.25	1.19	0.04
3.73 rps	4.37	1.20	0.04
PROMEDIO	4.01	1.17	0.04

Figura 6.5.1

Gráficas comparativas de los 3 medios agresivos.

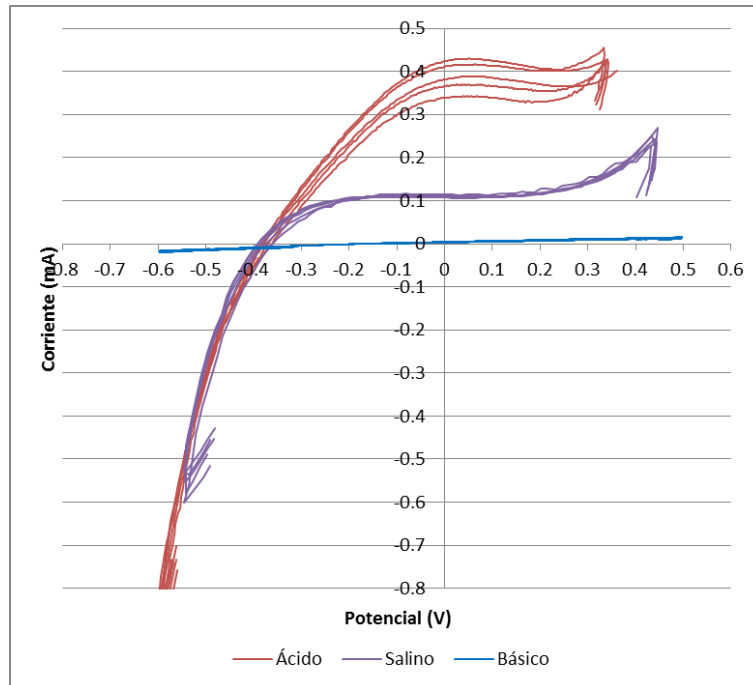
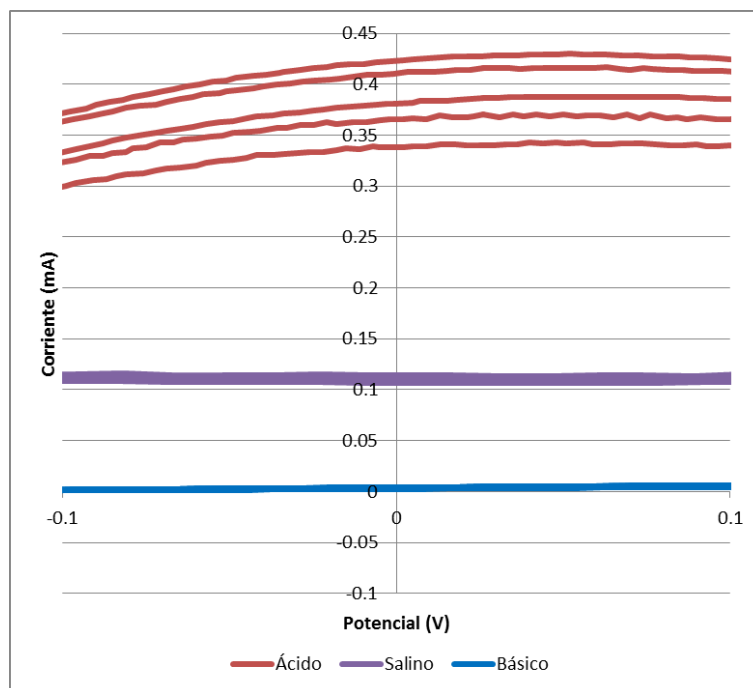


Figura 6.5.2

Gráficas comparativas (aumentada) de los 3 medios agresivos.



7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Analizando los datos y las gráficas del apartado 6.2 (medio salino) se puede decir que el material se corroe e incluso se pasiva en cierto punto lo cual es beneficioso para la corrosión del material ya que la pasivación disminuye la velocidad de corrosión sustancialmente; no obstante, no la elimina.

Analizando los datos y las gráficas del apartado 6.3 (medio ácido) se puede decir que el material se corroe a mayor medida que en el medio salino y que la pasivación ocurre, pero en un rango de potenciales menor lo que a su vez permite mayor corrosión y se puede evidenciar que los valores de densidad de corriente son mayores a los valores para el medio salino.

Analizando los datos y las gráficas del apartado 6.4 (medio básico) se puede decir que el material utilizado no se pasiva en este medio y su corrosión es prácticamente imperceptible ya que los valores mostrados en las tablas se encuentran muy por debajo de los valores de los otros dos medios.

Analizando la tabla 6.5.2 y las figuras 6.5.1 y 6.5.2 se evidencia claramente que la velocidad de corrosión en el medio ácido es muy elevada comparada con el medio salino y que estas dos son mucho más elevadas que la velocidad en el medio básico ya que en este último medio es casi nula. Cabe resaltar que la velocidad de corrosión en medio ácido es 100 veces mayor que la velocidad de corrosión en medio básico.

De igual manera al evaluar todas las gráficas en conjunto de los apartados 6.2, 6.3, 6.4 y 11.3 y la tabla 6.5.2 se evidencia que la velocidad de corrosión aumenta con el número de ciclos de tensión aplicados; siendo el menor valor de frecuencia 0 hz (tensión continua) siempre inferior a las demás frecuencias de un mismo ensayo.

De igual manera, los resultados obtenidos para el medio básico no siempre cumplen con lo establecido en el párrafo anterior, debido a la pequeña magnitud de los resultados, ya que al ser tan pequeños son susceptibles a errores tanto de medición como externos que en los demás medios son errores despreciables.

En las gráficas aumentadas del apartado 6.2, 6.3 y 6.4, se aprecian pequeños picos, valores generados por el movimiento de la probeta al momento de aplicarse la tensión por acción de la caída de la pesa al otro extremo del brazo, este golpe ocasiona una ligera desviación en la medición, no obstante, no es perjudicial para el análisis de resultados.

Por último, se analizan las figuras del anexo 11.2 donde mediante microscopía óptica y electrónica se logra evidenciar los fenómenos de corrosión que se da lugar en la superficie del material evidenciando en todas, la formación de un mayor número de fisuras que en las probetas sin haber sido sometidas. Es importante resaltar que este método es cualitativo ya que para cuantificar las grietas se debería abarcar un área mucho mayor, lo que precisamente no se busca en un ensayo de microscopía.

Los resultados obtenidos de velocidad de corrosión explican cómo se incrementa la corrosión en los brackets dentales, es decir que por la tensión que se ejerce en el tratamiento de ortodoncia y el medio agresivo al cual está expuesto, siendo los alimentos ácidos lo más perjudiciales. Esto se relaciona directamente con una posible reacción que sufre el cuerpo humano frente al níquel, tener en cuenta que el níquel en polvo es considerado “tóxico, irritante, peligroso” y “riesgo mutágeno” además de haberse comprobado que el acero inoxidable en algunos pacientes causa agrandamiento por lo que es muy probable que la corrosión de los brackets esté agravando la situación de pacientes que sufren de esta alergia sin que los pacientes se estén dando cuenta.

8 CONCLUSIONES

- La velocidad de corrosión de los metales utilizados en las estructuras de los brackets frente a la tensión aplicada, para un medio ácido de pH 1.80, es de 3.58 mA/cm² para una frecuencia de aplicación de tensión de 0 hz (tensión continua) y aumenta gradualmente hasta 4.37 mA/cm² para una frecuencia de 3.73 hz.
- La velocidad de corrosión de los metales utilizados en las estructuras de los brackets frente a la tensión aplicada, para un medio básico de pH 9.71, es de 0.02 mA/cm² para una frecuencia de aplicación de tensión de 0 hz (tensión continua) y aumenta hasta 0.04 mA/cm² para una frecuencia de 3.73 hz.
- La velocidad de corrosión de los metales utilizados en las estructuras de los brackets frente a la tensión aplicada, para un medio salino de concentración 0.0342M de NaCl, es de 1.13 mA/cm² para una frecuencia de aplicación de tensión de 0 hz (tensión continua) y aumenta gradualmente hasta 1.20 mA/cm² para una frecuencia de 3.73 hz.
- Se determinó que el grado de corrosión del material que conforma la estructura de los Brackets en los medios agresivos, es considerable para los medios ácido y salino y despreciable para el medio básico siendo el medio ácido el más nocivo para el material.
- Se determinó que la tensión intermitente aplicada al material, acelera considerablemente el proceso de corrosión frente a la corrosión bajo tensión continua, y su comportamiento frente a la variación de la frecuencia de aplicación de la tensión es directamente proporcional ya que mediante aumenta la frecuencia de aplicación de la tensión, aumenta la corrosión del material.
- Se verificó la corrosión inducida al material de los brackets mediante el método de microscopía óptica y electrónica ya que estas revelan las deformaciones o el agrietamiento que sufre la superficie del material tras ser sometido a corrosión bajo tensión continua e intermitente.

9 RECOMENDACIONES

- Seguir con la línea de investigación añadiendo otras variables como lo son la fricción entre el arco de bracket y el bracket en sí, temperatura ya que la temperatura corporal es de 37°C e incluso añadir la variable de corrosión biológica porque la cavidad oral humana posee sus propios microorganismos que pueden incrementar la velocidad de corrosión.
- Evaluar otros valores de pH así como variaciones en la tensión aplicada a fin de evidenciar el comportamiento de la corrosión mediante el aumento o la disminución del pH de la solución o la tensión aplicada.
- Realizar las mismas evaluaciones para otros materiales usados en las estructuras de los brackets como lo son el titanio u otros.
- Realizar pruebas en el tiempo con mediciones de curvas en la misma probeta siendo sometida a fatiga de ciclo alto y comparar las curvas obtenidas para así poder predecir cuándo ocurriría el fallo por fatiga y a su vez predecir el tiempo de vida útil del material en la cavidad oral humana.
- Analizar el medio en busca de partículas no presentadas inicialmente sobre todo respecto al níquel por las razones ya mencionadas sobre salud pública y de ser posible realizar pruebas in-vitro evaluando el efecto del níquel en personas alérgicas.

10 REFERENCIAS

- Alfaro, P., Ángeles, F., Osorno, M., Nuñez, J. & Romero, G. (2012). Fuerza de mordida: su importancia en la masticación, su medición y sus condicionantes clínicos. *Revista ADM*, 69(2), 53-57. Obtenido de: www.medigraphic.com/pdfs/adm/od-2012/od122c.pdf
- Allen J. & Faulkner L. (2001). *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*. Segunda edición. Obtenido de: [http://alraziuni.edu.ye/book1/Laboratories/Electrochemical%20Methods%20-%20Fundamentals%20and%20Applns%202nd%20ed%20%20-%20A.%20Bard,%20L.%20Faulkner%20\(Wiley,%202001\)%20WW.pdf](http://alraziuni.edu.ye/book1/Laboratories/Electrochemical%20Methods%20-%20Fundamentals%20and%20Applns%202nd%20ed%20%20-%20A.%20Bard,%20L.%20Faulkner%20(Wiley,%202001)%20WW.pdf).
- American Society for Testing and Materials (1989). Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements, *Annual Book of ASTM Standards, ASTM G102 - 89(2015)e1*. Obtenido de: <https://www.astm.org/Standards/G102>
- American Society for Testing and Materials (2015). Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates, *Annual Book of ASTM Standards, ASTM E647 - 15e1*. Obtenido de: www.astm.org/Standards/E647
- American Society for Testing and Materials (2017). Standard Specification for Stainless Steel Bars and Shapes, *Annual Book of ASTM Standards, A276/A276M - 17*. Obtenido de: www.astm.org/Standards/A276
- Bakhtari, A., Bradley, T., Lobb, W., & Berzins, D. (2011). Galvanic corrosion between various combinations of orthodontic brackets and archwires. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 140, 25-31. Doi: 10.1016/j.ajodo.2010.05.021
- Baldissera P. & Delprete C. (2010). Deep cryogenic treatment of AISI 302 stainless steel:

Part II – Fatigue and corrosion. *Materials and Design*, 31, 4731 - 4737, Doi: 10.1016/j.matdes.2010.05.015

Bantleon, H. (2011). The mechanical background of binding in a three bracket-relationship simulating a premolar, canine and lateral incisor in levelling. *Orthodontic waves*, 53-58. Doi: 10.1016/j.odw.2011.01.001

Banul A., Juganaru C. & Marcu M. (2017). Electrochemical and corrosion behavior of two chromium dental alloys in artificial bioenvironments. *MATEC Web of Conferences*, 112, 1-6, Doi: 10.1051/mateconf/201711203001.

Callister, W. (2007). Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales 2. *Editorial Reverté, España*. 70-72. Obtenido de: <https://books.google.com.pe/books?id=YiWdEYEHBIAC&pg=PA571&dq=serie+estandar+de+fuerza+electromotriz&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiLpIqp95vkAhUvtlkKHW-zB-sQ6AEIKDAA#v=onepage&q=serie%20estandar%20de%20fuerza%20electromotriz&f=false>

Costilla, J., & Ramos, S. (1992). *Estudio y evaluación para determinar la velocidad de corrosión del aluminio de uso doméstico mediante método de inmersión y emersión alternada (tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Dominguez, E. & Ferrer, J. (2014). Mecanizado y Soldadura. *Formación Básica Profesional. España*, 15-16, Obtenido de: https://books.google.es/books?id=WrucAwAAQBAJ&pg=PA15&dq=acero+porcentaje+carbono++0,03+%25&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiL5dPYkMfeAhXCbVAKHc_yB54Q6AEIKDAA#v=onepage&q=acero%20porcentaje%20carbono%20%200%2C03%20%25&f=false.

Europa Press. (11 de setiembre de 2015). *1 de 4 españoles ha llevado ortodoncia, y el 70% querría ponérsela para mejorar su sonrisa*. Obtenido de Infosalus.com: <https://www.i>

nfosalus.com/actualidad/noticia-cuatro-espanoles-lleva-llevado-ortodoncia-70-querri
a-ponersela-mejorar-sonrisa-estudio-20090327135307.html

Farahmand B., Bockrath G. & Glassco J. (1997). Conventional Fatigue (High- and Low-Cycle Fatigue). *Fatigue and Fracture Mechanics of High Risk Parts*. Springer, Boston, 13-102, Doi: 10.1007/978-1-4615-6009-8_2

Fernández, I., Mateos, C., Aguilar, M. & Martínez, M. (2007). Ingesta diaria de níquel entre jóvenes españoles. Valoración del riesgo toxicológico. *Revista de Toxicología*, 24(1). Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/919/91924102.pdf>

Fernandez, J. (2015). Comportamiento frente a corrosión bajo tensión en ambiente marino de armaduras de acero inoxidable dúplex. *Universidad Politécnica de Madrid, España*. Obtenido de: http://oa.upm.es/38364/1/Tesis_master_Jose_Fernandez_Robles.pdf

Gómez, V., Fang, L., Herrera, A. & Díaz, A. (2015). Bioacumulación de níquel en encía, saliva y hueso alveolar de paciente con aparatología ortodóncica fija: reporte de un caso. *Revista Clínica de Periodoncia, Implantología y Rehabilitación Oral*, 8(2), 163 - 166, Doi: 10.1016/j.piro.2015.03.001

Gómez, V., Mercado, J., Herrera, A., Fang, L. & Díaz, A. (2014). Níquel en cavidad oral de individuos con agrandamiento gingival inducido por tratamiento ortodóncico. *Revista Clínica de Periodoncia, Implantología y Rehabilitación Oral*, 7(3), 136 - 141, Doi: 10.1016/j.piro.2014.06.002

Jafarzadeh, S., Chen, Z., Li, S. & Bobaru, F. (2019). A peridynamic mechano-chemical damage model for stress-assisted corrosion. *Electrochimica Acta*, 323, Doi: 10.1016/j.electacta.2019.134795

Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2002). Manufactura, ingeniería y tecnología. *México, México: Prentice Hall*. Recuperado de: https://books.google.com.ar/books?id=gilYI9_KKAoC&pg=PA148&dq=acero+inoxidable+cromo&hl=es-419&sa=X&ei=T7GfUsCRB

fLMsASOk4HgAw&ved=0CD8Q6AEwAA#v=onepage&q=acero%20inoxidable %
20cromo&f=false

Kaur, G. & Hazarey, P. (2002). Evaluation of tensile properties and load-deflection rates of different orthodontic archwires. *Sharad Pawar Dental College and Hospital, Wardha-India*, 4-8. Obtenido de: <https://pdfs.semanticscholar.org/2d78/0179cacf55a6f35f9baac199e55ab4b9ab7c.pdf>

Lopes J., Neves S., Scarpini V., Oliveira A. & James F. (2017). Fracture Modes of AISI Type 302 Stainless Steel Under Metastable Plastic Deformation. *Materials Research*, 20, 596 -602, Doi: 10.1590/1980-5373-MR-2017-0051

Lyman T., Boyer H., Unterweiser P., Foster J., Hontas J. & Lawton H (1964). *Metals Handbook 8th Edition*, American Society for Metals, Ohio, Vol 1, 408-504.

Martinez M., Iglesias F., Fernández P., Corpas F. & Gómez J. (2017). Corrosion and fracture analysis in screws of dental implants prostheses. New coatings. *Engineering Failure Analysis*, 1-9. Doi: 10.1016/j.engfailanal.2017.04.040

McGlynn, W. (2000). The Importance of Food pH in Commercial Canning Operations. *Food and agricultural products research and technology center*, 118, 1-8. Obtenido de: <pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Rendition-3801/FAPC-118web.pdf>

Mellado A., Igual A., Guiñón V. & Sola M. (2018). Electrochemical Behaviour and Galvanic Effects of Titanium Implants Coupled to Metallic Suprastructures in Artificial Saliva. *Materials*, 11, 1-19, Doi: 10.3390/ma11010171.

Morelli (2017). *Composición Química*. Morelli Ortodontia.

Nikitin, I., & Besel, M. (2008). Effect of low-frequency on fatigue behaviour of austenitic steel AISI 304 at room temperature and 25 C. *International Journal of Fatigue*, 30, 2044-2049. Doi: 10.1016/j.ijfatigue.2008.02.005

- Olson J., Liu Y., Nickel J., Walker M. & Iwasaki L. (2012). Archwire vibration and stick-slip behavior at the bracket-archwire interface. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 142, 314-322. Doi: 10.1016/j.ajodo.2012.03.032
- Otero, H. E. (2012). *Corrosión y degradación de materiales*. Madrid, España: Síntesis, S.A.
- Pardo, C. (2008). El pH de los productos del aseo. *I.E.S. Cañada Real, Valmojado(Toledo)*, 1-12. Obtenido de: pagina.jccm.es/museociencias/ecer2008/04_pH%20aseo.pdf
- Penn Stainless Products (2013). Alloy 302 Specifications: UNS S30200. *Penn Stainless Products*, USA. Obtenido de: www.pennstainless.com/wp-content/uploads/2013/04/PSP-108-Alloy302-v2.pdf
- Pizarro R., Bernal J. & Pereda R. (2019). Máquina generadora de esfuerzos de tracción intermitentes en alambres de pequeño diámetro y baja elongación. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. N° Registro 002420
- Poncelet, M., Barbier, G., Raka, B., Courtin, S., Desmorat, R., Le-Roux, J. & Vincent, L. (2010). Biaxial High Cycle Fatigue of a type 304L stainless steel: Cyclic strains and crack initiation detection by digital image correlation. *European Journal of Mechanics*, 29, 810-825. Doi: 10.1016/j.euromechsol.2010.05.002
- Porojan L., Savencu C., Costea L., Dan M. & Porojan S. (2018). Corrosion Behavior of Ni-Cr Dental Casting Alloys. *International Journal of Electrochemical Science*, 13, 410-423, Doi: 10.20964/2018.01.08.
- Raman, S. & Padmanabhan, K. (1996). Effect of prior cold work on the room temperature low-cycle fatigue behavior of AISI 304LN stainless steel. *International Journal of Fatigue*, 18(2), 71-79. Doi: 10.1016/0142-1123(95)00078-X
- Rosales Pérez A. (2013). Estudio de la corrosión galvánica en materiales de ortodoncia. Par arco-bracket. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería - Universidad de Sevilla*.

Recuperado de: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5238/fichero/PFC+Aaron+Rosales+Perez.pdf>

Saleh T., Andre Mars J., Thovhogi N., Gihwala D., Baleg AA. & Maaza M. (2015). Influence of Temperature and pH on Corrosion Resistance of Ni-Cr and Co-Cr Dental Alloys on Oral Environment, *Journal of Dental and Oral Health*, 1, 1-9. Obtenido de: scientonline.org/fulltext/influence-of-temperature-and-ph-on-corrosion-resistance-of-ni-cr-and-co-cr-dental-alloys-on-oral-environment/21178.

Salud Revista.es. (29 de enero de 2014). *La alergia al Níquel afecta al 15% de la población*. Obtenido de El Correo: <https://www.elcorreo.com/salud/vida-sana/20140129/alergia-niquel-dermatitis-tratamiento-201401291100-rc.html>

Strong F. C. (1961). Faraday's laws in one equation. *Journal of chemical education*. 38(2), 98. Doi: 10.1021/ed038p98.

Surajit, K., Sivaprasad, S., Dhar, S. & Tarafder, S. (2011). Key issues in cyclic plastic deformation: Experimentation. *Mechanics of Materials*, 43, 705-720. Doi: 10.1016/j.mechmat.2011.07.011

Topic, M., Tait, R. & Allen, C. (2007). The fatigue behaviour of metastable (AISI-304) austenitic stainless steel wires. *International Journal of Fatigue*, 29, 656-665. Doi: 10.1016/j.ijfatigue.2006.07.007

Tuna S., Ozcicek N., Keyf F. & Canli F. (2009). The Electrochemical Properties of Four Dental Casting Suprastructure Alloys Coupled With Titanium Implants. *Journal of Applied Oral Science*, 17, 467-475. Obtenido de: www.researchgate.net/publication/40029816_The_electrochemical_properties_of_four_dental_casting_suprastructure_alloys_coupled_with_titanium_implants.

Vanýsek P., Haynes W., Lide D. & Bruno T. (2015). Electrochemical Series. *Handbook of Chemistry and Physics*, 95th edition. Vol 5, 80-89. Obtenido de:

https://books.google.com.pe/books?id=bNDMBQAAQBAJ&pg=SA5-PA76&lpg=SA5 PA76&dq=Petr+Vany%C2%B4sek&source=bl&ots=H8cyynrx2I&sig=ACfU3U1sYemIsgMp8kCBal2foojCUEF_5A&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjC2aTay8TjAhXjqlkKHf3BALIQ6AEwC3oECAgQAQ#v=onepage&q=electrochemical%20seriea&f=false.

Velazco, G., Ortiz, R., Yépez, J., & Kaplan, A. (2009). Corrosión por picadura en aleaciones de níquel-cromo (Ni-Cr) utilizadas en odontología. *Revista odontológica de los andes*, 4(1), 23-30 recuperado de: www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/29017/1/articulo3.pdf

Ye, D., Matsuoka, S., Nagashima, N. & Suzuki, N. (2006). The low-cycle fatigue, deformation and final fracture behaviour of an austenitic stainless steel. *Materials Science and Engineering*, 415, 104–117. Doi: 10.1016/j.msea.2005.09.081

11 ANEXOS

11.1 Figuras y Tablas Relacionadas

La figura A.1.1 muestra la ruptura de un arco de bracket utilizado en el proceso de ortodoncia, esto le sucedió a Domingo Cesar De la Cruz Castro en abril del 2018; con 2 semanas de iniciado el reajuste y cambio del arco metálico.

Figura A.1.1

Ruptura de arco de bracket durante el tratamiento de ortodoncia.



La figura A.1.2 (a) muestra el estado normal de la piel de una persona alérgica al Níquel. La persona que se ofreció para la toma de las fotos, tiene como nombre Sylvana Belén Bernal Celis, es una mujer de 21 años que sufre de dicha alergia. La figura A.1.2 (b) muestra la piel de la misma persona después de 4 horas de estar en contacto con un collar de acero simple; dicha reacción es acompañada con alta picazón y mediante continúa la exposición, el dolor se incrementa.

Figura A.1.2

Alergia al Níquel



(a)



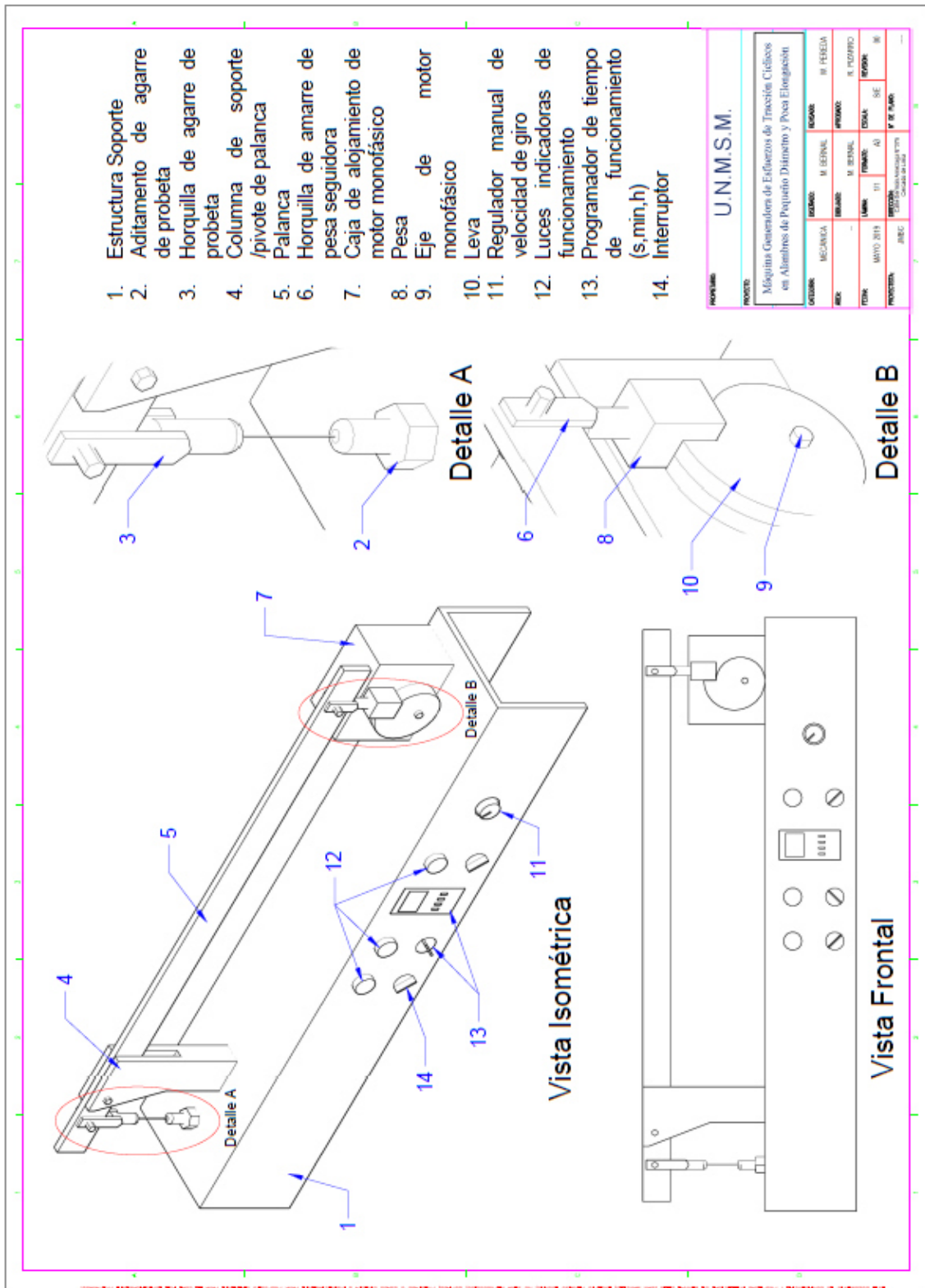
(b)

Nota: (a) previa exposición (b) después de exposición.

La figura A.1.3 muestra el plano utilizado para inscribir la posible patente en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el plano describe las especificaciones generales del equipo titulado “Máquina generadora de esfuerzos de tracción intermitentes en alambres de pequeño diámetro y baja elongación”.

Figura A.1.3

Máquina generadora de esfuerzos de tracción intermitentes en alambres de pequeño diámetro y baja elongación.



La tabla A.1.1 es la serie presentada por Callister, W. (2007). Una serie de fuerzas electromotrices estándar más completa es presentada por Vanýsek P. Et. Al. (2015) en el documento mencionado en la referencia.

Tabla A.1.1

Tabla de Potenciales de Reducción

	Reacciones del Electrodo	Potencial de Electrodo Estándar V°(V)
<p style="text-align: center;">↑</p> <p style="text-align: center;">Inactividad Creciente (Catódicos)</p> <p style="text-align: center;">Actividad Creciente (Anódicos)</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au}$	+1.420
	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1.229
	$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pt}$	+1.2
	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	+0.8
	$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	+0.771
	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4(\text{OH}^-)$	+0.401
	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	+0.34
	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	0
	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	-0.126
	$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	-0.136
	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	-0.25
	$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Co}$	-0.277
	$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd}$	-0.403
	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-0.44
	$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	-0.744
	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	-0.763
	$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	-1.662
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$	-2.363	
$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$	-2.714	
$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$	-2.294	

Las tablas A.1.2 y A.1.3 son las tablas ASTM para las composiciones y propiedades mecánicas respectivamente para los distintos grados de acero inoxidable. Se presenta una parte de la tabla donde se incluye el material estudiado (Acero AISI 302). Para la tabla completa consultar el estándar ASTM A276/A276M – 17.

Tabla A.1.2

Composición de los diferentes aceros inoxidables

UNS Designation ^B	Type	Composition, %									Other Elements ^K
		Carbon	Manganese	Phosphorus	Sulfur	Silicon	Chromium	Nickel	Molybdenum	Nitrogen	
Austenitic Grades											
N08020	Alloy 20	0.07	2.00	0.045	0.035	1.00	19.0–21.0	32.0–38.0	2.00–3.00	...	Cu 3.0–4.0 Nb 8 × C min.; 1.00 max
N08367	...	0.030	2.00	0.040	0.030	1.00	20.0–22.0	23.5–25.5	6.0–7.0	0.18–0.25	Cu 0.75
N08700	...	0.04	2.00	0.040	0.030	1.00	19.0–23.0	24.0–26.0	4.3–5.0	...	Cu 0.50 Cb 8 × C min 0.40 max
N08800	800	0.10	1.50	0.045	0.015	1.00	19.0–23.0	30.0–35.0	...	...	Fe' 39.5 min. Cu 0.75
N08810	800H	0.05–0.10	1.50	0.045	0.015	1.00	19.0–23.0	30.0–35.0	...	...	Al 0.15–0.60 Ti 0.15–0.60 Fe' 39.5 min. Cu 0.75
N08811	...	0.06–0.10	1.50	0.045	0.015	1.00	19.0–23.0	30.0–35.0	...	...	Al 0.15–0.60 Ti 0.15–0.60 Fe' 39.5 min. Cu 0.75
N08904	904L	0.020	2.00	0.045	0.035	1.00	19.0–23.0	23.0–28.0	4.0–5.0	0.10	Al' 0.25–0.60 Ti' 0.25–0.60 Cu 1.0–2.0
N08925	...	0.020	1.00	0.045	0.030	0.50	19.0–21.0	24.0–26.0	6.0–7.0	0.10–0.20	Cu 0.80–1.50
S20500	205	0.12–0.25	14.0–15.5	0.060	0.030	1.00	16.5–18.0	1.0–1.7	...	0.32–0.40	...
S20910	XM-19	0.06	4.0–6.0	0.045	0.030	1.00	20.5–23.5	11.5–13.5	1.50–3.00	0.20–0.40	Cb 0.10–0.30, V 0.10–0.30
S21800	...	0.10	7.0–9.0	0.060	0.030	3.5–4.5	16.0–18.0	8.0–9.0	...	0.08–0.18	...
S21900	XM-10	0.08	8.0–10.0	0.045	0.030	1.00	19.0–21.5	5.5–7.5	...	0.15–0.40	...
S21904	XM-11	0.04	8.0–10.0	0.045	0.030	1.00	19.0–21.5	5.5–7.5	...	0.15–0.40	...
S24000	XM-29	0.08	11.5–14.5	0.060	0.030	1.00	17.0–19.0	2.3–3.7	...	0.20–0.40	...
S24100	XM-28	0.15	11.0–14.0	0.045	0.030	1.00	16.5–19.0	0.50–2.50	...	0.20–0.45	...
S28200	...	0.15	17.0–19.0	0.045	0.030	1.00	17.0–19.0	...	0.75–1.25	0.40–0.60	Cu 0.75–1.25
S30200	302	0.15	2.00	0.045	0.030	1.00	17.0–19.0	8.0–10.0	...	0.10	...
S30215	302B	0.15	2.00	0.045	0.030	2.00–3.00	17.0–19.0	8.0–10.0	...	0.10	...
S30400	304	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	18.0–20.0	8.0–11.0	...	...	...
S30403	304L ^C	0.030	2.00	0.045	0.030	1.00	18.0–20.0	8.0–12.0	...	...	...
S30451	304N	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	18.0–20.0	8.0–11.0	...	0.10–0.16	...
S30452	XM-21	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	18.0–20.0	8.0–10.0	...	0.16–0.30	...
S30453	304LN	0.030	2.00	0.045	0.030	1.00	18.0–20.0	8.0–11.0	...	0.10–0.16	...
S30454	...	0.03	2.00	0.045	0.030	1.00	18.0–20.0	8.0–11.0	...	0.16–0.30	...
S30500	305	0.12	2.00	0.045	0.030	1.00	17.0–19.0	11.0–13.0	...	...	...
S30800	308	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	19.0–21.0	10.0–12.0	...	...	...
S30815	...	0.05–0.10	0.80	0.040	0.030	1.40–2.00	20.0–22.0	10.0–12.0	...	0.14–0.20	Ce 0.03–0.08
S30900	309	0.20	2.00	0.045	0.030	1.00	22.0–24.0	12.0–15.0	...	...	...
S30908	309S	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	22.0–24.0	12.0–15.0	...	...	...
S30940	309Cb	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	22.0–24.0	12.0–16.0	...	...	Cb 10xC-1.10
S31000	310	0.25	2.00	0.045	0.030	1.50	24.0–26.0	19.0–22.0	...	...	...
S31008	310S	0.08	2.00	0.045	0.030	1.50	24.0–26.0	19.0–22.0	...	...	...
S31040	310Cb	0.08	2.00	0.045	0.030	1.50	24.0–26.0	19.0–22.0	...	...	Cb 10xC-1.10
S31254	...	0.020	1.00	0.030	0.010	0.80	19.5–20.5	17.5–18.5	6.0–6.5	0.18–0.25	Cu 0.50–1.00
S31266	...	0.030	2.00–4.00	0.035	0.020	1.00	23.0–25.0	21.0–24.0	5.2–6.2	0.35–0.60	Cu 1.00–2.50 W 1.50–2.50
S31400	314	0.25	2.00	0.045	0.030	1.50–3.00	23.0–26.0	19.0–22.0	...	...	...
S31600	316	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	16.0–18.0	10.0–14.0	2.00–3.00	...	...
S31603	316L ^C	0.030	2.00	0.045	0.030	1.00	16.0–18.0	10.0–14.0	2.00–3.00	...	...
S31635	316Ti	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	16.0–18.0	10.0–14.0	2.00–3.00	0.10	Ti 5x(C+N)-0.70
S31640	316Cb	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	16.0–18.0	10.0–14.0	2.00–3.00	0.10	Cb 10xC-1.10
S31651	316N	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	16.0–18.0	10.0–14.0	2.00–3.00	0.10–0.16	...

Tabla A.1.3

Propiedades mecánicas de los diferentes aceros inoxidables

Type	Condition	Finish	Diameter or Thickness, in. [mm]	Tensile Strength, min		Yield Strength, ^A min		Elongation in 2 in. [50 mm] ^B or 4D min %	Reduction of Area, ^{C, D} min, %	Brinell Hard- ness, HBW unless otherwise indicated, ^E max
				ksi	MPa	ksi	MPa			
Austenitic Grades										
N08020	SA	hot-finished or cold-finished	all	80	[550]	35	[240]	30	50	...
N08367	A	hot-finished or cold-finished	all	95	655	45	310	30	50	...
N08700	A	hot-finished or cold-finished	all	80	550	35	240	30	50	...
N08800 800	A	hot-finished or cold-finished	all	75	515	30	205	30	...	192
N08810 800H	A	hot-finished or cold-finished	all	65	450	25	170	30	...	192
N08811	A	hot-finished or cold-finished	all	65	450	25	170	30	...	192
N08904 904L	A	hot-finished or cold-finished	all	71	490	31	220	35	...	...
N08925	A	hot-finished or cold-finished	all	87	600	43	295	40	...	217
N08926	A	hot-finished or cold-finished	all	94	650	43	295	35	...	256
201, 202	A	hot-finished or cold-finished	all	75	515	40	275	40	45	...
S20161	A	hot-finished	all	125	860	50	345	40	40	255
		cold-finished	all	125	860	50	345	40	40	311
S20162	A	hot-finished or cold finished	all	100	690	50	345	50	60	...
205	A	hot-finished or cold-finished	all	100	690	60	414	40	50	...
XM-19	A	hot-finished or cold-finished	all	100	690	55	380	35	55	...
	As hot-rolled	hot-finished or cold-finished	up to 2 [50.8], incl	135	930	105	725	20	50	...
			over 2 to 3 [50.8 to 76.2], incl	115	795	75	515	25	50	...
			over 3 to 8 [76.2 to 203.2], incl	100	690	60	415	30	50	...
S21800	A	hot-finished or cold-finished	all	95	655	50	345	35	55	241
XM-10, XM-11	A	hot-finished or cold-finished	all	90	620	50	345	45	60	...
XM-29	A	hot-finished or cold-finished	all	100	690	55	380	30	50	...
XM-28	A	hot-finished or cold-finished	all	100	690	55	380	30	50	...
S24565	A	hot-finished or cold-finished	all	115	795	60	415	35	40	...
S28200	A	hot-finished or cold finished	all	110	760	60	410	35	55	...
302, 302B, 304, 304LN, 305, 308, 309, 309S, 309Cb, 310, 310S, 310Cb, 314, 316, 316LN, 316Cb, 316TI, 317, 321, 347, 348	A	hot-finished	all	75 ^F	515	30 ^F	205	40 ^G	50	...
		cold-finished	up to ½ [12.70] incl	90	620	45	310	30	40	...
			over ½ [12.70]	75 ^F	515	30 ^F	205	30	40	...
304L, 316L	A	hot-finished	all	70	485	25	170	40 ^G	50	...
		cold-finished	up to ½ [12.70] incl.	90	620	45	310	30	40	...
			over ½ [12.70]	70	485	25	170	30	40	...
304N, 316N	A	hot-finished or cold-finished	all	80	550	35	240	30	...	...
202, 302, 304, 304N, 316, 316N	B	cold-finished	up to ¾ [19.05] incl	125	860	100	690	12	35	...
304L, 316L			over ¾ [19.05] to 1 [25.40]	115	795	80	550	15	35	...
			over 1 [25.40] to 1¼ [31.75]	105	725	65	450	20	35	...
			over 1¼ [31.75] to 1½ [38.10]	100	690	50	345	24	45	...

Tabla A.1.4

Composición Química de los Diferentes Productos Morelli

COMPOSICIÓN QUÍMICA	DESCRIPCIÓN DE PRODUCTO
<p><u>ACERO INOXIDABLE TIPO 304:</u> La composición química es como sigue (%m/m): C.....Máx. 0,07 Mn.....Máx. 2,00 Si.....Máx. 1,00 P.....Máx. 0,045 S.....Máx.0,030 Cr.....17,00 – 19,00 Ni.....8,00 – 11,00 N.....Máx.0,10 Ti.....<40%</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gancho lingual para soldar y cementar. • Gancho para elástico. • Gancho para tracción de dientes inclusos. • Escudo de Bimler, Equiplan, Equiplan plana, Conjunto Escudo Equiplan. • Colchete. • Quad – helix . • Arco precontorneado CrNi (sup e inf). • Bandas Ortodonticas Universales y Anatómicas. • Cintas para bandas. • Arcos intraorales. • Resortes helicoidales. • Expansores. • Traccionador.
<p><u>ACERO INOXIDABLE TIPO 303:</u> La composición química es como sigue (%m/m): C.....Máx. 0,07 Mn.....Máx. 2,00 Si.....Máx. 1,00 P.....Máx. 0,020 S.....Máx.0,015 Cr.....17,00 – 19,00 Ni.....8,00 – 10,00 Mo.....0,70</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Botón lingual para soldar / cementar (concavo y convexo). • Gurin para Anclaje s/gancho y c/gancho (derecho/izquierdo). • Arco precontorneado Beta 3.
<p><u>ACERO INOXIDABLE TIPO 302:</u> La composición química es como sigue (%m/m): C.....Máx. 0,15 Mn.....Máx. 2,00 Si.....Máx. 1,00 P.....Máx. 0,045 S.....Máx.0,030 Cr.....17,00 – 19,00 Ni.....8,00 – 10,00 N.....0,10</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Distalizador de Molares Intraorales (oclusal y cervical). • Arcos precontorneado. • Barra palatina con loop mesial y distal. • Alambre en rollo elástico duro. • Barra palatina con loop mesial y distal. • Alambre en barra.

ACERO INOXIDABLE TIPO 316L:

La composición química es como sigue (%m/m):

C.....	Máx. 0,03
Mn.....	Máx. 2,00
Si.....	Máx. 1,00
P.....	Máx. 0,045
S.....	Máx.0,030
Cr.....	16,50 – 18,50
Ni.....	10.50 – 13.50
Mo.....	2.00 – 2.50
N.....	Máx. 0,10

- Gancho punta bola derecho/izquierdo/recto
- Arco precontorneado (sup e inf.).
- Alambre en rollo duro elástico.
- Arco facial de uso ortodóncico.
- Placa labio activa c/gancho y s/gancho.
- Alambre de soldadura de plata.

La tabla A.1.4 fue entregada como parte del acuerdo echo con el vendedor de aparatos de ortodoncia en el momento de la entrega de los alambres utilizados como probetas en el presente estudio. El nombre comercial de las probetas utilizadas es “Alambre en Barra”. La tabla A.1.5 muestra el pH medido por McGlynn, W. (2000) a una gran variedad de alimentos; para la tabla completa ver el documento mencionado en la referencia.

Tabla A.1.5

Valores de pH para los diferentes alimentos

Food	pH	Food	pH
Apples, Red Delicious (fresh)	3.9	Apples, Golden Delicious (fresh)	3.6
Apples, Jonathan (fresh)	3.33	Apples, McIntosh (fresh)	3.34
Apples, Winesap (fresh)	3.47	Apple Juice	3.4 – 4.0
Apple Sauce	3.3 – 3.6	Apricots (fresh)	3.3 – 4.0
Apricots (dried)	3.6 – 4.0	Apricots (canned)	3.74
Bananas	4.5 – 5.2	Blackberries (fresh)	3.2 – 4.5
Blueberries (fresh)	3.7	Blueberries (frozen)	3.1 – 3.35
Cantaloupe	6.17-7.13	Cherries (fresh)	3.2 – 4.1
Cranberry sauce	2.4	Cranberry juice	2.3 – 2.5
Currants (red)	2.9	Dates	6.3 – 6.6
Figs	4.6	Gooseberries	2.8 – 3.1
Grapefruit (fresh)	3.0 – 3.3	Grapefruit (canned)	3.1 – 3.3
Grapefruit juice	3.0	Grapes	3.4 – 4.5
Lemons (fresh)	2.2 – 2.4	Lemon juice (canned)	2.3
Limes	1.8 – 2.0	Mangos	3.9 – 4.6
Melon, Cassaba	5.5 – 6.0	Melon, Honey Dew	6.3 – 6.7
Melon, Persian	6.0 – 6.3	Nectarines	3.9
Oranges (fresh)	3.1 – 4.1	Orange juice	3.6 – 4.3
Orange marmalade	3.0	Papaya	5.2 – 5.7
Peaches (fresh)	3.4 – 3.6	Peaches (canned)	4.2
Persimmons	5.4 – 5.8	Pineapple (fresh)	3.3 – 5.2
Pineapple (canned)	3.5	Pineapple juice	3.5
Plums (fresh)	2.8 – 4.6	Pomegranates	3.0
Prunes (fresh)	3.1 – 5.4	Prune juice	3.7
Prune quince (stewed)	3.1 – 3.3	Raspberries (fresh)	3.2 – 3.7
Strawberries (fresh)	3.0 – 3.5	Strawberries (frozen)	2.3 – 3.0
Tangerines	4.0	Watermelon	5.2 – 5.8

11.2 Microscopía Óptica y Electrónica

Figura A.2.1

Microscopía óptica a 40X – Muestras Blanco #1, #2 y #3.

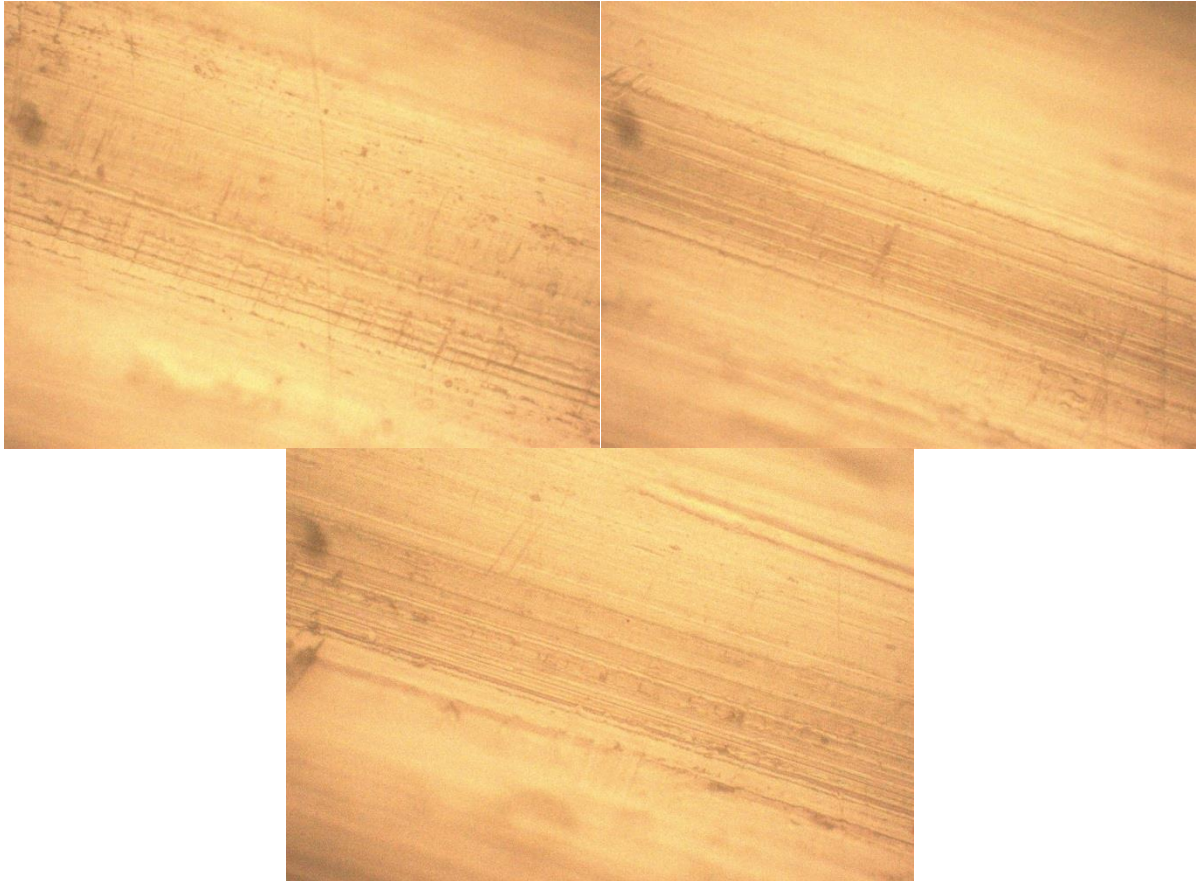


Figura A.2.2

Microscopía óptica a 40X – Muestra 0A1.

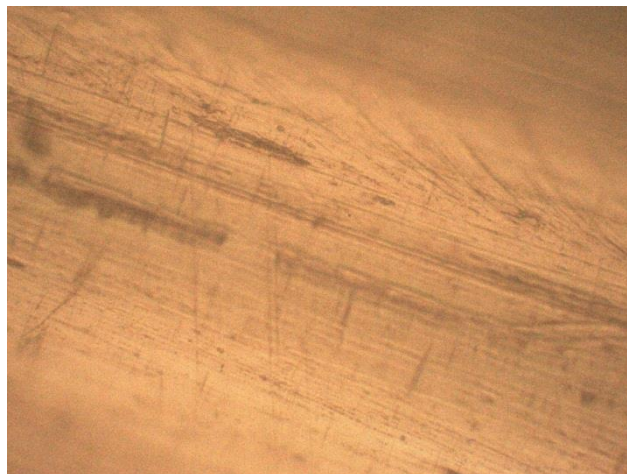


Figura A.2.3

Microscopía óptica a 40X – Muestra 1.13A1.

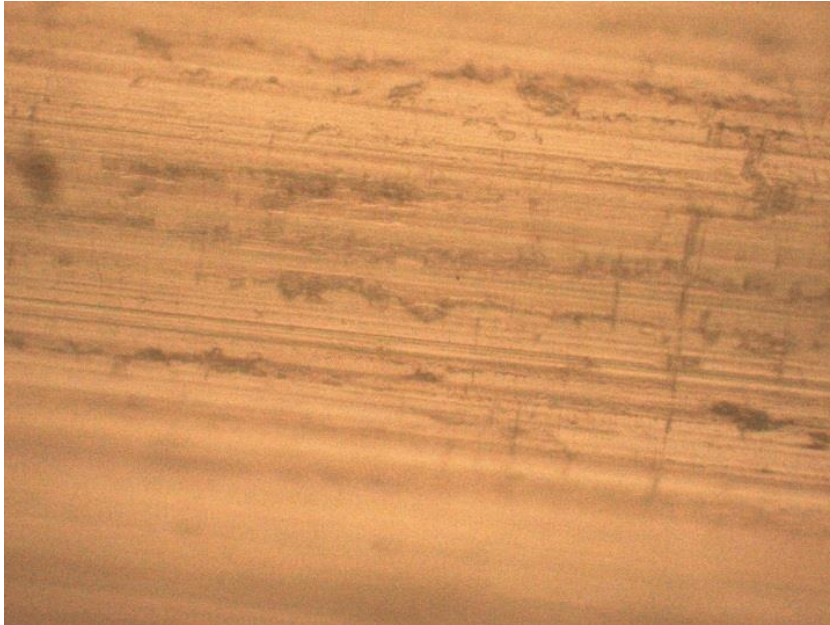


Figura A.2.4

Microscopía óptica a 40X – Muestra 1.85A1.

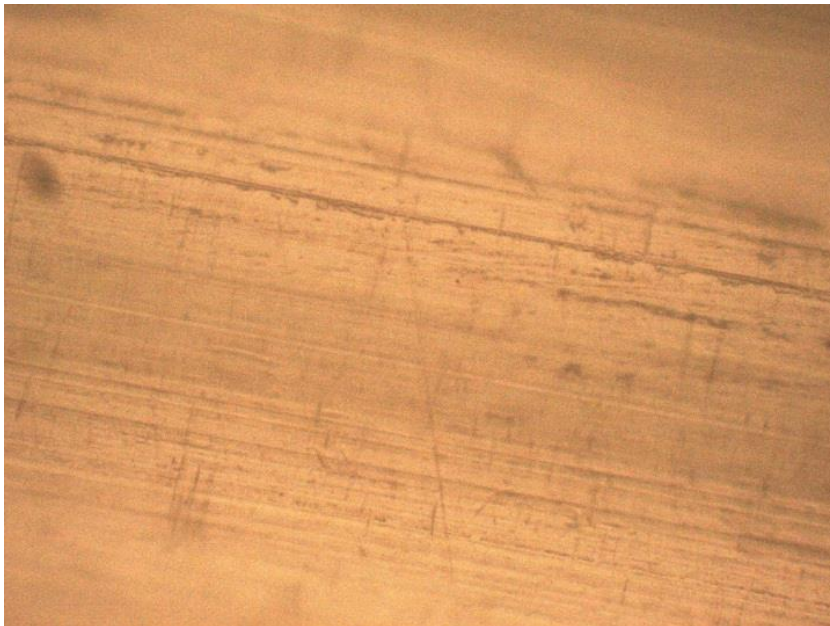


Figura A.2.5

Microscopía óptica a 40X – Muestra 2.77A1.

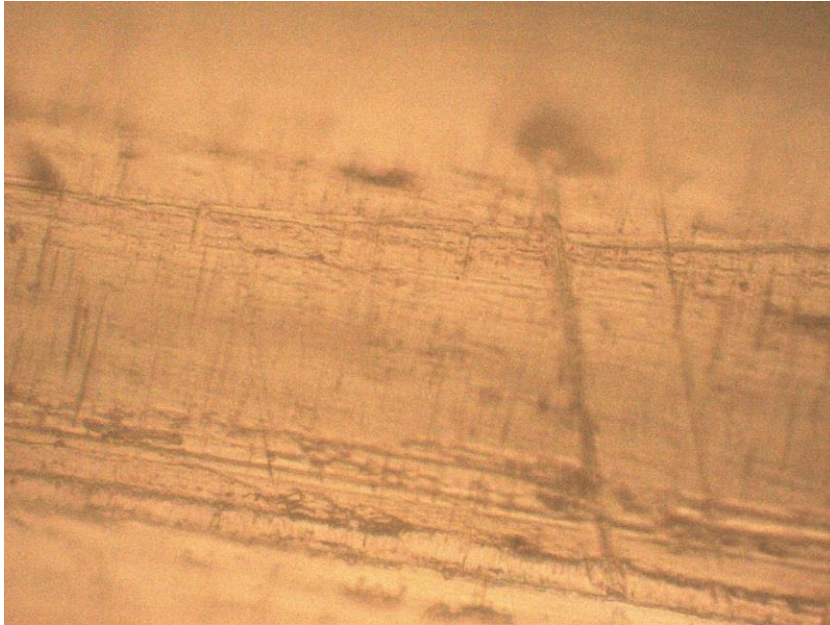


Figura A.2.6

Microscopía óptica a 40X – Muestra 3.73A1.

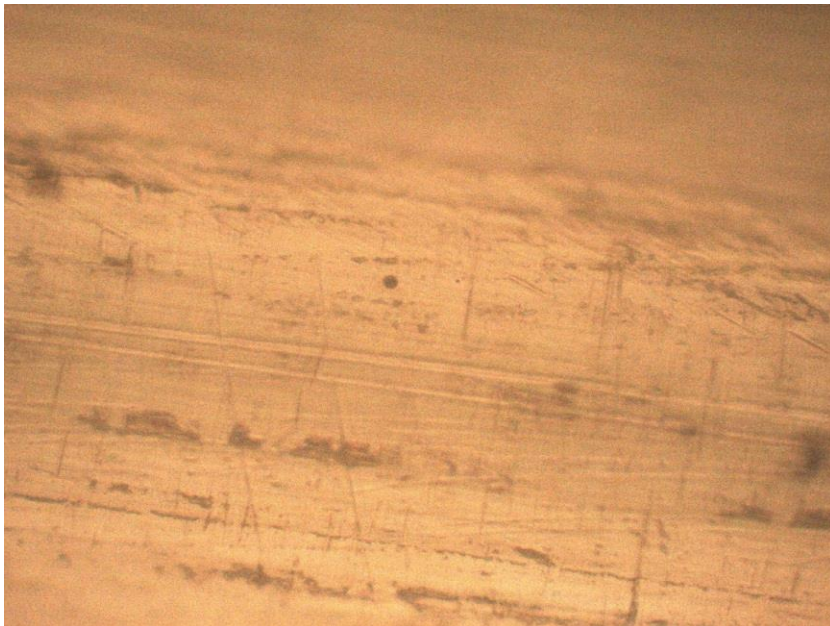


Figura A.2.7

Microscopía óptica a 40X – Muestra 0B1.

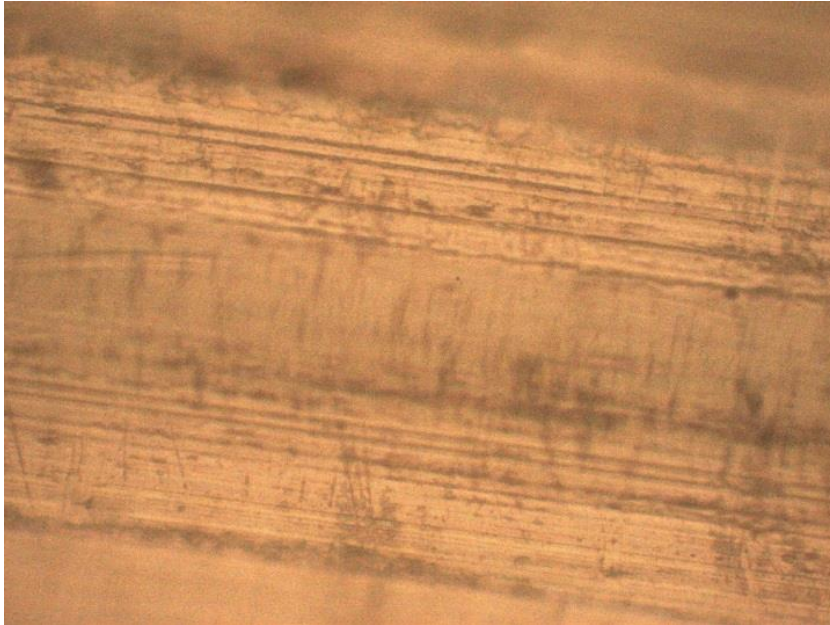


Figura A.2.8

Microscopía óptica a 40X – Muestra 1.13B1.

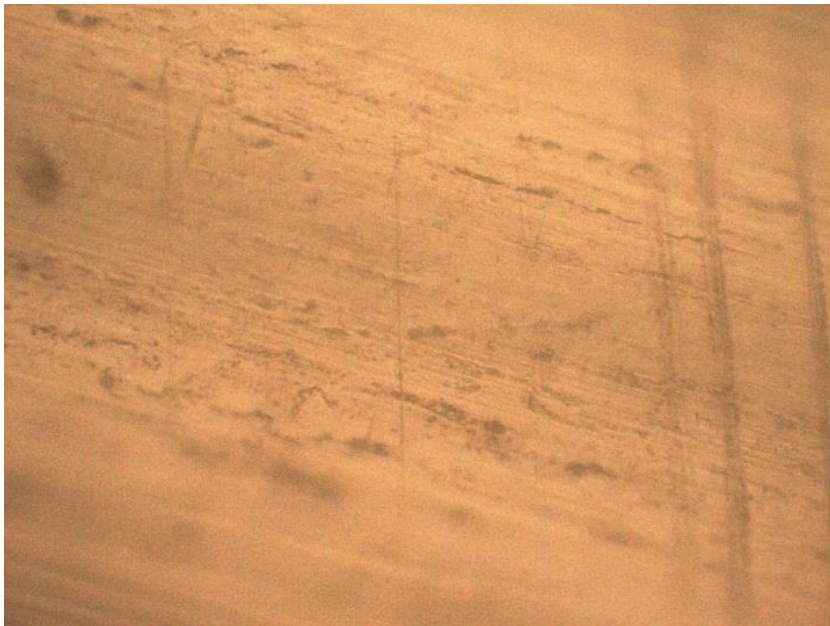


Figura A.2.9

Microscopía óptica a 40X – Muestra 1.85B1.

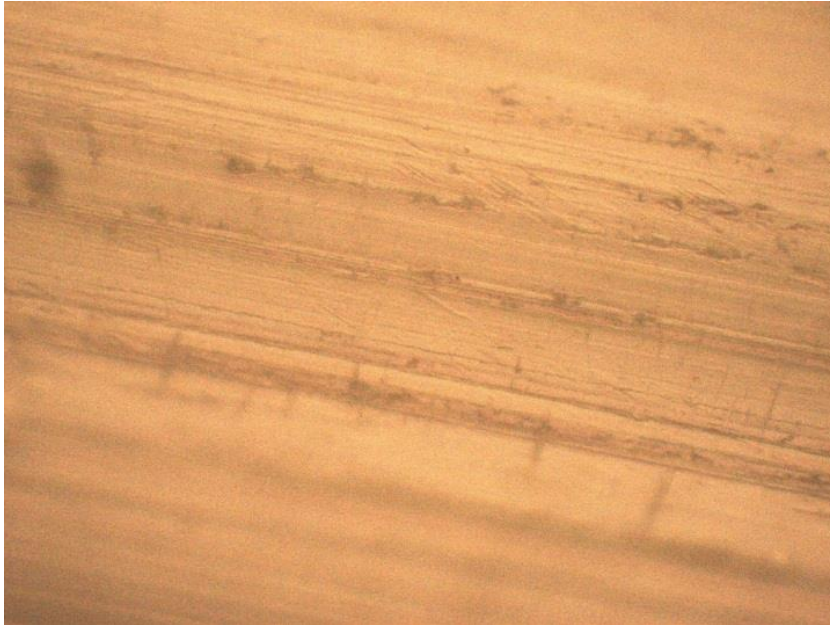


Figura A.2.10

Microscopía óptica a 40X – Muestra 2.77B1.

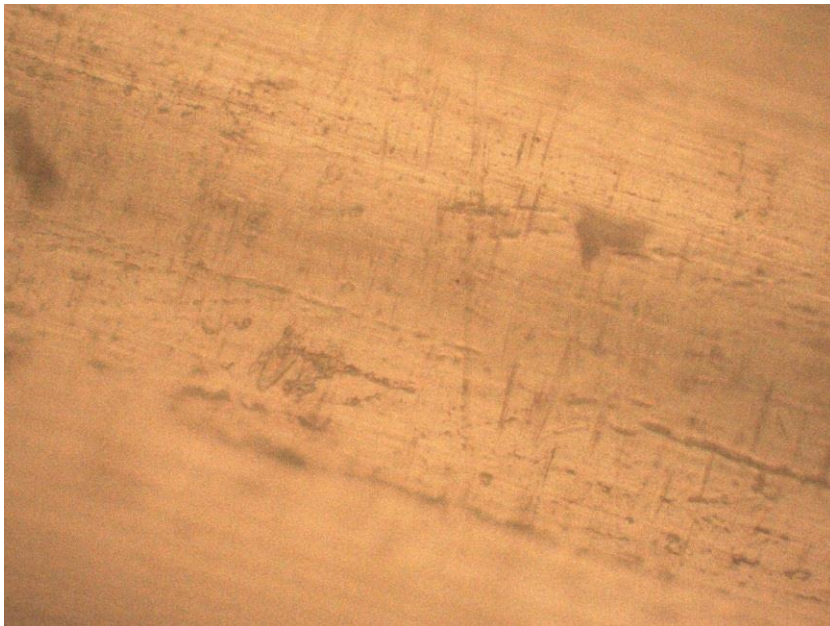


Figura A.2.11

Microscopía óptica a 40X – Muestra 3.73B1.

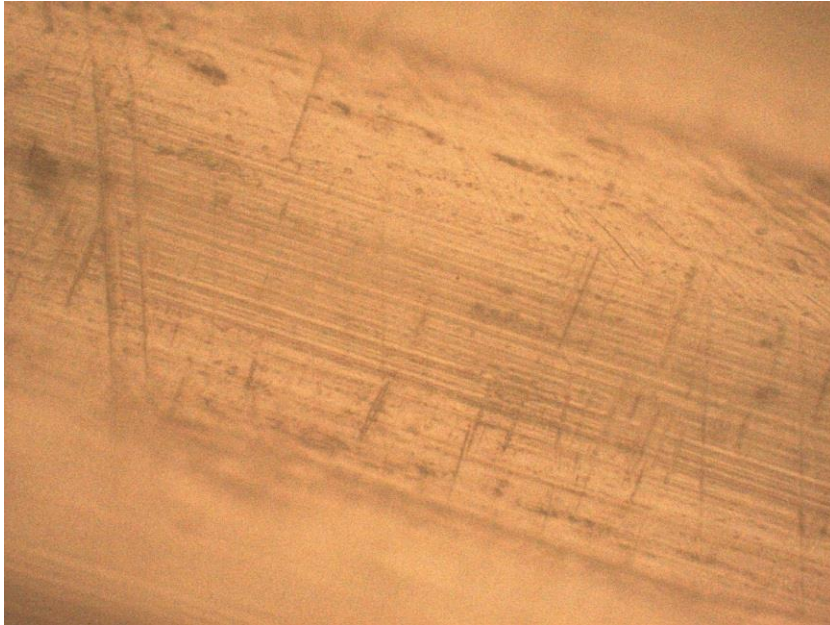


Figura A.2.12

Microscopía óptica a 40X – Muestra 0S1.



Figura A.2.13

Microscopía óptica a 40X – Muestra 1.13S1.

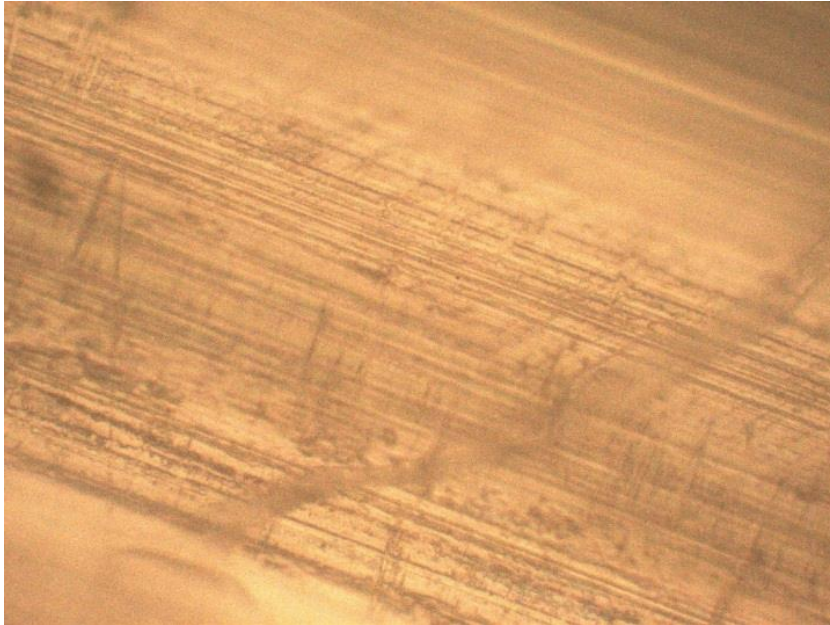


Figura A.2.14

Microscopía óptica a 40X – Muestra 1.85S1.

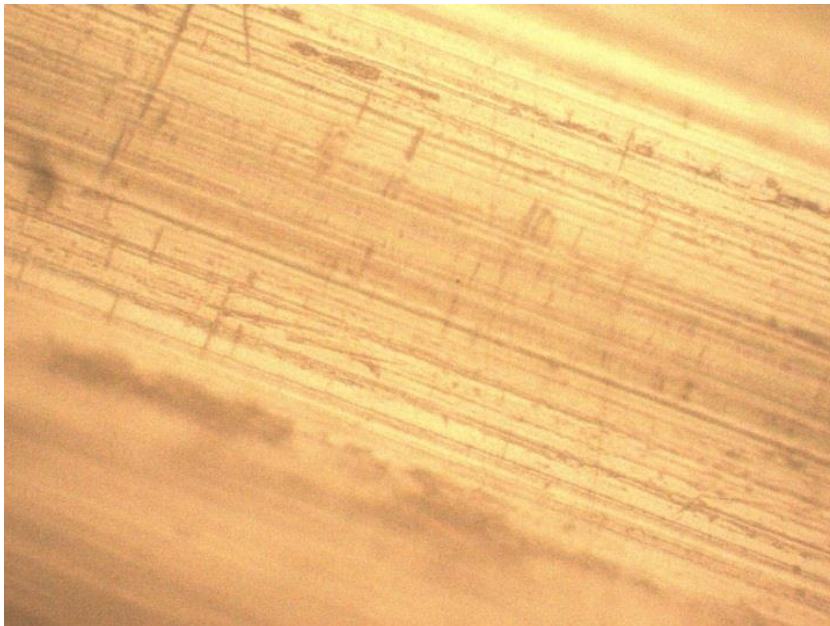


Figura A.2.15

Microscopía óptica a 40X – Muestra 2.77S1.



Figura A.2.16

Microscopía óptica a 40X – Muestra 3.73S1.

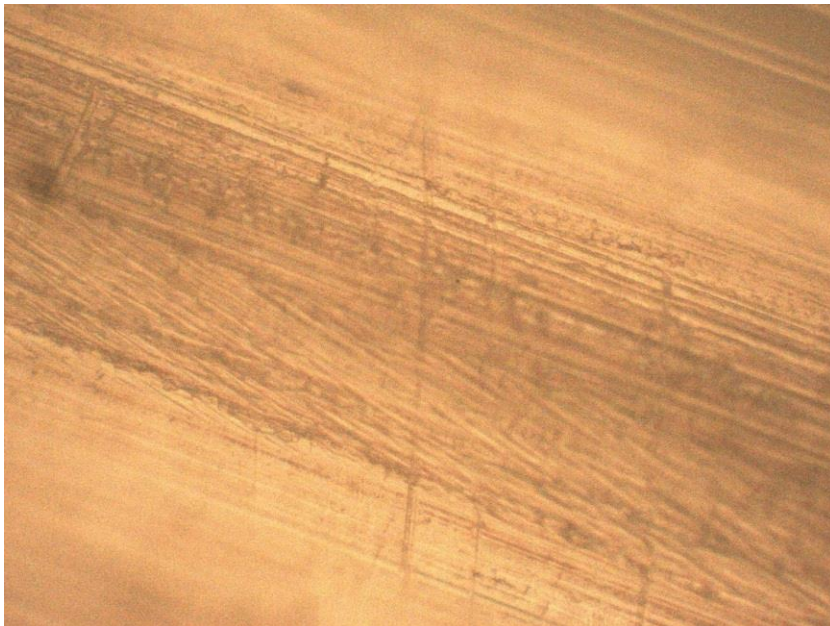
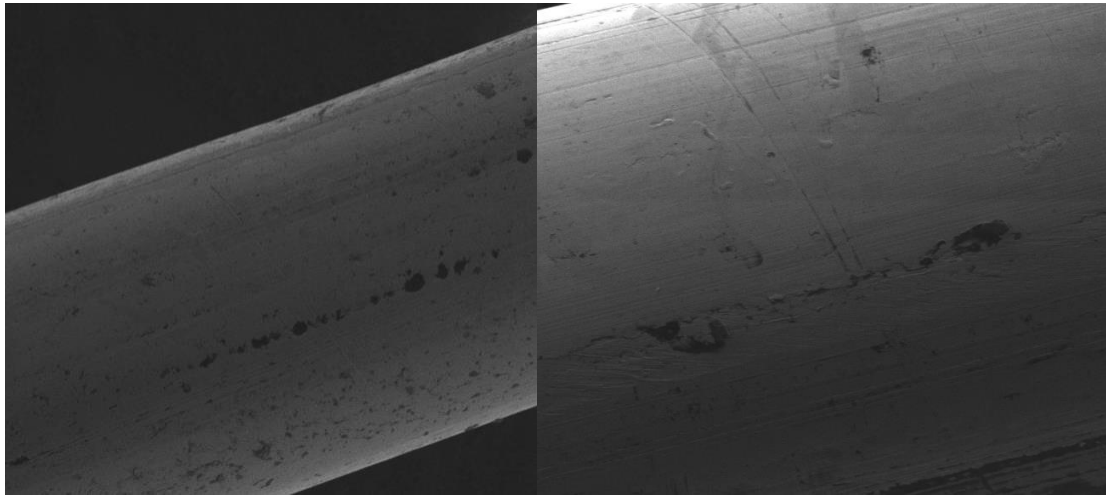


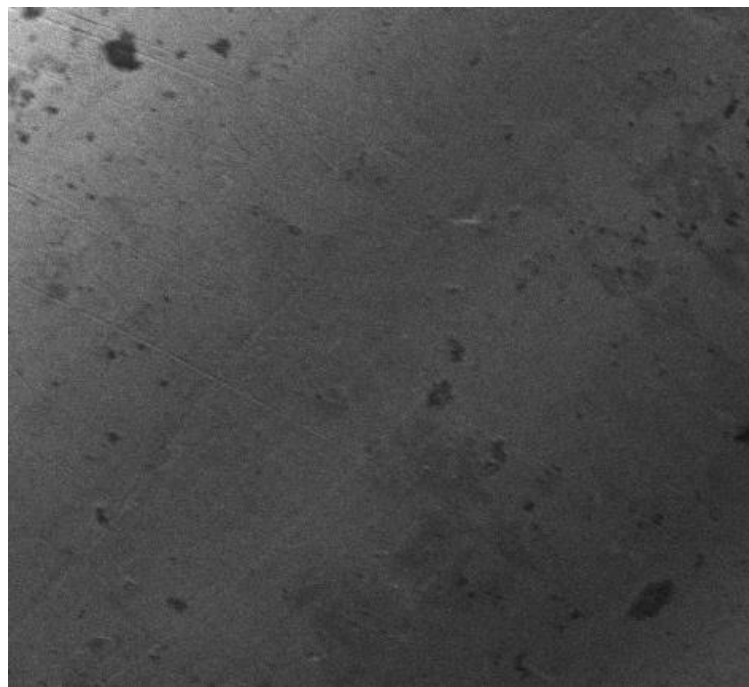
Figura A.2.17

Microscopía electrónica – Muestra Blanco.



(a)

(b)

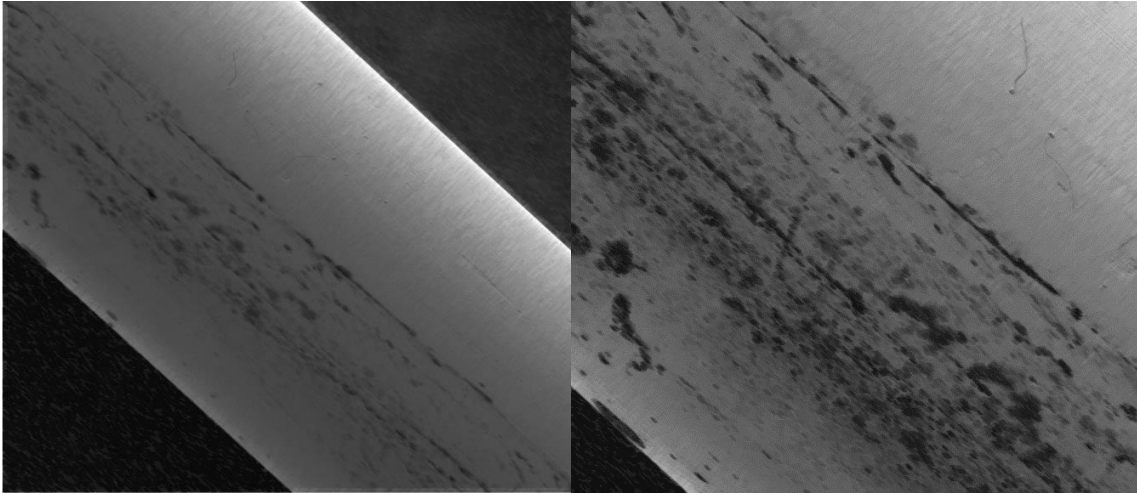


(c)

Nota: Aumentos de: (a) 400X, (b) 800X y (c) 1600X.

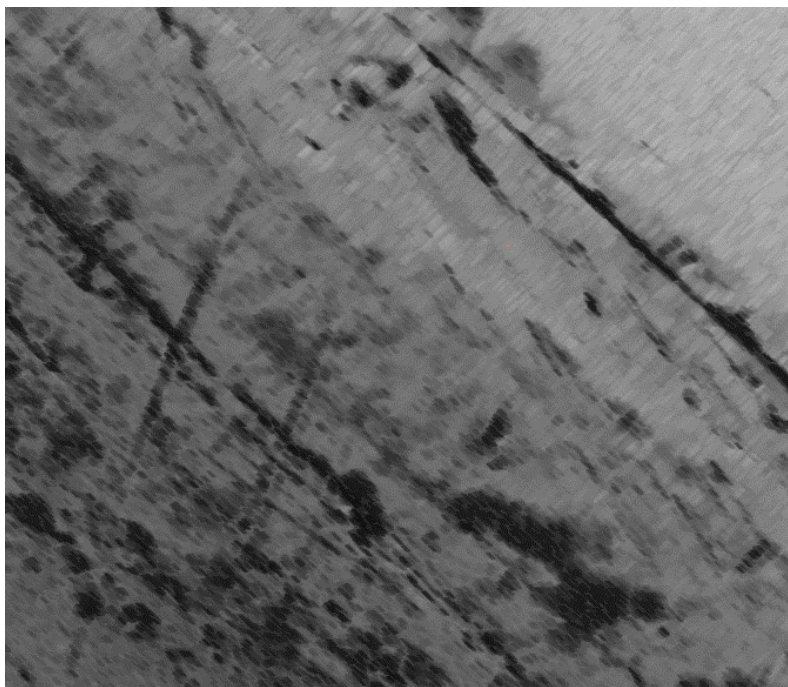
Figura A.2.18

Microscopía electrónica – Muestra 3.73A1



(a)

(b)

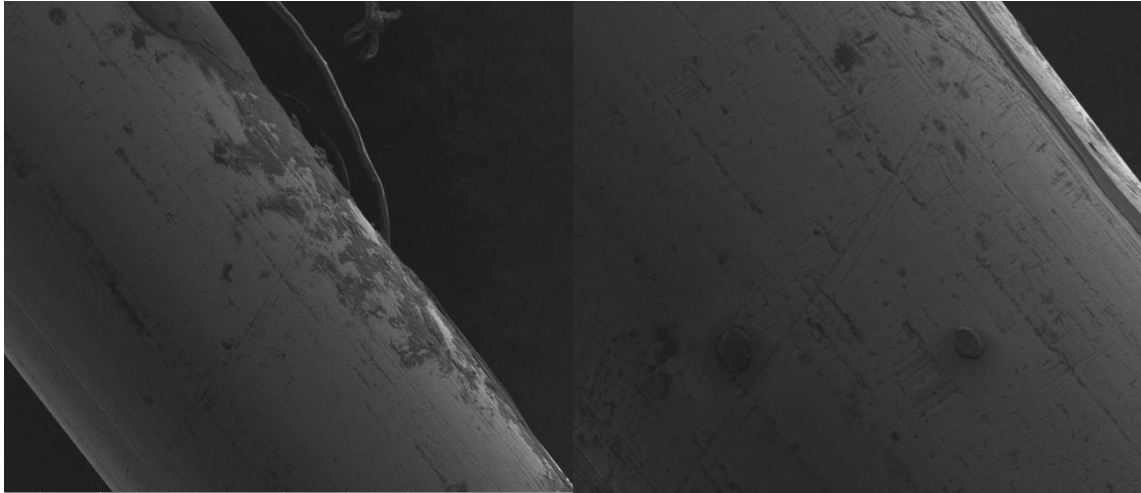


(c)

Nota: Aumentos de: (a) 400X, (b) 800X y (c) 1600X.

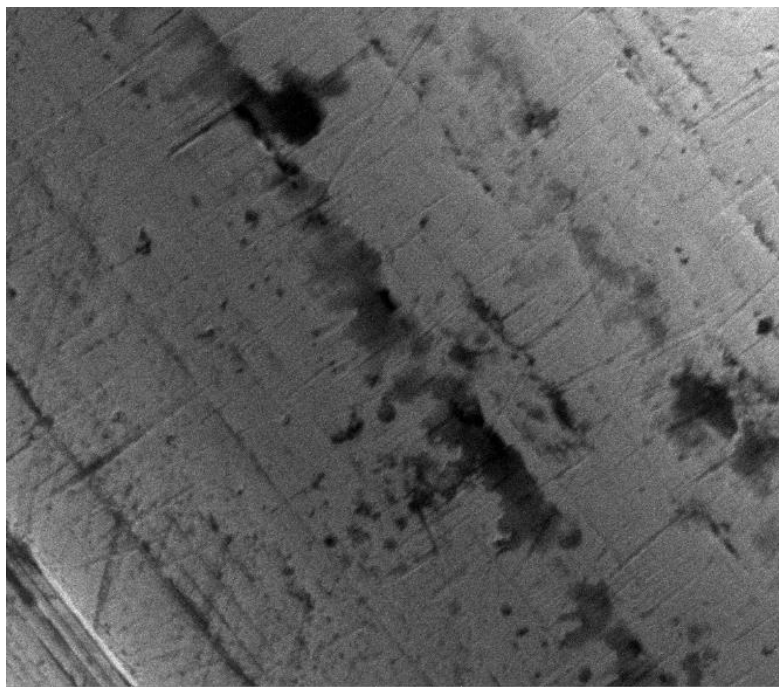
Figura A.2.19

Microscopía electrónica – Muestra 3.73B1



(a)

(b)

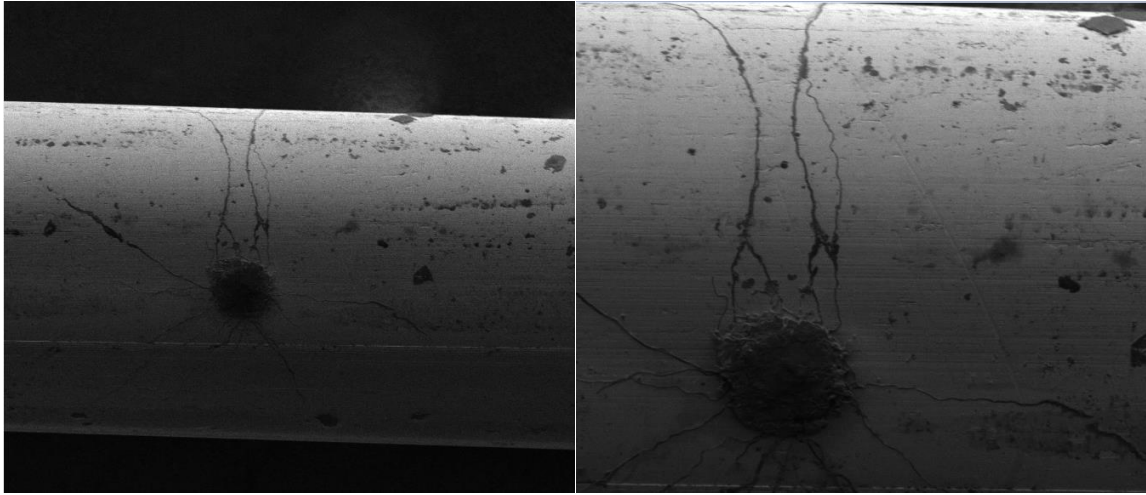


(c)

Nota: Aumentos de: (a) 400X, (b) 800X y (c) 1600X.

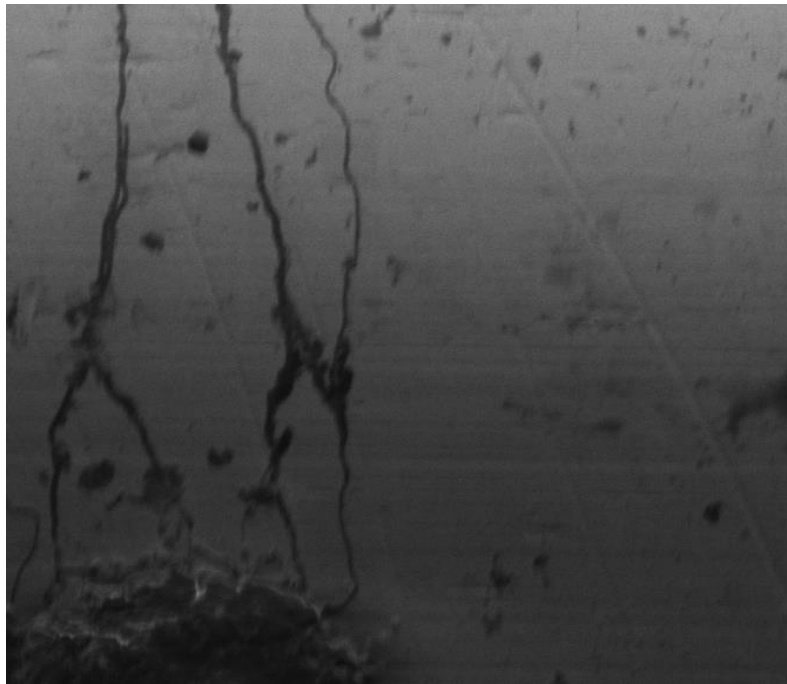
Figura A.2.20

Microscopía electrónica – Muestra 3.73SI



(a)

(b)



(c)

Nota: Aumentos de: (a) 400X, (b) 800X y (c) 1600X.

11.3 Tablas de Datos y Resultados (complemento).

Tabla A.3.1

Datos del ensayo 0S2.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.007	-0.0232	-0.543	-0.5544	-0.022	0.1074	0.391	0.054
-0.02	-0.034	-0.541	-0.4916	-0.008	0.107	0.376	0.04
-0.035	-0.0422	-0.526	-0.405	0.004	0.1068	0.361	0.0246
-0.05	-0.0488	-0.512	-0.3258	0.018	0.1064	0.346	0.0162
-0.064	-0.0552	-0.497	-0.2612	0.033	0.1064	0.332	0.009
-0.079	-0.0614	-0.482	-0.2072	0.048	0.1064	0.317	0.0042
-0.094	-0.0678	-0.468	-0.1698	0.062	0.1064	0.302	0
-0.109	-0.074	-0.457	-0.1284	0.076	0.1068	0.288	-0.0036
-0.123	-0.0804	-0.442	-0.0924	0.091	0.1074	0.276	-0.0066
-0.139	-0.0866	-0.427	-0.0614	0.105	0.108	0.261	-0.0078
-0.153	-0.093	-0.412	-0.0344	0.12	0.1092	0.246	-0.0096
-0.168	-0.0984	-0.398	-0.0112	0.135	0.11	0.232	-0.0172
-0.18	-0.1046	-0.384	0.0086	0.149	0.111	0.217	-0.0196
-0.195	-0.1116	-0.368	0.0258	0.161	0.1126	0.202	-0.022
-0.209	-0.1182	-0.354	0.0406	0.176	0.114	0.188	-0.0252
-0.225	-0.1256	-0.34	0.0528	0.191	0.1162	0.173	-0.0282
-0.239	-0.1334	-0.325	0.0634	0.205	0.1182	0.158	-0.0308
-0.254	-0.1416	-0.31	0.0704	0.22	0.121	0.143	-0.0336
-0.269	-0.1506	-0.298	0.078	0.234	0.1224	0.129	-0.0368
-0.283	-0.1598	-0.284	0.0842	0.248	0.1274	0.117	-0.0402
-0.298	-0.1708	-0.269	0.0898	0.264	0.1304	0.102	-0.0438
-0.313	-0.1826	-0.255	0.0938	0.278	0.1356	0.087	-0.0476
-0.328	-0.193	-0.24	0.0972	0.292	0.1404	0.072	-0.0514
-0.34	-0.207	-0.226	0.1002	0.304	0.145	0.058	-0.0546
-0.354	-0.223	-0.21	0.1022	0.319	0.1518	0.043	-0.0576
-0.369	-0.2406	-0.196	0.104	0.334	0.159	0.028	-0.0606
-0.384	-0.2604	-0.181	0.1052	0.348	0.1678	0.013	-0.0636
-0.399	-0.2822	-0.167	0.1062	0.362	0.1772		
-0.428	-0.3342	-0.141	0.1074	0.392	0.2022		
-0.443	-0.3638	-0.126	0.108	0.406	0.2166		
-0.458	-0.3964	-0.111	0.1082	0.421	0.233		
-0.472	-0.428	-0.096	0.1082	0.435	0.2514		
-0.484	-0.4524	-0.082	0.1082	0.447	0.2686		
-0.499	-0.481	-0.067	0.108	0.435	0.1482		
-0.513	-0.507	-0.052	0.1076	0.42	0.1028		
-0.528	-0.5312	-0.037	0.1076	0.406	0.0728		

Tabla A.3.2

Datos del ensayo 0S3.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.001	-0.007	-0.510	-0.498	-0.085	0.109	0.417	0.227
-0.016	-0.032	-0.524	-0.524	-0.070	0.108	0.429	0.245
-0.030	-0.041	-0.539	-0.548	-0.056	0.108	0.444	0.262
-0.045	-0.048	-0.545	-0.515	-0.041	0.107	0.440	0.164
-0.060	-0.054	-0.530	-0.424	-0.029	0.107	0.424	0.103
-0.075	-0.061	-0.516	-0.340	-0.015	0.107	0.410	0.065
-0.090	-0.068	-0.501	-0.285	0.000	0.106	0.395	0.042
-0.105	-0.074	-0.489	-0.227	0.015	0.106	0.381	0.026
-0.120	-0.080	-0.475	-0.176	0.029	0.106	0.365	0.013
-0.135	-0.085	-0.460	-0.133	0.043	0.106	0.351	0.004
-0.149	-0.092	-0.446	-0.096	0.059	0.106	0.336	-0.002
-0.162	-0.098	-0.431	-0.065	0.073	0.106	0.322	-0.006
-0.176	-0.105	-0.416	-0.036	0.087	0.106	0.309	-0.011
-0.191	-0.112	-0.402	-0.012	0.102	0.107	0.295	-0.015
-0.206	-0.118	-0.387	0.008	0.117	0.108	0.280	-0.018
-0.221	-0.125	-0.372	0.026	0.129	0.109	0.266	-0.021
-0.235	-0.132	-0.357	0.041	0.143	0.110	0.251	-0.023
-0.251	-0.140	-0.343	0.051	0.158	0.111	0.236	-0.026
-0.265	-0.149	-0.332	0.062	0.172	0.113	0.221	-0.028
-0.280	-0.158	-0.317	0.071	0.186	0.115	0.206	-0.030
-0.294	-0.166	-0.302	0.080	0.202	0.117	0.192	-0.032
-0.306	-0.176	-0.287	0.085	0.216	0.120	0.177	-0.035
-0.321	-0.188	-0.273	0.091	0.231	0.123	0.165	-0.037
-0.336	-0.201	-0.259	0.095	0.245	0.126	0.150	-0.039
-0.350	-0.215	-0.243	0.098	0.260	0.130	0.136	-0.042
-0.365	-0.232	-0.229	0.101	0.272	0.133	0.121	-0.044
-0.380	-0.251	-0.214	0.103	0.286	0.138	0.106	-0.047
-0.395	-0.272	-0.200	0.105	0.300	0.144	0.091	-0.050
-0.409	-0.296	-0.188	0.106	0.315	0.150	0.076	-0.053
-0.424	-0.322	-0.173	0.107	0.330	0.157	0.062	-0.056
-0.439	-0.350	-0.159	0.108	0.344	0.166	0.047	-0.058
-0.451	-0.375	-0.144	0.108	0.359	0.176	0.033	-0.061
-0.466	-0.409	-0.130	0.109	0.373	0.187	0.018	-0.063
-0.480	-0.441	-0.115	0.109	0.388	0.200	0.005	-0.066
-0.495	-0.470	-0.100	0.109	0.403	0.214		

Tabla A.3.3

Datos del ensayo 1.13S2.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.006	-0.019	-0.497	-0.253	0.091	0.107	0.209	-0.009
-0.021	-0.030	-0.482	-0.200	0.105	0.107	0.195	-0.015
-0.033	-0.039	-0.468	-0.164	0.120	0.108	0.180	-0.017
-0.048	-0.046	-0.456	-0.123	0.135	0.109	0.166	-0.021
-0.063	-0.052	-0.442	-0.088	0.149	0.110	0.150	-0.026
-0.077	-0.058	-0.427	-0.057	0.161	0.111	0.136	-0.029
-0.092	-0.064	-0.412	-0.031	0.176	0.112	0.121	-0.031
-0.107	-0.071	-0.398	-0.008	0.191	0.114	0.110	-0.034
-0.122	-0.076	-0.384	0.012	0.205	0.115	0.095	-0.038
-0.137	-0.083	-0.368	0.028	0.220	0.118	0.080	-0.041
-0.152	-0.090	-0.354	0.043	0.234	0.121	0.065	-0.045
-0.167	-0.096	-0.339	0.056	0.248	0.124	0.050	-0.048
-0.178	-0.101	-0.325	0.066	0.263	0.128	0.035	-0.051
-0.194	-0.108	-0.310	0.073	0.278	0.132	0.021	-0.055
-0.208	-0.116	-0.298	0.081	0.292	0.138	0.006	-0.058
-0.223	-0.123	-0.284	0.087	0.307	0.142		
-0.253	-0.140	-0.255	0.096	0.334	0.155		
-0.267	-0.149	-0.240	0.100	0.348	0.164		
-0.282	-0.158	-0.225	0.102	0.362	0.174		
-0.296	-0.169	-0.210	0.105	0.377	0.185		
-0.311	-0.181	-0.196	0.107	0.392	0.200		
-0.327	-0.191	-0.181	0.107	0.406	0.215		
-0.338	-0.205	-0.167	0.109	0.421	0.232		
-0.353	-0.220	-0.155	0.109	0.435	0.252		
-0.383	-0.255	-0.126	0.110	0.428	0.139		
-0.397	-0.276	-0.111	0.110	0.413	0.102		
-0.412	-0.298	-0.096	0.110	0.399	0.077		
-0.427	-0.322	-0.082	0.110	0.384	0.059		
-0.442	-0.348	-0.067	0.110	0.369	0.049		
-0.456	-0.375	-0.052	0.109	0.354	0.040		
-0.471	-0.406	-0.037	0.109	0.340	0.034		
-0.482	-0.427	-0.022	0.108	0.325	0.029		
-0.497	-0.456	-0.007	0.108	0.310	0.020		
-0.512	-0.482	0.004	0.107	0.295	0.014		
-0.527	-0.506	0.018	0.107	0.280	0.012		
-0.542	-0.530	0.033	0.107	0.269	0.007		
-0.541	-0.468	0.047	0.107	0.254	0.001		
-0.512	-0.312	0.076	0.107	0.225	-0.005		

Tabla A.3.4

Datos del ensayo 1.13S3.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.002	-0.010	-0.502	-0.269	0.089	0.107	0.211	-0.017
-0.017	-0.030	-0.487	-0.213	0.101	0.107	0.197	-0.020
-0.032	-0.039	-0.472	-0.165	0.116	0.107	0.182	-0.022
-0.046	-0.046	-0.458	-0.124	0.131	0.108	0.171	-0.027
-0.061	-0.052	-0.443	-0.088	0.145	0.109	0.156	-0.030
-0.076	-0.059	-0.428	-0.057	0.160	0.110	0.141	-0.033
-0.091	-0.065	-0.414	-0.030	0.174	0.111	0.126	-0.036
-0.106	-0.070	-0.400	-0.006	0.189	0.113	0.112	-0.038
-0.118	-0.076	-0.385	0.014	0.203	0.115	0.097	-0.042
-0.133	-0.082	-0.370	0.028	0.217	0.117	0.082	-0.044
-0.147	-0.089	-0.358	0.042	0.233	0.120	0.067	-0.047
-0.163	-0.095	-0.344	0.055	0.247	0.122	0.052	-0.051
-0.177	-0.102	-0.329	0.066	0.259	0.126	0.037	-0.053
-0.192	-0.109	-0.315	0.075	0.274	0.130	0.025	-0.056
-0.207	-0.116	-0.300	0.082	0.288	0.134	0.011	-0.059
-0.236	-0.131	-0.271	0.094	0.317	0.146		
-0.251	-0.139	-0.256	0.098	0.332	0.153		
-0.266	-0.146	-0.241	0.101	0.346	0.162		
-0.278	-0.156	-0.227	0.104	0.361	0.171		
-0.292	-0.166	-0.212	0.105	0.376	0.182		
-0.307	-0.177	-0.201	0.107	0.390	0.192		
-0.322	-0.189	-0.186	0.108	0.402	0.207		
-0.337	-0.202	-0.171	0.109	0.416	0.223		
-0.351	-0.217	-0.157	0.110	0.431	0.241		
-0.366	-0.234	-0.142	0.110	0.445	0.248		
-0.381	-0.252	-0.127	0.111	0.430	0.132		
-0.410	-0.295	-0.098	0.111	0.401	0.062		
-0.425	-0.313	-0.083	0.110	0.386	0.044		
-0.438	-0.340	-0.069	0.110	0.371	0.032		
-0.452	-0.366	-0.057	0.109	0.356	0.018		
-0.467	-0.396	-0.042	0.109	0.342	0.013		
-0.481	-0.426	-0.027	0.109	0.330	0.006		
-0.496	-0.454	-0.013	0.108	0.315	0.002		
-0.511	-0.484	0.002	0.108	0.300	-0.001		
-0.540	-0.532	0.031	0.107	0.271	-0.007		
-0.543	-0.482	0.045	0.107	0.256	-0.010		
-0.528	-0.409	0.060	0.107	0.241	-0.012		
-0.516	-0.331	0.075	0.107	0.227	-0.015		

Tabla A.3.5

Datos del ensayo 1.85S2.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.015	-0.029	-0.488	-0.232	0.099	0.109	0.204	-0.007
-0.026	-0.037	-0.474	-0.184	0.113	0.109	0.190	-0.010
-0.042	-0.044	-0.460	-0.151	0.128	0.110	0.175	-0.014
-0.056	-0.051	-0.448	-0.115	0.142	0.111	0.160	-0.017
-0.071	-0.057	-0.433	-0.083	0.157	0.111	0.145	-0.022
-0.086	-0.064	-0.418	-0.054	0.169	0.113	0.131	-0.025
-0.101	-0.070	-0.404	-0.029	0.183	0.114	0.116	-0.029
-0.116	-0.076	-0.390	-0.007	0.198	0.116	0.104	-0.033
-0.131	-0.082	-0.375	0.011	0.212	0.118	0.089	-0.037
-0.145	-0.089	-0.360	0.027	0.227	0.121	0.074	-0.041
-0.161	-0.096	-0.345	0.041	0.241	0.123	0.059	-0.045
-0.175	-0.101	-0.331	0.053	0.256	0.126	0.044	-0.049
-0.188	-0.108	-0.317	0.063	0.270	0.130	0.029	-0.053
-0.202	-0.116	-0.302	0.070	0.285	0.134	0.015	-0.057
-0.216	-0.123	-0.290	0.078	0.299	0.139	0.000	-0.060
-0.232	-0.131	-0.276	0.085	0.314	0.143		
-0.261	-0.149	-0.246	0.094	0.340	0.155		
-0.276	-0.159	-0.232	0.098	0.355	0.164		
-0.290	-0.169	-0.217	0.101	0.369	0.174		
-0.305	-0.181	-0.203	0.104	0.384	0.185		
-0.321	-0.193	-0.188	0.106	0.399	0.198		
-0.335	-0.205	-0.173	0.107	0.413	0.212		
-0.347	-0.219	-0.159	0.109	0.427	0.228		
-0.361	-0.236	-0.147	0.109	0.442	0.244		
-0.377	-0.254	-0.133	0.110	0.435	0.165		
-0.392	-0.275	-0.117	0.111	0.423	0.112		
-0.406	-0.297	-0.103	0.111	0.408	0.081		
-0.421	-0.320	-0.088	0.111	0.394	0.064		
-0.465	-0.400	-0.044	0.111	0.349	0.034		
-0.480	-0.430	-0.029	0.111	0.335	0.030		
-0.492	-0.456	-0.015	0.110	0.320	0.025		
-0.506	-0.485	0.000	0.110	0.305	0.021		
-0.521	-0.513	0.011	0.109	0.290	0.017		
-0.536	-0.537	0.025	0.109	0.276	0.014		
-0.547	-0.530	0.040	0.109	0.264	0.008		
-0.532	-0.425	0.055	0.109	0.248	0.005		
-0.518	-0.350	0.070	0.109	0.234	0.001		
-0.503	-0.288	0.084	0.109	0.219	-0.002		

Tabla A.3.6

Datos del ensayo 1.85S3.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.005	-0.018	-0.498	-0.260	0.089	0.107	0.210	-0.010
-0.020	-0.033	-0.483	-0.208	0.104	0.107	0.196	-0.012
-0.035	-0.041	-0.469	-0.163	0.118	0.108	0.184	-0.015
-0.050	-0.048	-0.454	-0.124	0.133	0.108	0.170	-0.020
-0.065	-0.055	-0.440	-0.090	0.147	0.109	0.154	-0.023
-0.080	-0.061	-0.425	-0.060	0.162	0.110	0.140	-0.027
-0.095	-0.067	-0.410	-0.034	0.176	0.112	0.125	-0.030
-0.110	-0.072	-0.396	-0.012	0.191	0.113	0.110	-0.034
-0.121	-0.079	-0.382	0.004	0.205	0.115	0.095	-0.037
-0.137	-0.085	-0.369	0.021	0.220	0.117	0.081	-0.040
-0.151	-0.091	-0.355	0.036	0.235	0.119	0.066	-0.043
-0.166	-0.098	-0.341	0.049	0.246	0.122	0.051	-0.047
-0.180	-0.105	-0.326	0.060	0.261	0.125	0.036	-0.050
-0.196	-0.112	-0.311	0.069	0.276	0.129	0.025	-0.054
-0.210	-0.119	-0.296	0.077	0.290	0.133	0.009	-0.057
-0.225	-0.127	-0.282	0.084	0.305	0.139		
-0.255	-0.143	-0.253	0.094	0.334	0.151		
-0.267	-0.151	-0.238	0.098	0.348	0.160		
-0.281	-0.161	-0.224	0.100	0.363	0.168		
-0.296	-0.172	-0.211	0.103	0.378	0.179		
-0.311	-0.183	-0.198	0.105	0.392	0.188		
-0.326	-0.195	-0.182	0.107	0.404	0.201		
-0.341	-0.208	-0.168	0.109	0.418	0.215		
-0.355	-0.224	-0.153	0.109	0.433	0.231		
-0.370	-0.241	-0.139	0.110	0.444	0.210		
-0.385	-0.260	-0.124	0.111	0.429	0.122		
-0.426	-0.323	-0.080	0.111	0.385	0.046		
-0.441	-0.349	-0.066	0.111	0.370	0.035		
-0.456	-0.376	-0.053	0.110	0.355	0.029		
-0.470	-0.405	-0.039	0.110	0.344	0.022		
-0.485	-0.434	-0.024	0.110	0.329	0.018		
-0.500	-0.465	-0.009	0.109	0.314	0.012		
-0.515	-0.495	0.004	0.109	0.299	0.009		
-0.529	-0.522	0.020	0.108	0.284	0.006		
-0.544	-0.545	0.034	0.108	0.270	0.002		
-0.538	-0.460	0.049	0.107	0.255	0.000		
-0.524	-0.388	0.063	0.107	0.240	-0.003		
-0.512	-0.319	0.077	0.107	0.226	-0.006		

Tabla A.3.7

Datos del ensayo 2.77S2.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.018	-0.028	-0.483	-0.220	0.102	0.110	0.206	0.012
-0.030	-0.037	-0.469	-0.185	0.116	0.111	0.191	0.006
-0.045	-0.044	-0.457	-0.149	0.131	0.112	0.176	0.001
-0.060	-0.051	-0.443	-0.116	0.142	0.113	0.161	-0.004
-0.075	-0.059	-0.428	-0.083	0.157	0.113	0.146	-0.008
-0.090	-0.064	-0.414	-0.057	0.171	0.114	0.135	-0.013
-0.105	-0.071	-0.400	-0.034	0.185	0.115	0.120	-0.018
-0.120	-0.078	-0.385	-0.012	0.200	0.117	0.105	-0.024
-0.136	-0.085	-0.370	0.005	0.214	0.119	0.090	-0.030
-0.150	-0.092	-0.355	0.020	0.229	0.121	0.075	-0.035
-0.165	-0.097	-0.341	0.034	0.243	0.124	0.060	-0.041
-0.177	-0.105	-0.327	0.047	0.258	0.127	0.045	-0.046
-0.192	-0.111	-0.315	0.055	0.273	0.131	0.030	-0.050
-0.206	-0.119	-0.300	0.064	0.287	0.133	0.015	-0.054
-0.222	-0.127	-0.285	0.073	0.299	0.143	0.001	-0.058
-0.251	-0.145	-0.257	0.085	0.328	0.152		
-0.266	-0.154	-0.242	0.089	0.343	0.158		
-0.281	-0.164	-0.228	0.094	0.356	0.169		
-0.295	-0.175	-0.213	0.099	0.371	0.172		
-0.310	-0.186	-0.198	0.100	0.386	0.188		
-0.326	-0.196	-0.184	0.103	0.401	0.191		
-0.338	-0.212	-0.170	0.107	0.414	0.206		
-0.352	-0.227	-0.158	0.108	0.429	0.225		
-0.382	-0.263	-0.129	0.111	0.441	0.174		
-0.397	-0.286	-0.114	0.112	0.425	0.123		
-0.412	-0.315	-0.100	0.112	0.410	0.096		
-0.426	-0.328	-0.085	0.113	0.396	0.079		
-0.442	-0.356	-0.070	0.112	0.381	0.065		
-0.457	-0.391	-0.056	0.112	0.366	0.059		
-0.471	-0.416	-0.041	0.112	0.351	0.053		
-0.483	-0.458	-0.026	0.113	0.337	0.045		
-0.498	-0.488	-0.011	0.113	0.322	0.042		
-0.512	-0.515	0.000	0.111	0.306	0.036		
-0.527	-0.551	0.014	0.111	0.295	0.033		
-0.542	-0.578	0.029	0.112	0.280	0.031		
-0.527	-0.399	0.058	0.111	0.251	0.026		
-0.512	-0.334	0.072	0.111	0.235	0.022		
-0.498	-0.275	0.087	0.111	0.221	0.017		

Tabla A.3.8

Datos del ensayo 2.77S3.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.015	-0.032	-0.484	-0.246	0.101	0.112	0.208	-0.002
-0.030	-0.038	-0.469	-0.216	0.113	0.117	0.193	-0.007
-0.045	-0.050	-0.455	-0.169	0.127	0.116	0.181	-0.011
-0.060	-0.056	-0.441	-0.134	0.141	0.117	0.167	-0.015
-0.075	-0.061	-0.426	-0.091	0.156	0.116	0.151	-0.022
-0.090	-0.064	-0.411	-0.070	0.171	0.122	0.137	-0.028
-0.106	-0.079	-0.397	-0.040	0.185	0.121	0.122	-0.030
-0.120	-0.084	-0.383	-0.018	0.200	0.123	0.107	-0.032
-0.136	-0.093	-0.368	0.002	0.214	0.127	0.092	-0.040
-0.148	-0.099	-0.354	0.016	0.228	0.129	0.077	-0.046
-0.163	-0.108	-0.343	0.029	0.242	0.130	0.062	-0.049
-0.178	-0.111	-0.328	0.045	0.255	0.137	0.047	-0.050
-0.193	-0.125	-0.314	0.057	0.269	0.140	0.032	-0.057
-0.207	-0.133	-0.299	0.065	0.283	0.143	0.020	-0.061
-0.223	-0.141	-0.284	0.068	0.297	0.145	0.005	-0.064
-0.237	-0.143	-0.270	0.084	0.312	0.158		
-0.253	-0.164	-0.256	0.088	0.327	0.165		
-0.282	-0.182	-0.227	0.094	0.355	0.178		
-0.294	-0.195	-0.212	0.106	0.370	0.195		
-0.309	-0.205	-0.198	0.104	0.385	0.204		
-0.325	-0.217	-0.186	0.106	0.399	0.219		
-0.339	-0.223	-0.172	0.111	0.410	0.233		
-0.354	-0.259	-0.157	0.112	0.424	0.249		
-0.369	-0.266	-0.142	0.108	0.439	0.257		
-0.385	-0.274	-0.128	0.116	0.444	0.213		
-0.399	-0.321	-0.114	0.117	0.428	0.138		
-0.414	-0.335	-0.099	0.116	0.413	0.106		
-0.444	-0.418	-0.070	0.115	0.384	0.070		
-0.456	-0.429	-0.056	0.114	0.369	0.057		
-0.470	-0.445	-0.043	0.114	0.354	0.050		
-0.485	-0.509	-0.029	0.115	0.339	0.045		
-0.500	-0.532	-0.014	0.114	0.327	0.036		
-0.515	-0.557	0.000	0.114	0.313	0.030		
-0.530	-0.596	0.015	0.113	0.297	0.029		
-0.539	-0.564	0.043	0.114	0.268	0.019		
-0.524	-0.451	0.058	0.113	0.253	0.012		
-0.510	-0.370	0.072	0.114	0.238	0.008		
-0.495	-0.315	0.086	0.113	0.223	0.004		

Tabla A.3.9

Datos del ensayo 3.73S2.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.006	-0.019	-0.464	-0.213	0.118	0.116	0.090	-0.037
-0.021	-0.034	-0.450	-0.177	0.133	0.117	0.075	-0.040
-0.036	-0.041	-0.435	-0.134	0.147	0.117	0.060	-0.046
-0.049	-0.049	-0.423	-0.105	0.162	0.120	0.045	-0.049
-0.064	-0.056	-0.409	-0.080	0.173	0.120	0.030	-0.052
-0.079	-0.063	-0.395	-0.051	0.188	0.119	0.015	-0.056
-0.093	-0.071	-0.380	-0.027	0.202	0.127	0.003	-0.061
-0.108	-0.079	-0.365	-0.007	0.216	0.127	-0.011	-0.062
-0.124	-0.088	-0.351	0.011	0.231	0.127	-0.021	-0.042
-0.139	-0.095	-0.337	0.026	0.245	0.134	0.000	-0.003
-0.153	-0.103	-0.322	0.039	0.260	0.138		
-0.169	-0.113	-0.308	0.052	0.275	0.140		
-0.198	-0.129	-0.281	0.070	0.303	0.155		
-0.210	-0.139	-0.268	0.078	0.318	0.156		
-0.226	-0.149	-0.253	0.084	0.330	0.162		
-0.240	-0.160	-0.238	0.086	0.344	0.175		
-0.255	-0.171	-0.224	0.098	0.358	0.185		
-0.270	-0.183	-0.209	0.100	0.373	0.188		
-0.285	-0.196	-0.195	0.102	0.433	0.228		
-0.300	-0.211	-0.180	0.104	0.428	0.174		
-0.315	-0.229	-0.166	0.111	0.403	0.108		
-0.330	-0.245	-0.151	0.110	0.367	0.073		
-0.344	-0.262	-0.137	0.115	0.351	0.059		
-0.356	-0.281	-0.126	0.114	0.337	0.049		
-0.371	-0.304	-0.111	0.115	0.325	0.037		
-0.387	-0.324	-0.096	0.115	0.310	0.032		
-0.402	-0.358	-0.082	0.116	0.295	0.028		
-0.416	-0.382	-0.067	0.114	0.281	0.020		
-0.431	-0.402	-0.052	0.114	0.266	0.016		
-0.446	-0.423	-0.037	0.114	0.251	0.011		
-0.476	-0.490	-0.008	0.114	0.221	0.001		
-0.491	-0.517	0.005	0.114	0.206	-0.003		
-0.505	-0.544	0.017	0.114	0.192	-0.006		
-0.547	-0.602	0.032	0.113	0.176	-0.011		
-0.536	-0.560	0.046	0.113	0.164	-0.015		
-0.522	-0.445	0.060	0.114	0.149	-0.018		
-0.507	-0.377	0.074	0.114	0.135	-0.023		
-0.478	-0.264	0.103	0.115	0.104	-0.033		

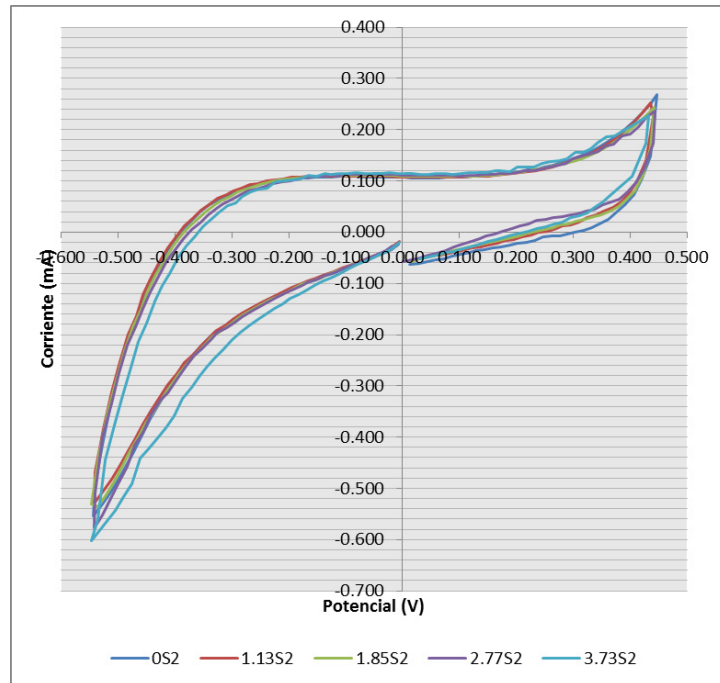
Tabla A.3.10

Datos del ensayo 3.73S3.

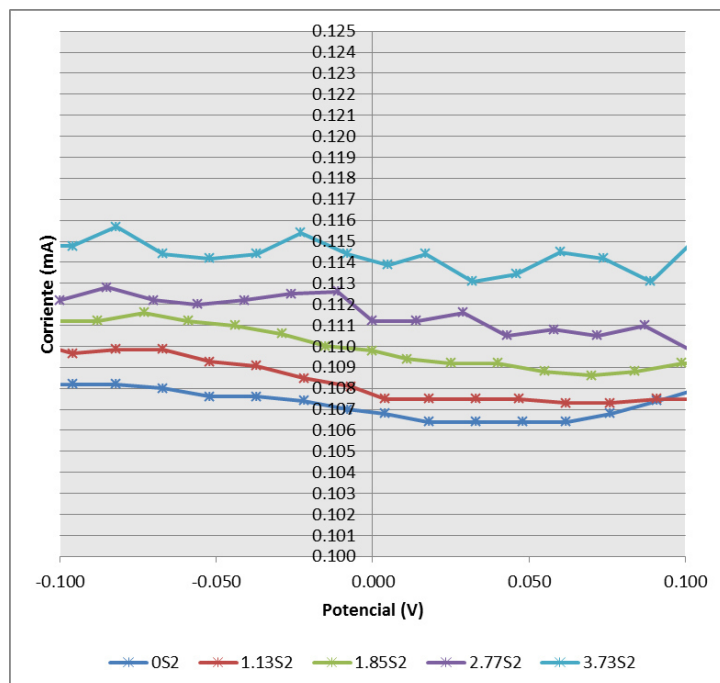
V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.013	-0.026	-0.489	-0.236	0.099	0.109	0.209	-0.003
-0.028	-0.037	-0.474	-0.187	0.114	0.109	0.194	-0.007
-0.043	-0.044	-0.460	-0.149	0.125	0.110	0.179	-0.010
-0.058	-0.051	-0.445	-0.114	0.140	0.111	0.165	-0.013
-0.072	-0.058	-0.430	-0.082	0.154	0.111	0.152	-0.017
-0.088	-0.065	-0.416	-0.056	0.169	0.113	0.138	-0.022
-0.102	-0.070	-0.402	-0.032	0.183	0.115	0.123	-0.024
-0.118	-0.080	-0.387	-0.011	0.198	0.116	0.107	-0.029
-0.133	-0.083	-0.372	0.007	0.212	0.118	0.093	-0.034
-0.145	-0.091	-0.358	0.023	0.227	0.120	0.078	-0.037
-0.160	-0.096	-0.344	0.034	0.241	0.122	0.063	-0.041
-0.174	-0.106	-0.332	0.046	0.256	0.127	0.048	-0.047
-0.190	-0.112	-0.317	0.057	0.270	0.129	0.033	-0.050
-0.204	-0.117	-0.303	0.066	0.281	0.132	0.018	-0.053
-0.219	-0.129	-0.288	0.074	0.296	0.138	0.005	-0.058
-0.249	-0.145	-0.260	0.086	0.325	0.149		
-0.264	-0.146	-0.245	0.092	0.340	0.156		
-0.279	-0.161	-0.230	0.095	0.354	0.164		
-0.293	-0.168	-0.215	0.100	0.369	0.173		
-0.305	-0.178	-0.201	0.102	0.383	0.184		
-0.320	-0.196	-0.190	0.104	0.398	0.196		
-0.335	-0.207	-0.174	0.107	0.412	0.206		
-0.350	-0.216	-0.160	0.108	0.424	0.218		
-0.380	-0.252	-0.131	0.110	0.444	0.184		
-0.395	-0.269	-0.117	0.112	0.428	0.119		
-0.409	-0.296	-0.102	0.112	0.413	0.090		
-0.424	-0.318	-0.087	0.113	0.399	0.070		
-0.440	-0.349	-0.072	0.113	0.384	0.057		
-0.451	-0.369	-0.058	0.113	0.369	0.047		
-0.466	-0.402	-0.043	0.112	0.354	0.038		
-0.480	-0.428	-0.032	0.112	0.339	0.031		
-0.496	-0.472	-0.017	0.112	0.324	0.026		
-0.510	-0.500	-0.003	0.111	0.313	0.023		
-0.525	-0.545	0.011	0.110	0.297	0.018		
-0.540	-0.567	0.026	0.111	0.283	0.015		
-0.529	-0.411	0.056	0.109	0.253	0.007		
-0.514	-0.336	0.070	0.109	0.238	0.002		
-0.500	-0.287	0.085	0.109	0.224	0.000		

Figura A.3.1

Ensayos en medio salino - Prueba 2.



(a)

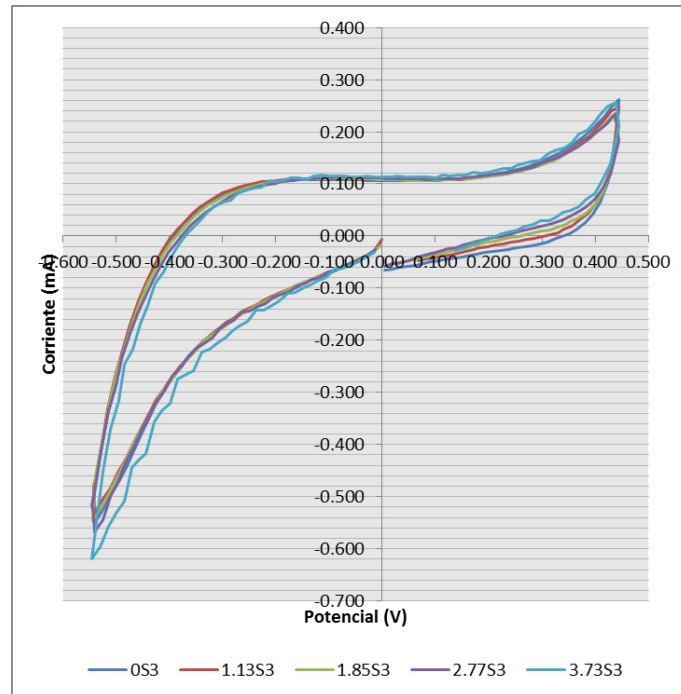


(b)

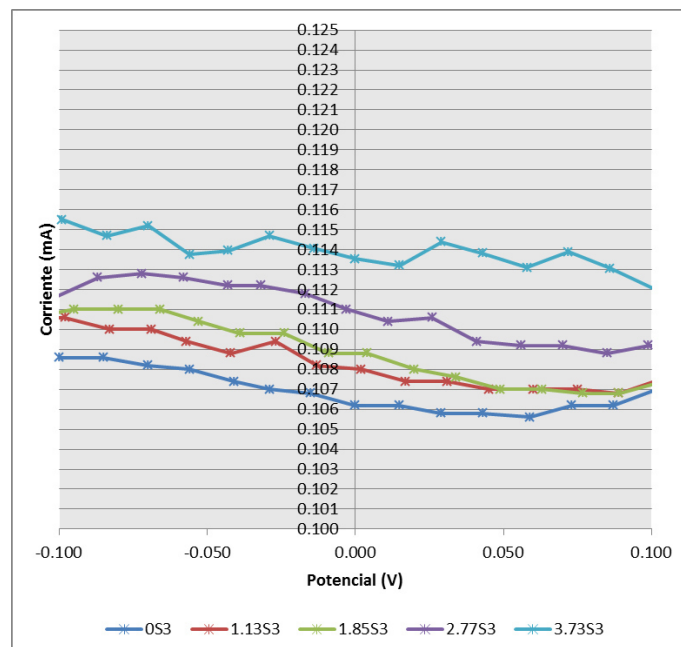
Nota: (a) Completa, (b) Aumentada

Figura A.3.2

Ensayos en medio salino - Prueba 3.



(a)



(b)

Nota: (a) Completa, (b) Aumentada

Tabla A.3.11

Datos del ensayo 0A2.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.001	-0.007	-0.486	-0.545	-0.343	-0.009	0.117	0.340	0.090	0.026
-0.013	-0.030	-0.498	-0.582	-0.332	0.008	0.128	0.342	0.078	0.014
-0.025	-0.038	-0.510	-0.622	-0.323	0.026	0.140	0.343	0.066	0.004
-0.036	-0.046	-0.522	-0.664	-0.310	0.043	0.150	0.343	0.054	-0.005
-0.048	-0.055	-0.534	-0.712	-0.299	0.058	0.160	0.345	0.042	-0.014
-0.060	-0.062	-0.546	-0.770	-0.288	0.076	0.172	0.348	0.029	-0.023
-0.072	-0.069	-0.558	-0.822	-0.277	0.091	0.183	0.350	0.017	-0.029
-0.085	-0.075	-0.568	-0.883	-0.265	0.107	0.195	0.352	0.007	-0.037
-0.097	-0.081	-0.580	-0.949	-0.254	0.121	0.206	0.356		
-0.121	-0.097	-0.604	-1.098	-0.231	0.150	0.229	0.366		
-0.133	-0.103	-0.616	-1.184	-0.221	0.165	0.240	0.374		
-0.143	-0.112	-0.627	-1.275	-0.209	0.181	0.250	0.381		
-0.155	-0.120	-0.640	-1.375	-0.198	0.194	0.261	0.392		
-0.168	-0.128	-0.646	-1.413	-0.186	0.208	0.273	0.402		
-0.179	-0.139	-0.636	-1.314	-0.175	0.221	0.284	0.414		
-0.192	-0.150	-0.625	-1.197	-0.164	0.233	0.295	0.431		
-0.203	-0.158	-0.614	-1.090	-0.152	0.244	0.307	0.449		
-0.215	-0.167	-0.602	-0.990	-0.141	0.254	0.318	0.467		
-0.239	-0.182	-0.579	-0.815	-0.119	0.275	0.337	0.486		
-0.250	-0.191	-0.568	-0.739	-0.108	0.282	0.327	0.449		
-0.261	-0.201	-0.556	-0.667	-0.097	0.290	0.315	0.414		
-0.274	-0.212	-0.545	-0.602	-0.085	0.298	0.302	0.383		
-0.285	-0.222	-0.535	-0.553	-0.073	0.305	0.290	0.356		
-0.297	-0.233	-0.524	-0.496	-0.062	0.311	0.279	0.330		
-0.310	-0.244	-0.512	-0.444	-0.051	0.315	0.267	0.304		
-0.322	-0.260	-0.501	-0.396	-0.041	0.320	0.255	0.281		
-0.334	-0.271	-0.489	-0.352	-0.029	0.324	0.243	0.258		
-0.345	-0.284	-0.478	-0.313	-0.018	0.326	0.231	0.236		
-0.355	-0.296	-0.467	-0.276	-0.006	0.329	0.220	0.215		
-0.367	-0.310	-0.456	-0.242	0.004	0.331	0.208	0.192		
-0.380	-0.326	-0.444	-0.216	0.016	0.333	0.196	0.170		
-0.404	-0.360	-0.423	-0.158	0.039	0.337	0.172	0.128		
-0.416	-0.380	-0.411	-0.132	0.051	0.339	0.160	0.109		
-0.428	-0.402	-0.401	-0.109	0.059	0.338	0.148	0.093		
-0.440	-0.433	-0.389	-0.086	0.071	0.340	0.137	0.076		
-0.452	-0.456	-0.377	-0.067	0.083	0.340	0.125	0.064		
-0.462	-0.484	-0.366	-0.046	0.094	0.341	0.114	0.050		
-0.474	-0.512	-0.354	-0.026	0.105	0.342	0.102	0.038		

Tabla A.3.12

Datos del ensayo 0A3.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.008	-0.003	-0.491	-0.438	-0.338	0.036	0.122	0.336	0.083	0.015
-0.020	-0.017	-0.503	-0.470	-0.327	0.051	0.134	0.334	0.070	0.009
-0.032	-0.027	-0.515	-0.505	-0.315	0.067	0.145	0.332	0.060	0.000
-0.044	-0.036	-0.527	-0.546	-0.305	0.080	0.157	0.329	0.049	-0.006
-0.056	-0.043	-0.539	-0.591	-0.294	0.094	0.168	0.329	0.036	-0.014
-0.066	-0.050	-0.551	-0.641	-0.282	0.109	0.179	0.330	0.025	-0.020
-0.078	-0.058	-0.564	-0.697	-0.272	0.124	0.191	0.329	0.013	-0.027
-0.090	-0.067	-0.575	-0.759	-0.260	0.139	0.201	0.329	0.001	-0.033
-0.102	-0.074	-0.587	-0.805	-0.248	0.152	0.211	0.331		
-0.127	-0.088	-0.609	-0.957	-0.226	0.180	0.234	0.335		
-0.139	-0.095	-0.622	-1.042	-0.214	0.190	0.246	0.338		
-0.150	-0.102	-0.633	-1.127	-0.204	0.204	0.258	0.342		
-0.163	-0.107	-0.645	-1.217	-0.193	0.216	0.269	0.347		
-0.173	-0.114	-0.641	-1.158	-0.181	0.228	0.281	0.354		
-0.185	-0.120	-0.630	-1.053	-0.170	0.240	0.291	0.362		
-0.197	-0.126	-0.619	-0.955	-0.159	0.251	0.301	0.372		
-0.208	-0.133	-0.607	-0.879	-0.146	0.262	0.313	0.388		
-0.221	-0.139	-0.597	-0.795	-0.136	0.272	0.324	0.404		
-0.233	-0.145	-0.586	-0.717	-0.125	0.283	0.335	0.423		
-0.245	-0.152	-0.575	-0.645	-0.113	0.289	0.331	0.378		
-0.257	-0.158	-0.563	-0.582	-0.103	0.297	0.319	0.348		
-0.269	-0.164	-0.551	-0.524	-0.091	0.305	0.306	0.319		
-0.279	-0.171	-0.540	-0.470	-0.081	0.312	0.294	0.297		
-0.291	-0.179	-0.528	-0.416	-0.069	0.318	0.282	0.276		
-0.303	-0.185	-0.517	-0.368	-0.057	0.323	0.273	0.259		
-0.315	-0.193	-0.508	-0.335	-0.045	0.327	0.261	0.238		
-0.339	-0.210	-0.484	-0.254	-0.022	0.333	0.236	0.193		
-0.351	-0.220	-0.473	-0.219	-0.011	0.336	0.225	0.174		
-0.363	-0.231	-0.462	-0.189	-0.001	0.338	0.212	0.156		
-0.375	-0.240	-0.450	-0.161	0.009	0.339	0.201	0.139		
-0.385	-0.253	-0.439	-0.134	0.021	0.340	0.188	0.125		
-0.397	-0.266	-0.427	-0.111	0.033	0.341	0.176	0.111		
-0.409	-0.282	-0.416	-0.090	0.044	0.342	0.167	0.097		
-0.421	-0.300	-0.407	-0.070	0.056	0.343	0.154	0.085		
-0.433	-0.319	-0.396	-0.050	0.067	0.342	0.142	0.070		
-0.446	-0.339	-0.384	-0.032	0.078	0.341	0.131	0.058		
-0.457	-0.360	-0.372	-0.016	0.090	0.341	0.118	0.045		
-0.481	-0.410	-0.349	0.019	0.111	0.339	0.095	0.024		

Tabla A.3.13

Datos del ensayo 1.13A2.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.004	-0.019	-0.487	-0.529	-0.342	0.017	0.121	0.358	0.081	0.002
-0.016	-0.037	-0.498	-0.567	-0.331	0.036	0.132	0.356	0.069	-0.007
-0.028	-0.046	-0.510	-0.602	-0.320	0.054	0.143	0.356	0.057	-0.017
-0.040	-0.054	-0.522	-0.647	-0.308	0.071	0.155	0.358	0.043	-0.024
-0.052	-0.061	-0.532	-0.699	-0.296	0.088	0.167	0.356	0.033	-0.031
-0.065	-0.068	-0.544	-0.750	-0.287	0.102	0.178	0.358	0.020	-0.038
-0.076	-0.074	-0.556	-0.811	-0.275	0.119	0.191	0.361	0.007	-0.045
-0.088	-0.080	-0.568	-0.872	-0.264	0.135	0.202	0.360	0.000	0.000
-0.110	-0.093	-0.592	-1.019	-0.240	0.166	0.223	0.365		
-0.122	-0.100	-0.604	-1.094	-0.230	0.181	0.234	0.367		
-0.134	-0.107	-0.616	-1.171	-0.217	0.196	0.245	0.370		
-0.146	-0.115	-0.625	-1.255	-0.206	0.211	0.258	0.374		
-0.159	-0.122	-0.637	-1.353	-0.195	0.221	0.269	0.382		
-0.171	-0.131	-0.648	-1.441	-0.185	0.236	0.280	0.387		
-0.182	-0.138	-0.637	-1.313	-0.173	0.247	0.291	0.395		
-0.194	-0.146	-0.625	-1.205	-0.162	0.260	0.303	0.407		
-0.204	-0.153	-0.614	-1.093	-0.150	0.272	0.315	0.416		
-0.228	-0.170	-0.591	-0.906	-0.127	0.293	0.336	0.450		
-0.239	-0.178	-0.579	-0.831	-0.115	0.302	0.329	0.387		
-0.252	-0.187	-0.570	-0.753	-0.104	0.310	0.317	0.350		
-0.264	-0.195	-0.558	-0.675	-0.092	0.317	0.304	0.318		
-0.276	-0.205	-0.546	-0.608	-0.083	0.323	0.293	0.292		
-0.288	-0.214	-0.535	-0.544	-0.071	0.330	0.281	0.268		
-0.300	-0.223	-0.523	-0.485	-0.059	0.334	0.269	0.248		
-0.309	-0.233	-0.511	-0.434	-0.048	0.339	0.257	0.231		
-0.322	-0.244	-0.500	-0.383	-0.036	0.343	0.246	0.211		
-0.333	-0.256	-0.488	-0.337	-0.025	0.345	0.235	0.193		
-0.345	-0.266	-0.478	-0.302	-0.013	0.349	0.223	0.172		
-0.357	-0.280	-0.468	-0.264	-0.002	0.352	0.211	0.153		
-0.369	-0.295	-0.456	-0.229	0.010	0.353	0.200	0.137		
-0.381	-0.310	-0.445	-0.194	0.019	0.354	0.188	0.119		
-0.393	-0.328	-0.433	-0.165	0.031	0.354	0.175	0.101		
-0.405	-0.342	-0.421	-0.137	0.043	0.356	0.164	0.085		
-0.414	-0.364	-0.409	-0.109	0.054	0.356	0.153	0.074		
-0.426	-0.384	-0.399	-0.087	0.066	0.356	0.141	0.061		
-0.439	-0.408	-0.389	-0.066	0.077	0.358	0.130	0.048		
-0.451	-0.435	-0.378	-0.045	0.088	0.356	0.117	0.037		
-0.474	-0.497	-0.353	-0.002	0.112	0.356	0.093	0.013		

Tabla A.3.14

Datos del ensayo 1.13A3.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.009	-0.005	-0.491	-0.446	-0.339	0.047	0.125	0.363	0.078	0.011
-0.021	-0.019	-0.503	-0.474	-0.328	0.064	0.136	0.361	0.066	0.003
-0.032	-0.030	-0.513	-0.512	-0.316	0.081	0.147	0.362	0.055	-0.004
-0.045	-0.038	-0.524	-0.554	-0.304	0.096	0.159	0.360	0.043	-0.011
-0.057	-0.048	-0.536	-0.597	-0.292	0.111	0.171	0.358	0.033	-0.018
-0.069	-0.056	-0.548	-0.649	-0.281	0.124	0.181	0.359	0.021	-0.024
-0.081	-0.063	-0.560	-0.702	-0.272	0.138	0.194	0.354	0.009	-0.031
-0.093	-0.071	-0.573	-0.760	-0.260	0.154	0.204	0.354	0.000	0.000
-0.102	-0.077	-0.584	-0.829	-0.248	0.169	0.216	0.354		
-0.126	-0.092	-0.609	-0.963	-0.225	0.198	0.237	0.359		
-0.140	-0.099	-0.618	-1.038	-0.213	0.209	0.248	0.358		
-0.150	-0.105	-0.630	-1.126	-0.203	0.223	0.260	0.363		
-0.163	-0.112	-0.642	-1.224	-0.191	0.237	0.272	0.368		
-0.174	-0.119	-0.643	-1.217	-0.181	0.248	0.283	0.371		
-0.186	-0.125	-0.633	-1.112	-0.170	0.260	0.295	0.379		
-0.199	-0.132	-0.622	-1.013	-0.158	0.272	0.306	0.386		
-0.208	-0.136	-0.610	-0.914	-0.146	0.284	0.318	0.396		
-0.221	-0.143	-0.598	-0.829	-0.135	0.296	0.327	0.409		
-0.233	-0.148	-0.587	-0.758	-0.124	0.304	0.337	0.403		
-0.244	-0.155	-0.578	-0.684	-0.112	0.314	0.325	0.346		
-0.256	-0.162	-0.566	-0.612	-0.101	0.323	0.314	0.314		
-0.281	-0.174	-0.542	-0.490	-0.079	0.338	0.289	0.266		
-0.292	-0.182	-0.530	-0.431	-0.067	0.343	0.278	0.245		
-0.302	-0.188	-0.519	-0.382	-0.056	0.349	0.266	0.226		
-0.314	-0.195	-0.508	-0.339	-0.044	0.354	0.254	0.213		
-0.326	-0.203	-0.496	-0.293	-0.033	0.357	0.243	0.193		
-0.338	-0.212	-0.485	-0.264	-0.021	0.363	0.232	0.177		
-0.350	-0.222	-0.475	-0.225	-0.009	0.363	0.220	0.161		
-0.361	-0.231	-0.464	-0.192	0.002	0.366	0.207	0.144		
-0.373	-0.244	-0.452	-0.163	0.013	0.369	0.196	0.128		
-0.386	-0.255	-0.441	-0.134	0.023	0.369	0.183	0.111		
-0.398	-0.267	-0.429	-0.109	0.035	0.371	0.172	0.098		
-0.407	-0.282	-0.417	-0.085	0.046	0.369	0.160	0.084		
-0.420	-0.299	-0.406	-0.061	0.057	0.369	0.148	0.074		
-0.431	-0.319	-0.395	-0.042	0.069	0.370	0.136	0.061		
-0.444	-0.338	-0.383	-0.025	0.081	0.367	0.127	0.050		
-0.455	-0.360	-0.374	-0.006	0.091	0.368	0.114	0.038		
-0.479	-0.414	-0.350	0.030	0.115	0.364	0.089	0.019		

Tabla A.3.15

Datos del ensayo 1.85A2.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.004	-0.012	-0.480	-0.471	-0.348	0.038	0.121	0.378	0.145	0.039
-0.014	-0.035	-0.491	-0.508	-0.337	0.057	0.134	0.378	0.134	0.029
-0.025	-0.045	-0.503	-0.549	-0.325	0.074	0.145	0.377	0.121	0.019
-0.037	-0.053	-0.515	-0.594	-0.314	0.092	0.154	0.377	0.110	0.009
-0.050	-0.059	-0.525	-0.635	-0.302	0.109	0.167	0.377	0.098	0.002
-0.061	-0.065	-0.537	-0.689	-0.290	0.126	0.178	0.377	0.086	-0.009
-0.073	-0.070	-0.548	-0.746	-0.279	0.141	0.190	0.377	0.076	-0.017
-0.086	-0.075	-0.560	-0.810	-0.267	0.155	0.201	0.377	0.065	-0.024
-0.098	-0.081	-0.572	-0.880	-0.257	0.171	0.213	0.377		
-0.119	-0.091	-0.596	-1.038	-0.234	0.201	0.236	0.380		
-0.131	-0.097	-0.608	-1.127	-0.223	0.215	0.245	0.381		
-0.143	-0.102	-0.620	-1.206	-0.210	0.229	0.258	0.383		
-0.154	-0.108	-0.629	-1.308	-0.199	0.242	0.269	0.386		
-0.167	-0.114	-0.641	-1.418	-0.188	0.255	0.281	0.389		
-0.178	-0.121	-0.645	-1.441	-0.175	0.268	0.292	0.393		
-0.190	-0.127	-0.633	-1.308	-0.164	0.278	0.304	0.399		
-0.202	-0.133	-0.622	-1.186	-0.154	0.290	0.316	0.405		
-0.214	-0.138	-0.611	-1.073	-0.142	0.300	0.327	0.412		
-0.224	-0.145	-0.599	-0.968	-0.131	0.311	0.339	0.420		
-0.235	-0.152	-0.587	-0.870	-0.119	0.320	0.348	0.430		
-0.247	-0.159	-0.576	-0.795	-0.107	0.329	0.360	0.439		
-0.259	-0.165	-0.566	-0.711	-0.096	0.337	0.365	0.409		
-0.283	-0.181	-0.542	-0.564	-0.072	0.351	0.342	0.308		
-0.294	-0.189	-0.530	-0.499	-0.063	0.355	0.330	0.278		
-0.306	-0.197	-0.519	-0.439	-0.051	0.360	0.319	0.253		
-0.317	-0.204	-0.507	-0.384	-0.039	0.365	0.306	0.230		
-0.328	-0.215	-0.496	-0.335	-0.028	0.369	0.297	0.215		
-0.340	-0.225	-0.484	-0.289	-0.015	0.372	0.285	0.199		
-0.351	-0.237	-0.472	-0.254	-0.004	0.374	0.273	0.184		
-0.363	-0.250	-0.463	-0.216	0.007	0.376	0.262	0.168		
-0.376	-0.263	-0.452	-0.181	0.019	0.377	0.250	0.153		
-0.387	-0.278	-0.440	-0.148	0.030	0.378	0.237	0.138		
-0.399	-0.296	-0.428	-0.118	0.042	0.378	0.226	0.124		
-0.411	-0.314	-0.416	-0.091	0.052	0.379	0.214	0.111		
-0.420	-0.332	-0.405	-0.066	0.064	0.380	0.202	0.099		
-0.432	-0.355	-0.393	-0.042	0.075	0.380	0.193	0.090		
-0.445	-0.380	-0.382	-0.020	0.087	0.380	0.181	0.076		
-0.468	-0.437	-0.360	0.018	0.110	0.379	0.157	0.050		

Tabla A.3.16

Datos del ensayo 1.85A3.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.007	-0.006	-0.485	-0.411	-0.343	0.055	0.125	0.382	0.159	0.047
-0.020	-0.022	-0.495	-0.443	-0.332	0.071	0.137	0.380	0.147	0.039
-0.032	-0.033	-0.507	-0.480	-0.320	0.087	0.148	0.378	0.138	0.030
-0.043	-0.041	-0.519	-0.519	-0.308	0.100	0.160	0.377	0.126	0.021
-0.055	-0.050	-0.531	-0.563	-0.296	0.115	0.172	0.375	0.114	0.014
-0.067	-0.057	-0.542	-0.611	-0.287	0.131	0.183	0.373	0.102	0.005
-0.079	-0.067	-0.554	-0.665	-0.275	0.146	0.195	0.371	0.090	-0.002
-0.089	-0.073	-0.567	-0.724	-0.264	0.161	0.204	0.370	0.079	-0.010
-0.101	-0.080	-0.578	-0.788	-0.252	0.175	0.216	0.368		
-0.137	-0.100	-0.612	-1.005	-0.217	0.218	0.251	0.365		
-0.148	-0.107	-0.624	-1.095	-0.205	0.228	0.263	0.365		
-0.161	-0.113	-0.635	-1.193	-0.194	0.242	0.274	0.366		
-0.172	-0.118	-0.647	-1.299	-0.184	0.255	0.286	0.367		
-0.182	-0.124	-0.639	-1.205	-0.172	0.268	0.297	0.369		
-0.194	-0.129	-0.628	-1.089	-0.161	0.280	0.307	0.371		
-0.205	-0.134	-0.617	-0.981	-0.148	0.292	0.319	0.374		
-0.217	-0.140	-0.607	-0.898	-0.137	0.303	0.331	0.380		
-0.230	-0.145	-0.595	-0.807	-0.126	0.313	0.342	0.386		
-0.241	-0.151	-0.584	-0.721	-0.114	0.323	0.353	0.395		
-0.253	-0.156	-0.572	-0.644	-0.104	0.331	0.365	0.406		
-0.265	-0.161	-0.560	-0.572	-0.092	0.339	0.377	0.418		
-0.277	-0.167	-0.548	-0.507	-0.081	0.347	0.368	0.344		
-0.286	-0.172	-0.537	-0.447	-0.069	0.354	0.356	0.308		
-0.298	-0.179	-0.525	-0.392	-0.057	0.361	0.346	0.280		
-0.310	-0.185	-0.513	-0.342	-0.045	0.366	0.335	0.259		
-0.322	-0.192	-0.504	-0.304	-0.034	0.371	0.323	0.238		
-0.334	-0.200	-0.492	-0.262	-0.022	0.375	0.311	0.219		
-0.345	-0.209	-0.480	-0.224	-0.010	0.379	0.299	0.201		
-0.369	-0.227	-0.458	-0.157	0.013	0.384	0.276	0.166		
-0.381	-0.238	-0.446	-0.128	0.022	0.385	0.264	0.153		
-0.393	-0.250	-0.434	-0.101	0.034	0.387	0.252	0.140		
-0.403	-0.263	-0.422	-0.076	0.045	0.388	0.242	0.127		
-0.414	-0.279	-0.411	-0.054	0.058	0.388	0.230	0.114		
-0.426	-0.296	-0.401	-0.036	0.069	0.388	0.219	0.103		
-0.439	-0.315	-0.390	-0.016	0.081	0.387	0.206	0.091		
-0.450	-0.336	-0.378	0.003	0.092	0.386	0.195	0.078		
-0.462	-0.360	-0.366	0.020	0.104	0.385	0.183	0.068		
-0.474	-0.386	-0.354	0.038	0.114	0.383	0.171	0.057		

Tabla A.3.17

Datos del ensayo 2.77A2.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.006	-0.003	-0.483	-0.480	-0.344	0.043	0.123	0.390	0.077	0.006
-0.016	-0.022	-0.495	-0.519	-0.333	0.061	0.135	0.394	0.065	-0.002
-0.028	-0.032	-0.507	-0.560	-0.322	0.078	0.146	0.397	0.053	-0.010
-0.040	-0.039	-0.519	-0.607	-0.309	0.095	0.158	0.402	0.041	-0.018
-0.053	-0.046	-0.529	-0.649	-0.298	0.112	0.170	0.406	0.032	-0.026
-0.065	-0.051	-0.541	-0.703	-0.286	0.129	0.181	0.409	0.020	-0.033
-0.076	-0.056	-0.553	-0.764	-0.276	0.142	0.193	0.415	0.007	-0.040
-0.087	-0.061	-0.565	-0.829	-0.266	0.158	0.204	0.419	0.000	0.000
-0.100	-0.067	-0.577	-0.901	-0.253	0.173	0.215	0.423		
-0.122	-0.077	-0.600	-1.059	-0.231	0.202	0.237	0.436		
-0.134	-0.081	-0.612	-1.148	-0.219	0.217	0.249	0.444		
-0.145	-0.087	-0.622	-1.227	-0.206	0.230	0.261	0.453		
-0.157	-0.093	-0.634	-1.322	-0.195	0.244	0.272	0.462		
-0.170	-0.100	-0.645	-1.405	-0.183	0.256	0.283	0.471		
-0.182	-0.106	-0.641	-1.357	-0.174	0.266	0.295	0.484		
-0.193	-0.113	-0.629	-1.244	-0.162	0.278	0.306	0.497		
-0.205	-0.120	-0.618	-1.132	-0.150	0.289	0.319	0.512		
-0.217	-0.125	-0.606	-1.025	-0.139	0.298	0.328	0.532		
-0.227	-0.133	-0.594	-0.923	-0.127	0.308	0.334	0.504		
-0.238	-0.140	-0.583	-0.846	-0.116	0.318	0.322	0.445		
-0.250	-0.148	-0.573	-0.758	-0.103	0.327	0.310	0.399		
-0.262	-0.156	-0.561	-0.678	-0.092	0.334	0.298	0.364		
-0.274	-0.164	-0.549	-0.603	-0.083	0.339	0.286	0.332		
-0.286	-0.173	-0.538	-0.536	-0.070	0.346	0.275	0.302		
-0.298	-0.183	-0.526	-0.473	-0.059	0.352	0.263	0.278		
-0.310	-0.190	-0.515	-0.416	-0.048	0.356	0.250	0.256		
-0.332	-0.211	-0.491	-0.316	-0.024	0.365	0.229	0.212		
-0.343	-0.222	-0.480	-0.279	-0.012	0.367	0.217	0.191		
-0.355	-0.234	-0.469	-0.240	0.000	0.370	0.204	0.168		
-0.367	-0.249	-0.459	-0.202	0.011	0.371	0.194	0.147		
-0.379	-0.264	-0.447	-0.168	0.020	0.374	0.182	0.128		
-0.391	-0.279	-0.435	-0.137	0.032	0.376	0.170	0.111		
-0.403	-0.297	-0.424	-0.109	0.043	0.376	0.158	0.094		
-0.414	-0.317	-0.412	-0.082	0.055	0.378	0.146	0.079		
-0.426	-0.336	-0.401	-0.058	0.067	0.379	0.136	0.064		
-0.436	-0.358	-0.389	-0.035	0.079	0.381	0.124	0.050		
-0.449	-0.385	-0.378	-0.017	0.089	0.383	0.112	0.038		
-0.471	-0.445	-0.356	0.023	0.113	0.387	0.089	0.016		

Tabla A.3.18

Datos del ensayo 2.77A3.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.006	-0.001	-0.483	-0.449	-0.343	0.057	0.125	0.410	0.076	0.004
-0.018	-0.016	-0.495	-0.485	-0.334	0.075	0.136	0.409	0.065	-0.004
-0.031	-0.027	-0.507	-0.524	-0.322	0.093	0.146	0.408	0.053	-0.011
-0.042	-0.038	-0.518	-0.567	-0.310	0.111	0.158	0.407	0.042	-0.019
-0.052	-0.046	-0.531	-0.615	-0.298	0.127	0.169	0.404	0.029	-0.026
-0.067	-0.056	-0.540	-0.660	-0.287	0.143	0.181	0.403	0.018	-0.032
-0.076	-0.063	-0.552	-0.717	-0.275	0.160	0.193	0.402	0.007	-0.038
-0.088	-0.071	-0.565	-0.781	-0.264	0.176	0.203	0.401	0.000	0.000
-0.101	-0.080	-0.576	-0.850	-0.252	0.190	0.215	0.401		
-0.124	-0.094	-0.601	-1.010	-0.230	0.222	0.239	0.404		
-0.134	-0.101	-0.612	-1.099	-0.219	0.236	0.248	0.404		
-0.148	-0.107	-0.625	-1.195	-0.207	0.251	0.260	0.409		
-0.158	-0.114	-0.636	-1.298	-0.195	0.265	0.271	0.413		
-0.170	-0.120	-0.645	-1.386	-0.184	0.278	0.283	0.419		
-0.181	-0.127	-0.641	-1.325	-0.172	0.292	0.294	0.424		
-0.194	-0.134	-0.629	-1.203	-0.161	0.305	0.306	0.432		
-0.205	-0.140	-0.618	-1.088	-0.149	0.318	0.318	0.440		
-0.217	-0.146	-0.607	-0.981	-0.139	0.327	0.330	0.450		
-0.229	-0.152	-0.595	-0.880	-0.127	0.338	0.331	0.418		
-0.239	-0.158	-0.583	-0.788	-0.116	0.349	0.322	0.357		
-0.263	-0.171	-0.559	-0.624	-0.092	0.369	0.298	0.293		
-0.274	-0.176	-0.549	-0.565	-0.081	0.377	0.286	0.267		
-0.286	-0.184	-0.538	-0.499	-0.069	0.383	0.274	0.243		
-0.298	-0.191	-0.526	-0.439	-0.058	0.390	0.263	0.223		
-0.310	-0.198	-0.515	-0.384	-0.048	0.395	0.250	0.203		
-0.322	-0.206	-0.503	-0.334	-0.036	0.400	0.238	0.184		
-0.334	-0.214	-0.491	-0.288	-0.025	0.404	0.226	0.168		
-0.343	-0.222	-0.480	-0.247	-0.013	0.408	0.216	0.148		
-0.355	-0.233	-0.469	-0.209	-0.001	0.411	0.204	0.131		
-0.367	-0.244	-0.457	-0.179	0.011	0.413	0.193	0.116		
-0.379	-0.256	-0.446	-0.147	0.022	0.414	0.181	0.102		
-0.391	-0.270	-0.435	-0.117	0.034	0.416	0.169	0.088		
-0.403	-0.285	-0.423	-0.089	0.044	0.416	0.158	0.076		
-0.415	-0.303	-0.412	-0.065	0.055	0.416	0.145	0.064		
-0.427	-0.321	-0.401	-0.041	0.067	0.415	0.134	0.053		
-0.439	-0.339	-0.389	-0.018	0.077	0.415	0.122	0.043		
-0.448	-0.362	-0.378	0.002	0.089	0.414	0.113	0.033		
-0.471	-0.417	-0.354	0.038	0.113	0.412	0.088	0.013		

Tabla A.3.19

Datos del ensayo 3.73A2.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.009	-0.006	-0.485	-0.458	-0.344	0.053	0.127	0.412	0.071	0.003
-0.018	-0.018	-0.496	-0.493	-0.332	0.071	0.139	0.411	0.059	-0.006
-0.030	-0.028	-0.508	-0.531	-0.320	0.089	0.148	0.410	0.047	-0.014
-0.043	-0.036	-0.519	-0.573	-0.309	0.106	0.160	0.408	0.035	-0.021
-0.054	-0.044	-0.532	-0.611	-0.297	0.123	0.172	0.408	0.024	-0.029
-0.066	-0.051	-0.543	-0.662	-0.285	0.140	0.183	0.406	0.011	-0.035
-0.079	-0.059	-0.553	-0.718	-0.274	0.156	0.195	0.405	0.002	-0.042
-0.090	-0.067	-0.565	-0.779	-0.264	0.169	0.206	0.404	0.000	0.000
-0.102	-0.074	-0.577	-0.845	-0.252	0.185	0.217	0.406		
-0.124	-0.087	-0.601	-0.999	-0.229	0.216	0.241	0.408		
-0.136	-0.095	-0.613	-1.084	-0.217	0.231	0.251	0.408		
-0.147	-0.102	-0.625	-1.179	-0.205	0.247	0.263	0.410		
-0.160	-0.110	-0.636	-1.263	-0.194	0.261	0.274	0.412		
-0.172	-0.117	-0.646	-1.367	-0.182	0.275	0.285	0.415		
-0.183	-0.126	-0.640	-1.297	-0.171	0.288	0.297	0.420		
-0.195	-0.133	-0.629	-1.181	-0.161	0.300	0.309	0.426		
-0.207	-0.141	-0.618	-1.066	-0.149	0.312	0.321	0.432		
-0.219	-0.146	-0.606	-0.962	-0.137	0.324	0.332	0.443		
-0.240	-0.162	-0.583	-0.776	-0.114	0.346	0.315	0.331		
-0.253	-0.170	-0.571	-0.693	-0.102	0.356	0.302	0.299		
-0.264	-0.177	-0.561	-0.630	-0.091	0.365	0.291	0.272		
-0.276	-0.185	-0.549	-0.560	-0.079	0.373	0.279	0.246		
-0.287	-0.192	-0.537	-0.495	-0.067	0.380	0.268	0.226		
-0.299	-0.201	-0.526	-0.436	-0.056	0.386	0.256	0.205		
-0.311	-0.208	-0.514	-0.382	-0.046	0.392	0.243	0.185		
-0.323	-0.215	-0.502	-0.332	-0.034	0.398	0.232	0.166		
-0.333	-0.225	-0.491	-0.288	-0.022	0.402	0.220	0.152		
-0.344	-0.235	-0.479	-0.246	-0.010	0.406	0.210	0.137		
-0.356	-0.245	-0.468	-0.215	0.001	0.409	0.198	0.122		
-0.368	-0.257	-0.458	-0.179	0.013	0.411	0.187	0.111		
-0.381	-0.269	-0.447	-0.147	0.024	0.414	0.174	0.099		
-0.392	-0.284	-0.435	-0.119	0.035	0.414	0.163	0.086		
-0.404	-0.299	-0.423	-0.092	0.045	0.415	0.151	0.071		
-0.416	-0.315	-0.411	-0.066	0.057	0.416	0.140	0.059		
-0.427	-0.331	-0.400	-0.043	0.069	0.416	0.128	0.049		
-0.440	-0.351	-0.388	-0.021	0.080	0.415	0.118	0.041		
-0.449	-0.374	-0.377	0.000	0.092	0.415	0.105	0.031		
-0.472	-0.427	-0.353	0.035	0.115	0.413	0.083	0.011		

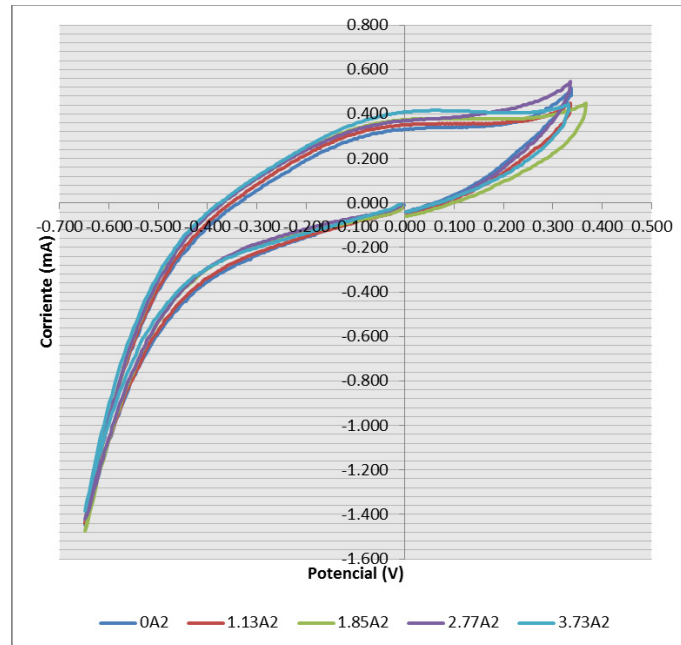
Tabla A.3.20

Datos del ensayo 3.73A3.

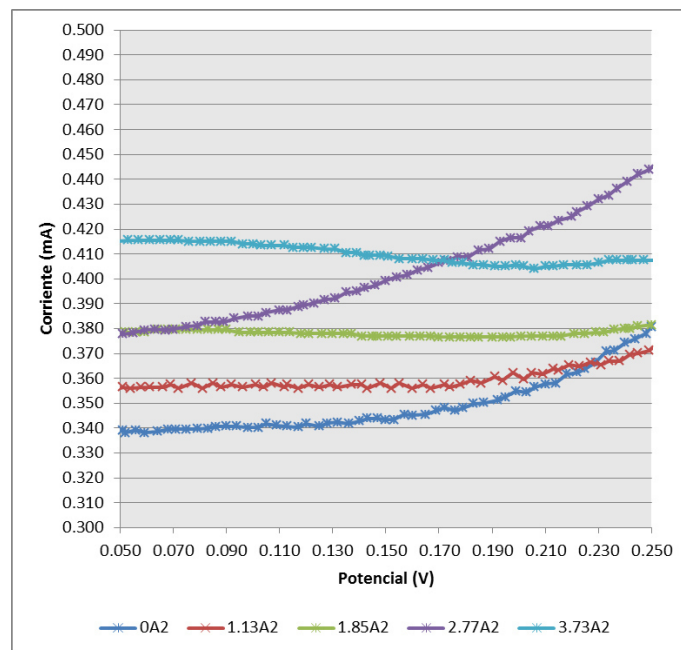
V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.009	-0.001	-0.485	-0.432	-0.341	0.068	0.128	0.421	0.089	0.015
-0.021	-0.017	-0.497	-0.467	-0.331	0.086	0.139	0.419	0.077	0.006
-0.033	-0.028	-0.508	-0.504	-0.320	0.103	0.151	0.417	0.066	-0.001
-0.043	-0.037	-0.520	-0.548	-0.308	0.120	0.163	0.414	0.054	-0.009
-0.055	-0.046	-0.532	-0.595	-0.296	0.137	0.174	0.412	0.043	-0.017
-0.067	-0.055	-0.544	-0.638	-0.284	0.153	0.183	0.410	0.030	-0.023
-0.079	-0.063	-0.554	-0.695	-0.274	0.169	0.195	0.408	0.018	-0.030
-0.090	-0.071	-0.566	-0.755	-0.261	0.185	0.207	0.407	0.009	-0.036
-0.114	-0.086	-0.589	-0.897	-0.238	0.215	0.230	0.404		
-0.127	-0.093	-0.601	-0.979	-0.229	0.230	0.242	0.403		
-0.136	-0.099	-0.613	-1.064	-0.216	0.245	0.253	0.403		
-0.148	-0.106	-0.625	-1.158	-0.205	0.260	0.265	0.403		
-0.160	-0.112	-0.636	-1.263	-0.193	0.275	0.277	0.404		
-0.172	-0.119	-0.648	-1.349	-0.181	0.288	0.286	0.407		
-0.183	-0.124	-0.640	-1.267	-0.170	0.303	0.298	0.409		
-0.196	-0.130	-0.628	-1.152	-0.159	0.315	0.309	0.413		
-0.207	-0.136	-0.616	-1.038	-0.146	0.328	0.321	0.418		
-0.219	-0.142	-0.605	-0.933	-0.137	0.338	0.333	0.424		
-0.241	-0.152	-0.582	-0.749	-0.114	0.360	0.332	0.341		
-0.253	-0.159	-0.570	-0.667	-0.102	0.370	0.320	0.299		
-0.265	-0.164	-0.558	-0.592	-0.090	0.380	0.310	0.272		
-0.276	-0.169	-0.546	-0.535	-0.079	0.388	0.298	0.248		
-0.288	-0.176	-0.537	-0.471	-0.067	0.395	0.286	0.226		
-0.300	-0.183	-0.525	-0.413	-0.055	0.403	0.275	0.207		
-0.311	-0.189	-0.513	-0.360	-0.043	0.408	0.263	0.190		
-0.323	-0.197	-0.502	-0.311	-0.034	0.413	0.251	0.173		
-0.335	-0.204	-0.490	-0.266	-0.021	0.417	0.239	0.159		
-0.345	-0.212	-0.478	-0.226	-0.010	0.420	0.228	0.144		
-0.357	-0.222	-0.468	-0.189	0.002	0.424	0.215	0.132		
-0.369	-0.233	-0.456	-0.155	0.013	0.426	0.205	0.119		
-0.380	-0.245	-0.444	-0.130	0.025	0.428	0.194	0.107		
-0.392	-0.257	-0.434	-0.101	0.036	0.429	0.182	0.094		
-0.404	-0.272	-0.422	-0.074	0.048	0.429	0.170	0.082		
-0.428	-0.307	-0.399	-0.026	0.071	0.429	0.147	0.062		
-0.440	-0.324	-0.388	-0.006	0.081	0.427	0.135	0.052		
-0.450	-0.347	-0.376	0.015	0.092	0.426	0.123	0.042		
-0.461	-0.372	-0.364	0.035	0.104	0.425	0.113	0.033		
-0.473	-0.400	-0.352	0.053	0.116	0.423	0.102	0.023		

Figura A.3.3

Ensayos en medio ácido - Prueba 2.



(a)

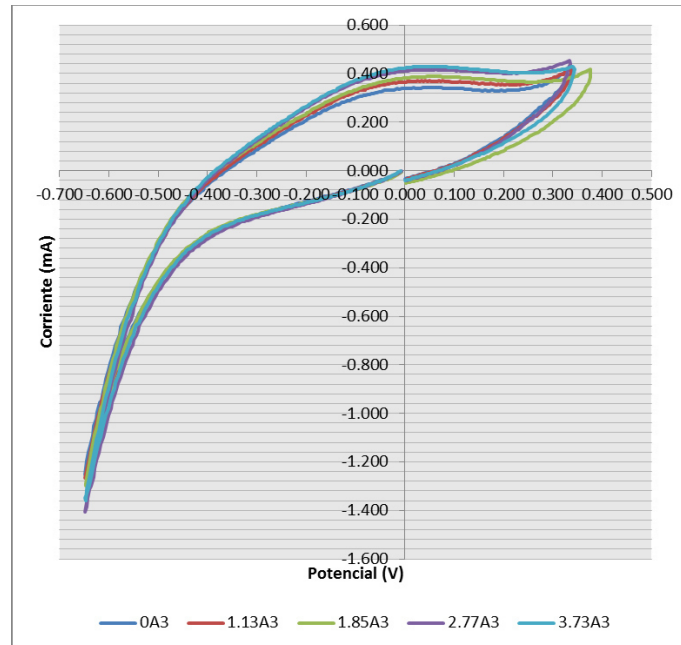


(b)

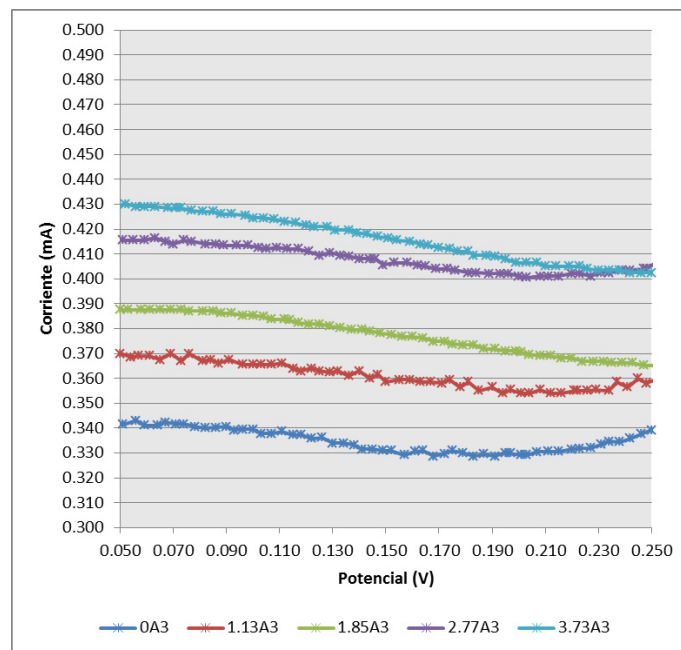
Nota: (a) Completa, (b) Aumentada

Figura A.3.4

Ensayos en medio ácido - Prueba 3.



(a)



(b)

Nota: (a) Completa, (b) Aumentada

Tabla A.3.21

Datos del ensayo 0B2.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.034	0.000	-0.508	-0.016	-0.223	-0.002	0.252	0.008	0.277	0.003
-0.042	0.000	-0.523	-0.016	-0.207	-0.001	0.260	0.008	0.269	0.003
-0.058	-0.001	-0.531	-0.017	-0.200	-0.001	0.275	0.008	0.254	0.003
-0.066	-0.001	-0.546	-0.017	-0.184	-0.001	0.282	0.008	0.246	0.002
-0.081	-0.001	-0.554	-0.018	-0.176	-0.001	0.298	0.009	0.231	0.002
-0.088	-0.001	-0.562	-0.018	-0.161	0.000	0.305	0.009	0.223	0.002
-0.104	-0.002	-0.578	-0.019	-0.153	0.000	0.321	0.009	0.207	0.002
-0.112	-0.002	-0.586	-0.019	-0.138	0.000	0.329	0.009	0.200	0.002
-0.128	-0.002	-0.597	-0.020	-0.131	0.000	0.344	0.009		
-0.136	-0.002	-0.590	-0.019	-0.115	0.001	0.351	0.010		
-0.159	-0.003	-0.567	-0.018	-0.092	0.001	0.375	0.010		
-0.174	-0.003	-0.551	-0.018	-0.085	0.001	0.382	0.010		
-0.182	-0.003	-0.543	-0.017	-0.069	0.001	0.398	0.010		
-0.198	-0.004	-0.528	-0.017	-0.061	0.001	0.405	0.010		
-0.205	-0.004	-0.521	-0.016	-0.045	0.002	0.420	0.011		
-0.221	-0.004	-0.505	-0.016	-0.038	0.002	0.428	0.011		
-0.229	-0.005	-0.498	-0.015	-0.023	0.002	0.444	0.011		
-0.244	-0.005	-0.482	-0.014	-0.015	0.002	0.451	0.011		
-0.252	-0.006	-0.475	-0.014	0.000	0.002	0.466	0.012		
-0.276	-0.007	-0.452	-0.013	0.023	0.003	0.489	0.012		
-0.291	-0.007	-0.436	-0.012	0.030	0.003	0.496	0.012		
-0.298	-0.007	-0.429	-0.012	0.046	0.003	0.486	0.011		
-0.314	-0.008	-0.413	-0.011	0.053	0.004	0.478	0.010		
-0.322	-0.008	-0.406	-0.010	0.069	0.004	0.463	0.009		
-0.338	-0.009	-0.391	-0.010	0.076	0.004	0.455	0.009		
-0.345	-0.009	-0.383	-0.009	0.092	0.004	0.440	0.008		
-0.360	-0.010	-0.368	-0.008	0.100	0.004	0.432	0.007		
-0.368	-0.010	-0.360	-0.008	0.115	0.005	0.416	0.007		
-0.384	-0.011	-0.344	-0.007	0.122	0.005	0.408	0.006		
-0.392	-0.011	-0.337	-0.007	0.138	0.005	0.393	0.006		
-0.407	-0.012	-0.322	-0.006	0.145	0.005	0.386	0.006		
-0.430	-0.013	-0.299	-0.005	0.169	0.006	0.362	0.005		
-0.438	-0.013	-0.291	-0.005	0.183	0.006	0.346	0.004		
-0.454	-0.013	-0.276	-0.004	0.191	0.006	0.339	0.004		
-0.462	-0.014	-0.268	-0.004	0.206	0.007	0.324	0.004		
-0.477	-0.014	-0.253	-0.003	0.214	0.007	0.316	0.004		
-0.484	-0.015	-0.245	-0.003	0.229	0.007	0.300	0.003		
-0.500	-0.015	-0.230	-0.002	0.237	0.007	0.292	0.003		

Tabla A.3.22

Datos del ensayo 0B3.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.034	0.000	-0.508	-0.015	-0.223	-0.002	0.252	0.007	0.277	0.003
-0.042	0.000	-0.523	-0.016	-0.207	-0.001	0.260	0.007	0.269	0.003
-0.058	-0.001	-0.531	-0.016	-0.200	-0.001	0.275	0.008	0.254	0.002
-0.066	-0.001	-0.546	-0.016	-0.184	-0.001	0.282	0.008	0.246	0.002
-0.081	-0.001	-0.554	-0.017	-0.176	-0.001	0.298	0.008	0.231	0.002
-0.088	-0.001	-0.562	-0.017	-0.161	0.000	0.305	0.008	0.223	0.002
-0.104	-0.002	-0.578	-0.018	-0.153	0.000	0.321	0.009	0.207	0.002
-0.112	-0.002	-0.586	-0.018	-0.138	0.000	0.329	0.009	0.200	0.002
-0.151	-0.003	-0.575	-0.018	-0.107	0.001	0.359	0.009		
-0.159	-0.003	-0.567	-0.018	-0.092	0.001	0.375	0.010		
-0.174	-0.003	-0.551	-0.017	-0.085	0.001	0.382	0.010		
-0.182	-0.003	-0.543	-0.017	-0.069	0.001	0.398	0.010		
-0.198	-0.004	-0.528	-0.016	-0.061	0.001	0.405	0.010		
-0.205	-0.004	-0.521	-0.016	-0.045	0.002	0.420	0.010		
-0.221	-0.004	-0.505	-0.015	-0.038	0.002	0.428	0.010		
-0.229	-0.005	-0.498	-0.014	-0.023	0.002	0.444	0.011		
-0.244	-0.005	-0.482	-0.014	-0.015	0.002	0.451	0.011		
-0.252	-0.005	-0.475	-0.013	0.000	0.002	0.466	0.011		
-0.268	-0.006	-0.460	-0.013	0.007	0.003	0.474	0.011		
-0.276	-0.006	-0.452	-0.012	0.023	0.003	0.489	0.011		
-0.291	-0.007	-0.436	-0.012	0.030	0.003	0.496	0.012		
-0.298	-0.007	-0.429	-0.011	0.046	0.003	0.486	0.011		
-0.314	-0.008	-0.413	-0.010	0.053	0.003	0.478	0.010		
-0.322	-0.008	-0.406	-0.010	0.069	0.004	0.463	0.009		
-0.338	-0.009	-0.391	-0.009	0.076	0.004	0.455	0.008		
-0.345	-0.009	-0.383	-0.009	0.092	0.004	0.440	0.007		
-0.360	-0.009	-0.368	-0.008	0.100	0.004	0.432	0.007		
-0.368	-0.010	-0.360	-0.008	0.115	0.005	0.416	0.006		
-0.384	-0.010	-0.344	-0.007	0.122	0.005	0.408	0.006		
-0.407	-0.011	-0.322	-0.006	0.145	0.005	0.386	0.005		
-0.415	-0.011	-0.315	-0.005	0.161	0.005	0.370	0.005		
-0.430	-0.012	-0.299	-0.005	0.169	0.006	0.362	0.005		
-0.438	-0.012	-0.291	-0.004	0.183	0.006	0.346	0.004		
-0.454	-0.013	-0.276	-0.004	0.191	0.006	0.339	0.004		
-0.462	-0.013	-0.268	-0.003	0.206	0.006	0.324	0.004		
-0.477	-0.014	-0.253	-0.003	0.214	0.006	0.316	0.004		
-0.484	-0.014	-0.245	-0.003	0.229	0.007	0.300	0.003		
-0.500	-0.015	-0.230	-0.002	0.237	0.007	0.292	0.003		

Tabla A.3.23

Datos del ensayo 1.13B2.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.028	0.000	-0.503	-0.013	-0.228	-0.002	0.245	0.009	0.284	0.006
-0.036	0.000	-0.518	-0.013	-0.213	-0.001	0.254	0.010	0.269	0.006
-0.051	-0.001	-0.526	-0.014	-0.205	-0.001	0.268	0.010	0.261	0.005
-0.060	-0.001	-0.541	-0.014	-0.189	-0.001	0.276	0.010	0.245	0.005
-0.075	-0.001	-0.550	-0.015	-0.182	0.000	0.292	0.010	0.236	0.004
-0.083	-0.002	-0.566	-0.016	-0.167	0.000	0.298	0.010	0.230	0.004
-0.098	-0.002	-0.574	-0.015	-0.159	0.000	0.314	0.011	0.213	0.004
-0.106	-0.002	-0.589	-0.015	-0.144	0.001	0.322	0.011	0.205	0.004
-0.122	-0.003	-0.596	-0.017	-0.137	0.001	0.337	0.011		
-0.130	-0.003	-0.587	-0.016	-0.120	0.001	0.344	0.011		
-0.146	-0.003	-0.579	-0.015	-0.113	0.001	0.360	0.011		
-0.153	-0.003	-0.564	-0.015	-0.098	0.002	0.368	0.012		
-0.169	-0.004	-0.556	-0.015	-0.090	0.002	0.383	0.012		
-0.193	-0.005	-0.533	-0.014	-0.067	0.002	0.406	0.012		
-0.201	-0.005	-0.517	-0.014	-0.052	0.003	0.414	0.012		
-0.216	-0.005	-0.510	-0.013	-0.044	0.003	0.428	0.012		
-0.224	-0.005	-0.495	-0.012	-0.029	0.003	0.435	0.013		
-0.238	-0.006	-0.487	-0.013	-0.020	0.004	0.451	0.013		
-0.246	-0.006	-0.471	-0.012	-0.005	0.004	0.459	0.013		
-0.262	-0.007	-0.465	-0.011	0.001	0.004	0.473	0.013		
-0.271	-0.007	-0.450	-0.011	0.017	0.004	0.481	0.014		
-0.286	-0.007	-0.442	-0.011	0.025	0.005	0.495	0.014		
-0.317	-0.008	-0.404	-0.009	0.063	0.005	0.470	0.012		
-0.333	-0.009	-0.396	-0.009	0.070	0.006	0.455	0.012		
-0.341	-0.009	-0.381	-0.008	0.086	0.006	0.447	0.012		
-0.356	-0.009	-0.373	-0.008	0.094	0.006	0.431	0.011		
-0.363	-0.010	-0.357	-0.007	0.108	0.007	0.424	0.010		
-0.379	-0.010	-0.349	-0.007	0.117	0.007	0.407	0.010		
-0.388	-0.010	-0.335	-0.006	0.132	0.007	0.400	0.010		
-0.403	-0.010	-0.327	-0.006	0.140	0.007	0.385	0.009		
-0.410	-0.011	-0.313	-0.005	0.154	0.008	0.377	0.009		
-0.425	-0.011	-0.304	-0.005	0.161	0.008	0.361	0.008		
-0.433	-0.011	-0.289	-0.004	0.177	0.008	0.353	0.008		
-0.449	-0.012	-0.281	-0.004	0.185	0.008	0.338	0.007		
-0.458	-0.012	-0.266	-0.003	0.199	0.009	0.332	0.008		
-0.472	-0.012	-0.258	-0.003	0.206	0.009	0.315	0.007		
-0.479	-0.013	-0.244	-0.003	0.224	0.009	0.307	0.006		
-0.495	-0.013	-0.236	-0.002	0.231	0.009	0.291	0.006		

Tabla A.3.24

Datos del ensayo 1.13B3.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.019	0.000	-0.495	-0.014	-0.236	-0.002	0.227	0.008	0.292	0.006
-0.029	0.000	-0.503	-0.014	-0.222	-0.002	0.243	0.008	0.285	0.005
-0.043	-0.001	-0.519	-0.014	-0.212	-0.002	0.251	0.009	0.270	0.005
-0.051	-0.001	-0.526	-0.015	-0.199	-0.001	0.266	0.009	0.261	0.005
-0.067	-0.001	-0.542	-0.015	-0.190	-0.001	0.274	0.009	0.246	0.004
-0.074	-0.002	-0.549	-0.015	-0.175	0.000	0.290	0.009	0.238	0.004
-0.089	-0.002	-0.566	-0.015	-0.167	0.000	0.297	0.010	0.223	0.004
-0.098	-0.002	-0.574	-0.016	-0.152	0.000	0.312	0.010	0.215	0.004
-0.115	-0.003	-0.590	-0.017	-0.145	0.000	0.319	0.010		
-0.122	-0.003	-0.596	-0.017	-0.130	0.001	0.334	0.011		
-0.137	-0.003	-0.586	-0.016	-0.121	0.001	0.343	0.010		
-0.161	-0.004	-0.563	-0.015	-0.099	0.002	0.364	0.011		
-0.168	-0.004	-0.556	-0.016	-0.084	0.002	0.381	0.011		
-0.184	-0.005	-0.539	-0.015	-0.076	0.002	0.388	0.011		
-0.192	-0.005	-0.533	-0.014	-0.061	0.003	0.403	0.011		
-0.207	-0.005	-0.517	-0.013	-0.053	0.003	0.411	0.011		
-0.216	-0.006	-0.510	-0.013	-0.037	0.003	0.426	0.011		
-0.232	-0.006	-0.494	-0.013	-0.030	0.003	0.433	0.012		
-0.239	-0.006	-0.487	-0.012	-0.014	0.004	0.449	0.012		
-0.255	-0.007	-0.471	-0.012	-0.007	0.004	0.456	0.011		
-0.262	-0.007	-0.464	-0.011	0.007	0.004	0.472	0.012		
-0.278	-0.007	-0.449	-0.010	0.015	0.004	0.479	0.012		
-0.301	-0.008	-0.425	-0.010	0.038	0.005	0.496	0.012		
-0.308	-0.008	-0.417	-0.010	0.053	0.005	0.479	0.012		
-0.324	-0.009	-0.403	-0.009	0.060	0.005	0.472	0.011		
-0.333	-0.009	-0.395	-0.009	0.077	0.005	0.456	0.010		
-0.347	-0.009	-0.381	-0.008	0.085	0.006	0.450	0.011		
-0.354	-0.010	-0.373	-0.008	0.099	0.006	0.433	0.010		
-0.371	-0.010	-0.357	-0.007	0.105	0.006	0.425	0.009		
-0.379	-0.010	-0.349	-0.007	0.121	0.006	0.410	0.009		
-0.387	-0.011	-0.335	-0.006	0.130	0.006	0.403	0.009		
-0.402	-0.011	-0.327	-0.006	0.144	0.007	0.386	0.008		
-0.425	-0.012	-0.303	-0.005	0.168	0.007	0.363	0.008		
-0.432	-0.012	-0.289	-0.004	0.176	0.007	0.355	0.007		
-0.448	-0.012	-0.281	-0.004	0.190	0.008	0.341	0.007		
-0.457	-0.013	-0.267	-0.003	0.198	0.008	0.332	0.007		
-0.472	-0.013	-0.259	-0.003	0.205	0.008	0.317	0.006		
-0.480	-0.013	-0.244	-0.003	0.221	0.008	0.309	0.006		

Tabla A.3.25

Datos del ensayo 1.85B2.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.043	0.000	-0.520	-0.016	-0.212	-0.001	0.254	0.009	0.269	0.006
-0.052	0.000	-0.527	-0.016	-0.198	-0.001	0.269	0.010	0.261	0.005
-0.067	-0.001	-0.542	-0.016	-0.190	-0.001	0.276	0.010	0.245	0.005
-0.075	-0.001	-0.550	-0.017	-0.174	0.000	0.290	0.010	0.238	0.005
-0.090	-0.001	-0.567	-0.017	-0.167	0.000	0.298	0.010	0.222	0.004
-0.098	-0.002	-0.575	-0.018	-0.150	0.000	0.313	0.011	0.214	0.004
-0.114	-0.002	-0.590	-0.019	-0.144	0.001	0.322	0.011	0.199	0.004
-0.123	-0.002	-0.596	-0.018	-0.129	0.001	0.337	0.011	0.191	0.004
-0.138	-0.003	-0.585	-0.019	-0.120	0.001	0.344	0.011		
-0.145	-0.003	-0.578	-0.018	-0.106	0.002	0.359	0.011		
-0.169	-0.003	-0.554	-0.017	-0.083	0.002	0.382	0.012		
-0.185	-0.004	-0.540	-0.016	-0.074	0.002	0.389	0.012		
-0.193	-0.004	-0.532	-0.016	-0.059	0.003	0.405	0.013		
-0.208	-0.005	-0.517	-0.015	-0.051	0.003	0.413	0.013		
-0.216	-0.005	-0.509	-0.015	-0.036	0.003	0.427	0.013		
-0.232	-0.005	-0.493	-0.014	-0.029	0.003	0.436	0.013		
-0.239	-0.006	-0.487	-0.013	-0.013	0.004	0.450	0.013		
-0.256	-0.006	-0.471	-0.013	-0.006	0.004	0.458	0.014		
-0.264	-0.006	-0.463	-0.013	0.009	0.004	0.473	0.014		
-0.286	-0.007	-0.441	-0.012	0.033	0.005	0.497	0.014		
-0.294	-0.007	-0.426	-0.011	0.040	0.005	0.494	0.014		
-0.308	-0.008	-0.418	-0.011	0.054	0.005	0.478	0.013		
-0.317	-0.008	-0.402	-0.010	0.063	0.005	0.471	0.013		
-0.334	-0.009	-0.395	-0.009	0.070	0.006	0.455	0.012		
-0.342	-0.009	-0.380	-0.009	0.086	0.006	0.448	0.012		
-0.356	-0.010	-0.372	-0.008	0.092	0.006	0.432	0.011		
-0.365	-0.009	-0.356	-0.008	0.108	0.006	0.424	0.011		
-0.382	-0.010	-0.349	-0.007	0.117	0.007	0.409	0.010		
-0.388	-0.011	-0.335	-0.007	0.131	0.007	0.401	0.010		
-0.404	-0.011	-0.327	-0.006	0.139	0.007	0.385	0.009		
-0.410	-0.012	-0.311	-0.005	0.154	0.007	0.378	0.009		
-0.426	-0.012	-0.304	-0.005	0.161	0.008	0.363	0.008		
-0.450	-0.012	-0.280	-0.004	0.184	0.008	0.339	0.008		
-0.458	-0.013	-0.266	-0.003	0.200	0.008	0.331	0.007		
-0.473	-0.014	-0.258	-0.003	0.207	0.009	0.317	0.007		
-0.480	-0.013	-0.241	-0.002	0.222	0.009	0.307	0.007		
-0.497	-0.015	-0.235	-0.002	0.230	0.009	0.292	0.006		
-0.504	-0.015	-0.220	-0.002	0.244	0.009	0.284	0.006		

Tabla A.3.26

Datos del ensayo 1.85B3.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.029	0.000	-0.505	-0.014	-0.226	-0.002	0.246	0.009	0.283	0.005
-0.036	0.000	-0.520	-0.014	-0.211	-0.001	0.253	0.008	0.275	0.005
-0.052	-0.001	-0.528	-0.015	-0.203	-0.001	0.268	0.009	0.260	0.005
-0.058	-0.001	-0.543	-0.015	-0.189	0.000	0.277	0.009	0.252	0.004
-0.074	-0.001	-0.552	-0.015	-0.181	0.000	0.291	0.009	0.236	0.004
-0.084	-0.001	-0.567	-0.016	-0.165	0.000	0.298	0.009	0.230	0.004
-0.100	-0.002	-0.576	-0.016	-0.158	0.000	0.314	0.009	0.213	0.004
-0.107	-0.002	-0.591	-0.017	-0.142	0.001	0.321	0.010	0.205	0.003
-0.123	-0.002	-0.598	-0.017	-0.136	0.001	0.338	0.010		
-0.130	-0.003	-0.584	-0.016	-0.120	0.001	0.344	0.010		
-0.146	-0.003	-0.577	-0.016	-0.111	0.001	0.359	0.011		
-0.170	-0.004	-0.554	-0.016	-0.088	0.002	0.383	0.011		
-0.178	-0.004	-0.538	-0.014	-0.074	0.002	0.391	0.011		
-0.193	-0.004	-0.532	-0.014	-0.066	0.002	0.405	0.011		
-0.201	-0.004	-0.514	-0.014	-0.051	0.003	0.412	0.011		
-0.217	-0.005	-0.509	-0.013	-0.043	0.003	0.428	0.011		
-0.225	-0.005	-0.493	-0.013	-0.028	0.003	0.436	0.012		
-0.240	-0.005	-0.484	-0.013	-0.020	0.003	0.451	0.012		
-0.249	-0.006	-0.471	-0.012	-0.005	0.004	0.458	0.012		
-0.264	-0.006	-0.462	-0.012	0.003	0.004	0.474	0.012		
-0.272	-0.006	-0.448	-0.011	0.018	0.004	0.481	0.012		
-0.286	-0.007	-0.440	-0.011	0.026	0.004	0.496	0.013		
-0.295	-0.007	-0.424	-0.010	0.042	0.004	0.494	0.013		
-0.318	-0.008	-0.401	-0.009	0.065	0.005	0.470	0.011		
-0.334	-0.008	-0.394	-0.008	0.071	0.005	0.455	0.011		
-0.341	-0.008	-0.378	-0.008	0.086	0.005	0.446	0.010		
-0.357	-0.009	-0.371	-0.008	0.093	0.005	0.430	0.010		
-0.365	-0.009	-0.356	-0.007	0.108	0.006	0.423	0.009		
-0.381	-0.009	-0.348	-0.007	0.117	0.006	0.408	0.009		
-0.389	-0.010	-0.334	-0.006	0.132	0.006	0.400	0.008		
-0.405	-0.010	-0.326	-0.006	0.140	0.006	0.385	0.008		
-0.426	-0.011	-0.303	-0.005	0.162	0.007	0.362	0.008		
-0.434	-0.011	-0.295	-0.004	0.177	0.007	0.354	0.007		
-0.450	-0.012	-0.279	-0.004	0.185	0.007	0.338	0.007		
-0.459	-0.012	-0.271	-0.003	0.200	0.007	0.329	0.006		
-0.475	-0.013	-0.258	-0.003	0.207	0.008	0.323	0.006		
-0.481	-0.013	-0.249	-0.002	0.223	0.008	0.307	0.006		
-0.497	-0.013	-0.234	-0.002	0.231	0.008	0.298	0.006		

Tabla A.3.27

Datos del ensayo 2.77B2.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.030	0.000	-0.511	-0.015	-0.224	-0.002	0.243	0.009	0.287	0.005
-0.038	0.000	-0.527	-0.015	-0.206	-0.001	0.252	0.009	0.280	0.005
-0.053	-0.001	-0.535	-0.016	-0.201	-0.001	0.266	0.009	0.264	0.005
-0.063	-0.001	-0.550	-0.016	-0.184	-0.001	0.273	0.010	0.255	0.005
-0.079	-0.001	-0.560	-0.017	-0.178	0.000	0.289	0.010	0.239	0.004
-0.088	-0.002	-0.568	-0.017	-0.162	0.000	0.296	0.010	0.232	0.004
-0.102	-0.002	-0.584	-0.018	-0.155	0.000	0.311	0.010	0.214	0.004
-0.110	-0.002	-0.591	-0.018	-0.141	0.000	0.320	0.010	0.207	0.003
-0.128	-0.003	-0.591	-0.018	-0.133	0.001	0.332	0.011		
-0.150	-0.003	-0.569	-0.016	-0.109	0.001	0.349	0.011		
-0.158	-0.003	-0.561	-0.016	-0.095	0.002	0.364	0.012		
-0.174	-0.004	-0.545	-0.015	-0.087	0.002	0.371	0.012		
-0.181	-0.004	-0.538	-0.015	-0.072	0.002	0.387	0.012		
-0.197	-0.004	-0.524	-0.014	-0.064	0.002	0.394	0.012		
-0.203	-0.005	-0.516	-0.014	-0.049	0.003	0.409	0.012		
-0.221	-0.005	-0.501	-0.013	-0.042	0.003	0.417	0.013		
-0.230	-0.005	-0.493	-0.013	-0.026	0.003	0.432	0.013		
-0.242	-0.006	-0.479	-0.012	-0.018	0.003	0.438	0.013		
-0.253	-0.006	-0.470	-0.012	-0.003	0.004	0.455	0.013		
-0.268	-0.006	-0.457	-0.011	0.004	0.004	0.462	0.013		
-0.277	-0.007	-0.448	-0.011	0.018	0.004	0.476	0.014		
-0.292	-0.007	-0.434	-0.010	0.027	0.004	0.484	0.014		
-0.316	-0.008	-0.410	-0.009	0.048	0.005	0.492	0.014		
-0.324	-0.008	-0.404	-0.009	0.063	0.005	0.475	0.013		
-0.339	-0.009	-0.389	-0.008	0.070	0.005	0.468	0.012		
-0.347	-0.009	-0.383	-0.008	0.086	0.006	0.451	0.012		
-0.363	-0.009	-0.366	-0.007	0.093	0.006	0.445	0.011		
-0.371	-0.010	-0.357	-0.007	0.109	0.006	0.427	0.010		
-0.387	-0.010	-0.344	-0.006	0.118	0.006	0.420	0.010		
-0.394	-0.010	-0.335	-0.006	0.132	0.007	0.404	0.009		
-0.409	-0.011	-0.321	-0.005	0.139	0.007	0.397	0.009		
-0.418	-0.011	-0.313	-0.005	0.153	0.007	0.381	0.008		
-0.434	-0.012	-0.298	-0.005	0.161	0.007	0.373	0.008		
-0.442	-0.012	-0.291	-0.004	0.176	0.007	0.357	0.008		
-0.459	-0.013	-0.276	-0.004	0.184	0.008	0.350	0.007		
-0.467	-0.013	-0.268	-0.003	0.200	0.008	0.334	0.007		
-0.480	-0.013	-0.253	-0.003	0.206	0.008	0.326	0.007		
-0.489	-0.014	-0.245	-0.003	0.222	0.008	0.310	0.006		

Tabla A.3.28

Datos del ensayo 2.77B3.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.030	0.000	-0.512	-0.014	-0.223	-0.002	0.237	0.008	0.286	0.005
-0.039	0.000	-0.520	-0.015	-0.207	-0.001	0.250	0.008	0.279	0.005
-0.056	-0.001	-0.535	-0.015	-0.200	-0.001	0.259	0.008	0.262	0.005
-0.063	-0.001	-0.544	-0.015	-0.185	-0.001	0.274	0.009	0.256	0.004
-0.070	-0.001	-0.560	-0.016	-0.177	-0.001	0.283	0.009	0.239	0.004
-0.086	-0.001	-0.569	-0.016	-0.163	0.000	0.296	0.009	0.234	0.004
-0.095	-0.002	-0.583	-0.017	-0.155	0.000	0.304	0.009	0.215	0.003
-0.111	-0.002	-0.592	-0.017	-0.140	0.000	0.320	0.010	0.207	0.003
-0.119	-0.002	-0.592	-0.017	-0.132	0.001	0.328	0.010		
-0.133	-0.003	-0.584	-0.017	-0.123	0.001	0.343	0.010		
-0.141	-0.003	-0.569	-0.016	-0.110	0.001	0.349	0.010		
-0.158	-0.003	-0.561	-0.016	-0.103	0.001	0.364	0.010		
-0.180	-0.004	-0.538	-0.014	-0.080	0.002	0.387	0.011		
-0.189	-0.004	-0.523	-0.014	-0.064	0.002	0.394	0.011		
-0.204	-0.005	-0.515	-0.013	-0.056	0.002	0.409	0.011		
-0.212	-0.005	-0.501	-0.013	-0.043	0.002	0.416	0.012		
-0.229	-0.005	-0.495	-0.012	-0.034	0.003	0.432	0.012		
-0.236	-0.005	-0.478	-0.012	-0.019	0.003	0.438	0.012		
-0.252	-0.006	-0.471	-0.011	-0.011	0.003	0.454	0.012		
-0.261	-0.006	-0.456	-0.011	0.003	0.003	0.462	0.013		
-0.276	-0.006	-0.449	-0.010	0.011	0.004	0.476	0.013		
-0.284	-0.007	-0.433	-0.010	0.026	0.004	0.484	0.013		
-0.300	-0.007	-0.425	-0.009	0.034	0.004	0.497	0.013		
-0.324	-0.008	-0.404	-0.008	0.056	0.005	0.474	0.012		
-0.333	-0.008	-0.389	-0.008	0.071	0.005	0.467	0.012		
-0.346	-0.008	-0.381	-0.008	0.079	0.005	0.451	0.011		
-0.355	-0.009	-0.366	-0.007	0.094	0.005	0.444	0.010		
-0.371	-0.009	-0.358	-0.006	0.101	0.005	0.428	0.010		
-0.379	-0.009	-0.343	-0.006	0.117	0.006	0.420	0.010		
-0.395	-0.010	-0.335	-0.006	0.124	0.006	0.406	0.009		
-0.403	-0.010	-0.320	-0.005	0.140	0.006	0.397	0.009		
-0.418	-0.011	-0.313	-0.005	0.147	0.006	0.380	0.008		
-0.425	-0.011	-0.298	-0.004	0.162	0.006	0.375	0.008		
-0.451	-0.012	-0.276	-0.003	0.184	0.007	0.348	0.007		
-0.466	-0.012	-0.268	-0.003	0.192	0.007	0.333	0.006		
-0.473	-0.013	-0.253	-0.003	0.206	0.007	0.326	0.006		
-0.489	-0.013	-0.245	-0.003	0.213	0.007	0.310	0.006		
-0.498	-0.013	-0.230	-0.002	0.230	0.008	0.303	0.006		

Tabla A.3.29

Datos del ensayo 3.73B2.

V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.017	0.000	-0.509	-0.016	-0.231	-0.002	0.220	0.009	0.307	0.006
-0.025	0.000	-0.518	-0.016	-0.216	-0.002	0.234	0.010	0.299	0.006
-0.042	-0.001	-0.534	-0.017	-0.208	-0.002	0.241	0.010	0.283	0.006
-0.051	-0.001	-0.541	-0.017	-0.194	-0.001	0.256	0.010	0.276	0.005
-0.067	-0.002	-0.558	-0.018	-0.186	-0.001	0.262	0.010	0.261	0.005
-0.074	-0.002	-0.567	-0.019	-0.172	0.000	0.278	0.010	0.252	0.005
-0.091	-0.002	-0.583	-0.019	-0.165	0.000	0.286	0.011	0.235	0.004
-0.099	-0.003	-0.591	-0.020	-0.149	0.000	0.299	0.011	0.228	0.004
-0.116	-0.003	-0.592	-0.020	-0.142	0.000	0.307	0.011		
-0.124	-0.003	-0.585	-0.019	-0.127	0.001	0.323	0.011		
-0.148	-0.004	-0.563	-0.018	-0.105	0.001	0.344	0.012		
-0.165	-0.004	-0.547	-0.017	-0.098	0.002	0.351	0.012		
-0.172	-0.005	-0.540	-0.016	-0.083	0.002	0.366	0.012		
-0.189	-0.005	-0.526	-0.016	-0.075	0.002	0.373	0.012		
-0.197	-0.005	-0.518	-0.015	-0.061	0.003	0.389	0.013		
-0.212	-0.005	-0.504	-0.015	-0.054	0.003	0.396	0.013		
-0.221	-0.006	-0.496	-0.014	-0.038	0.003	0.410	0.013		
-0.228	-0.006	-0.481	-0.013	-0.030	0.003	0.417	0.013		
-0.253	-0.007	-0.460	-0.012	-0.009	0.004	0.440	0.014		
-0.269	-0.007	-0.452	-0.012	0.006	0.004	0.455	0.014		
-0.277	-0.007	-0.438	-0.011	0.013	0.005	0.463	0.014		
-0.293	-0.008	-0.430	-0.011	0.028	0.005	0.475	0.015		
-0.301	-0.008	-0.415	-0.010	0.035	0.005	0.484	0.015		
-0.317	-0.009	-0.407	-0.010	0.042	0.005	0.497	0.015		
-0.325	-0.009	-0.394	-0.009	0.058	0.005	0.492	0.015		
-0.341	-0.010	-0.386	-0.009	0.065	0.006	0.476	0.014		
-0.348	-0.010	-0.370	-0.008	0.079	0.006	0.468	0.013		
-0.365	-0.010	-0.364	-0.008	0.086	0.006	0.453	0.012		
-0.373	-0.011	-0.348	-0.007	0.102	0.006	0.445	0.012		
-0.389	-0.011	-0.342	-0.007	0.108	0.007	0.428	0.011		
-0.398	-0.011	-0.326	-0.006	0.123	0.007	0.420	0.011		
-0.414	-0.012	-0.319	-0.006	0.131	0.007	0.404	0.010		
-0.438	-0.013	-0.297	-0.005	0.152	0.007	0.380	0.009		
-0.446	-0.013	-0.282	-0.004	0.168	0.008	0.371	0.009		
-0.462	-0.014	-0.276	-0.004	0.175	0.008	0.356	0.008		
-0.470	-0.014	-0.261	-0.003	0.190	0.009	0.348	0.008		
-0.486	-0.015	-0.253	-0.003	0.197	0.009	0.332	0.007		
-0.494	-0.015	-0.239	-0.003	0.211	0.009	0.323	0.007		

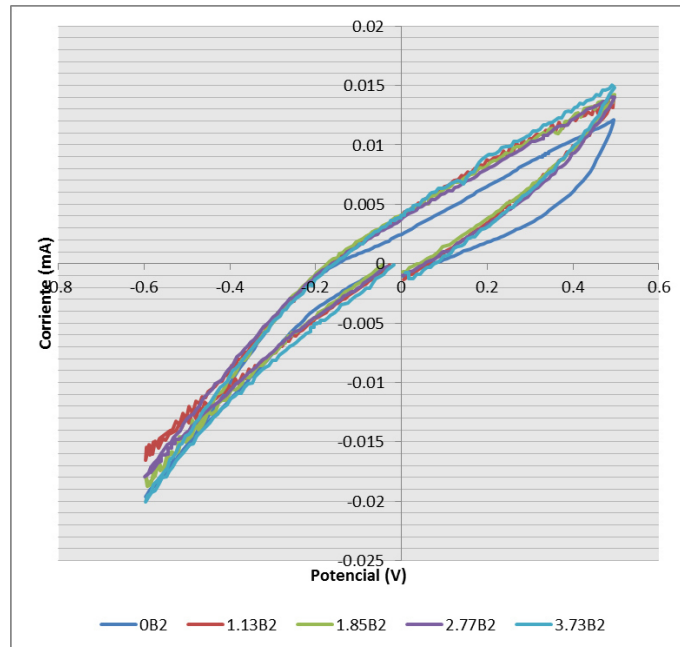
Tabla A.3.30

Datos del ensayo 3.73B3.

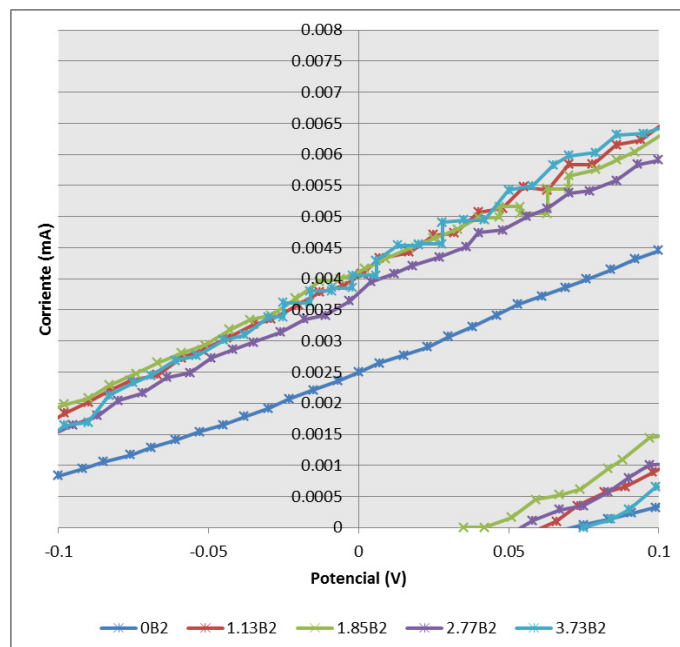
V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
-0.023	0.000	-0.516	-0.015	-0.225	-0.002	0.235	0.009	0.296	0.006
-0.031	0.000	-0.532	-0.016	-0.209	-0.002	0.243	0.009	0.288	0.006
-0.049	-0.001	-0.540	-0.016	-0.202	-0.002	0.258	0.009	0.273	0.005
-0.057	-0.001	-0.556	-0.017	-0.186	-0.001	0.266	0.009	0.265	0.005
-0.072	-0.001	-0.564	-0.017	-0.180	-0.001	0.281	0.009	0.249	0.004
-0.081	-0.002	-0.580	-0.018	-0.165	0.000	0.287	0.010	0.241	0.004
-0.097	-0.002	-0.589	-0.018	-0.158	0.000	0.302	0.010	0.225	0.004
-0.105	-0.002	-0.595	-0.018	-0.142	0.000	0.309	0.010	0.217	0.003
-0.120	-0.003	-0.587	-0.018	-0.135	0.000	0.325	0.010		
-0.145	-0.003	-0.565	-0.017	-0.113	0.001	0.346	0.011		
-0.153	-0.003	-0.550	-0.016	-0.098	0.001	0.355	0.011		
-0.169	-0.004	-0.543	-0.016	-0.090	0.002	0.368	0.011		
-0.176	-0.004	-0.529	-0.015	-0.075	0.002	0.376	0.012		
-0.194	-0.005	-0.520	-0.014	-0.068	0.002	0.392	0.012		
-0.201	-0.005	-0.506	-0.014	-0.052	0.002	0.399	0.012		
-0.217	-0.005	-0.498	-0.013	-0.045	0.003	0.414	0.012		
-0.225	-0.005	-0.483	-0.013	-0.030	0.003	0.420	0.012		
-0.241	-0.006	-0.476	-0.012	-0.024	0.003	0.436	0.013		
-0.248	-0.006	-0.462	-0.012	-0.008	0.003	0.443	0.013		
-0.265	-0.006	-0.454	-0.011	0.000	0.004	0.458	0.013		
-0.274	-0.007	-0.447	-0.011	0.013	0.004	0.467	0.013		
-0.289	-0.007	-0.432	-0.010	0.021	0.004	0.479	0.014		
-0.296	-0.007	-0.424	-0.010	0.036	0.004	0.487	0.014		
-0.314	-0.008	-0.409	-0.009	0.044	0.005	0.496	0.014		
-0.338	-0.009	-0.387	-0.008	0.065	0.005	0.480	0.013		
-0.345	-0.010	-0.380	-0.008	0.081	0.005	0.464	0.012		
-0.360	-0.010	-0.365	-0.007	0.089	0.006	0.457	0.012		
-0.369	-0.010	-0.357	-0.007	0.102	0.006	0.440	0.011		
-0.388	-0.011	-0.343	-0.007	0.111	0.006	0.432	0.011		
-0.396	-0.011	-0.335	-0.006	0.125	0.006	0.415	0.010		
-0.411	-0.012	-0.320	-0.006	0.132	0.007	0.408	0.010		
-0.420	-0.012	-0.313	-0.006	0.147	0.007	0.393	0.009		
-0.436	-0.012	-0.298	-0.005	0.155	0.007	0.385	0.009		
-0.444	-0.013	-0.290	-0.005	0.170	0.007	0.368	0.008		
-0.460	-0.013	-0.276	-0.004	0.177	0.007	0.360	0.008		
-0.468	-0.014	-0.270	-0.004	0.192	0.008	0.345	0.007		
-0.492	-0.015	-0.245	-0.003	0.214	0.008	0.321	0.006		
-0.508	-0.015	-0.232	-0.003	0.221	0.008	0.313	0.006		

Figura A.3.5

Ensayos en medio básico - Prueba 2.



(a)

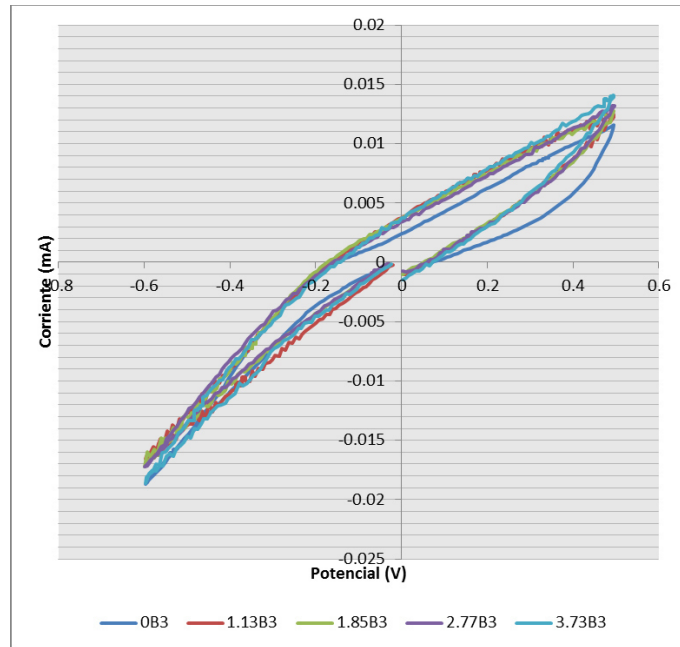


(b)

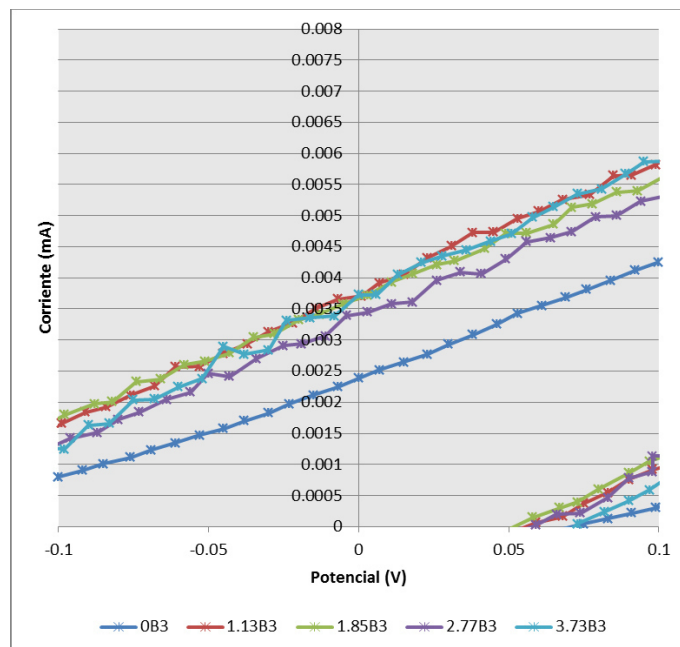
Nota: (a) Completa, (b) Aumentada

Figura A.3.6

Ensayos en medio básico - Prueba 3.



(a)



(b)

Nota: (a) Completa, (b) Aumentada