



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS  
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

*Facultad de Química-Farmacía.  
Departamento de Ingeniería Química.*

## *Trabajo de Diploma*

**Título:** *“Evaluación técnico – económica de alternativas para la obtención de agua de enfriamiento a emplear en los motores de combustión interna de las baterías de Generación Distribuida”.*

**Autora:** *Yenisley Garay Hernández.*

**Tutores:** *Dra. Olga Cortijo Jacomino.*

*Dra. Xiomara Cabrera Bermúdez.*

SANTA CLARA  
2007

“AÑO DEL 49 ANIVERSARIO DE LA REVOLUCION”





*Pensamiento:*

*“El éxito o el fracaso, no dependen de lo que nos falta, sino, de lo que seamos capaces de hacer con lo que tenemos”.*

*Fidel Castro*

## *Dedicatoria*

---

### *Dedicatoria:*

*A mis abuelos por brindarme todo su amor y apoyo.*

*A mi madre por ser mi guía en el mundo.*

*A mi padre que no estará a mi lado, pero de seguro estaría orgulloso de mí.*

*A mi hermana por ser una de las personas más quiero en la vida.*

*A Henry por tomarme de la mano cuando me he rendido y enseñarme el modo de conquistar mis sueños.*

## *Agradecimientos*

---

### *Agradecimientos:*

*A mis tutoras: Dra. Olga Cortijo y Dra. Xiomara Cabrera por transmitirme sus conocimientos, por su paciencia, por su ayuda y consagración durante la realización de este trabajo.*

*A mis abuelos por su cariño y dedicación*

*A mi madre por ayudarme a ser una mejor persona con su cariño y confianza.*

*A mi hermana por ayudarme siempre.*

*A Henry por estar siempre a mi lado y formar parte de mi vida.*

*A todos mis compañeros por estar en mi vida durante cinco años y ganar una parte de mi corazón para siempre en especial a Lazara, Marisol y Yaini.*

*A la Revolución por darme la oportunidad de estudiar en un centro como este y de convertirme en una profesional.*

*Al claustro de profesores de la carrera por ser parte fundamental de mi formación.*

*A Randy, Francisco y Mollineda por la ayuda que recibí de ellos en la parte experimental del trabajo.*

*En fin a todas las personas que de una forma u otra contribuyeron a la realización de este trabajo.*

*Gracias*

### **Resumen**

En el presente trabajo se realizó un estudio sobre el líquido refrigerante importado que se utiliza en las baterías de Generación Distribuida. Se hacen análisis para conocer las características, composición y comportamiento corrosivo de dicho refrigerante con el objetivo de valorar su posible sustitución por otro de producción nacional que sea más factible técnica y económicamente.

Se realizó análisis químico por espectrofotometría de absorción atómica al refrigerante usado y al que aun estaba almacenado y al agua suave. Esta última posee menor conductividad y sólidos disueltos que los dos refrigerantes y el usado contiene Cu y Zn disueltos lo cual es evidencia de la corrosión que produce este en el latón.

Se realizaron experiencias por métodos electroquímicos utilizando un potencióstato. Se utilizó como materiales de ensayo aleación de aluminio, hierro fundido, latón y acero de alto carbono y como medio electrolítico refrigerante usado, refrigerante sin usar, agua desionizada, agua destilada y agua suave. Estos experimentos se hicieron a 25<sup>0</sup>C y 54<sup>0</sup>C los que permitieron determinar la velocidad de corrosión para todos los sistemas. El refrigerante usado es el que en casi todos los casos produce la mayor velocidad de corrosión.

Se hace un análisis económico del refrigerante y se proponen varias alternativas de sustitución pudiendo ser la mejor variante el uso del agua suave ya que desde el punto de vista corrosivo es mejor o en algunos casos igual que los dos refrigerantes y es menos costosa que las demás agua analizadas. El refrigerante importado cuesta \$4347 en una sola batería (emplazamiento Santa Clara 110 kV) para un llenado completo del sistema de refrigeración y el agua suave puede obtenerse a muy bajo costo o sin costo alguno.

## *Summary*

---

### **Summary**

Presently work was carried out a study on the imported cooling liquid that it is used in the batteries of Distributed Generation. Analysis was made to know the characteristics, composition and corrosive behavior of that cooling with the objective of valuing its possible substitution for another of national production that is more feasible technical and economically.

It was carried out chemical analysis for espectrofotometría of atomic absorption to the cooling one used and to the one that was even stored and to the soft water. This last one possesses smaller conductivity and dissolved solids that both cooling, and the used contains Cu and Zn dissolved that which is evidence of the corrosion that produces this in the brass.

They were carried out experiences for electrochemical methods using a potencióstato. It was used as materials of rehearsal aluminum alloy, fused iron, brass and steel of high carbon and like half electrolytic cooling used, cooling without using, desionizada, distilled and soft water. These experiments were made at 25 °C and 54 °C those that allowed to determine the corrosion rate for all the systems. The cooling one used it is the one that in almost all the cases produce the biggest corrosion rate.

An economic analysis of the cooling one is made and it intend several substitution alternatives being able to be since the best variant the use of the soft water from the corrosive point of view it is better or in some cases the same as both cooling and it is less expensive than the analyzed other water. The import cooling represents \$4347 in a single battery (The Santa Clara 110 kV) for a filled complete of the refrigeration system and the soft water can be obtained at very low cost or without cost some.

**Índice**

<b>Introducción</b>	1
<b>Capítulo I : Revisión bibliográfica</b>	
1.1 Generación Distribuida	4
1.2 Motores de combustión	5
1.2.1 Sistema de refrigeración	7
1.2.2 Averías relacionadas con el sistema de refrigeración	13
1.2.3 Líquido refrigerante	18
1.2.3.1 Características de los anticongelantes	18
1.2.3.2 Característica del agua usada en el refrigerante	20
1.2.3.3 Características de los aditivos anticorrosivos	22
1.3 Inhibidores de la corrosión	24
1.4 Métodos de evaluación de la velocidad de corrosión	29
1.5 Conclusiones parciales	32
<b>Capítulo II: Parte experimental, resultados y análisis económico</b>	
2.1 Descripción de los experimentos realizados	33
2.2 Resultados obtenidos	35
2.3 Análisis de los resultados	48
2.4 Costo del refrigerante, análisis de alternativas	52
2.5 Conclusiones parciales	55
<b>Conclusiones generales</b>	56
<b>Recomendaciones</b>	58
<b>Bibliografía</b>	59
<b>Anexos</b>	66

### ***Introducción***

En apoyo a la revolución energética nuestro país comenzó a usar la Generación Distribuida de electricidad como método alternativo a la generación centralizada. El uso de este nuevo método tuvo como propósito apoyar la distribución de electricidad de la red nacional en los horarios pico donde el consumo de energía eléctrica alcanza un valor máximo y además mejorar la transmisión de la misma sobre todo en las regiones aisladas.

Los grupos electrógenos son una de las variantes de producción de electricidad de forma distribuida, los mismos tienen como función suplir las necesidades de energía eléctrica en los horarios de mayor consumo.

Se instalaron en nuestra provincia seis baterías con ocho maquinas cada una, de la Compañía MTU, las cuales se encuentran situadas: una en la Subplanta, una en Placetas, dos en Santa Clara industrial y dos en Remedios. Existen también una maquina en Cifuentes, tres en Santo Domingo y una en Ranchuelo.

La electricidad se logra en estas maquinas mediante el funcionamiento de los motores de combustión interna, los cuales requieren de un sistema de refrigeración el que a su vez precisa de un liquido refrigerante adecuado para lograr un proceso eficiente y una mayor durabilidad de los motores.

La compañía MTU exige que en el sistema de refrigeración se utilice un refrigerante comercial producido por su propia compañía el cual garantiza eficiencia y durabilidad en los motores pues el mismo está preparado con aditivos anticongelantes e inhibidores de la corrosión, pero hay que importarlo.

Mediante la realización de este trabajo se ha tratado de dar solución al problema científico que se muestra a continuación:

#### **Problema Científico:**

El agua que se utiliza en la refrigeración o enfriamiento de cualquier equipo debe ser tratada de modo que no produzca incrustaciones, debe contener un anticongelante e inhibidores de la corrosión, que no produzcan tampoco ningún

tipo de incrustaciones. Por esta razón actualmente se está importando el agua de enfriamiento que se utiliza en los motores de combustión interna de todas las baterías de Generación Distribuida según las exigencias de garantía de la Compañía MTU, Teniendo en cuenta que no es económico mantener la importación de un líquido que pudiera producirse en el país y considerando que dado nuestro clima el agua no se congela, se considera necesario estudiar la posibilidad de producir el mismo o valorar las alternativas más económicas.

El problema a resolver es valorar desde el punto de vista técnico-económico que es preferible, si continuar importando el refrigerante para el enfriamiento de los motores de combustión interna de las baterías de Generación Distribuida o producirla en Cuba, sin la adición de anticongelante pero con la adición de adecuados inhibidores que eviten la corrosión o utilizar agua sola que cumpla los requisitos exigidos para este tipo de sistema.

### **Hipótesis**

Es posible sustituir la importación del agua para el enfriamiento de los motores de combustión interna de los Grupos de Generación Distribuida adquiridos de la Compañía MTU, conteniendo anticongelante e inhibidores de la corrosión, por agua que mantenga la calidad esperada para dicho uso y que produzca menor o igual corrosión que el refrigerante importado en los materiales con los cuales se pueden conformar el sistema de enfriamiento de los motores de combustión interna y que sea factible económicamente.

### **Objetivos Generales**

Evaluar las características, composición y calidad desde el punto de vista anticorrosivo del refrigerante MTU importado utilizado en los motores de combustión interna de las baterías de Generación Distribuida y compararlo con agua de diferentes calidades. Valorar diferentes alternativas técnico económicas que permitan la sustitución de la importación del refrigerante sin que se incremente la corrosión de las diferentes partes del sistema de enfriamiento.

### **Objetivos específicos**

1. Revisar el estado del arte en la temática estudiada.
2. Estudiar las características del refrigerante de los motores de combustión interna empleada actualmente.
3. Evaluar desde el punto de vista corrosivo las propiedades del refrigerante fresco (sin usar) y después de haber sido usado durante un periodo determinado y comparar los resultados con agua destilada, desionizada y agua suave sin aditivos utilizando como materiales aquellos que más incidencia pueden tener en la conformación de las diferentes partes del sistema de enfriamiento de los motores.
4. Seleccionar la mejor alternativa para proponer la sustitución del refrigerante importado.

La realización de este proyecto permitió conocer las características desde el punto de vista anticorrosivo del líquido refrigerante usado en las baterías de Generación Distribuida y compararlo con agua de diferentes calidades y diferentes costos para proponer una alternativa de sustitución al refrigerante MTU importado.

**Capítulo I: Revisión Bibliográfica**

La realización de este capítulo se basó fundamentalmente en la recopilación de información sobre estudios realizados del tema a tratar

**1.1 Generación Distribuida**

La Generación Distribuida de electricidad es la opción de producir la energía cerca o en los propios centros de consumo, e integrar las oportunidades a un sistema donde concurren diversas fuentes incluyendo las fuentes renovables de energía.

Debido a los costos ambientales de la generación de energía eléctrica, las inversiones y los gastos asociados a las grandes centrales, sus líneas de transmisión y distribución, las pérdidas en estas, que en los mejores casos se encuentran entre un seis y un nueve por ciento de toda la energía transmitida, la vulnerabilidad de estos sistemas a fenómenos climáticos y de otra índole, el impacto de la salida de una de estas unidades, la disponibilidad y la confiabilidad que exigen las cargas de las tecnologías informáticas y los sistemas de control computarizados, se hace necesario predecir un cambio en la dirección de descentralizar los sistemas energéticos, producir la energía cerca o en los propios centros de consumo, e integrar las oportunidades a un sistema donde concurren diversas fuentes incluyendo las fuentes renovables de energía. Esto es lo que se conoce como Generación Distribuida

*Ventajas de la Generación Distribuida (Manual de generación, 2005)*

*Tecnológicas:*

- ❖ La generación local reduce las pérdidas de transmisión de energía.
- ❖ Se mejora la eficiencia global y el aprovechamiento de la energía primaria.
- ❖ Puede evitarse el congestionamiento en las redes de transmisión existentes.
- ❖ Se reducen los impactos de fallas en la redes de transmisión.
- ❖ Se mejora la calidad y la fiabilidad del suministro de energía.
- ❖ Se incrementan la diversidad de combustibles y fuentes de energía.

*Económicas y sociales:*

- ❖ Regiones remotas y comunidades aisladas se benefician grandemente de las posibilidades ofrecidas por el desarrollo de las tecnologías energéticas descentralizadas.
- ❖ Se incrementan las posibilidades de empleo en la zona.
- ❖ El monto y el riesgo de las inversiones se reducen al poder tener una estrecha correspondencia entre la capacidad instalada y el crecimiento de la demanda.
- ❖ Los impactos medioambientales se reducen.
- ❖ Se reducen la vulnerabilidad de los sistemas energéticos a los fenómenos climáticos y otros.
- ❖ Se incrementa la seguridad energética al ampliarse la gama de fuentes de energía en el sistema.

**1.2 Motores de combustión interna**

En el diseño y construcción de los motores de combustión interna, los principales criterios seguidos para la selección de los materiales han estado dirigidos fundamentalmente a garantizar un funcionamiento duradero, estable y seguro del motor, donde la resistencia mecánica y química de sus elementos y accesorios constituye el principal requisito a satisfacer. (Galego, P.; Cortijo, O.; Quincóces, M., 1997; Galego, P.; Quincóces, M., 1999; Galego, P.; Quincóces, M., 1994)

Uno de los requisitos más importantes para que un motor de combustión interna (gasolina, diesel o gas natural) pueda alcanzar los límites de trabajo previstos, se refiere al enfriamiento del motor y más específicamente a mantener la temperatura del mismo en las condiciones de diseño en forma constante en el tiempo (Orlin A.S; Aleskseev N.I., 1970; Jovaj M.S., 1987)

Según el artículo consultado

([http://www.deere.com/es\\_MX/ag/homepage/tips/refrigerante\\_correcto.html](http://www.deere.com/es_MX/ag/homepage/tips/refrigerante_correcto.html))

Para tener una idea completa acerca de la importancia de mantener la temperatura del motor dentro de sus límites establecidos, debemos recordar por ejemplo, que en un motor diesel solamente entre el 35 % y el 40% de la energía producida por el combustible se transforma en potencia.

El resto de la energía generada por el combustible, vale decir, casi dos tercios, se elimina del motor a través de los gases de escape, de la radiación y por el sistema de refrigeración. Es por esta razón que el sistema de refrigeración toma tanta importancia para la vida útil de un motor, ya que es el responsable de retirar casi un tercio del calor generado en la cámara de combustión. De lo anterior, se deduce que, si se presentan fallas en el sistema de refrigeración probablemente se producirán incrementos de temperatura considerables en el interior del motor, lo que podría causar severos daños irreversibles. (Ayel, J., 1990)

No debe perderse de vista que la temperatura en el interior de la cámara de combustión puede llegar a 900/1000 °C, las cabezas de las válvulas de escape pueden llegar a ponerse al rojo vivo y, si bajo estas condiciones, se suspende el flujo de enfriamiento, en muy poco tiempo se puede llegar a fundir los metales más cercanos a la cámara de combustión. (Galego, P.; Quincóces, M., 1996)

Por ejemplo, un sobrecalentamiento puede generar una aceleración en la velocidad de oxidación del aceite lubricante, provocando de esta manera una deficiente lubricación, formación de depósitos de carbón y desgaste metálico con todas las consecuencias que esto significa.

En los cilindros cualquier incremento de temperatura por encima del valor de diseño, provocará una disminución de la viscosidad de la película de lubricante sobre las paredes del cilindro, provocando el roce de metales con el consiguiente desgaste de las piezas. Este daño es de tipo irreversible, y si de manera inmediata se mejora el enfriamiento, el desgaste producido no se podrá solucionar. (Banica, C. E., 2002)

Pero también se puede generar otro tipo de fallas como corrosión por picaduras, cavitación, erosión, agrietamiento de culatas, agarrotamiento de anillos en los pistones o taponamiento de radiadores. Por lo tanto, resulta imprescindible que el sistema de refrigeración del motor siempre funcione perfectamente. De no ser así, la vida útil del motor disminuirá drásticamente. (Cheng, Y. F, 2002)

Por todo esto hay que ser cuidadoso de que no se produzcan fallas en el sistema de refrigeración.

Se considera importante detallar el origen de las fallas que pueden presentarse para poder prevenirlas (Becerra, H.; Macdonald, D. D., 2000):

- ❖ Falla en el flujo refrigerante: a) Mala calidad en el líquido refrigerante; b) Una deficiente concentración del aditivo refrigerante; c) Una deficiente calidad del agua (alta concentración de dureza). Por ello se debe ser cuidadoso en la selección del líquido refrigerante utilizando el adecuado, tanto desde el punto de vista de la calidad del agua como de los aditivos adicionados.
- ❖ Fallas mecánicas del sistema. Las mismas pueden ser prevenidas revisando que todos los elementos mecánicos trabajen en forma óptima. Se debe revisar por completo el sistema mecánico una vez por año.
- ❖ Fallas en la bomba del sistema.
- ❖ Fallas en el termostato, que regula un mayor o menor flujo de agua por el sistema
- ❖ Falla en la válvula de presión (tapón del radiador), normalmente el sistema de refrigeración trabaja presurizado aproximadamente 1,2 Kg/cm<sup>2</sup>
- ❖ Falla en la válvula de alivio (tapón del radiador), la cual disminuye la presión del sistema y elimina el fluido refrigerante

### **1.2.1 Sistema de refrigeración**

Dentro de los motores de combustión, el sistema de refrigeración debe cumplir su función principal el cual es evitar el excesivo calor de los metales que recubren la

cámara de combustión, si este calor no es controlado, los metales inmediatamente expanden sus moléculas y como consecuencia de esto los aceites lubricantes serán absorbidos provocando el problemas en el motor. Aparte, el sistema de refrigeración debe mantener una temperatura mínima y constante pues el motor no trabaja si está excesivamente frío o caliente. (Draper, N. R.; Lin, D.K., 1990)

Cuando se utiliza líquido refrigerante, el calor producido por la combustión es absorbido por el líquido en los conductos que rodean los cilindros, cuando el líquido sale de los conductos se enfría y regresa de nuevo para absorber más calor, esta circulación constante es la que mantiene la temperatura ideal para que no se presenten daños en el motor.

Un artículo publicado en la siguiente dirección

(<http://www.temperone.com/html/info.htm>) plantea:

La combustión produce temperaturas entre los 1.700 y 2.500° C. Una parte de esta temperatura va a las paredes de los cilindros, de los pistones, la culata y las válvulas quienes las absorben, por esto es muy importante que estas piezas estén refrigeradas para que no acumulen altas temperaturas que las dañarían e incidiría en el normal funcionamiento del motor.

Los límites de temperatura de las anteriores piezas son las siguientes:

Paredes del cilindro: 150 a 200 °C. Si no se mantiene esta temperatura el aceite lubricante pierde propiedades y esto provoca desgaste fuera de lo común formando depósitos carbonosos, agarrotamientos, destrucción de los aros, etc.

Pistón: La parte superior es la más caliente, puede llegar a los 300°C. Si el pistón está compuesto de una aleación ligera puede reducir su resistencia mecánica.

Válvula de escape: 700 a 750°C. Si se sobrepasa esta temperatura se reduce su resistencia a la corrosión.( Balezin, S.A.; Zak, E. G., 1999;Briceno, M., 1975)

Paredes de la cámara de combustión: 250°C. Esta es la temperatura ideal que asegura la correcta disipación del calor en el asiento de las válvulas y las bujías así como el correcto funcionamiento del ciclo térmico del motor.

El sistema de enfriamiento, además de disipar el calor de la combustión, en muchos casos también disipa el calor proveniente de otras fuentes como pueden ser:

- ❖ Enfriadores de aceite de la transmisión.
- ❖ Enfriadores de aceite hidráulico.
- ❖ Enfriadores de aceite del motor.
- ❖ Posenfriadores (intercoolers).
- ❖ Carcasas y protectores de turbocompresores, refrigerados por agua.
- ❖ Enfriadores de aceite de convertidores de par de las transmisiones.

El sistema de enfriamiento tiene como objetivo evacuar el calor suficiente para mantener el motor funcionando a la temperatura de diseño. Esta función, es sumamente importante durante el funcionamiento de un motor de combustión interna.

Hay muchos tipos diferentes de sistemas de enfriamiento. La mayoría de ellos disipan el calor mediante el uso de un radiador. Otros, como los empleados en los barcos, mediante el uso de un enfriador de quilla, (conjunto de tubos de enfriamiento para sacar el calor). En la mayoría de los sistemas de enfriamiento, sin embargo, los componentes básicos son (Galego, P.; Cortijo, O.; Quincóces, M., 1998):

- Radiador.
- Ventilador.
- Refrigerante.
- Bomba de agua.
- Enfriador de aceite del motor.
- Regulador de temperatura del agua (termostato).

Un sistema de enfriamiento típico funciona de la siguiente manera: el refrigerante se dirige hacia todos los elementos del motor y a través de otros componentes

auxiliares (transmisiones, refrigeradores de aceite hidráulico...) para absorber el calor y luego, una vez caliente, es llevado al radiador donde se enfría.

El flujo del refrigerante comienza en la bomba del agua y pasa después al motor y a otros componentes. Primero, el refrigerante fluye por el enfriador de aceite del motor y, luego, se dirige al bloque motor. Después pasa por el bloque motor a la culata de cilindros y, después, al radiador. Finalmente, el refrigerante completa su ciclo cuando alcanza la bomba del agua. Donde comienza un ciclo nuevo. (Galego, P.; Cortijo, O.; Quincóces, M.; Castro, D.M.; Falcón J., 2003)

Durante el funcionamiento normal, el ventilador expulsa o aspira (dependiendo si esta colocado delante o detrás del radiador) el aire a través de las aletas del radiador y alrededor de los tubos. Cuando el motor está frío, los reguladores de temperatura (termostatos) impiden el paso de refrigerante al radiador. Poco a poco va aumentando la temperatura de refrigerante, el termostato comienza poco a poco a abrirse y permite el paso del líquido refrigerante al radiador. Cuando el refrigerante fluye por el radiador, el movimiento del aire a través de los tubos y aletas reduce la temperatura del refrigerante.

Los sistemas de enfriamiento han sido diseñados para mantener el motor en funcionamiento dentro de una gama deseada de temperaturas. La temperatura del refrigerante debe de permanecer alta para permitir que el motor funcione eficazmente. Sin embargo la temperatura debe de ser lo suficientemente baja para evitar que hierva el refrigerante. (Brown, M.A., 1998; Chen, T.Y.; Moccari, A.A.; Macdonald, 1991)

El sistema de enfriamiento regula la temperatura transmitiendo el calor del motor al refrigerante y después, al aire ambiente (o una fuente de agua externa, motores marinos o fijos). La rapidez con que el sistema transfiere calor del refrigerante al aire afecta directamente a la temperatura del sistema. Este régimen de transferencia de calor del radiador depende de diversos factores. (Gladkov, D.A., 1986)

Uno de los factores importantes en la transferencia de calor es la diferencia entre la temperatura del refrigerante dentro del radiador y la del ambiente. Cuando

aumenta la diferencia entre la temperatura del refrigerante y la del ambiente, aumenta también el régimen de transferencia de calor. Cuando disminuye esta diferencia en temperatura, disminuye también el régimen de transferencia de calor.

Si el refrigerante comienza a hervir o producir vapor, se descarga por la válvula de alivio de presión del radiador. Esto baja el nivel de refrigerante y conduce al recalentamiento del motor. Una vez que el radiador comienza a recalentarse, el funcionamiento continuado sólo empeora la situación. (Godoy, S. M., 1999)

La temperatura a la cual el refrigerante hierve depende de tres factores:

1. La presión a la cual funciona el sistema de enfriamiento. (En la mayoría de los casos determinada por la válvula de alivio que posee el tapón del radiador, un tapón en malas condiciones puede hacer que el líquido hierva a una temperatura más baja que la de diseño).
2. La altitud a la cual funciona el sistema de enfriamiento.
3. La cantidad y el tipo de anticongelante en la mezcla de líquido refrigerante.

El punto de ebullición es más alto a niveles de presión más altos. Por lo tanto, la mayoría de los sistemas de enfriamiento han sido diseñados para funcionar bajo presión. La presión máxima del sistema la controla ya sea una válvula en la tapa del radiador o la válvula de alivio de presión.

Cuando el motor funciona con la temperatura por encima de lo normal todas las partes que lo conforman están expuestas al desgaste y a la corrosión, por esto es conveniente que el sistema de refrigeración produzca un enfriamiento suficiente, pero no excesivo, porque si la temperatura no alcanza cierto valor el combustible no se vaporiza lo suficiente, por lo tanto la mezcla no es homogénea, la combustión no se realiza con regularidad y puede pasar que el combustible pase entre la camisa y el pistón diluyendo el aceite del carter que favorece la corrosión; por eso se recomienda que al encender el motor se le debe llevar a su temperatura normal en el menor tiempo posible y mantenerlo dentro de los márgenes, no importa las condiciones de funcionamiento ni la temperatura del ambiente.( Stanners, J.F, 1984)

Los conductos del bloque del motor deben estar completamente libres de óxido, incrustaciones minerales y geles. Hay dos formas diferentes de corrosión que pueden producir fallas en el sistema de enfriamiento. El primero es la oxidación, que puede causar pérdida del metal hasta que causa daños mecánicos. El segundo es la formación excesiva de incrustaciones, las cuales van bloqueando los conductos del sistema de enfriamiento, dificultando la transferencia de calor, y, finalmente, obstruyendo por completo el sistema, causando daño general que puede causar que el motor se funda. En ambos casos se plantea como solución el tratamiento químico o mecánico del sistema de enfriamiento, pero éste es un mantenimiento correctivo que puede prevenirse si se protege el sistema para evitar tener que recurrir a este tipo de métodos, como los lavados químicos o la utilización de sondas. La corrosión u oxidación se produce, generalmente, en los radiadores y las bombas de agua. ( <http://www.cebelcor.org>)

La corrosión fuerte causa reducción de los flujos, fugas alrededor de las empacaduras, y, en casos extremos, rotura total de la bomba de agua. Las incrustaciones ocurren cuando sales minerales se depositan sobre las paredes de los conductos del sistema de enfriamiento, formando costras fuertemente adheridas, tan duras como rocas, las cuales van cerrando los conductos hasta taponearlos completamente.(Uhling, H.,1986)

Al formarse la incrustación se disminuye el diámetro para el flujo del refrigerante, por lo que en estas secciones el fluido pasa con mayor velocidad, y el contacto del refrigerante con el motor durará menos tiempo, disminuyendo la remoción del calor. Además, estas incrustaciones actúan como cerámica refractaria, que es muy eficiente en el aislamiento térmico de hornos y cocinas, pero totalmente indeseable en los sistemas de enfriamiento, puesto que se tiene menos tiempo de contacto y el aislamiento que impide el paso de calor hace de las incrustaciones un problema de extremo cuidado.

Otro problema que se presenta con los sistemas de enfriamiento consiste en la picadura de las superficies metálicas por la cavitación del líquido refrigerante. La cavitación es un fenómeno de choque brusco de los vapores de líquido refrigerante

contra las paredes de los conductos del sistema de enfriamiento que remueve la capa protectora formada por los aditivos químicos, lo cual deja el metal sin protección contra el desgaste por flujo del líquido refrigerante y la oxidación. Este problema se presenta, principalmente, en los motores construidos con aleaciones que tienen alto porcentaje de aluminio y en los motores de trabajo pesado. En el primer caso se presenta debido a que el aluminio es un metal que rechaza el calor y, por esto, la temperatura del fluido en la cercanía de las paredes es más alta que en otros tipos de motores haciendo que el líquido refrigerante esté más propenso a la formación de burbujas por ebullición. Para los motores de trabajo pesado con diseño de bloque de cilindros húmedos con camisas, el problema se presenta debido a que en el diseño de camisa húmeda se produce fuerte vibración como consecuencia de la libertad en que se encuentran las bielas en los cilindros del motor, por lo que se recomienda el uso de un Aditivo Refrigerante Complementario para la adecuada protección de los mismos. (Winton, P. T., 2002)

Un documento consultado en la dirección que se muestra a continuación: (<http://www.patagonia4x4.com.ar/foro/viewtopic.php?p=40888>) manifiesta que:

Fugas de aire en el sistema de enfriamiento pueden producir espuma en el refrigerante. La espuma conduce a picaduras, particularmente alrededor de rodetes de bombas de agua. Las picaduras y otras formas de corrosión aumentan notablemente cuando entran en el sistema de enfriamiento gases de escape, introduciendo burbujas y espuma.

Para evitar estos problemas, se debe agregar aditivos supresores de espuma a la mezcla de refrigerante. Los buenos refrigerantes poseen aditivos con agentes antiespumantes que impiden la formación de burbujas de aire.

### **1.2.2 Averías relacionadas con el sistema de refrigeración**

Aunque ya se han mencionado los problemas corrosivos y de averías que pueden producirse en el sistema de refrigeración a continuación se resumen los mismos.

Si no se selecciona el refrigerante adecuado y no se lo mantiene minuciosamente, ciertos efectos funcionales pueden causar problemas en el sistema de enfriamiento. Hay que emplear refrigerantes o bien mezclas de los mismos, de tal manera que se reduzcan el riesgo de que se produzcan los siguientes problemas:

- Erosión por cavitación y picaduras
- Herrumbre
- Relación inapropiada de acidez/alcalinidad
- Corrosión galvánica
- Escamilla y depósitos, aeración

La corrosión es una acción química o electroquímica que con el tiempo, desgasta las superficies metálicas de un sistema de enfriamiento. En algunos casos, la corrosión puede hasta destruir el motor. Todos los componentes del sistema de enfriamiento requieren protección contra la corrosión. Los aditivos cubren estas superficies y neutralizan la contaminación que se produce en el refrigerante.

*Erosión por Cavitación y Picaduras.* (Wu, X., 2002)

El flujo de electricidad en un punto determinado causa picaduras. Las picaduras dañan los componentes más que ningún otro tipo de corrosión.

Cuando las picaduras se van ahondando durante un periodo prolongado, no hay ninguna manera práctica de detenerlas antes de que den lugar a perforaciones. El flujo de electricidad que se centre en un área pequeña es muy destructivo. Por esta razón, la prevención es la mejor práctica

La erosión es una combinación de acción mecánica y química o electroquímica que produce corrosión. La cavitación es un tipo particular de corrosión por erosión y es, frecuentemente, la causa de picaduras en las paredes de los cilindros.

La cavitación de la pared del cilindro se produce cuando burbujas de aire en la superficie de la misma le sacan su película protectora de óxido. Cuando explota la mezcla de combustible en la cámara de combustión, la pared del cilindro se flexiona y vibra, lo cual produce burbujas de aire en el refrigerante. La

concentración de burbujas aumenta cuando la presión es baja en el sistema de enfriamiento o cuando este tiene fugas. Además al aumentar las vibraciones, aumenta también la cantidad de burbujas de aire en el refrigerante. (Dawson, J. L.; Shih, D.G.R., 1987)

Cuando el motor funciona en frío, se aumentan las vibraciones a causa del mayor espacio libre entre pistón y cilindro (los materiales aún no se han dilatado y las holguras son mayores). Las vibraciones aumentan también cuando el motor se sobrecarga.

Estas burbujas se producen en la superficie exterior de la pared del cilindro (perpendicular respecto al pasador de la articulación) y luego explotan hacia dentro, es decir implotan. Cuando las burbujas de aire siguen experimentando implosiones, se libera suficiente energía como para atacar físicamente la pared del cilindro y sacar la película de óxido, lo cual produce la erosión con gran rapidez.

Con el tiempo, una picadura se puede volver lo suficiente profunda como para perforar la pared del cilindro y permitir fugas de refrigerante dentro del mismo. Estas fugas contaminan el aceite lubricante. (Orlin, A. S.; Kruglov, D.N., 1972)

Los aditivos refrigerantes suplementarios cubren las superficies metálicas y controlan la erosión por cavitación y las picaduras. Desafortunadamente, partículas pequeñas o escamillas de hierro a menudo impiden que el aditivo haga contacto con las superficies metálicas. Si esta condición persiste, se pueden producir picaduras. Para evitar picaduras hay que mantener limpio el sistema de enfriamiento y cambiar el refrigerante en los periodos recomendados por el fabricante. No obstante si no se agregan aditivos o se añaden en cantidades inapropiadas, se acrecienta la producción de picaduras y la erosión por cavitación. Con el tiempo, el refrigerante puede penetrar en la pared del cilindro y causar daños mayores al motor. (Denpo, K.; H Ogawa, 1985; Freiman, L.I., 1993)

Herrumbre. (Kraguelsky, V. I., 1989)

La herrumbre es el resultado de la oxidación dentro del sistema de enfriamiento. El calor y el aire húmedo aceleran este proceso. La herrumbre deja depósitos de

escamilla que pueden obstruir el sistema de enfriamiento, lo cual causa desgaste acelerado y reduce la eficacia de la transferencia de calor.

*Relación Inapropiada de Acidez/Alcalinidad.* (Wu, X., 2002; Kraguelsky, V. I., 1989)

El contenido de acidez y alcalinidad de una mezcla de refrigerante se mide según su nivel de pH. El nivel de pH, que puede variar entre 1 y 14, indica el grado de acidez o de alcalinidad y el grado de corrosividad del refrigerante. Para lograr los mejores resultados, el nivel de pH del sistema debe mantenerse entre 8,5 y 10,5. Cuando el nivel de pH supera 11,0 el nivel de refrigerante ataca al aluminio y al cobre, o los materiales no ferrosos. Cuando el nivel es inferior a 7,0 el refrigerante se torna ácido y daña los materiales ferrosos. Cuando el nivel es inferior a 7,0 o superior a 11,0 la mezcla de refrigerante no es adecuada. La menor corrosión ocurre entre 8,5 y 10,0.

La temperatura afecta el nivel de pH. A temperaturas mayores, el pH es, por lo general, menor.

Los aditivos de los refrigerantes utilizados en la mezcla del refrigerante deben de tener agentes amortiguadores para mantener el nivel de pH y neutralizar los ácidos producidos por los gases de escape del cárter. (<http://www.intercorr.com>)

*Corrosión Galvánica.* (Sankara, P.R., 2002)

Las corrientes eléctricas que fluyen por el refrigerante entre dos metales diferentes causan la corrosión galvánica. El refrigerante sirve de conductor eléctrico entre los metales. Una fuerza electromotriz o un voltaje potencial que existe entre los dos metales diferentes permiten el flujo de electricidad. La corrosión galvánica ocurre en el metal que tenga la menor resistencia o sea el que sea más activo.

Si se produjera corrosión galvánica inmediatamente debe drenarse el sistema de enfriamiento, enjuagarlo y volver a llenarlo con la mezcla refrigerante. Hay que determinar el origen de la diferencia de potencial para evitar la corrosión continua de los componentes.

La corrosión puede ocurrir también cuando la electricidad que pasa por el refrigerante proviene de una fuente externa. Para evitar una corrosión electrolítica,

se debe de diseñar los sistemas eléctricos de manera que no se imponga ninguna diferencia de potencial eléctrico sobre los componentes del sistema de enfriamiento. Cualquiera que sea la calidad de la mezcla del refrigerante, la presencia de una diferencia de potencial eléctrico puede dañar, por corrosión electroquímica los materiales del sistema de enfriamiento. Típicamente, la resistencia medida entre un componente eléctrico en el motor y el negativo de la batería debe de ser menos de 0,3 ohmios. ( Hong, T.; Sun, Y.U. ,2002)

Las piezas de aluminio son susceptibles a la corrosión electrolítica. El aluminio requiere sólo aproximadamente la mitad del potencial eléctrico que el hierro para producir el mismo efecto dañino. Con los componentes de aluminio de los motores más nuevos, hay que tomar aún más cuidado para asegurar una conexión apropiada para evitar diferencias de potencial eléctrico.

Es extremadamente difícil de localizar estos tipos de corrosión. Hay que hallar la fuente de la corriente eléctrica. Muchos problemas son resultado de una conexión inadecuada de los componentes eléctricos o conexiones corroídas en los cables de conexión. (<http://www.corrosionconf.co.uk>)

Escamilla y Depósitos (Wu, X., 2002; Kraguelsky, V. I., 1989)

Las características principales del agua entre las que figura el nivel de pH, la dureza del calcio y del magnesio, la dureza total y la temperatura determinan la formación de depósitos y de escamilla. El uso de refrigerantes con aditivos es un factor importante en la formación de escamilla y de depósitos. A continuación se indican los tipos de escamilla que se encuentran frecuentemente en el sistema de enfriamiento:

- ❖ Carbonato de calcio
- ❖ Sulfato de calcio
- ❖ Hierro
- ❖ Cobre
- ❖ Sílice

❖ Plomo

La escamilla y los depósitos producen daños en el sistema de enfriamiento porque actúan como aisladores y barreras contra la transferencia de calor. Por lo tanto, los depósitos y la escamilla reducen la eficacia del sistema de enfriamiento. Apenas 1,6 mm de escamilla tienen la misma capacidad aislante que aproximadamente 100 mm de hierro fundido. Este depósito delgado de escamilla puede reducir la transferencia de calor en un 40%. En muchos casos, provoca serias averías del motor. (Melchers, R. E., 2003; Moccari, D. B. A., 1993)

Utilizando un refrigerante adecuado o en su defecto un agua pretratada con aditivos, ayuda a mantener el motor libre de escamilla y de depósitos.

### **1.2.3 Líquido refrigerante**

(<http://www.patagonia4x4.com.ar/foro/viewtopic.php?p=40888>)

Los refrigerantes de motor diesel contienen una combinación de tres agentes químicos: anticongelante, aditivos inhibidores y agua de buena calidad.

#### **1.2.3.1 Características de los anticongelantes**

Uno de los propósitos del anticongelante es proteger el refrigerante del motor contra el congelamiento. El agente utilizado con más frecuencia como anticongelante es el glicol etilénico. Las concentraciones relativas de glicol etilénico y agua son sumamente importantes.

Además, el anticongelante eleva el punto de ebullición del agua e impide la cavitación de la bomba del agua.

Si se aumenta la concentración de glicol etilénico por encima del 70% ya no se obtiene una reducción del punto de congelación. Luego no es recomendable sobrepasar una concentración de glicol etilénico por encima del 60%. (Prozov, V.V., 2004)

El uso de aditivos en el refrigerante reduce la corrosión, erosión y picaduras. Esto lo hacen reduciendo la cantidad de burbujas de vapor en el mismo y formando una película protectora en la superficie de las camisas de los cilindros. La concentración de aditivos del refrigerante disminuye gradualmente durante el funcionamiento del motor, y es necesario restituirlos. Debe reabastecerse los aditivos cada 12 meses. Otros trabajos recomiendan que para mantener una protección continua del sistema, es necesario reemplazar el líquido refrigerante. En motores industriales se recomienda añadir 0.5 litros de aditivo cada 75 litros de refrigerante en intervalos de 250 h. (Salgado, F. S., 1995; Sfaira, M., 2001)

La utilización de aditivos no adecuados o la mezcla de distintos refrigerantes pueden ocasionar reacciones químicas entre éstos, produciendo pérdida de las propiedades requeridas por el motor.

El refrigerante debe poder transferir el calor de los componentes calientes de un motor a un radiador o un intercambiador de calor. Para que sea eficaz el anticongelante debe tener las características siguientes (Alexander, D. B., 1995; Armas, O., 1994):

❖ Disipación de calor.

La disipación de calor describe la tendencia del calor de moverse de un lugar caliente a otro más frío. La proporción de calor transferido se mide por las propiedades térmicas específicas de un líquido determinado. (El calor específico es la cantidad de energía térmica requerida para cambiar la temperatura de un gramo de una sustancia en 1°C.) En un refrigerante la proporción de disipación de calor también depende de la diferencia entre la temperatura del aire ambiente y del refrigerante del mismo, más las propiedades conductivas del material que rodea al refrigerante. (Gladkov, D.A.; Danshikov, B. B., 1988)

Una mezcla de 50% de glicol etilénico, como sustancia anticongelante, que tiene un calor específico de 0,880, y de 50% de agua, aumentará la temperatura de ebullición atmosférica de la mezcla a aproximadamente 107°C. La disipación de calor de una mezcla de glicol etilénico es inferior a la del agua pero la temperatura de ebullición de la mezcla es más alta. Esto significa que se recupera parte de la

capacidad de enfriamiento perdida al alcanzar una temperatura más alta en el tanque superior del radiador sin pérdida de refrigerante a causa de la ebullición.

❖ Protección anticongelante del refrigerante.

La mejor protección contra el congelamiento del refrigerante es la relación apropiada de mezcla del refrigerante. Como refrigerante debe usarse una relación apropiada de glicol etilénico y agua o de metoxi propanol y agua. Los anticongelantes disponibles más comunes son los que utilizan el glicol etilénico como protector anticongelante. (Kande., 19730)

❖ Resistencia a la corrosión. (Leonardo, C., 1974)

El anticongelante debe impedir la formación de herrumbre y picaduras en el motor y en otros componentes. Por esta razón, el agua por si sola no es un buen refrigerante porque puede causar corrosión. Tanto el agua destilada como el agua suavizada son corrosivas si no se les adiciona inhibidores de la corrosión.

❖ Compatibilidad.

El refrigerante no debe afectar a los sellos, las mangueras ni los materiales utilizados en los sistemas de enfriamiento, como cobre, aluminio y acero. Los inhibidores en el anticongelante están diseñados para proteger estos componentes.

❖ Antiespuma. (Efird, K.D.1993.)

El anticongelante no debe formar espuma ni sedimentos que puedan afectar al sistema de enfriamiento.

### **1.2.3.2 Características del agua usada en el refrigerante.**

Se usa agua en la mezcla de refrigerante porque es el agente de disipación de calor más eficiente, más conocido y más accesible en todo el mundo. Sin embargo cada fuente de agua tiene diferentes niveles de contaminantes. A la temperatura de operación de los motores diesel modernos, estos contaminantes forman ácidos o escamilla que pueden reducir la vida útil del sistema de enfriamiento. (Galego, P.; Cortijo, O.; Quincóces, M., 1999)

El agua debe cumplir con los niveles establecidos en cuanto a:

- ❖ Contenido de cloruros.
- ❖ Contenido de sulfatos.
- ❖ Dureza total.
- ❖ Cantidad total de sólidos.
- ❖ Nivel de pH.

En función del tipo de anticongelante y la cantidad añadida al agua, también se modifica su temperatura de ebullición. El punto de ebullición es más alto con concentraciones más altas de anticongelante de Glicol etilénico. Sin embargo el Glicol etilénico es menos eficaz en la transferencia de calor que el agua. A causa de estos efectos sobre el punto de ebullición y sobre la eficacia de transferencia de calor, es extremadamente importante adicionar la concentración apropiada de glicol etilénico. (Galego, P.; Quincóces, M, 1996)

Las características del agua pueden variar de un sitio a otro. Por ejemplo, un alto contenido de cloruros se encuentra, comúnmente, en las zonas costeras donde se emplean plantas de desalinación. Es posible que el contenido en cloruros sea de 90 ppm (partes por millón) en una zona determinada y de hasta 1200 ppm a una distancia de tan sólo 80 Km. Los altos contenidos en sulfatos, se encuentran por lo general en zonas cerca de minas de carbón. Es necesario tratar químicamente cualquier fuente de agua que contenga altos niveles de cloruros, sulfatos o sólidos totalmente disueltos. (Kim, V. H., 1995)

Según lo planteado por la compañía productora del refrigerante MTU en el (Manual de generación, 2005) el agua que debe usarse para la preparación del refrigerante debe tener las características que se muestran en la Tabla #1

Tabla #1 Características del refrigerante

Parámetros del agua	Valor mínimo	Valor máximo
Suma de tierras alcalinas	0 mmol/l	2.7mmol/l
Dureza del agua	0 <sup>o</sup> d	15 <sup>o</sup> d
Valor de pH a 20 <sup>o</sup> c	6.5	8.0
Iones cloruros		100mg/l
Suma de aniones		200mg/l

### **1.2.3.3 Características de los aditivos anticorrosivos**

Si la concentración del aditivo es demasiado alta, se pueden formar sales insolubles que pueden producir desgaste en las superficies de los sellos de la bomba del agua. Un exceso de aditivo refrigerante o de anticongelante puede dañar también el motor. (Okun N.M, 1987)

Los motores con mayor contenido de aluminio requieren silicatos para proteger las superficies de aluminio. El aditivo refrigerante utilizado en estos motores, debe de someterse a las siguientes pruebas:

- ASTM D1384 - Prueba de corrosión de vidrio.
- ASTM D2809 - Erosión por cavitación del aluminio.
- ASTM D4340 – Corrosión de superficie caliente del aluminio.

No debe nunca usarse aceite soluble como aditivo refrigerante, porque en la mayoría de los casos se dañarán las mangueras del radiador y ciertos sellos del motor. Además, este aceite no lubrica los cojinetes de las bombas ni protege los componentes del motor contra daños de erosión por cavitación.

Para el uso de los aditivos anticongelantes e inhibidores de la corrosión en el líquido refrigerante deben seguirse algunas recomendaciones, como son:

- ❖ No deben usarse inhibidores líquidos y sólidos juntos
- ❖ No deben mezclarse aditivos anticorrosivos dentro de un sistema de enfriamiento, debe seleccionarse un solo aditivo.
- ❖ Debe usarse sólo la cantidad de anticongelante necesaria para cumplir con los requisitos de protección contra el frío necesarios. Nunca debe utilizarse más del 60% por volumen.
- ❖ Nunca debe usarse un anticongelante sin diluir para llenar un sistema. Debe mezclarse de antemano el anticongelante con el agua.
- ❖ Debe usarse agua destilada o en su defecto, agua que cumpla por lo menos con la calidad mínima aceptable indicada

Existen numerosos refrigerantes especialmente diseñados para los motores modernos, se debe de elegir un refrigerante con las siguientes especificaciones:

- Anticongelante de base glicol etilénico, el cual protege contra el congelamiento
- Que contenga agentes antiespumantes.
- Un nivel de protección adecuado contra la corrosión de los metales.
- No contenga un exceso de compuestos químicos que puedan precipitar y formar depósitos dañinos.
- Protección contra picaduras de las camisas de cilindro y del bloque motor.

Debido a la escasez de glicol etilénico y el precio en aumento del mismo, se puede usar en su lugar, el glicol propilénico según las condiciones. Con una mezcla de 50/50 con agua, tanto el glicol propilénico como el glicol etilénico tienen propiedades de fluido muy similares con respecto a la transferencia del calor, protección anticongelante, control de corrosión y compatibilidad de los sellos. (Kawai, N., 2003)

Si se selecciona glicol propilénico para el sistema de enfriamiento, se recomienda lo siguiente:

- ❖ Usarlo de la misma manera que utilizaría anticongelantes derivados de glicol etilénico.
- ❖ No usarlo en concentraciones mayores que una mezcla de 50% de glicol propilénico y 50% de agua a causa de la menor conductividad del glicol propilénico puro.
- ❖ Usar inhibidor de corrosión suplementario para proteger los componentes del sistema de enfriamiento.
- ❖ Aunque se puede mezclar el glicol etilénico con el propilénico, es mejor mantener el sistema con un solo fluido.

### **1.3 Inhibidores de la corrosión**

El empleo de inhibidores de la corrosión es uno de los métodos más universales, y por tanto difundido, de combate anticorrosivo. Debido a su importancia práctica y al elevado número de sustancias empleadas con este fin, las cuales actúan de diversas formas, es que resulta conveniente estudiar esta vía.

*Definición y clasificación. Mecanismos de acción (Trabanelli, G. ,1970)*

Se acostumbra a definir como inhibidor de corrosión a aquellas sustancias químicas que adicionadas al medio corrosivo en pequeñas cantidades producen una disminución sensible de la velocidad de corrosión. En cierto sentido esta definición es algo amplia y pueden incluirse en ella sustancias como la hidrazina, mencionada en el epígrafe anterior, también sustancias tales como el  $H_2SO_4$ , ya que la adición de pequeñas cantidades de este ácido en un medio básico puede reducir notablemente la corrosión del aluminio. Pero muchos autores incluyen una restricción adicional y es que la acción de los inhibidores se realice en la interfase metal- solución quedando excluidas las sustancias que alteran la concentración de los agentes oxidantes o de otros agentes agresivos del medio. Además, en algunos

casos los inhibidores no se añaden al medio corrosivo sino a un recubrimiento superficial como son las grasas protectoras inhibidas. (Smith, J.K., 2002)

En general los inhibidores en su acción superficial varían la velocidad de las reacciones de oxidación-reducción entre el metal y el medio oxidante. La forma en que esto se realiza, o sea el mecanismo de acción puede variar en dependencia de la naturaleza del inhibidor, sus propiedades químicas, las características del metal y del medio corrosivo. Por estas y otras razones no mencionadas los inhibidores pueden clasificarse desde muchos puntos de vista, aunque en buena medida existe una lógica interconexión entre estas clasificaciones. (Herrera, A.; Galego, P., 1994)

Las sustancias inhibidoras por su naturaleza química pueden ser inorgánicas y orgánicas. Entre las inorgánicas se puede mencionar el dicromato de potasio, el silicato sódico, el sulfato de cinc, el carbonato cálcico, los compuestos de arsénico y otros. En estos, la parte activa de la sustancia puede ser el anión como en el  $\text{CrO}_2\text{O}_7^{2-}$ , el catión, como el  $\text{Zn}^{2+}$  o la molécula como en el caso del  $\text{CaCO}_3$ . Los orgánicos son aún mucho más abundantes y variados con grupos funcionales diversos. Como ejemplos típicos se pueden mencionar las aminas alifáticas y aromáticas, las tioureas, azúcares, sustancias fósforo-orgánicas, etc. Además, existen inhibidores formados por un ion orgánico y otro inorgánico, como el nitrito de cicloexilamonio y muchos otros. (Shalaby, M.N., 2002)

Un aspecto esencial tanto para la teoría como para la práctica del uso de inhibidores es el mecanismo por el cual el inhibidor funciona. Los grupos principales son:

### Pasivadores (Robitaille, D. R., 1997)

Sustancias que bajo ciertas condiciones causan o facilitan la formación y establecimiento de una capa de óxido superficial de tipo pasivo, ocasionando una notable disminución de la velocidad de corrosión. Los pasivadores por tanto deben ser sustancias de carácter oxidante fuerte y de cinética de reducción rápida. Como ejemplos típicos están una serie de sustancias inorgánicas como los cromatos, nitritos, molibdatos, tungstanatos y algunas sustancias orgánicas como los nitrobenzoatos. También algunos cationes inorgánicos con el de cerio  $\text{Ce}^{4+}$ , y en

algunas condiciones el  $\text{Fe}^{3+}$  y el  $\text{Pb}^{4+}$  resultan buenos pasivadores.

Sin embargo, no todas las sustancias oxidantes fuertes resultan buenos pasivadores y por otro lado hay sustancias de bajo poder oxidante que facilitan el logro de la condición pasiva de los metales. Así, el permanganato de potasio, un fuerte oxidante, no es buen pasivador, mientras que el NaOH, fosfatos, benzoatos, boratos y otros logran pasivar al acero. También algunas aminas favorecen el logro de la pasividad. Aunque para todos los casos no está totalmente clara la causa de su comportamiento si se conocen una serie de factores influyentes. Así, las sustancias que tienden a aumentar el pH, las que ejercen efecto buffer, la adsorción de especies químicas en la superficie y la participación directa de la sustancia en la formación de la capa de óxido, por lo general propician el establecimiento de la pasividad del metal. Muchas de las sustancias mencionadas ejercen más de uno de los efectos mencionados. En cualquier caso las sustancias que no poseen poder oxidante fuerte, requieren necesariamente de la presencia de oxígeno disuelto para lograr la pasivación, mientras que los cromatos y nitritos no lo requieren. ( Man'Kina, N.N., 2002)

Si la cantidad de pasivador adicionada al medio es insuficiente se produce la pasivación solo de una parte de la superficie metálica, lo cual provocar un intenso ataque de las zonas no cubiertas, sobre lo cual recae toda la magnitud del ataque. Comúnmente este se manifiesta en forma de picadura. La concentración mínima del pasivador que debe mantenerse para evitar este fenómeno perjudicial se denomina concentración crítica. (Kodama, T., 1997; -Mc Lean, J. D.; Kilpatic, P. K.,1984)

Algunos pasivadores no solo protegen los aceros sino también ofrecen protección al aluminio, cinc e inclusive a metales como el cobre y sus aleaciones que no se caracterizan por su pasividad.

#### Formadores de depósitos

Dentro de este grupo se incluyen aquellos productos químicos que forman películas o depósitos con sus propias moléculas o más frecuentemente con productos de su reacción en la superficie metálica. Aunque lo común es que

retarden los procesos de reducción del medio oxidante, algunos de ellos también pueden dificultar la semirreacción de oxidación metálica gracias a un cierto efecto de pasivación. Como ejemplos más comunes se pueden citar el silicato de sodio, el bicarbonato de calcio y magnesio, los polifosfatos, las sales de  $Zn^{2+}$  y  $Ni^{2+}$ , así como los compuestos de arsénico y antimonio. (Winton, P. T., 2002)

Los silicatos forman un gel de sílice, las sales de  $Zn^{2+}$  y  $Ni^{2+}$  precipitan en forma de hidróxidos, al igual que los bicarbonatos que precipitan como carbonatos insolubles. Los polifosfatos forman una especie de capas poliméricas inorgánicas. Todos estos inhibidores se emplean en medios neutrales o alcalinos combatiendo la corrosión por oxígeno al limitar su difusión a la superficie metálica, por lo que la corriente límite de difusión ( $i$ ) disminuye. (Stanners, J.F., 1975)

Una excepción de lo anterior lo constituyen los compuestos de arsénico y antimonio, los cuales se reducen sobre la superficie metálica aumentando considerablemente el sobrevoltaje de hidrógeno, con lo cual disminuye la velocidad de reducción catódica de los  $H^+$  de las soluciones ácidas.

#### Orgánicos de adsorción

Conjuntamente con los pasivadores estos son los inhibidores de mayor utilización en la práctica. Como su nombre lo indica son sustancias orgánicas que ejercen su acción al adsorberse sobre la superficie metálica. Para ello estas sustancias deben poseer carácter polar con grupos funcionales que contengan al menos un heteroátomo (S, N, O, P) o que posea en la molécula múltiples enlaces (preferentemente triples) por los cuales se realiza la unión con la superficie metálica. Como ejemplos tenemos las aminas alifáticas y aromáticas, las amidas, las sales cuaternarias de amonio y piridínicas, las imidazolinias, tioureas, mercaptanos, sulfóxidos, compuestos fosforados y acetilénicos, etc. (Damaskin, N. B., 1972)

Los grupos funcionales se adsorben a la superficie metálica por fuerzas físicas y químicas o específicas. Entre las primeras están las electrostáticas, de Van der Waals, de inducción y otras. La adsorción química se efectúa mediante intercambio de pares electrónicos entre el adsorbente, preferentemente por donación de pares

electrónicos del inhibidor a los orbitales incompletos de los metales de transición. Las fuerzas químicas de enlace son energéticamente más favorables y, por ende, más estables. El resto de la molécula, constituido por radicales carbonados apolares, se orienta en sentido paralelo o perpendicular a la superficie metálica en dependencia del grado de cubrimiento. (Mansfeld, F., 1981)

La cantidad de moléculas adsorbidas raras veces alcanza a formar una capa monomolecular y por lo general solo cubre una pequeña parte de la superficie ( $\theta < 1$ ). Este grado de cubrimiento superficial  $\theta$  depende fundamentalmente de la naturaleza del inhibidor y de su concentración en el seno de la disolución. Esta dependencia viene dada por la isoterma de adsorción.

En dependencia de la estructura y el grupo polar, así será la protección que los mismos ofrecen, donde los sustituyentes integrados por el oxígeno, nitrógeno, azufre o fósforo son los que elevan el carácter protector del inhibidor. (Damaskin, N. B., 1972; Domínguez, J.A, 1987; Fiaud, C., 1979; Rosenfeld, I.L. , 1981; Weber, T. R., 1986; Yoshikazu, M., 2002; Damborenea J, 1988)

La efectividad de un inhibidor es además dependiente de múltiples factores tales como concentración del inhibidor, del material metálico, del tipo y concentración de la solución, la temperatura, la presencia de otros agentes tensoactivos, etc.,. Así por ejemplo, las tioureas, muy efectivas en la inhibición del acero al carbono en HCl no inhiben apenas a los aceros inoxidables, mientras que muchos nitrogenados muestran efectividad similar en ambos materiales. Hay productos que disminuyen su efectividad con el aumento de la temperatura y otros que la aumentan. De aquí puede concluirse que es difícil encontrar el inhibidor universal y que para resolver problemas en condiciones disímiles hay que recurrir a diferentes productos.

Un fenómeno interesante es la elevadísima efectividad que se logra con algunas mezclas de inhibidores debido a un reforzamiento mutuo de la adsorción de sus moléculas. Esto se produce comúnmente cuando los inhibidores mezclados presentan distinto carácter iónico y cuando se mezclan sustancias orgánicas e inorgánicas con un ión común. (Morales, D., 2002; Norman, E., 1974)

#### **1.4 Métodos de evaluación de la velocidad de corrosión.**

Existen diferentes métodos para determinar la velocidad de corrosión de metales y aleaciones y por ende conocer la efectividad de un inhibidor adicionado a un medio agresivo o de otro método de control de la corrosión. Así se pueden utilizar métodos convencionales, como el gravimétrico, analítico químico, etc, pero estos requieren de bastante tiempo de experimentación cuando se trata de un medio poco agresivo como son los medios neutrales. También se utilizan los métodos electroquímicos experimentales como el de las curvas completas de polarización y el de resistencia a la polarización, los cuales dan resultados en un periodo de tiempo menor y además brinda información sobre el mecanismo del proceso corrosivo. Por ello se abordarán solo un estudio de estos últimos métodos.

##### **Métodos electroquímicos experimentales**

Los métodos electroquímicos de corte teórico tienen el inconveniente de arrojar resultados aproximados y además no siempre son utilizables, mientras que los experimentales son muy generales y proporcionan resultados mucho más cercanos a los reales de la práctica. Por esta razón se prefieren estos últimos. Además, a diferencia de los métodos convencionales, proporcionan no solo el valor  $i_c$  sino también qué proceso controla la corrosión, cuál es su paso limitante, los valores de la constante de Tafel anódica, catódica y otros datos sobre el mecanismo del proceso corrosivo. Por ello, en la investigación de los procesos corrosivos es conveniente la aplicación de estos métodos.

##### **Métodos de las curvas completas ó de la extrapolación**

Consiste en la obtención experimental de una relación de valores de corriente y potencial tanto en el rango catódico como en el anódico. Con esa data se grafican las curvas de polarización  $\log i$  contra  $E$ . Si las curvas reales (experimentales) obtenidas muestran polarización por transferencia se extrapolan las zonas rectas de Tafel hasta  $E_c$ , obteniendo así la  $i_c$ . Las curvas en la zona donde se cumple la ley de Tafel deben tener forma lineal en el diagrama

semilogarítmico, es decir, cuando la variación del potencial de corrosión sea mayor a  $\pm 50$  mV, aproximadamente. Si el proceso catódico muestra una limitación por difusión, se extrapola la  $i_{LD}$  hasta el  $E_c$  y se determina  $i_c$ . En este caso es necesario cerciorarse de que la limitación por difusión se extiende hasta el  $E_c$ . De forma similar se opera en el caso de un control anódico total. (<http://www.corrosionsource.com>)

A este método se le plantea como desventaja que requiere de corrientes relativamente altas, las cuales pueden cambiar la cinética de corrosión. Además, se ha encontrado que esta extrapolación no siempre conduce al mismo valor de potencial de corrosión alcanzado por el metal en ausencia de polarización externa, por lo que algunos investigadores recomiendan extrapolar solamente la curva catódica al potencial de reposo. Si se cuenta con un adecuado potencióstato se deben obtener las curvas de modo que se polarice hasta valores seleccionados en la parte catódica y a partir de ese valor más negativo se obtenga la curva completa hasta llegar al valor seleccionado más positivo de la rama anódica.

### **Método de resistencia a la polarización**

Este método también denominado de Polarización Lineal se basa

fundamentalmente en la relación que existe entre la pendiente de la curva de polarización y la velocidad de corrosión, junto a la consideración de que para pequeñas variaciones del potencial de corrosión, o sea, en las cercanías del mismo, las curvas de polarización anódica y catódica pueden ser linealizadas.

En 1957 Stern y Geary establecieron que a partir de esas curvas se pueden obtener la  $i_c$  según la expresión siguiente:

$$i_c = \frac{b_a \cdot b_k}{2,303 (b_a + b_k)} \left[ \frac{\Delta i}{\Delta E} \right]_{E_{corr}} = \frac{B}{R_p}$$

Donde:

$$B = b_a \cdot b_k / 2,303 (b_a + b_k)$$

$$R_p = \Delta E / \Delta i$$

$\Delta i / \Delta E$ ; es la pendiente de la curva de polarización en un gráfico normal y en un rango de variación de potencial de  $\pm 10$  mV (para algunos sistemas este rango puede ser mayor pero siempre menor que  $\pm 50$  mV)

$b_a$  y  $b_k$ ; son las pendientes de las rectas de Tafel del sistema.

La ecuación anterior se utiliza para sistema de control mixto como la corrosión en ácidos donde ambos sistemas están limitados por transferencia.

Aunque varios autores plantean que esta ecuación tiene limitaciones entre ellas que:

- El potencial de corrosión no puede estar cerca de los potenciales reversibles  $E_{eq_{Me}}$  y  $E_{eq_{Ox}}$
- La polarización óhmica y por concentración están ausentes.
- No haya reacciones electroquímicas secundarias.

Sin embargo, otros autores plantean que este método es aplicable en casos de corrosión con control por difusión del oxidante ( $b_k = \infty$ ) y en casos de corrosión de metales en el estado pasivo ( $b_a = \infty$ ) de este modo la ecuación se simplifica, por ejemplo, para control catódico por difusión, donde  $b_k = \infty$ .

$$i_c = b_a / 2,303 ( \Delta i / \Delta E )$$

Por tanto, de la literatura se concluye que este método es válido para la mayoría de los sistemas y sobre todo en la medida que  $b_a$  y  $b_k$  tomen valores mayores, pues la curvatura del potencial de corrosión tiende a desaparecer. Pero para evaluar la  $i_c$  por este método es necesario el conocimiento previo de los valores de  $b_a$  y  $b_k$  y del valor de  $R_p$ , lo cual ha limitado la aplicación del mismo. Pero cuando se quiere evaluar la agresividad de un medio ante un metal o aleación se pueden determinar los valores de  $R_p$  y comparar los mismos, así un medio con una mayor  $R_p$  significa que es más resistente a la corrosión. (<http://www.corrosion-doctors.com>)

**1.5 Conclusiones Parciales:**

1. El sistema de refrigeración es de gran importancia para la vida útil de un motor de combustión interna, ya que es el responsable de retirar casi un tercio del calor generado en la cámara de combustión. Si se presentan fallas en el sistema de refrigeración probablemente se producirán incrementos de temperatura considerables en el interior del motor, lo que podría causar severos daños irreversibles.
2. Cuando el motor funciona con la temperatura por encima de lo normal todas las partes que lo conforman están expuestas al desgaste y a la corrosión, por esto es conveniente que el sistema de refrigeración produzca un enfriamiento suficiente, pero no excesivo,
3. Los refrigerantes de motor diesel contienen una combinación de tres agentes químicos: anticongelante, aditivos inhibidores y agua de buena calidad. Los anticongelantes protegen el refrigerante del motor contra el congelamiento. El agente utilizado con más frecuencia como anticongelante es el glicol etilénico. Las concentraciones relativas de glicol etilénico y agua son sumamente importantes. Además, el anticongelante eleva el punto de ebullición del agua e impide la cavitación de la bomba del agua.
4. El uso de aditivos en el refrigerante reduce la corrosión, erosión y picaduras.
5. El agua utilizada en el refrigerante debe cumplir con los niveles establecidos en cuanto a: contenido de cloruros, contenido de sulfatos, dureza total, cantidad total de sólidos y nivel de pH.
6. El refrigerante utilizado en nuestro país en las plantas de Generación Distribuida MTU tiene que ser importado con el consecuente gasto en divisas ya que esa compañía exige el uso del mismo para garantizar el mejor funcionamiento y durabilidad de los motores de combustión interna.
7. Se hace necesario el estudio de alternativas para suprimir la importación del líquido refrigerante importado.

**Capítulo II: Parte experimental, resultados y análisis económico**

Con el objetivo de conocer algunas características y corrosividad del agua de enfriamiento que se exige utilizar en las baterías de Generación Distribuida adquiridas y montadas en el país comercializada por la compañía MTU, con el propósito de valorar si es posible sustituir la importación de la misma con otras alternativas de solución se realizaron experimentos por métodos electroquímicos, con el refrigerante importado sin usar, el refrigerante utilizado durante varios meses, agua destilada, agua desionizada y agua suave, los cuales se describen en este capítulo.

**2.1 Descripción de los experimentos realizados**

Inicialmente se le realizó al refrigerante y al agua suave análisis químico para conocer su composición y algunas de sus características, para ello se usó el método de espectrofotometría de absorción atómica en el equipo SPA de la PYE – ONICAM modelo Nabertherm. También se le determinó a todos los medios ensayados el valor de la temperatura de ebullición.

Teniendo en cuenta que las partes del sistema de enfriamiento de los motores de combustión interna pueden ser de diferentes materiales se prepararon electrodos de 1cm<sup>2</sup> de área expuesta a la solución, adecuadamente aislada con resinas. Para la preparación de estos electrodos se utilizaron los siguientes materiales, que son según la bibliografía consultada, (Galego, P.; Cortijo, O.; Quincóces, M., 1997; Galego, P.; Quincóces, M., 1999; Banica, C. E., 2002; Cheng, Y. F, 2002; [http://www.deere.com/es\\_MX/ag/homepage/tips/refrigerante\\_correcto.html](http://www.deere.com/es_MX/ag/homepage/tips/refrigerante_correcto.html))

los que más frecuentemente se utilizan en los motores de combustión interna de las baterías de Generación Distribuida:

- Aleación de aluminio
- Acero de alto carbono

- Latón
- Hierro fundido

Los medios electrolíticos usados fueron:

- Agua destilada sin aditivos
- Agua destilada y desionizada
- Refrigerante MTU almacenado sin usar
- Refrigerante MTU ya usado en las baterías
- Agua suave

Se determinó para todas las combinaciones de electrodos y medios los valores de potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ), las curvas de resistencia a la polarización y las curvas completas de polarización. Para ello se utilizó un potenciostato AMEL modelo 2051 acoplado a una interfase AMEL modelo 7800 conectado a una computadora. Se utilizó el software del equipo Junior Assist para realizar todos los experimentos.

Se utilizó un electrodo de referencia de Ag/AgCl saturado y un electrodo de platino como electrodo auxiliar. Con el valor, determinado en el equipo, del potencial de corrosión de cada metal en los diferentes medios ensayados, se programaron las curvas de polarización partiendo de un potencial suficientemente negativo de modo que se obtuvieran primero las curvas catódicas y después las anódicas. Los experimentos se realizaron con una velocidad de barrido de 1mV/s. Mediante este equipo y experimentos programados se obtuvieron miles de pares de valores de  $E$  vs  $I$  y  $E$  vs  $\log I$ , con los cuales se obtuvieron las curvas completas de polarización y con los pares de valores tomados en la cercanía del potencial de corrosión con desplazamientos de  $\pm 10$  mV las curvas de polarización lineal.

Todos los experimentos fueron realizados a 25 y 54<sup>0</sup>C, dado que los motores trabajan a altas temperaturas, por lo que se seleccionó 54<sup>0</sup>C como una temperatura intermedia y factible de realizar el trabajo experimental e inicialmente

## Capítulo II: Parte experimental, resultados y análisis económico

25°C por resultar más fácil la realización de los experimentos y así poder comparar los resultados a dos temperaturas. Para ello se utilizó un baño termostático de una plaza modelo mlw U2<sup>C</sup>. Todos los ensayos fueron realizados con una réplica.

### 2.2 Resultados obtenidos

Los resultados de los análisis químicos realizados al refrigerante usado, al refrigerante sin usar y al agua suave se resumen en las tablas # 2 y # 3, las cuales se exponen a continuación:

Tabla # 2: Composición del líquido refrigerante usado y sin usar y del agua suave.

Composición del refrigerante	Refrigerante sin usar (ppm)	Refrigerante con 10 meses de trabajo (ppm)	Agua suave (ppm)
Ni	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	1.56	0.13
Cu	0.00	31.5	0.02
Ca	0.19	0.09	0.91
Mg	0.02	0.01	0.05
Na	1328	2033	0.31
Fe	0.00	0.00	0.13

Tabla # 3: Características del líquido refrigerante usado y sin usar y del agua suave.

Parámetros del refrigerante	Refrigerante sin usar	Refrigerante con 10 meses de trabajo	Agua suave
Conductividad	1130 $\mu$ s/cm	2.18ms/cm	50.7 $\mu$ s/cm
Sólidos totales disueltos	1007mg/l	1935mg/l	45.0mg/l
salinidad	0.30	1.00	0.00

Se determinó la temperatura de ebullición de los deferentes medios evaluados cuyos resultados aparecen en la tabla #4:

Tabla #4: Valores de temperatura de ebullición que alcanza cada medio

Medios	Temperatura de ebullición (°C)
Agua desionizada	95
Agua destilada	95
Agua suave	95
Refrigerante usado	103
Refrigerante sin usar	105

Los resultados obtenidos a partir de las curvas completas de polarización pero en la cercanía del potencial de corrosión ( $\pm 10$  mV), permitieron determinar las curvas de Polarización lineal para los 4 materiales evaluados en agua desionizada, agua destilada, refrigerante usado y sin usar a 25 °C, las cuales aparecen en las figuras 1, 2, 3 y 4. Para los experimentos realizados a 54°C aparecen en las figuras 9, 10, 11 y 12, donde también se incluyó agua suave.

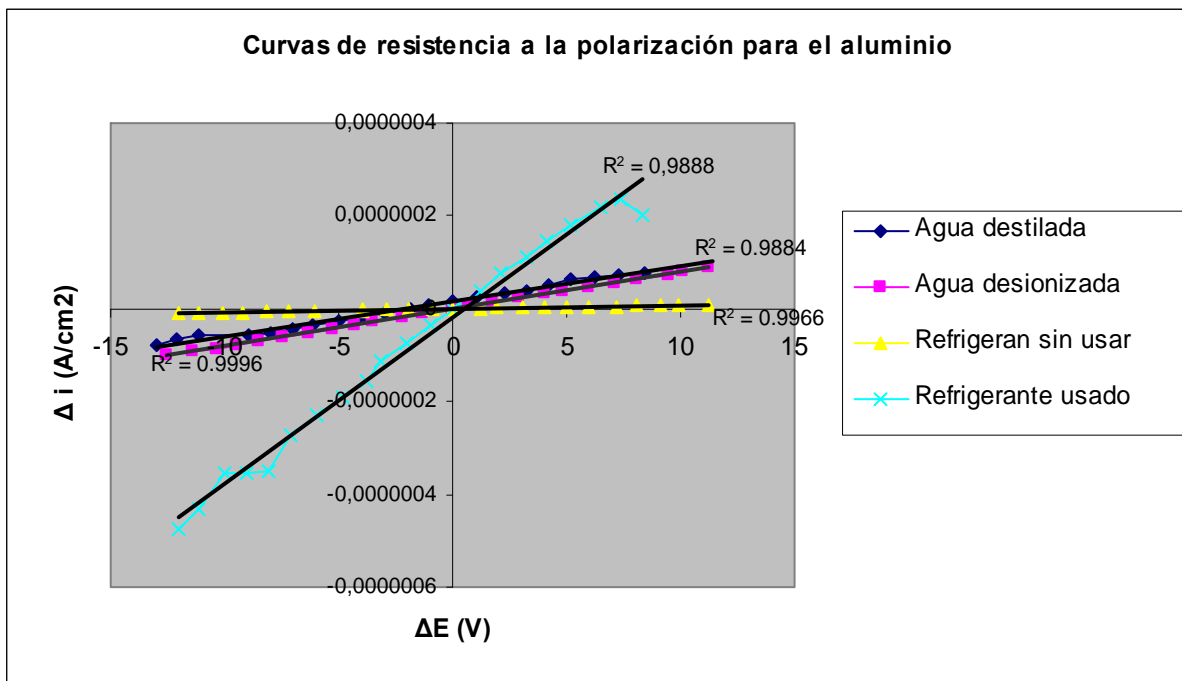


Figura #1: Curvas de resistencia a la polarización para el aluminio en diferentes medios a 25°C de temperatura.

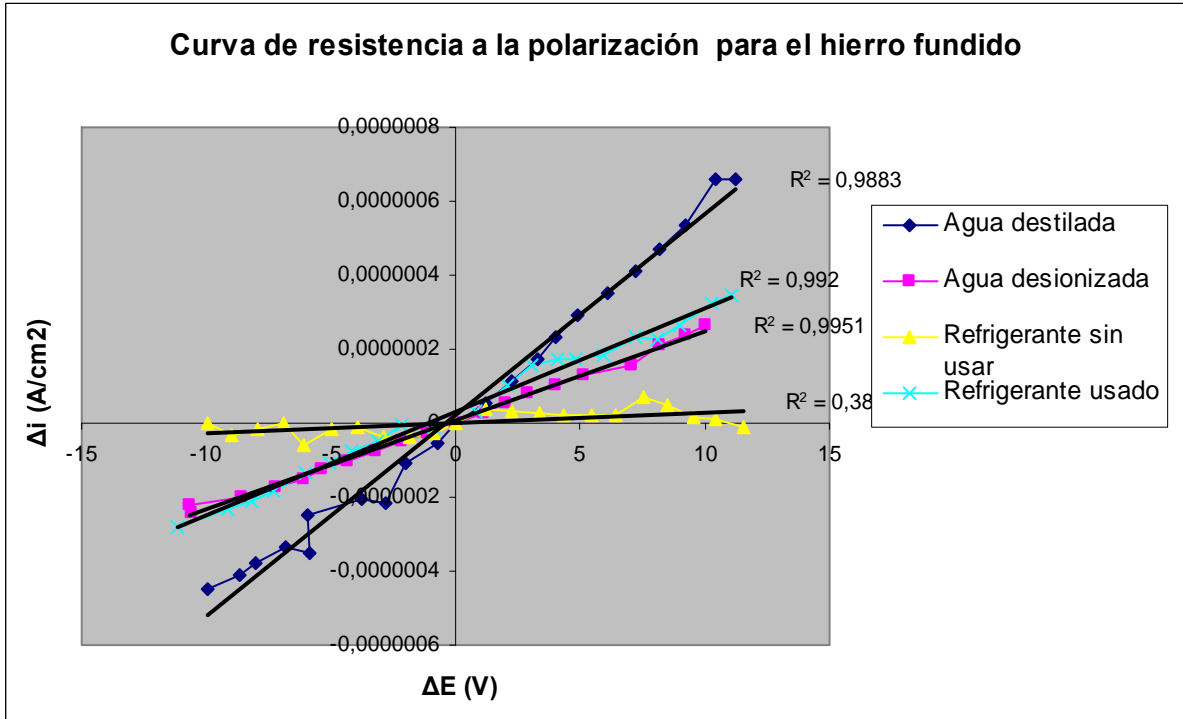


Figura #2: Curvas de resistencia a la polarización para el hierro fundido en diferentes medios a 25<sup>0</sup>c de temperatura.

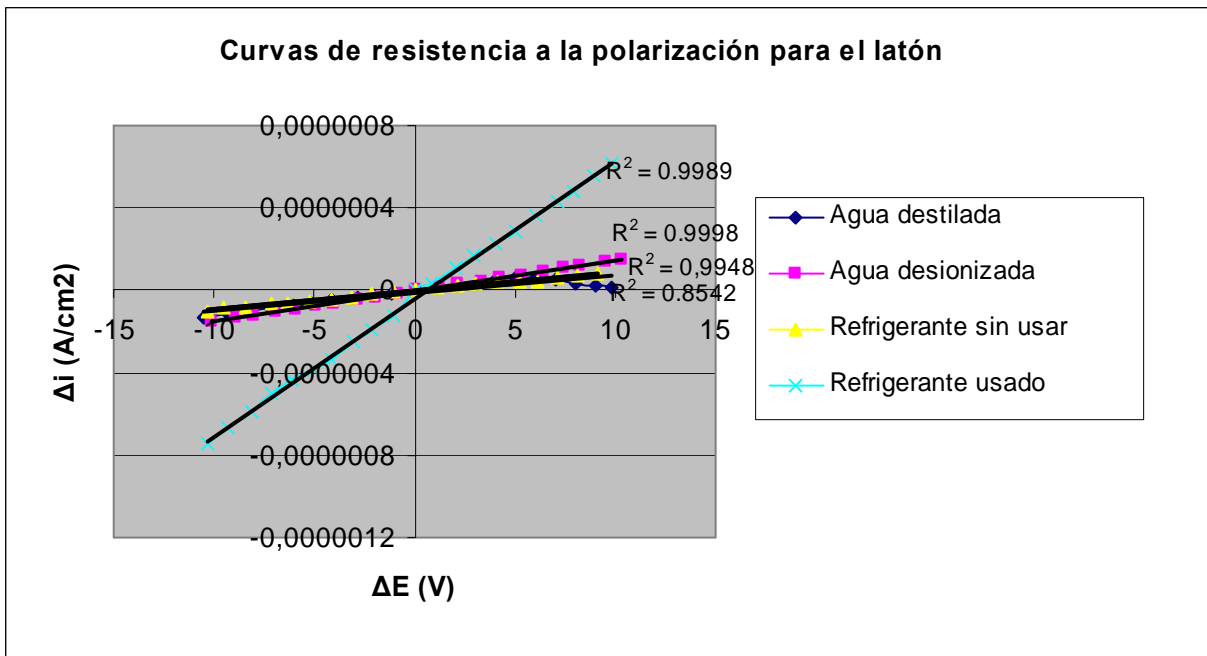


Figura #3: Curvas de resistencia a la polarización para el latón en diferentes medios a 25<sup>0</sup>c de temperatura.

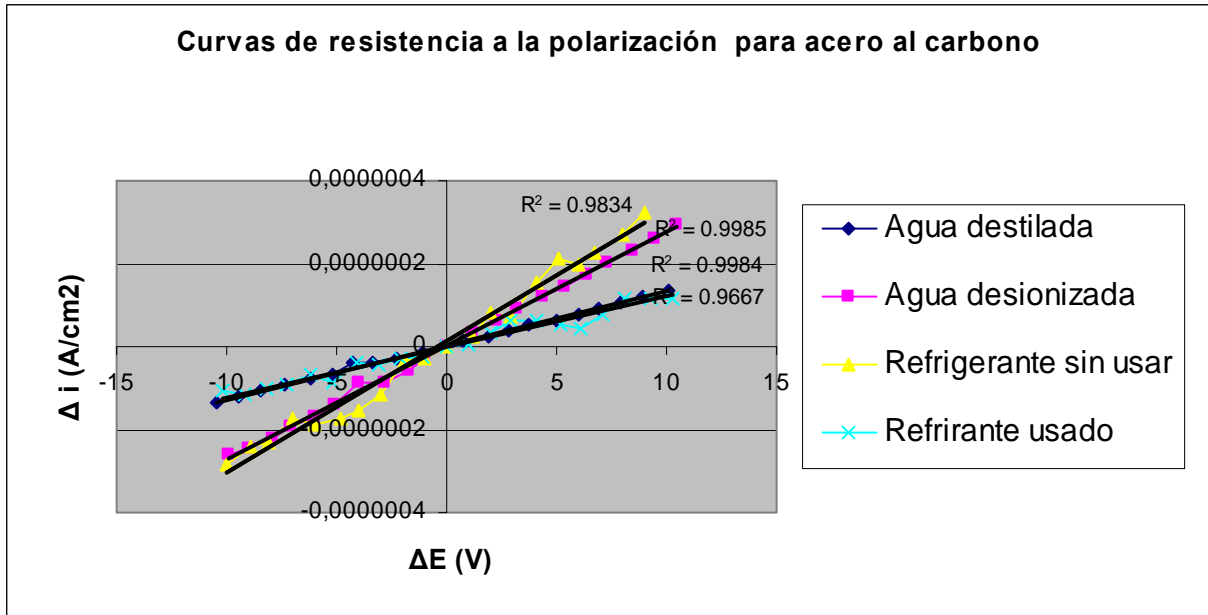


Figura #4: Curvas de resistencia a la polarización para el acero al carbono en diferentes medios a 25<sup>o</sup>c de temperatura

Utilizando el potenciostato AMEL con todos los miles de pares de valores de E vs I obtenidos en Excel según el software Junior Assist, se graficaron en diagrama semilogarítmico las curvas completas de polarización para cada metal en los diferentes medios, de modo que se pudiera observar mejor la diferencia o semejanza entre ellas y posteriormente utilizando el Paint, se extrapolaron las curvas y se obtuvo el valor de la  $i_{corr}$  para cada sistema metal-medio. Se utilizó el propio Excel para realizar los ajustes de curvas y análisis estadísticos, lográndose en todos los casos elevados coeficientes de regresión. Aparecen las curvas correspondientes a los experimentos a 25<sup>o</sup>C en las Figuras 5, 6, 7 y 8 y los correspondientes a los experimentos a 54<sup>o</sup>C en los que se incluye el agua suave como medio refrigerante en las figuras 13, 14, 15 y 16.

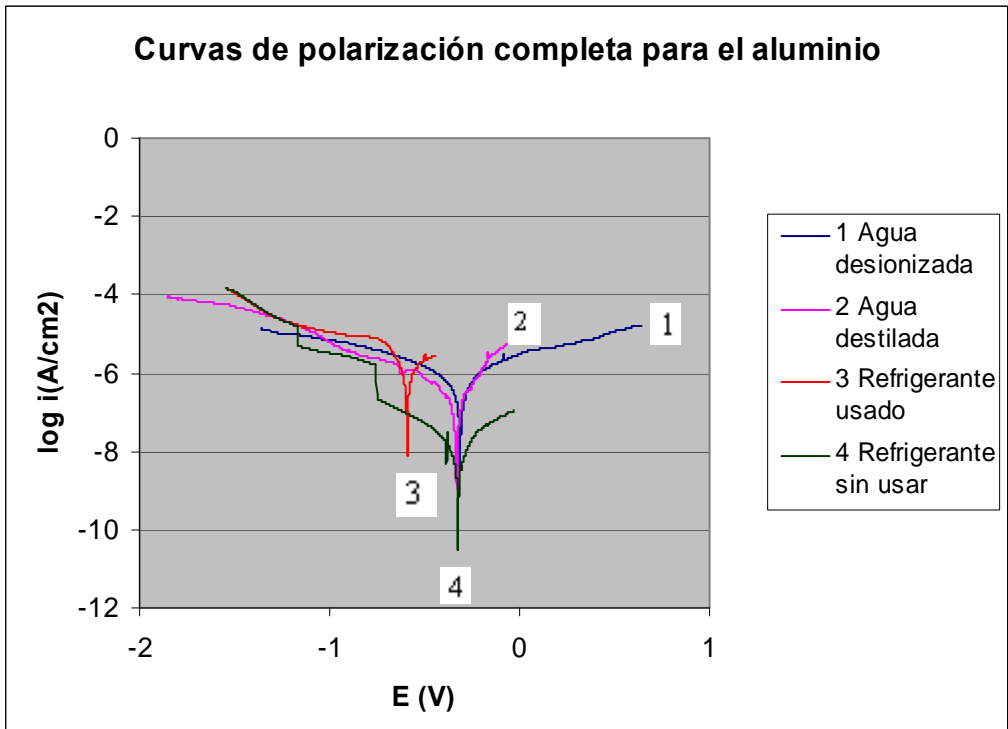


Figura #5: Curvas polarización completa para el aluminio en diferentes medios a 25<sup>o</sup>c de temperatura

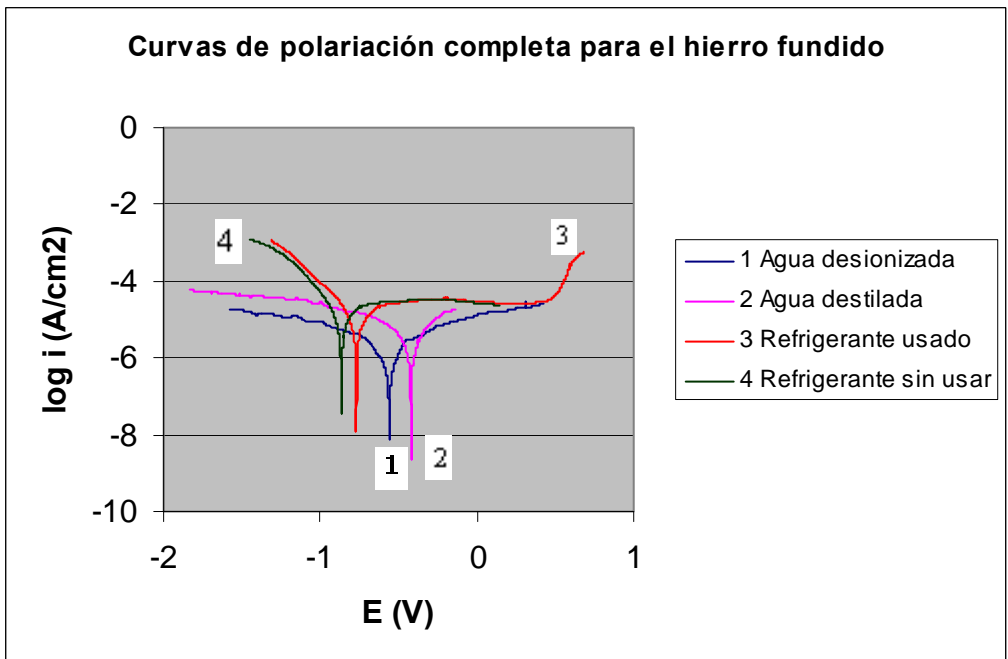


Figura #6: Curvas polarización completa para el hierro fundido en diferentes medios a 25<sup>o</sup>c de temperatura

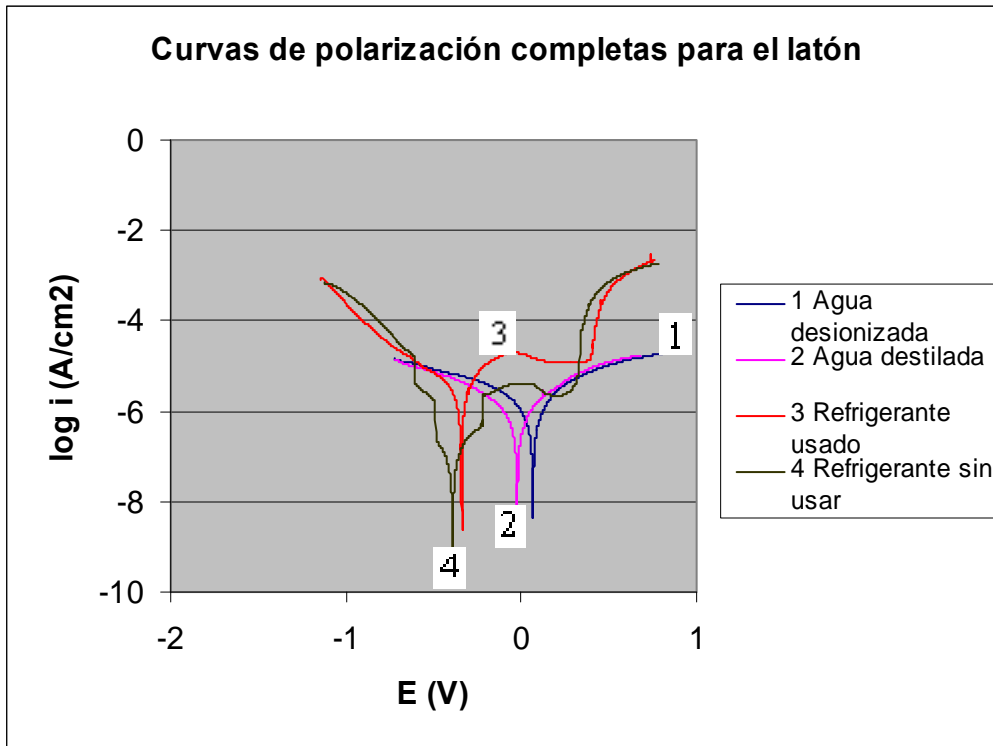


Figura #7: Curvas polarización completa para el latón en diferentes medios a 25<sup>o</sup>c de temperatura

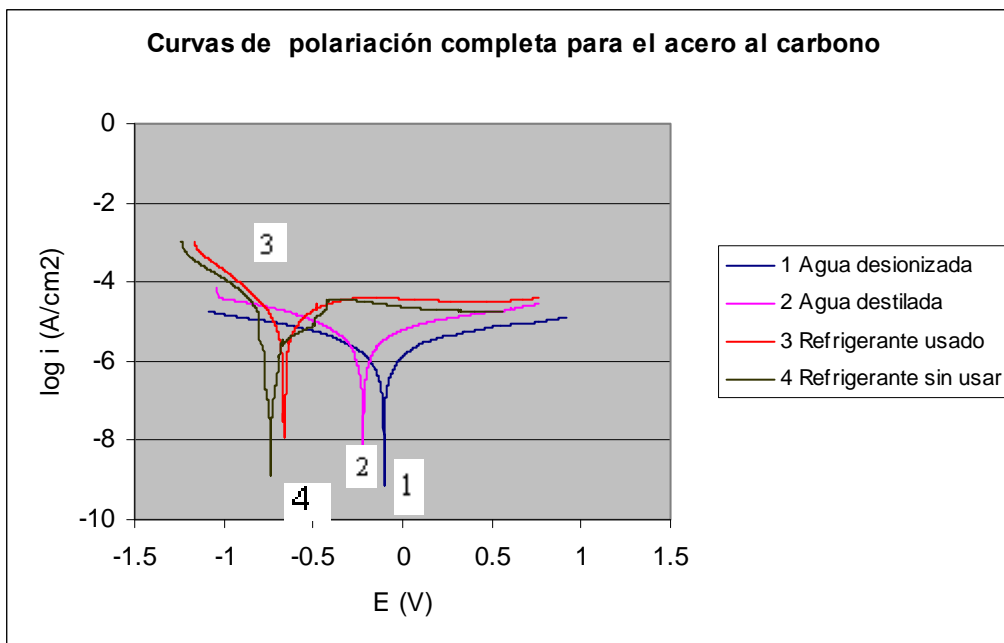


Figura #8: Curvas polarización completa para el acero al carbono en diferentes medios a 25<sup>o</sup>c de temperatura

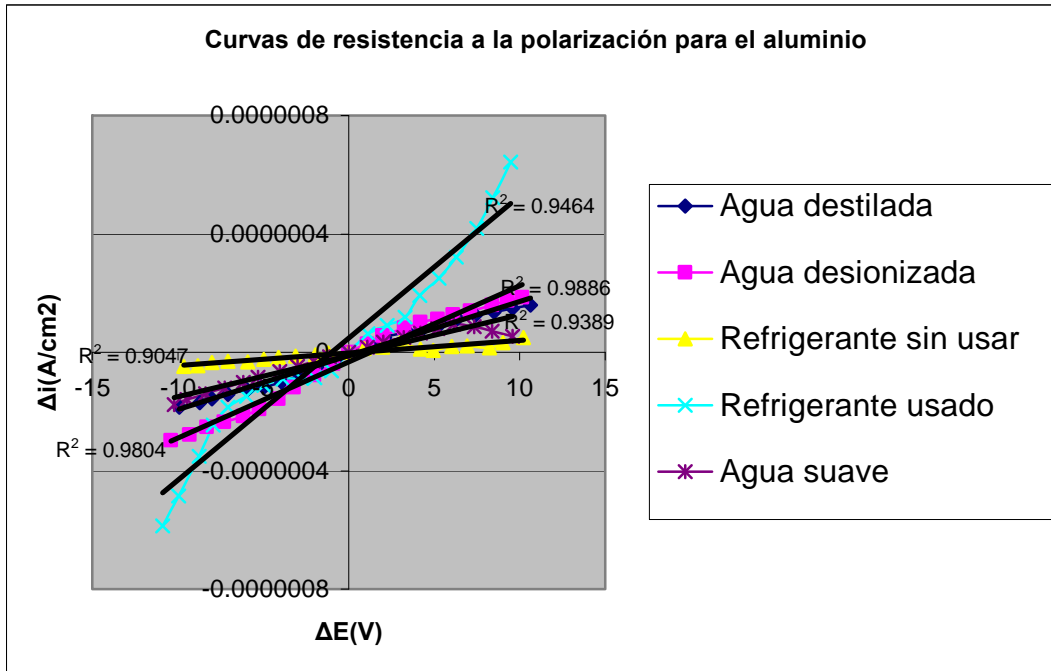


Figura #9: Curvas de resistencia a la polarización para el aluminio en diferentes medios a 54<sup>o</sup>c de temperatura.

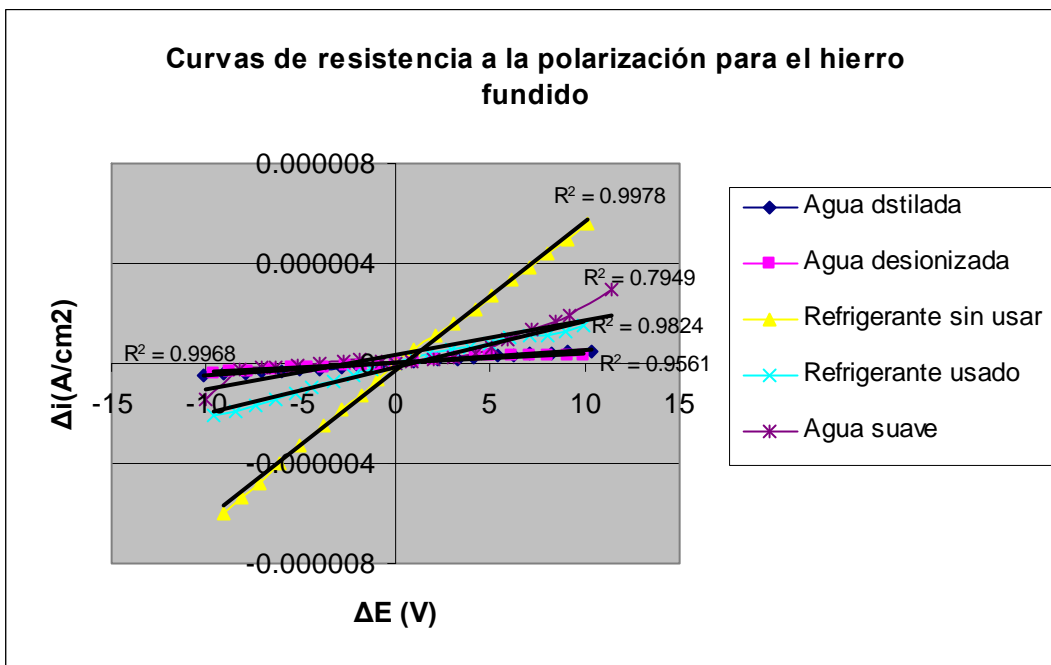


Figura #10: Curvas de resistencia a la polarización para el hierro fundido en diferentes medios a 54<sup>o</sup>c de temperatura.

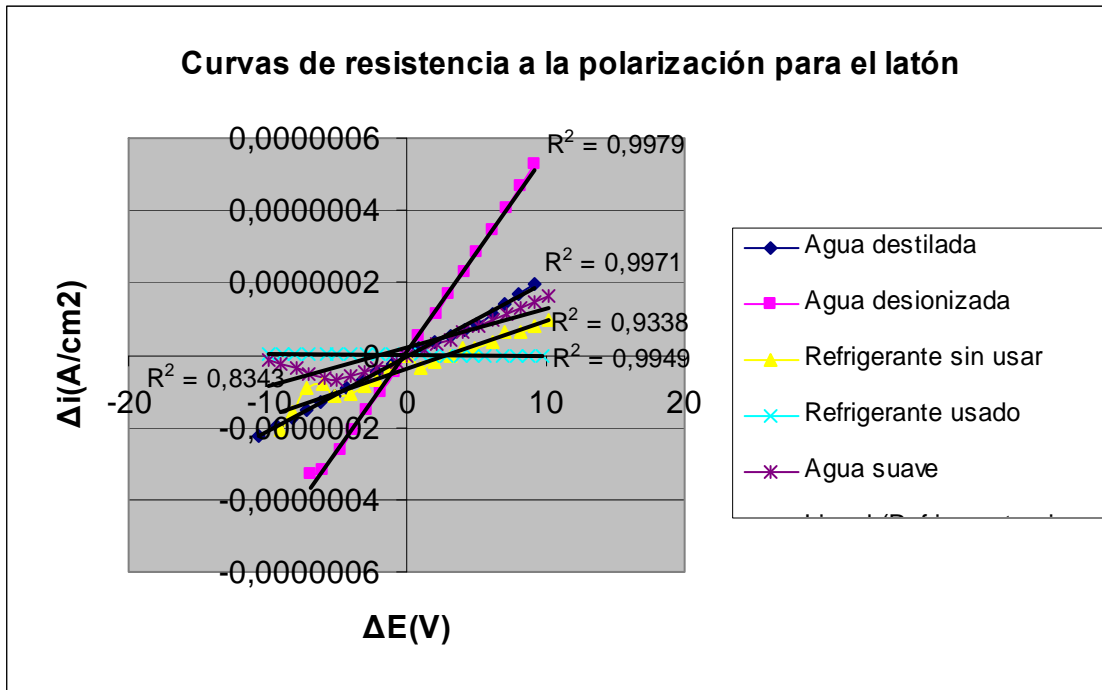


Figura #11: Curvas de resistencia a la polarización para el latón en diferentes medios a 54<sup>o</sup>c de temperatura

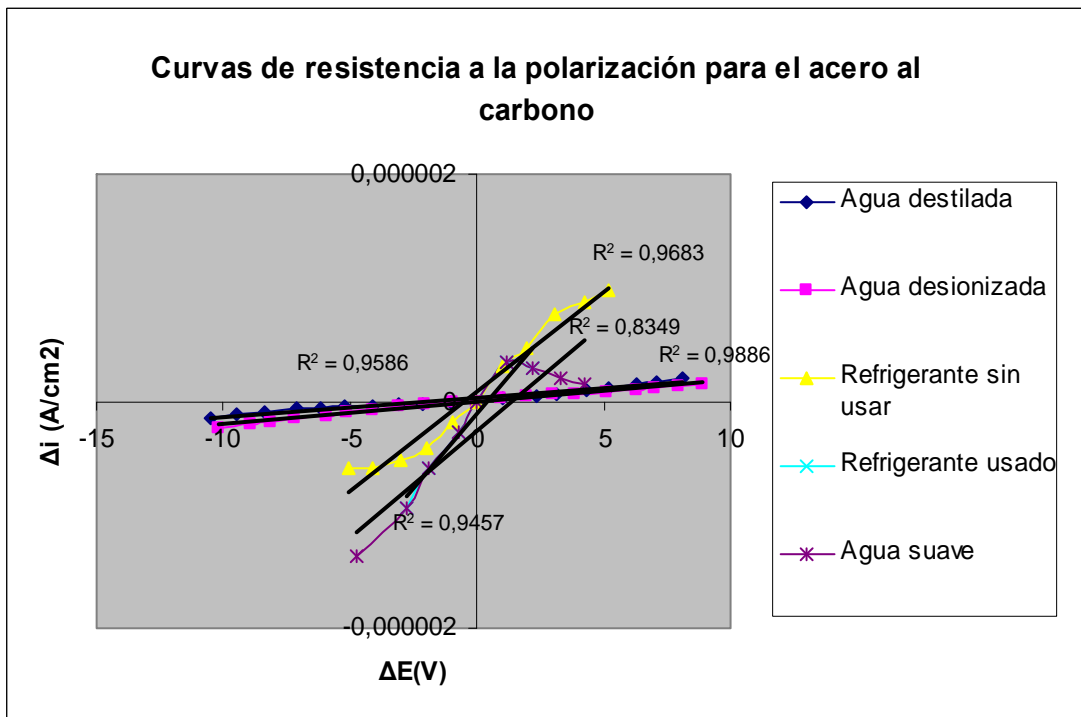


Figura #12: Curvas de resistencia a la polarización para el acero al carbono en diferentes medios a 54<sup>o</sup>c de temperatura

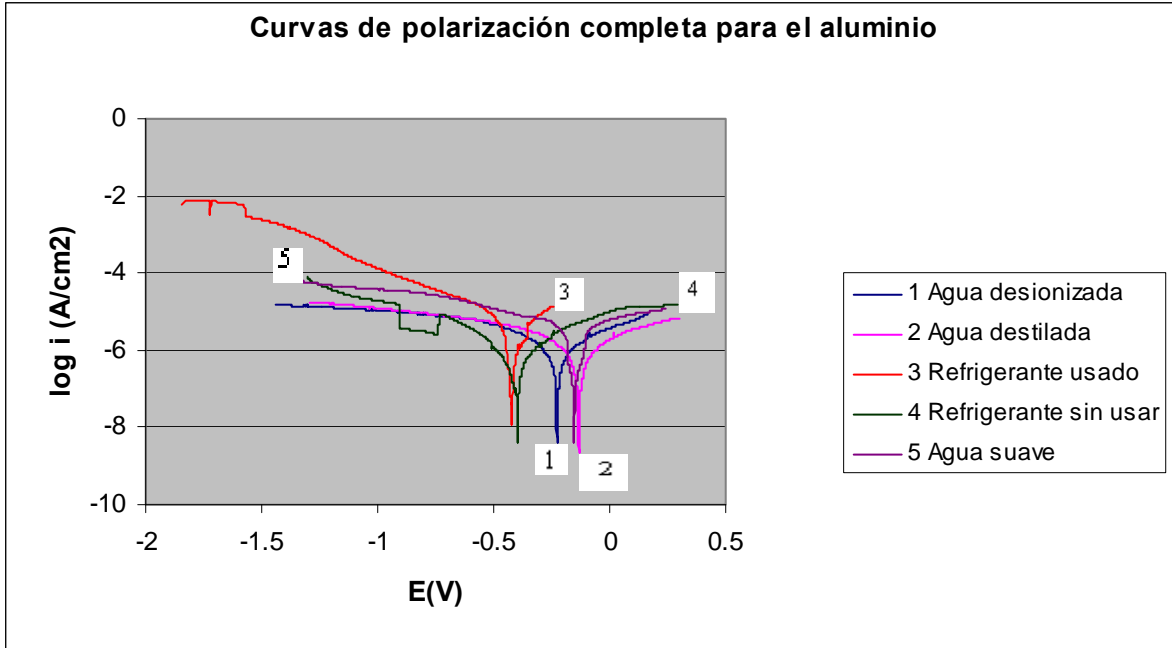


Figura #13: Curvas polarización completa para el aluminio en diferentes medios a 54<sup>o</sup>c de temperatura

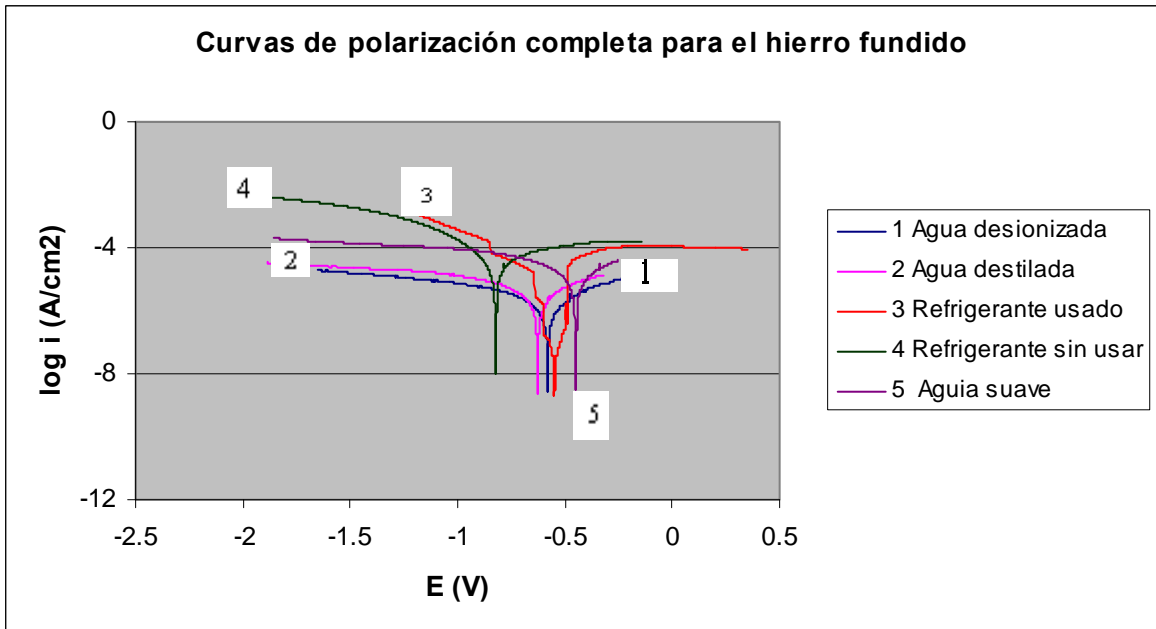


Figura #14: Curvas polarización completa para el hierro fundido en diferentes medios a 54<sup>o</sup>c de temperatura

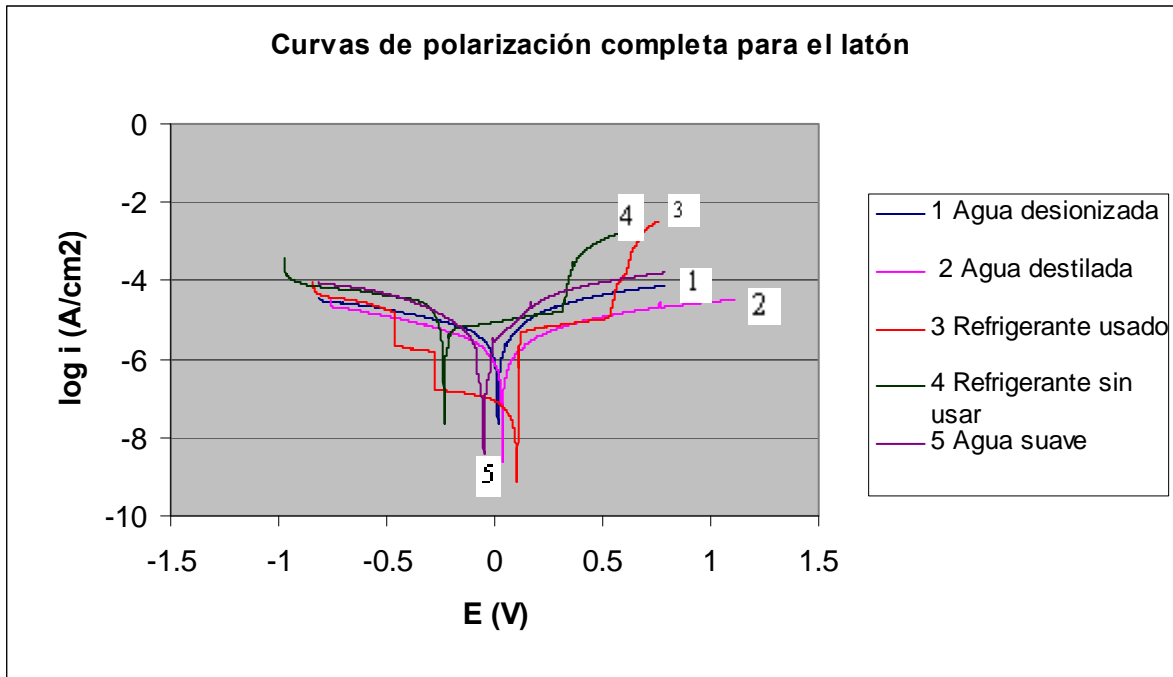


Figura #15: Curvas polarización completa para el latón en diferentes medios a 54<sup>o</sup>c de temperatura

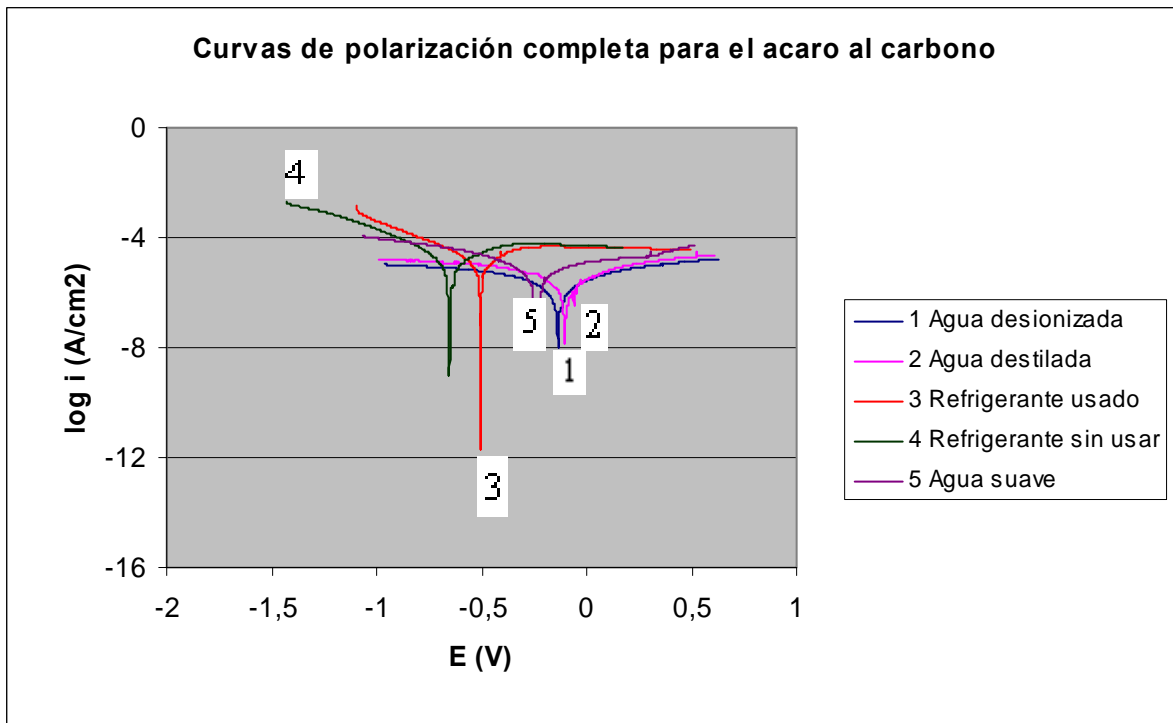


Figura #16: Curvas polarización completa para el acero al carbono en diferentes medios a 54<sup>o</sup>c de temperatura

## Capítulo II: Parte experimental, resultados y análisis económico

Con los valores de las  $i_{corr}$  se determinó la velocidad de corrosión (DP) para cada sistema metal medio en  $g/cm^2 h$  y (DE) en  $mm/año$  y el valor correspondiente del Índice de Estabilidad Corrosiva. Para los experimentos a  $25^{\circ}C$  se resumen los resultados en la tabla # 5 y figura #17 y para los realizados a  $54^{\circ}C$  en la tabla # 6 y figura #18.

Tabla # 5: Resumen de los resultados de las experiencias realizadas a los materiales ensayados a  $25^{\circ}c$

Metal	Medio	Ecorr (V)	Icorr ( $A/cm^2$ )	DP ( $g/cm^2.h$ )	DE ( $mm/año$ )	Índice Est. Corr.
Aluminio	Agua desionizada	-0.28	$8.17 \cdot 10^{-7}$	$0.27 \cdot 10^{-6}$	0.00860	3
	Agua destilada	-0.30	$4.98 \cdot 10^{-7}$	$0.17 \cdot 10^{-6}$	0.00550	3
	Refrigerante usado	-0.59	$3.97 \cdot 10^{-6}$	$1.33 \cdot 10^{-6}$	0.04290	4
	Refrigerante sin usar	-0.33	$3.43 \cdot 10^{-7}$	$1.152 \cdot 10^{-7}$	0.00371	2
Hierro fundido	Agua desionizada	-0.56	$3.10 \cdot 10^{-6}$	$3.24 \cdot 10^{-6}$	0.03690	4
	Agua destilada	-0.42	$9.92 \cdot 10^{-6}$	$1.031 \cdot 10^{-5}$	0.11700	6
	Refrigerante usado	-0.77	$3.15 \cdot 10^{-5}$	$3.28 \cdot 10^{-5}$	0.33730	6
	Refrigerante sin usar	-0.86	$2.51 \cdot 10^{-5}$	$2.61 \cdot 10^{-5}$	0.29600	6
Latón	Agua desionizada	0.066	$2.47 \cdot 10^{-6}$	$2.94 \cdot 10^{-6}$	0.0294	4
	Agua destilada	-0.022	$9.88 \cdot 10^{-7}$	$1.179 \cdot 10^{-6}$	0.0118	4
	Refrigerante usado	-0.34	$3.98 \cdot 10^{-6}$	$4.75 \cdot 10^{-6}$	0.0470	4
	Refrigerante sin usar	-0.39	$3.14 \cdot 10^{-6}$	$3.74 \cdot 10^{-6}$	0.0375	4
Acero al carbono	Agua desionizada	-0.104	$1.57 \cdot 10^{-6}$	$1.63 \cdot 10^{-6}$	0.0180	4
	Agua destilada	-0.22	$3.95 \cdot 10^{-6}$	$4.12 \cdot 10^{-6}$	0.0460	4
	Refrigerante usado	-0.66	$3.09 \cdot 10^{-5}$	$3.22 \cdot 10^{-5}$	0.3590	6
	Refrigerante sin usar	-0.74	$1.58 \cdot 10^{-5}$	$1.65 \cdot 10^{-5}$	0.1840	6

Índice: 2 y 3 Muy Estable  
 4 y 5 Estable  
 6 y 7 Estabilidad Disminuida  
 8 Poco Estable

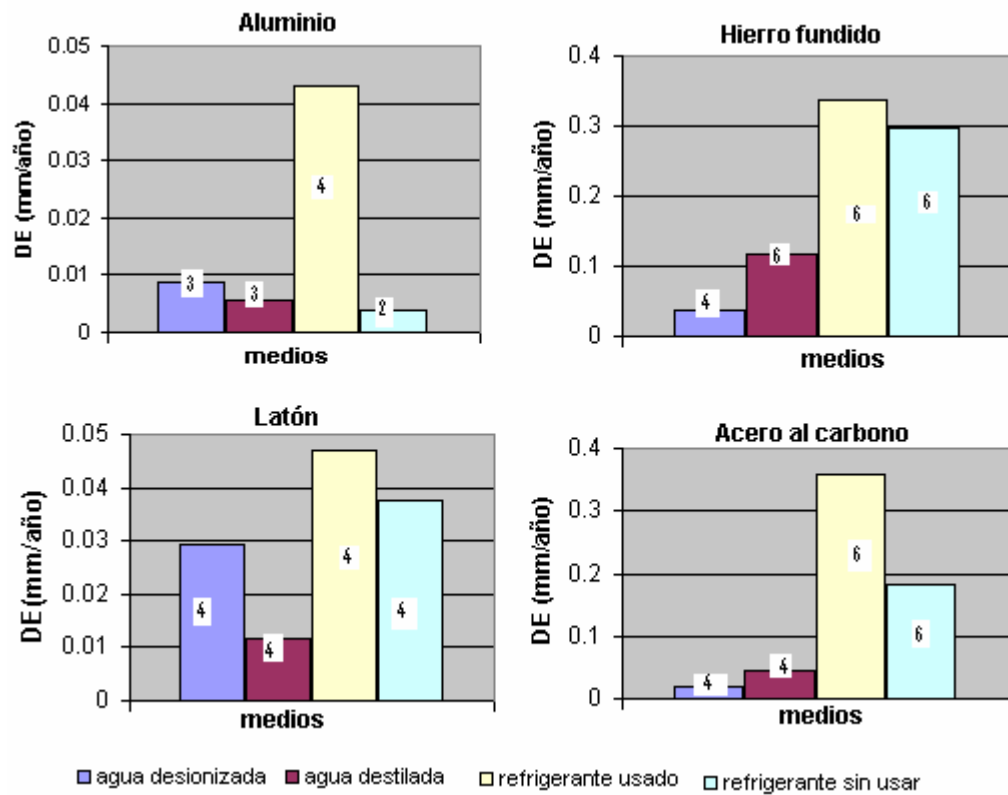


Figura # 17: DE (mm/año) e Índice de Estabilidad Corrosiva para los metales ensayados a 25°C

## Capítulo II: Parte experimental, resultados y análisis económico

Tabla # 6: Resumen de los resultados de las experiencias realizadas a los materiales ensayados a 54<sup>o</sup>c

Metal	Medio	Ecorr (V)	Icorr (A/cm <sup>2</sup> )	DP (g/cm <sup>2</sup> .h)	DE (mm/año)	Índice Est. Corrosiva
Aluminio	Agua desionizada	-0.22	2.50*10 <sup>-6</sup>	8.39*10 <sup>-7</sup>	0.027	4
	Agua destilada	-0.13	1.99*10 <sup>-6</sup>	6.68*10 <sup>-7</sup>	0.022	4
	Refrigerante usado	-0.41	5.00*10 <sup>-6</sup>	1.68*10 <sup>-6</sup>	0.054	5
	Refrigerante sin usar	-0.39	1.99*10 <sup>-6</sup>	6.68*10 <sup>-7</sup>	0.022	4
	Agua suave	-0.158	3.96*10 <sup>-6</sup>	1.33*10 <sup>-6</sup>	0.043	4
Hierro fundido	Agua desionizada	-0.57	5.60*10 <sup>-6</sup>	5.84*10 <sup>-6</sup>	0.066	5
	Agua destilada	-0.62	9.97*10 <sup>-6</sup>	1.04*10 <sup>-5</sup>	0.118	6
	Refrigerante usado	-0.54	9.89*10 <sup>-5</sup>	10.3*10 <sup>-5</sup>	1.175	8
	Refrigerante sin usar	-0.82	10.25*10 <sup>-5</sup>	10.70*10 <sup>-5</sup>	1.21	8
	Agua suave	-0.45	1.56*10 <sup>-5</sup>	1.63*10 <sup>-5</sup>	0.185	6
Latón	Agua desionizada	0.015	6.28*10 <sup>-6</sup>	7.49*10 <sup>-6</sup>	0.075	5
	Agua destilada	0.036	3.15*10 <sup>-6</sup>	3.76*10 <sup>-6</sup>	0.038	4
	Refrigerante usado	0.102	6.28*10 <sup>-6</sup>	7.49*10 <sup>-6</sup>	0.075	5
	Refrigerante sin usar	-0.234	9.99*10 <sup>-6</sup>	1.19*10 <sup>-5</sup>	0.119	6
	Agua suave	-0.045	9.93*10 <sup>-6</sup>	1.18*10 <sup>-5</sup>	0.118	6
Acero al carbono	Agua desionizada	-0.103	6.01*10 <sup>-6</sup>	6.28*10 <sup>-6</sup>	0.069	5
	Agua destilada	-0.102	3.96*10 <sup>-6</sup>	4.14*10 <sup>-6</sup>	0.046	4
	Refrigerante usado	-0.506	7.92*10 <sup>-5</sup>	8.27*10 <sup>-5</sup>	0.921	7
	Refrigerante sin usar	-0.66	6.27*10 <sup>-5</sup>	6.54*10 <sup>-5</sup>	0.729	7
	Agua suave	-0.239	1.26*10 <sup>-5</sup>	1.32*10 <sup>-5</sup>	0.147	6

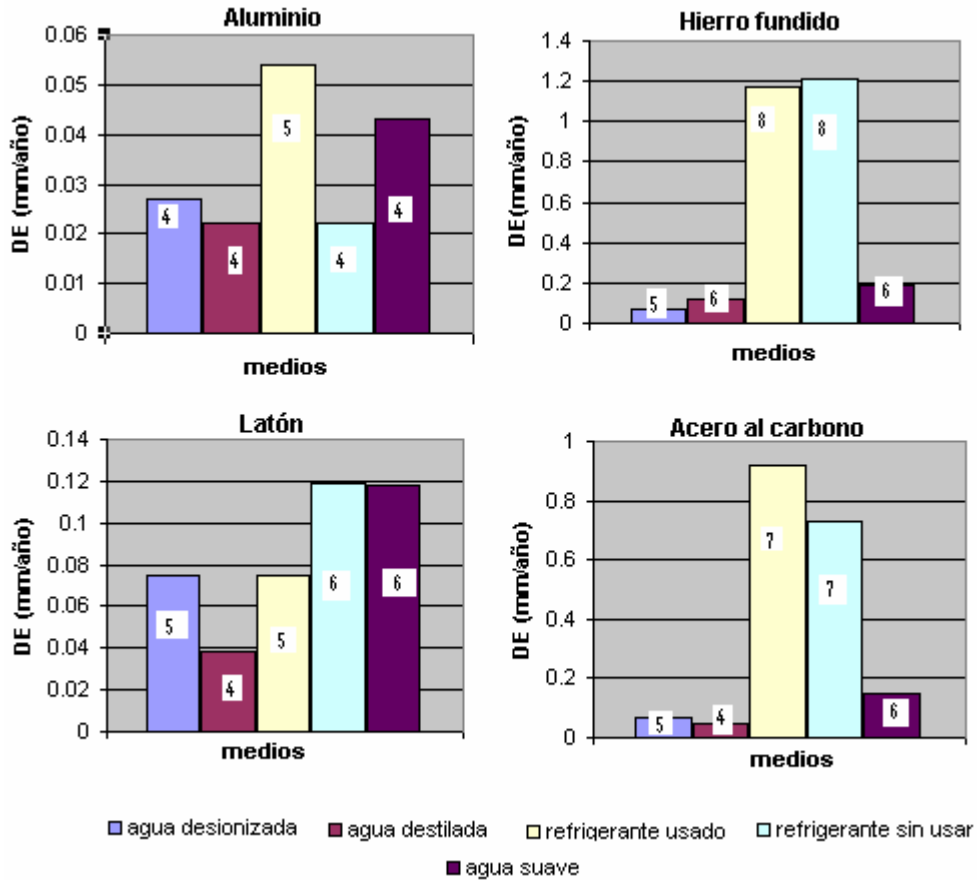


Figura # 18: DE (mm/año) e Índice de Estabilidad Corrosiva para los metales ensayados a 54°C

### 2.3 Análisis de los resultados

Puede observarse de las tablas #2 y #3 que el refrigerante usado tiene una composición y características diferente al sin usar, sobre todo porque aparecen iones Cobre que debe provenir del propio proceso corrosivo, también incrementa el contenido de Na y se produce un incremento en la conductividad, debido a un incremento en la salinidad y se produce también un incremento en los sólidos totales. El objetivo inicial de analizar la composición del agua era determinar sus componentes principales o sea el tipo de anticongelante y los aditivos

## *Capítulo II: Parte experimental, resultados y análisis económico*

---

anticorrosivos, pero como de los datos reportados por los comercializadores no puede conocerse de que tipo de sustancia se trata fue imposible hacerle otras determinaciones referentes a la composición al refrigerante estudiado. Se deduce que contiene glicol propilénico o etilénico como anticongelante, pero esto no pudo ser comprobado. En la bibliografía consultada no aparece reportado el nombre de ningún tipo de aditivo anticorrosivo ni para este refrigerante ni para otros que se comercializan en el mundo. Por este motivo es que se decidió en este trabajo estudiar el comportamiento corrosivo de agua de diferente calidad sin la adición de ningún aditivo.

En la última columna de las tablas # 2 y 3 aparecen las características del agua suave utilizada donde puede apreciarse que tiene menor conductividad, ninguna sal y menor cantidad de sólidos totales que el refrigerante en sus dos formas por lo que no puede haber preocupación de formación de incrustaciones en el sistema de refrigeración del motor cuando se use la misma.

De la tabla # 4 se aprecia que la temperatura de ebullición para todas las aguas evaluadas, sin ningún aditivo, es de 95<sup>0</sup>C, mientras que para el refrigerante sin usar es 105<sup>0</sup>C coincidiendo con lo planteado en la bibliografía consultada y la del refrigerante usado es de 103<sup>0</sup>C, lo cual es una ventaja respecto a las aguas solas desde el punto de vista de elevar la eficiencia de trabajo de los motores.

El comportamiento del aluminio en los diferentes medios a 25<sup>0</sup>C puede resumirse en las figuras 1 y 5 y el resumen de los resultados en la tabla #5 y figura 17. Se puede observar que las velocidades de corrosión son bajas en los cuatro medios con índice de estabilidad corrosiva que lo clasifican en muy estable y para el refrigerante usado como estable; es decir que este último medio produce la mayor velocidad de corrosión. El mecanismo del proceso corrosivo es con polarización por transferencia para las aguas pero un control catódico difusivo para los dos refrigerantes. Las curvas de Resistencia a la Polarización pueden ser linealizadas con un alto coeficiente de regresión y de ellas se observa buena

## *Capítulo II: Parte experimental, resultados y análisis económico*

---

correspondencia con los resultados obtenidos de las curvas completas de polarización.

Para el aluminio a 54<sup>0</sup>C el comportamiento se resume en las figuras 9 y 13 y el resumen de los resultados en la tabla # 6 y figura 18, donde se valora que el índice corrosivo es de 4 estable para las aguas y el refrigerante sin usar y un índice de 5 para el refrigerante usado pero aún así permanece dentro de la clasificación de estable. El agua suave produce menor velocidad de corrosión que el refrigerante usado. En general se observa buena correspondencia con las curvas de Resistencia a la Polarización

El comportamiento del hierro fundido en los diferentes medios a 25<sup>0</sup>C se muestra en las figuras 2 y 6 y el resumen de los resultados en la tabla # 5 y figura 17. Para el agua desionizada se observa la menor velocidad de corrosión con índice de 4 (estable) y mayor velocidad de corrosión para el agua destilada y los refrigerantes usados y sin usar con un índice de 6 (estabilidad disminuida). El refrigerante usado produce la mayor velocidad de corrosión.

Para el hierro fundido a 54<sup>0</sup>C se observan los resultados en las figuras 10 y 14 y el resumen en la tabla # 6 y figura 18. El agua desionizada produce la menor velocidad de corrosión con índice de 5 (estable), el agua destilada produce un índice de 6 (estabilidad disminuida) y el agua suavizada con un valor de velocidad de corrosión mayor que las dos anteriores pero cae en este último rango de clasificación. Los refrigerante usados y sin usar producen mayores velocidades de corrosión con índice de 8 (poco estables). Es el único caso en el cual el refrigerante usado produce menor velocidad de corrosión que el que esta sin usar pero sin cambiar el grado de clasificación. Para las tres tipos de aguas el control es por transferencia tanto para el ánodo como para el cátodo, pero para los refrigerantes se establece una corriente límite en el proceso anódico con una mayor corriente de corrosión.

Los resultados del comportamiento del latón a 25<sup>0</sup> C aparecen en las figuras 3 y 7 y el resumen la tabla # 5 y figura 17. Puede apreciarse que a esa temperatura las

## *Capítulo II: Parte experimental, resultados y análisis económico*

---

velocidades de corrosión son similares aunque menor para las dos aguas y la mayor para el refrigerante usado aunque en todos los casos la clasificación de Índice de Estabilidad Corrosiva es de 4, es decir Estable.

Para el latón a 54<sup>0</sup>C los resultados se muestran en las figuras 11 y 15 y el resumen en tabla # 6 y figura 18. Las velocidades de corrosión producida incrementa el índice de estabilidad corrosiva a 5 (Estable) para el agua desionizada y 6 (Estabilidad Disminuida) para los dos refrigerantes y el agua suave. En este caso la menor velocidad de corrosión se obtiene con el agua destilada con un Índice de Estabilidad Corrosiva de 4 (Estable). El mecanismo del proceso corrosivo es de Polarización por Transferencia en las aguas y un control anódico difusivo pero a valores más altos de corriente.

Para el acero al carbono los resultados a 25<sup>0</sup>C se muestran en las figuras 4 y 8 y el resumen en la tabla # 5 y figura 17. Puede observarse que se produce menor velocidad de corrosión en las aguas con un Índice de Estabilidad Corrosiva de 4 (estable) y en los dos refrigerantes incrementa la velocidad de corrosión con un índice de 6 (Estabilidad Disminuida). El refrigerante usado produce la mayor velocidad de corrosión.

Los resultados de este metal a 54<sup>0</sup>C se resumen en las figuras 12 y 16 y el resumen en la tabla # 6 y figura 18. La menor velocidad de corrosión la produce el agua destilada, le sigue la desionizada y luego la suavizada con índice de estabilidad de 6 (Estabilidad Disminuida) mientras que los dos refrigerantes producen mayor velocidad de corrosión con índice de estabilidad de 7 (estabilidad disminuida). En este sistema el refrigerante usado es el que produce el peor resultado. El mecanismo del proceso corrosivo es también de polarización por transferencia para las aguas y un cierto control difusivo en el proceso anódico. Hay bastante buena correspondencia entre los resultados de las curvas de Resistencia a la Polarización y las curvas completas.

En la tabla # 5 se observan los potenciales de corrosión ( $E_{corr}$ ) para los diferentes metales y medios a temperatura de 25<sup>0</sup>C los cuales fueron leídos directamente en

el potencióstato Amel antes de iniciar el trazado de las curvas, para poder programar las mismas, pero el potencial de corrosión que se tomó como real fue el que se obtuvo de las propias curvas de polarización a corriente externa aproximadamente 0. En general se aprecia que el potencial de corrosión para todos los metales alcanza los valores más electronegativos con el refrigerante usado y sin usar, con la excepción del aluminio con el refrigerante sin usar, coincidiendo que con ellos se obtienen las mayores velocidades de corrosión, es decir que hay una buena correspondencia entre la mayor inestabilidad termodinámica de los metales y la mayor velocidad de corrosión.

De la tabla # 6 se aprecia que los potenciales de corrosión a 54<sup>0</sup>C leídos de la misma forma explicada anteriormente para 25<sup>0</sup>C son en general más electronegativos también con el refrigerante en sus dos formas para todos los materiales, coincidiendo que también producen la mayor velocidad de corrosión.

#### **2.4 Costo del refrigerante, análisis de alternativas**

Como se ha venido informando desde el comienzo del trabajo el refrigerante que se utiliza en los motores de combustión interna; de las baterías de Generación Distribuida es importado por Cuba a la compañía MTU , que es una asociación alemana – italiana.

El refrigerante es importado de Alemania, lo que ocasiona un mayor gasto económico para el país porque además del precio del producto debe pagarse el precio de la transportación.

Una vez en Cuba cada subestación compra el refrigerante según sus necesidades. El costo del mismo es de \$2.1/ litro, cada maquina del emplazamiento Santa Clara 110 kV consume 230 litro, y el producto se comercializa en tanques de 208 litros.

En esa batería existen 8 maquinas, se necesitarían 1840 litros, para satisfacer esta demanda por lo que tendrían que comprar 9 tanques de refrigerante lo que

## *Capítulo II: Parte experimental, resultados y análisis económico*

---

importaría \$4347. Según las normas de la Compañía el refrigerante puede utilizarse entre 6000 y 9000 horas y solo se repondría si hubiese pérdidas por salideros o roturas.

Se demostró en este trabajo que el refrigerante a los 10 meses de trabajo no es técnicamente confiable su uso porque afectaría al motor desde el punto de vista corrosivo y que aun el refrigerante almacenado sin usar es también igual o más agresivo que el agua suave para todos los materiales ensayados.

### Alternativas:

La compra de otros refrigerantes como: Volkswagen, Cool-Gard™, Refrigerante HD, podría ser una alternativa pero con ello no se eliminaría los gastos de la importación y se mantendrían los gastos en transportación que podrían ser menores que para el refrigerante MTU pero habría que evaluar los mismos desde el punto de vista corrosivo.

En artículos consultados se propone el uso de agua suave mezclada con glicoles etilénicos o propilénicos como medio para la refrigeración de los motores de combustión. La preparación de esta agua de enfriamiento exige un cincuenta por ciento en volumen de agua y el resto de glicol. Pero estos glicoles deben importarse también. Con esta alternativa se tendría que seguir gastando en transportación y la cantidad de glicol a utilizar sería considerable.

La utilización de agua desionizada sería otra alternativa menos costosa y más confiable técnicamente que las anteriores. Su obtención no requiere importación pero si de un proceso complejo; se necesitaría un agua previamente destilada para luego pasarla a través de un desionizador para obtener un agua de muy buena calidad sin ningún tipo de ion o suciedad que afecte al motor, este desionizador debería ser de tamaño industrial ya que el volumen de refrigerante que se necesita es grande.

## *Capítulo II: Parte experimental, resultados y análisis económico*

---

Podría también usarse agua destilada, que no sería más segura para el sistema que la desionizada pero si más que el refrigerante usado y sin usar y sería una propuesta menos costosa que las anteriores.

El agua suave fue analizada desde el punto de vista corrosivo y se obtuvieron mejores resultados que con el refrigerante usado y en muchos casos que con el almacenado sin usar, lo que la convierte en una alternativa menos costosa que todas las demás. Se podría obtener al hacer pasar agua por dos torres de intercambio iónico que eliminarían los carbonatos de calcio y magnesio, también podría ponerse un tanque de almacenamiento abierto para recoger el agua de lluvia.

Es decir que desde el punto de vista de la corrosividad que producen los diferentes medios de enfriamiento y desde el punto de vista económico el agua suave puede sustituir la importación del refrigerante MTU o cualquier otro que se importe, pero habría que valorar si el hecho de que se produzca una disminución en la temperatura de ebullición ( $95^{\circ}\text{C}$ ) afecte el funcionamiento de los motores de combustión. Por lo que otra posibilidad pudiera ser evaluar la adición al agua suave de alguna sustancia que resuelva este problema.

## **2.5 Conclusiones parciales**

1. La temperatura de ebullición para todas las aguas evaluadas, sin ningún aditivo, es de 95<sup>0</sup>C, mientras que para el refrigerante sin usar es 105<sup>0</sup>C coincidiendo con lo planteado en la bibliografía consultada y la del refrigerante usado es de 103<sup>0</sup>C.
2. De los metales evaluados el Aluminio ofrece la mayor resistencia a la corrosión en todos los medios, pero el peor comportamiento de este metal se produce con el refrigerante usado a las dos temperaturas ensayadas.
3. El acero alto carbono y el hierro fundido son los de más mala resistencia a la corrosión, incluso el hierro fundido cae en la categoría de Poco Estable con los dos refrigerantes usado y sin usar.
4. De los medios evaluados para todos los metales el agua desionizada ofrece la menor agresividad, le sigue en orden el agua destilada y después la suavizada, esta última produce mayor velocidad de corrosión pero en todos los casos menor o similar que para el refrigerante usado y sin usar.
5. En general el refrigerante usado ofrece los peores resultados desde el punto de vista de la agresividad corrosiva.
6. Como era de esperar, en todos los metales ensayados y medios, la velocidad de corrosión es mayor a 54<sup>0</sup>C que a 25<sup>0</sup>C.

## *Conclusiones Generales*

---

### **Conclusiones Generales**

1. El sistema de refrigeración en los motores de combustión interna es de suma importancia para asegurar una buena eficiencia de trabajo del mismo y prolongar la vida útil de las diferentes partes del motor.
2. El refrigerante debe producir baja corrosividad en las diferentes partes del motor con las cuales estará en contacto para alargar la vida útil del mismo.
3. El refrigerante debe contener sustancias que eviten la congelación del agua y eleve el punto de ebullición de la misma, pues los motores no trabajan con eficiencia ni a bajas temperaturas ni a altas. Debe contener también aditivos inhibidores de la corrosión. El refrigerante utilizado actualmente en las baterías de Generación Distribuida, contiene según los vendedores anticongelante y aditivos inhibidores de la corrosión.
4. El refrigerante comercializado por la compañía MTU, posee una temperatura de ebullición de 105<sup>0</sup> C grados cuando no se ha usado y de 103<sup>0</sup> C cuando ya se ha usado, pero la corrosión que produce frente a los metales y aleaciones evaluados es mayor que para las aguas estudiadas, es decir para agua desionizada, destilada y agua suave tanto a 25<sup>0</sup> C como a 54<sup>0</sup> C.
5. Para todos los metales en las temperaturas ensayadas excepto para el hierro fundido y el latón a 54<sup>0</sup> C se cumple que el refrigerante ya usado produce mayor corrosión que el almacenado sin usar, lo cual es una desventaja pues teniendo en cuenta su costo, solo se debe reponer cuando haya perdidas por salidero en el sistema de enfriamiento ó según las normas de la Compañía MTU después de 6000 a 9000 horas de trabajo.

## *Conclusiones Generales*

---

6. El agua desionizada es la que en general produce la menor velocidad de corrosión en los cuatro materiales ensayados, le sigue el agua destilada y después el agua suave. Esta última es la que mayor velocidad de corrosión produce pero menor que la que produce los dos refrigerantes usado y sin usar en los cuatro materiales ensayados.
7. A 54<sup>0</sup> C el hierro fundido se comporta como Poco estable con el refrigerante sin usar y usado, el latón y el acero alto carbono con Estabilidad Disminuida y el Aluminio que es el más resistente se comporta mejor con agua suave que con el refrigerante usado.
8. Teniendo en cuenta que el refrigerante produce apreciable velocidades de corrosión en los metales que pueden conformar las partes del sistema de enfriamiento de los motores de combustión interna y que su costo es de \$4347, solo para el emplazamiento Santa Clara 110 kV (para cada llenado del sistema de enfriamiento) debe proponerse su sustitución por agua de mejor calidad.
9. De las aguas evaluadas la mejor desde el punto de vista corrosivo es la desionizada pero como el proceso se hace también costoso, se debe sustituir el refrigerante por agua suave no sin antes evaluarse el efecto que produce en el funcionamiento del motor la menor temperatura de ebullición, 95<sup>0</sup> C respecto a 103<sup>0</sup> C del refrigerante usado.

## *Recomendaciones*

---

### **Recomendaciones:**

1. Continuar investigando la posible adición de algún aditivo al agua suave que resulte económico, de fácil adquisición y que le eleve la temperatura de ebullición.
2. Evaluar los mismos medios electrolíticos estudiados con los metales o aleaciones que realmente utilizan los motores de combustión de las baterías de Generación Distribuida.
3. Investigar los costos reales de los diferentes tipos de agua para poder realizar un análisis económico con mayor profundidad a las diferentes alternativas propuestas y valorar el ahorro producido al sustituir el refrigerante importado por agua suave o de una calidad mayor.

## *Bibliografía*

---

### ***Bibliografía***

1. Alexander, D. B. (1995) Evaluation of corrosion inhibitor for component cooling water system. *Corrosion*, Vol. 49, No. 11.
2. Armas, O. (1994). Evaluación de los parámetros efectivos del motor Diesel empleando emulsiones. 1<sup>er</sup> Taller Nacional Emulsiones. Centro Nacional de Capacitación Azucarera, Ciudad Habana.
3. Ayel, J. (1990). Les diferents formes tribologiques d' usure des surfaces mataliques. Les lubrifiants motour. Publications Del IFP. Editions Technip. Paris.
4. Balezin, S.A.; Zak, E. G. (July, 1975) Corrosion and protection of metals in oil emulsions. *Protections metals*, Vol.11, No. 4, p (490-493).
5. Banica, C. E. (2000). Influence of the hot water conditioning of corrosion behaviour of the carbon steel. *Materials and Corrosion*, Vol. 53, p(256-263), Apr. Becerra, H.; Macdonald, D. D. The corrosion of carbon steel in emulsions under controlled hydrodynamic conditions. *Corrosion Science*. Vol. 4, p (361-375).
6. Briceno, M. (1999). Customizing drop size distribution to change emulsion viscosity. *Second World Congreso in Emulsions*, Vol.3, p(21-29), CME, France.
7. Brown, M.A. (1998). Fuels and enviroments. *Technical note. Power 2*, p (89-90).
8. Chen, T.Y.; Moccari, A.A.; Macdonald. (1991). The development of controlled hydrodynamic techniques for corrosion testing. *Corrosion*, Vol.10, p (321-328).
9. Cheng, Y. F. (2002). Determination of the diffusivity of points defects in passive film on carbon steel. *Thin Solids Film*, Vol. 416, p (169-177).

## *Bibliografía*

---

10. Damaskin, N. B. (1972). Absorción de sustancias orgánicas en electrodos. Moscú.
11. Damborenea, J. (1988). Métodos de estudio de los inhibidores de la corrosión. *AFINIDAD*, XLV, p (391-400).
12. Dawson, J. L.; Shih, D.G.R. (1987). Electrochemical testing of differential flow induced corrosion using jet impingement rigs. *Proceedings of corrosion, NACE, USA*.
13. Denpo, K.; H Ogawa. (1993). Fluid flow effect on CO<sub>2</sub> corrosion resistance of oil well materials. *Corrosion*, Vol. 49, p (442-450).
14. Domínguez, J. A. (1987). Introducción a la corrosión y protección de los metales. Ed. ENPES, La Habana, p (167-169).
15. Draper, N. R.; Lin, D.K. (1990). Small response surface design. *Technometrics*, p (32).
16. Efir, K.D. (1979). Correlation of steel corrosion in pipe flow with Jet impingement and rotatory cylinder Test. *Corrosion*, Vol. 49, No. 12, p(992-998).
17. Fiaud, C. (1985). Los inhibidores de la corrosión. *Rev. Iber. Corrosión y Protección*. Vol. X, No. 5. Freiman, L.I. *Sasch.Metal*. Vol. 1, p (161).
18. Galego, P.; Cortijo, O.; Quincóces, M. (1999). Estudios corrosivos sobre la influencia que ejerce la naturaleza del agua que se emplea en la formulación de emulsiones agua –diesel. *Centro – Azúcar*, No. 2, p (42-50).
19. Galego, P.; Cortijo, O.; Quincóces, M. (1997). Estudio sobre la caracterización corrosiva de de las emulsiones agua –diesel estabilizadas con los emulgentes RAP-Et/AQ.CD. *Taller Internacional de Emulsiones y Combustibles Emulsionados*. ISPAE, La Habana.
20. Galego, P.; Cortijo, O.; Quincóces, (1998). Análisis de los tiempos de vida útil del sistema de alimentación del motor diesel al emplear emulsiones agua

## *Bibliografía*

---

- diesel. CD. Evento Internacional “Tecno Azúcar”, Universidad de Camaguey.
21. Galego, P.; Cortijo, O.; Quincóces, M.; Castro, D.M.; Falcón J. (2003). Análisis del comportamiento electroquímico que caracteriza la fase polar en las emulsiones agua –diesel utilizados en motores de combustión. CD. 2<sup>da</sup> Conferencia Internacional de Química, Facultad de Química-Farmacia, UCLV.
22. Galego, P.; Cortijo, O.; Quincóces, M. (2003). Evaluación de la protección y los tiempos de vida útil del sistema de alimentación del motor diesel al operar con combustibles emulsionados. CD. 2<sup>da</sup> Conferencia Internacional de Química, Facultad de Química-Farmacia, UCLV.
23. Galego, P.; Quincóces, M. (1999). Aplicación de métodos activos de protección anticorrosivos para proteger los elementos principales del sistema de alimentación de motores diesel que emplean combustibles emulsionados. Mem. 3<sup>er</sup> Taller Internacional de Emulsiones, ISPAE, La Habana.
24. Galego, P.; Quincóces, M. (1996). Estudio gravimétrico para el análisis de la estabilidad corrosiva de las emulsiones agua – diesel y las posibles vías de protección. Mem. IV Simposio Internacional de Análisis de Proceso, Santa Clara.
25. Galego, P.; Quincóces, M. (1994). Estudio sobre el comportamiento corrosivo de diferentes alternativas de combustible Diesel emulsionado con el RAP-Et/AQ. CD. III Simposio Internacional de Análisis de Proceso, UCLV.
26. Okun, N. M. (1987). Condiciones y tendencias del desarrollo y uso de aditivos anticorrosivos inhibidores al agua del motor diesel. *Dvigatelestrojenic*, No. 8, p (47-48).
27. Galego, P.; Quincóces, M. (1996). Evaluación por medio de diseños estadísticos de la influencia de los parámetros operacionales sobre el

## *Bibliografía*

---

- comportamiento corrosivo de las emulsiones agua –diesel. Mem. Conferencia Internacional sobre fuentes de energía renovables. CETA, UCLV.
28. Gladkov, D.A. (1986). Emulsiones agua- diesel de alta concentración, medio efectivo para aumentar los indicadores ecológicos en los motores diesel ligeros de alta velocidad. Combustibles y Materiales Lubricantes, p (100-107), Abril, URSS.
29. Godoy, S. (1999). Measurements of char burnout in a large scale laboratory combustor. Combustión Science and Technology, p (137-150).
30. Gladkov, D.A.; Danshikov, B. B. (1988). Aumento de la efectividad en la utilización de emulsiones agua – combustible en MCI Diesel. Combustibles y materiales lubricantes, p (80-95), URSS.
31. Herrera, A.; Galego, P. (1994). Estudio del desgaste en el sistema de alimentación del motor diesel utilizando emulsiones. T. Diploma, UCLV.
32. Hong, T.; Sun, Y.U. (2002). Study on corrosion inhibitor in large pipelines under multiphase flow using EIS. Corrosion Science, Vol. 44, p (101-112).
33. <http://www.cebelcor.org>
34. <http://www.corrosionconf.co.uk>
35. <http://www.corrosion-doctors.com>
36. <http://www.corrosionsource.com>
37. [http://www.deere.com/es\\_MX/ag/homepage/tips/refrigerante\\_correcto.html](http://www.deere.com/es_MX/ag/homepage/tips/refrigerante_correcto.html)
38. <http://www.intercorr.com>
39. <http://www.nace.com>
40. <http://www.tempertone.com/html/info.htm>
41. <http://www.patagonia4x4.com.ar/foro/viewtopic.php?p=40888>

## *Bibliografía*

---

42. Smith, J.K. (2002). Corrosion of carbon steel and cast iron in artificial ground waters. *Corrosion*, Vol. 8, p (234-239), No. 8.
43. Jovaj, M. S. (1987). *Motores de automoción*. Editorial Mir. p (324), Moscú.
44. Kandel. (1973). Protection of motor bodies. *Galvano*, Vol. 42, No. 435, p (775-781), WSCA, England.
45. Kawai, N. (2003). Critical concentration of dissolved oxygen to form protective iron oxides under combined water treatment conditions. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, Vol. 38, No. 4, Desember, p (286-290).
46. Kim, V. H. (1995). A study of dynamic interfacial mechanism for demulsification of water-in oil emulsions. *Colloids Surface. Eng. Aspects*. 95, p (235-247).
47. Kodama, (1984). T. 5<sup>TO</sup> Internacional Congreso on metal Corrosion NACE, p (223).
48. Kraguelsky, V. I. (1989). *Teoría y práctica del desgaste*. Ediciones Mir. , p (309-314), Moscú.
49. Leonard, C. (1974). Application of inhibitors in automóviles and their environment. *Corrosion Inhibitors*, Vol. 8, p (173-189).
50. Man'Kina, N.N. (2002). Practical results of steam – water oxygen cleaning and passivation of natural circulation boilers. *Power Technology and Engineering*. Vol. 36, No. 6, p (344-347).
51. Mansfeld, F. (1981). Concerning the choice of scan rate in polarization measurements. *Corrosion*, Vol. 37, No. 9.
52. (Manual de generación. Empresa Eléctrica Villa Clara. 2005. Código EV-PG 161301).

## *Bibliografía*

---

53. Mc Lean, J. D.; Kilpatic, P. K. (1997). Effect of asphalene aggregation in Model Heptane – Hexane on stability of water – in – oil emulsions. *Journal of Colloid and interface Science*, p (25).
54. Melchers, R. E. (2003). Mathematical modelling of the difusión controlled phase in marine immersion corrosion mild steel. *Corrosion Science*, Vol. 45, No. 5, p (923-940).
55. Moccari, D. B. A. (1993). Evaluating of corrosion inhibitors for component cooling water system. *Corrosion*, Vol. 49, No. 11, p (921-928).
56. Montgomery, D. C. (1991). *Desing and análisis of experiments*. Third edition, New York, Willey.
57. Moralez, D. (2002). The relation between corrosion rate, corrosion products from low carbon steel. *Physic Status Solidi*, Vol. 220, p (351-356).
58. Norman, E. (1974). *Application of inhibitors in miscellaneous environments*. Corrosion Inhibitor, NACE, Houston Texas, p (251-260).
59. Orlin, A. S.; Alekseev, N. I. (1970). *Motores de combustión interna. Estructura y funcionamiento*. Ediciones Mir., Moscú.
60. Orlin, A. S.; Kruglov, D.N. (1972). *Diseño y cálculo de motores alternativos y combinados*. Ediciones Mir., Moscú.
61. Pelskov, Y. V. (2002). *Controlled flor laboratory corrosion test*. Houston Texas.
62. Perry, R. H. (1985). *Chemical Engineer's handbook*. Ed. Revolucionaria.
63. Prozov, V.V. (2004). Behaviour of pearlitic steel in oxygen containing water. *Protection of metals*, Vol.40, No. 2, March, p (121-124).
64. Robitaille, D. R. (1997). Synergetic effect in corrosion pasivators. *Materials Performance*, Vol.15, No. 11, p (40).
65. Rosenfeld, I.L. (1981). New date on the mechanism of metal protection with inhibitors. *Corrosion*, Vol. 37, No. 7, July, p (371-377).

## *Bibliografía*

---

66. Salgado, F. S. (1995). El desgaste en motores de automoción. Mem. 1<sup>er</sup> Congreso de Ingeniería Mecánica, Vol.2, p (32-37), Madrid España.
67. Sankara, P. R. (2002). Top ranked methodology for inhibitor evaluation and qualification for pipeline applications. Corrosion, Vol.8, No. 8, p (214-224).
68. Sfaira, M. (2001). Corrosion of mild steel in low conductive media simulating natural waters. Journal of Applied Electrochemistry, p (537-546).
69. Shalaby, M.N. (2002). Application of some commercial non – ionic surfactants in the field of corrosion inhibition. Materials and Corrosion, Vol.53, p (827-832).
70. Sheerington, I.; Smith, E. (1989). Experimental methods for wear measuring in internal combustion engines. Tribology Internacional, Vol.18, p (2-6).
71. Stanners, J.F. (1984). Report on meeting. Motor vehicle corrosion. British Corrosion, Vol. 10, p (2-6).
72. TrabANELLI, G. (1970). Mechanism and phenomenology of organic inhibitor. Advances Corrosion Science and Technol. Vol. 1, Ed. M. G. Fontana, Plenum Press, p (147), New York.
73. Uhling, H. (1986). Corrosion Handbook. John & Wiley Son.
74. Weber, T. R. (1986). Corrosion inhibitors in deaerated and low – oxygen water. Corrosion, Vol. 42, No. 9.
75. Winton, P. T. (2002). Organic inhibitors in neutral solution. Corrosion, Vol.8, No. 8, p (245-252).
76. Wu, X. (2002). Corrosion and erosion behaviours of carbon steel in naphthenic acid media. Materials and Corrosion, Vol. 53, p (833-844).
77. Yoshikazu, M. (2002). Oxygen reduction reaction at rust free iron surface in neutral media. Corrosion Science, Vol. 44, p (589-602).

**Anexo # 1: Muestra de los juegos de datos que reporta el potenciostato.**

Este es un ejemplo para las curvas completas de polarización, en este caso para el aluminio en agua destilada a 54<sup>o</sup>C, donde se eliminaron algunas filas porque el total de datos era de 1561.

I (A/cm2)	E (V)	I (A/cm2)	E (V)	I (A/cm2)	E (V)
1.74209E-05	-1.282	7.36073E-06	-0.67	1.81295E-06	-0.251
1.68502E-05	-1.259	6.32596E-06	-0.587	1.80129E-06	-0.25
1.6159E-05	-1.205	5.58154E-06	-0.519	1.78955E-06	-0.249
1.571E-05	-1.18	4.70555E-06	-0.459	1.7788E-06	-0.248
1.569E-05	-1.179	3.96194E-06	-0.401	1.24681E-06	-0.217
1.44536E-05	-1.112	3.68399E-06	-0.379	7.37303E-07	-0.18
1.44748E-05	-1.111	2.86047E-06	-0.318	2.007E-07	-0.148
1.40364E-05	-1.092	2.13977E-06	-0.27	4.7148E-08	-0.129
1.36288E-05	-1.075	2.12424E-06	-0.269	1.23952E-06	-0.045
1.35978E-05	-1.074	2.10845E-06	-0.268	1.67565E-06	-0.014
1.33499E-05	-1.059	2.09453E-06	-0.267	1.84306E-06	-2E-04
1.28628E-05	-1.02	2.07963E-06	-0.266	1.96022E-06	0.0099
1.24065E-05	-1.005	2.06581E-06	-0.265	2.27257E-06	0.0219
1.22779E-05	-0.997	2.05645E-06	-0.264	2.44911E-06	0.0344
1.202E-05	-0.986	2.03885E-06	-0.263	2.74498E-06	0.0557
1.15248E-05	-0.965	2.01367E-06	-0.262	3.24619E-06	0.0875
1.07562E-05	-0.906	1.98683E-06	-0.261	4.28211E-06	0.1561
1.04197E-05	-0.887	1.96188E-06	-0.26	4.98209E-06	0.1958
1.01408E-05	-0.868	1.93776E-06	-0.259	5.49012E-06	0.2227
9.55656E-06	-0.825	1.91303E-06	-0.258	6.35855E-06	0.2675
9.24437E-06	-0.803	1.88873E-06	-0.257	6.63983E-06	0.2808
8.87461E-06	-0.785	1.86922E-06	-0.255	6.84732E-06	0.2944
7.94758E-06	-0.719	1.8571E-06	-0.255	6.87739E-06	0.2953
7.619E-06	-0.691	1.84074E-06	-0.253	6.89869E-06	0.2964
7.62354E-06	-0.693	1.82E-06	-0.252	6.91666E-06	0.2975

### Anexo # 3

#### Anexo # 3

Muestra de valores reportados por el potencióstato para las curvas de resistencia a la polarización después de eliminar valores hasta dejar los datos 10mV por encima y por debajo del valor de potencial de corrosión.

Se tomo como ejemplo los datos del aluminio con el refrigerante usado a 54°C.

I (A)	E (V)	$\Delta E$ (V)	$\Delta i$ (A/cm <sup>2</sup> )
1.69E-05	-0.5929	-10.8701	-5.8687E-07
1.68E-05	-0.592	-9.96812	-4.8453E-07
1.66E-05	-0.59077	-8.7396	-3.51051E-07
1.65E-05	-0.58997	-7.93873	-2.46132E-07
1.65E-05	-0.58908	-7.05233	-1.84649E-07
1.64E-05	-0.58802	-5.99098	-1.4875E-07
1.64E-05	-0.58702	-4.98795	-1.1186E-07
1.64E-05	-0.58588	-3.84885	-9.10353E-08
1.64E-05	-0.58481	-2.77583	-8.9052E-08
1.64E-05	-0.584	-1.96719	-8.68703E-08
1.64E-05	-0.58303	-0.99526	-6.32685E-08
1.63E-05	-0.58203	0	0
1.62E-05	-0.58091	1.119664	6.20785E-08
1.62E-05	-0.57979	2.239328	9.12336E-08
1.62E-05	-0.57873	3.300676	1.18604E-07
1.61E-05	-0.57789	4.144312	1.92186E-07
1.6E-05	-0.57677	5.263976	2.50099E-07
1.6E-05	-0.57574	6.290335	3.20904E-07
1.59E-05	-0.57456	7.468315	4.18088E-07
1.58E-05	-0.57361	8.420807	5.21222E-07
1.57E-05	-0.57258	9.451054	6.43197E-07

**Anexo # 2: Gráfico que se obtiene en el Junior Assit**

Este gráfico es del aluminio con agua destilada a 54<sup>0</sup>C para la curva completas de polarización.

