

## Evaluación de la velocidad de corrosión en el proceso de destilación atmosférica en la Refinería Estatal de Esmeraldas, mediante cupones

Evaluation of the corrosion rate in the atmospheric distillation process at the Esmeraldas State Refinery, using coupons

**Diana Katherine Quiñónez-Portocarrero**  
diana.quinonez.portocarrero@utelvt.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-1947-560X>  
Universidad Técnica Luis Vargas Torres de  
Esmeraldas, Ecuador

### RESUMEN

La presente indagación está encaminado a monitorear la velocidad de corrosión en los aereoenfriadores de destilados; de nafta inestabilizada, Jet y diésel, en el proceso de destilación atmosférica en la Unidad de No Catalítica I en la Refinería de Esmeraldas. La corrosión es la causa del deterioro de los metales, debido a que estos regresan a su forma natural de óxidos, este fenómeno ocurre por la influencia del medio ambiente y factores tanto internos como externos; el fluido, la presión, temperatura. Este monitoreo se realiza mediante el uso de cupones de corrosión, caracterización de los fluidos, análisis de laboratorio y cálculo de los mpy (milésimas de pulgada de pérdida del metal por año). El acceso a los procesos y la metodología se realizó con la empresa NALCO Champion, que es la responsable de la protección anticorrosiva y el monitoreo de estos procesos. Los cupones son colocados en las entradas y salidas de los aereoenfriadores, ya que en estos sitios los factores de corrosión son altos; luego de la instalación de los cupones estos son dejados 28 días, posteriormente en el laboratorio se realizan análisis de la velocidad de corrosión que por razones contra actuales deben ser menores a 3 mpy; con estos resultados se determina la cantidad de inyección de químicos pertinentes para mantener la vida útil de los equipos. Se eligieron los cupones del tipo lámina ya que son los adecuados para el tipo de fluido circulante. Los resultados promedios obtenidos fueron; 2,12 y 6,49 mpy en el mes de septiembre del 2017 y 2,11 en el mes de octubre del 2017. Después de un análisis respectivo los cupones con mayor índice de corrosión fueron retirados a los 14 días, para comprobar la existencia de corrosión acelerada, no obstante, solo se pudo ratificar la existencia de una corrosión generalizada. Con los resultados obtenidos se realizó la inyección de químicos adecuados y la cantidad pertinente para controlar el nivel de corrosión.

**Palabras claves:** Corrosión, Cupones, Destilación, Químicos, Óxidos.

### ABSTRACT

This research work is aimed at monitoring the corrosion rate in distillate air coolers; of Inestabilized naphtha, Jet and diesel, in the atmospheric distillation process in the Non-Catalytic I Unit at the Esmeraldas Refinery. Corrosion is the cause of the deterioration of metals, because they return to their natural form of oxides, this phenomenon occurs due to the influence of the environment and both internal and external factors; the fluid, the pressure, temperature. This monitoring is done through the use of corrosion coupons, fluid characterization, laboratory analysis and calculation of mpy (thousandths of an inch of metal loss per year). Access to the processes and methodology was carried out with NALCO Champion, which is responsible for anticorrosive protection and monitoring of these processes. The coupons are placed at the entrances and exits of the air coolers, since in these places the corrosion factors are high; after the installation of the vouchers, they are left for 28 days, later in the laboratory analysis of the corrosion rate is carried out, which for reasons against current must be less than 3 mpy; With these results, the amount of injection of pertinent chemicals is determined to maintain the useful life of the equipment. The film type coupons were chosen as they are suitable for the type of circulating fluid. The average results obtained were; 2.12 and 6.49 mpy in the month of September 2017 and 2.11 in the month of October 2017. After a respective analysis the coupons with the highest corrosion index were removed after 14 days, to verify the existence of accelerated corrosion, however only the existence of a generalized corrosion could be confirmed. With the results obtained, the injection of suitable chemicals and the pertinent amount to control the level of corrosion was carried out.

**Keywords:** Corrosão, Cupons, Destilação, Produtos Químicos, Oxidos.

### INTRODUCCIÓN

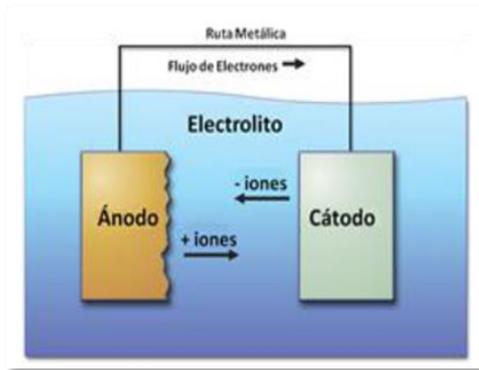
La corrosión es el deterioro lento y progresivo de un metal, debido a la reacción con el medio que lo rodea, esta reacción causa que los metales regresen a su estado natural de óxidos. Los metales se encuentran expuestos a la acción atmosférica, la cual está compuesta principalmente de 79 partes de nitrógeno y 21 partes de oxígeno, por lo cual se explica que cuando un material se corroe regresa a su estado natural. En la industria petrolera, podemos decir que la corrosión es la destrucción del metal por acción química o electroquímica. (Cuesta, 2009).

“NACE internacional define la corrosión como: La deterioración de un material, por lo general un metal, debido a una reacción con su entorno” (NACE Internacional, 2007).

Para que exista el proceso de corrosión se requiere la existencia de un circuito eléctrico el mismo que está formado por cuatro elementos que forma la celda de corrosión:

- Ánodo

- Cátodo
- Puente metálico
- Electro



**Figura 1.** Celda de Corrosión (Nace internacional, 2014)

La corrosión en las diferentes unidades de una refinería, así como en el proceso de destilación atmosférica, son algo común en la industria de refinación, debido a este grave inconveniente, nuestro objetivo es disminuir la corrosión con el seguimiento de variables monitoreadas en el programa de control de corrosión, y para ello utilizamos el método de inspección y monitoreo, mediante el uso de cupones de corrosión. (Ahmad, 2000).

### Causas de la corrosión

Una de las causas principales de la corrosión en las Refinerías es el alto contenido de HCl, ya que este en estado líquido es altamente corrosivo; esto es ocasionado por la hidrólisis, la cual hace que se formen sales dentro del sistema (Sodio, Calcio y Magnesio); sin embargo, para que se formen estas sales se necesita alcanzar cierta temperatura y la que más lejos está para hidrolizarse es el sodio, por esta razón se inyecta el hidróxido de sodio; para disminuir el nivel de corrosión ocasionado por el HCl, ya que el HCl es altamente corrosivo cuando se encuentra en estado líquido.

### Factores que afectan la velocidad de la corrosión

La velocidad de la corrosión se ve afectada por los siguientes factores:

- Presencia de Oxígeno
- Temperatura de los fluidos
- Presión presente en sistema
- Velocidad de los fluidos
- PH
- Humedad o condensación
- Esfuerzos por tensión en el sistema
- Contaminantes y gases ácidos
- Sales químicas

### Tipos de corrosión

Los tipos de corrosión que encontramos en una refinería son los siguientes:

- Corrosión Generalizada
- Corrosión Localizada
- ✓ Corrosión por Picaduras
- ✓ Corrosión por Hendiduras
- ✓ Corrosión Filiforme
- ✓ Corrosión Bajo Depósito
- Corrosión Galvánica
- Corrosión Intergranular
- Corrosión por Rozamiento

- Corrosión Bacteriológica
- Corrosión por Cavidades

### Corrosión generalizada

La corrosión generalizada es aquella donde toda la superficie de material se encuentra afectada.



**Figura 2.** Tubos de un intercambiador de calor- corrosión generalizada (Refinería de Esmeraldas, 2017)

### Corrosión localizada

La corrosión localizada es aquella que se encuentra en sitios específicos de una superficie metálica.



**Figura 3.** Línea de descarga de una bomba con sus respectivos accesorios- corrosión localizada (Refinería de Esmeraldas, 2017)

### Corrosión galvánica

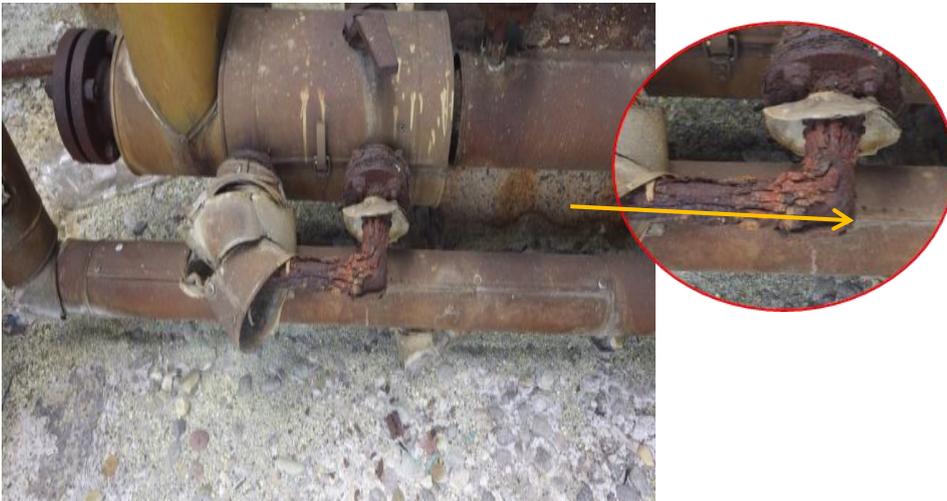
La corrosión galvánica es aquella que se produce debido a la diferencia de potencial entre los metales.



**Figura 4.** Techo de tanque – corrosión galvánica (Refinería de Esmeraldas, 2017)

### Corrosión intergranular

Se considera que este tipo de corrosión es causada por la segregación de impurezas en los bordes del grano, o por el agotamiento de uno de los elementos del metal.



**Figura 5.** Tubería - corrosión Intergranular

(Refinería de Esmeraldas, 2017)

### **Corrosión bacteriológica**

La corrosión bacteriológica es aquella producida por el ataque de bacterias.



**Figura 6.** Techo de tanque- ataque por bacterias

(Refinería de Esmeraldas, 2017)

### **Corrosión en cavidades**

Es la diferencia de concentraciones provocadas por la acción atmosférica, son las causantes de la fuerza motora para que se lleve a cabo la celda de corrosión.



**Figura 7.** Corrosión en cavidades

(Nace Internacional, 2014).

### **Importancia económica de la corrosión**

El impacto económico que genera la corrosión dentro de un sistema de refinación, ocasiona pérdidas sustanciales y daños representativos, para realizar un estudio de prevención efectivo, es necesario cuantificar la presencia de los diferentes agentes corrosivos y conocer bien sus mecanismos de acción.

| País          | PIB (U\$ Millones)     | 3%                   |
|---------------|------------------------|----------------------|
| Brasil        | \$ 1.340.000,00        | \$ 40.200,00         |
| México        | \$ 920.000,00          | \$ 27.600,00         |
| España        | \$ 828.000,00          | \$ 24.840,00         |
| Argentina     | \$ 391.000,00          | \$ 11.730,00         |
| Colombia      | \$ 255.000,00          | \$ 7.650,00          |
| Chile         | \$ 153.000,00          | \$ 4.590,00          |
| Venezuela     | \$ 146.200,00          | \$ 4.386,00          |
| Perú          | \$ 132.000,00          | \$ 3.960,00          |
| R. Dominicana | \$ 50.000,00           | \$ 1.500,00          |
| Guatemala     | \$ 48.300,00           | \$ 1.449,00          |
| Ecuador       | \$ 39.600,00           | \$ 1.188,00          |
| Costa Rica    | \$ 31.900,00           | \$ 957,00            |
| Uruguay       | \$ 31.000,00           | \$ 930,00            |
| El Salvador   | \$ 28.400,00           | \$ 852,00            |
| Paraguay      | \$ 26.200,00           | \$ 786,00            |
| Cuba          | \$ 25.900,00           | \$ 777,00            |
| Bolivia       | \$ 21.400,00           | \$ 642,00            |
| Panamá        | \$ 21.000,00           | \$ 630,00            |
| Honduras      | \$ 17.000,00           | \$ 510,00            |
| Nicaragua     | \$ 12.500,00           | \$ 375,00            |
| <b>Total</b>  | <b>\$ 4.700.400,00</b> | <b>\$ 141.012,00</b> |

**Figura 8.** Estimación de costos por corrosión

(Nace International, 2002)

Las metodologías para prevenir y controlar la corrosión según la NACE INTERNACIONAL, están clasificadas en mecanismos Intrusivos y No Intrusivos y Directos e Indirectos.

#### Métodos directos

- Cupones de Corrosión
- Resistencia Eléctrica (ER)
- Probetas de Polarización Lineal (LPR)

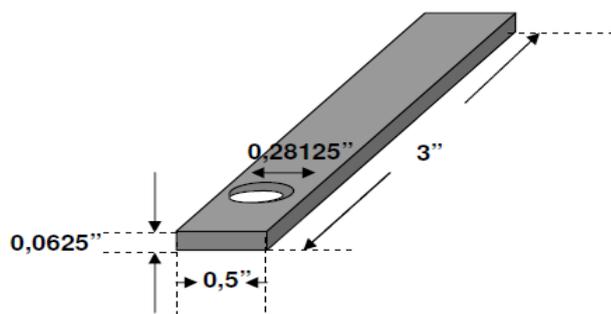
#### Métodos indirectos

- Análisis en línea del pH o del agua
- Sondas internas de flujo de hidrógeno
- Pruebas ultrasónicas
- Sondas externas de flujo de hidrógeno

Uno de los métodos que utilizaremos en el presente estudio para monitorear el nivel de corrosión son los cupones de corrosión tipo lámina.

#### Cupones de corrosión

Los cupones de corrosión forman parte de los métodos directos para medir la corrosión dentro de un sistema o estructura, la principal ventaja de este método de monitoreo es su bajo costo de instalación y su efectividad para monitorear la rata de corrosión. Obtener valores significativos con este método será un inconveniente primordial, ya que en el momento de la instalación se deben tener en cuenta muchos aspectos primordiales, como por ejemplo la superficie donde será colocado el cupón, su ubicación, y el tiempo de exposición del mismo.



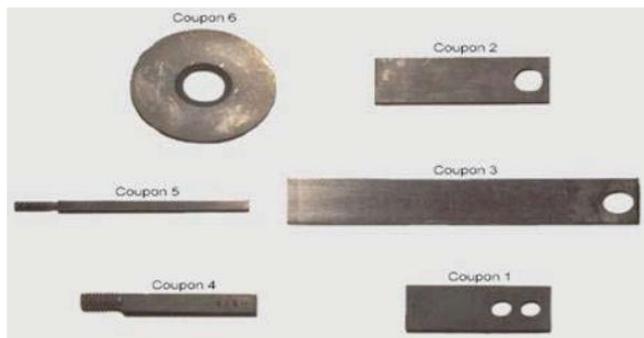
**Figura 9.** Modelo de cupón de corrosión

(NACE Internacional, 2014)

Los análisis realizados con los cupones de corrosión, nos indican un monitoreo en línea; ya que los cupones son colocados directamente en la corriente del proceso y retirados conforme indique la norma y el contrato de la empresa encargada de su proceso de colocación.

Este tipo de monitoreo nos indica una medición contundente, ya que dependiendo del grado de afectación del metal del cupón podemos realizar una evaluación del mismo. Los cupones de corrosión pueden ser de distintos aspectos, dependiendo del lugar de exposición:

- Cupones de tipo lámina (strip)
- Cupones de disco plano (plush disc)
- Cupones de lámina tipo lateral (ladder)
- Cupones perforados para incrustación



**Figura 10.** Tipos de Cupones de Corrosión

(Metal Samples, 2010)

Para calcular la velocidad de corrosión se debe utilizar la siguiente fórmula establecida por la norma ASTM G1-90.

$$CR = \frac{W * K}{A * T * D}$$

**Dónde:**

**CR**= Velocidad de corrosión promedio, milésimas de pulgadas por año (mpy)

**W**= Pérdida de peso, gramos (g)

**A**=Área del cupón expuesta, pulgadas (pulg<sup>2</sup>)

**T**= Tiempo de exposición, días (d)

**D**= Densidad del cupón metálico, gramos por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>)

**K**= factor de metales (1.006 acero al carbono)

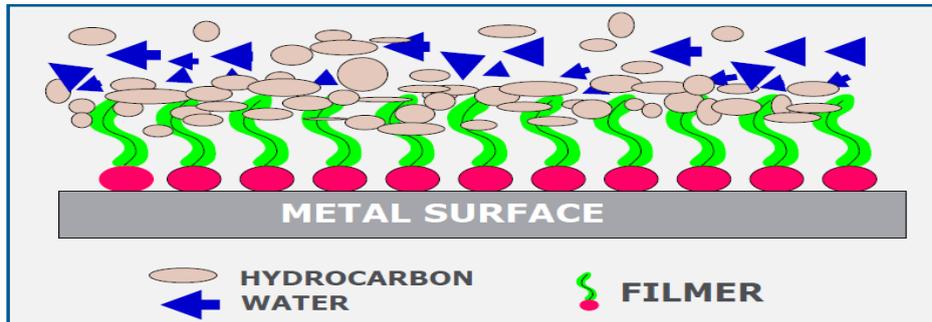
#### **Mecanismos para controlar la corrosión**

En los sistemas de las unidades de crudos los mecanismos para controlar la corrosión, son basados en base a la selección de materiales que poseen los equipos; la severidad de la corrosión en los materiales se ve afectado por el ataque de los ácidos presentes en la cima de la torre de destilación; entre las medidas para realizar el control de corrosión tenemos:

- Desalado; depende de tener un buen proceso de desalado y deshidratado.
- Inyección de sosa caustica
- Control de pH en la cima de la torre de destilación
- Inyección de agua de lavado
- Uso de inhibidores de corrosión
- ✓ **Amina neutralizante:** Sirve para controlar el pH de los flujos y a su vez neutraliza la cantidad de ácidos

fuertes presentes por ejemplo el (HCL, ácidos formados por azufres, ácido fórmico, cético, propiónico, butílico).

- ✓ **Inhibidor fílmico de corrosión:** el mismo que trabaja formando una película protectora sobre la tubería, con los ácidos débiles ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ), ayuda a evitar la depositación de sales y por ende la corrosión bajo depósito.



**Figura 11.** Funcionamiento del inhibidor fílmico dentro de la tubería

(NALCO Champions, 2014)

## METODOLOGÍA

En el presente estudio se desea fundamentar las posibles causas de la corrosión; mediante la evaluación de los cupones de corrosión colocados en los aereoenfriadores, para monitorear la velocidad de la corrosión, en el proceso de destilación atmosférica en la UNIDAD DE NO CATALÍTICA I, en la Refinería de Esmeraldas, apoyado por análisis de laboratorio. Mediante el contrato LAB N° 2016966, PROGRAMA DE TRATAMIENTO QUÍMICO PARA LOS SISTEMAS DE DESALADO, CIMA DE COLUMNA Y AGUA TEMPERADA DE LAS UNIDADES NO CATALÍTICAS 1 Y 2. Se realiza el monitoreo de la corrosión en los sistemas de cima, para realizar la inyección de químicos pertinentes y mantener la vida útil de los equipos.

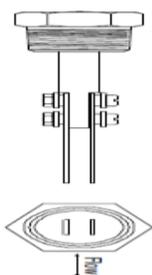
- Conocer el proceso de los fluidos y condiciones de operación, para fundamentar las posibles causas de la corrosión.
- Selección, localización e instalación de los cupones de corrosión.
- Comprobación del tipo de flujo que circula en los aereoenfriadores (cálculo del número de Reynolds).
- Análisis de laboratorio, cálculo de mpy para conocer el grado de afectación del cupón.
- Inyección de químicos - Empresa NALCO Champions.

Los cupones de corrosión son instalados con la ayuda de una porta cupón, el mismo que ayuda a la inserción de los cupones a las líneas por donde circula el fluido; los cupones deben estar orientados o colocados verticales al flujo circundante (como se indica en la figura 12).



**Figura 12** Instalación del cupón en la cuponera

(NACE Internacional, 2014)



**Figura 12.** Dirección de flujo preferencial

(Metal Samples, 2010)

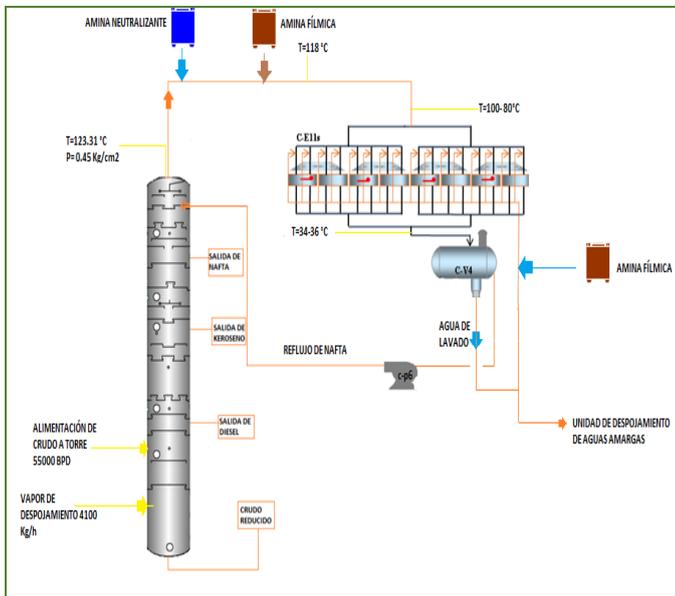
En el proceso de destilación atmosférica están colocados 9 cupones de corrosión; distribuidos 4 en las entradas, 4 en las salidas de los aereoenfriadores C-E11 y 1 en el tambor acumulador C-V4, debido a que en estos puntos encontramos una gran acumulación de ácidos por ejemplo el HCl, SOX, propiónico, entre otros. Con la colocación de los cupones se desea monitorear la rata corrosión.

Según la norma ASTM G1-90 establece que el tiempo máximo de exposición de los cupones es de 30, 60 a 90 días no obstante esto no es un factor determinante ya que esto depende de la empresa que requiere el servicio de los cupones; por ejemplo, en la Refinería de Esmeraldas los cupones cumplen con tiempo máximo de exposición de 28 de días, sin embargo, los cupones admiralty cumplen con un tiempo de exposición de 56 días por contrato; luego de esto son llevados al laboratorio para su análisis. La guía estándar para la realización de pruebas de cupones de corrosión en aplicaciones de campo, es la ASTM G4; la cual indica los pasos que se deben seguir para realizar las pruebas en una planta de refinación.

Sin embargo, cuando utilizamos los cupones de corrosión existen muchas normas que nos guían para utilizarlos adecuadamente, por ejemplo, la norma ASTM G1-90; es para "Práctica estándar para preparar, limpiar y evaluar muestras de ensayo de corrosión". Para determinar el tipo de picadura que tenemos en un cupón utilizamos la norma ASTM G46 la misma que es una; "Guía Estándar para el Examen y Evaluación de la Corrosión por Picaduras"; en esta norma se indica los procedimientos para identificar la corrosión localizada. (NACE Internacional, 2014).

En el anexo dos se encuentra descrita la forma adecuada para la colocación, retiro, lavado y pesaje de los cupones de corrosión.

**Proceso de operación y condiciones de los fluidos de la unidad de destilación atmosférica**



**Figura 13.** Diagrama del proceso de destilación atmosférica

La unidad de Crudo I, de la Refinería de Esmeraldas procesa 55.000 barriles por día, de crudo extraído de la región Oriental del país.

La carga después de procesada producirá los siguientes derivados:

**Tabla 1.** Productos de la torre de destilación atmosférica

| PRODUCTO       | PUNTO DE CORTE DE CRUDO |          |
|----------------|-------------------------|----------|
|                | DESDE °C                | HASTA °C |
| Gases del domo | -                       | 168      |
| Kerosene       | 168                     | 262      |
| Diésel         | 262                     | 355      |
| Crudo reducido | Sobre 355               |          |

(Refinería de Esmeraldas, 2017)

**Características de los materiales de los aereoenfriadores**

Las características de los materiales de fabricación de los aereoenfriadores son muy importantes, para evitar daños futuros en la planta, debido al grado de afectación que los productos provocan en los equipos.

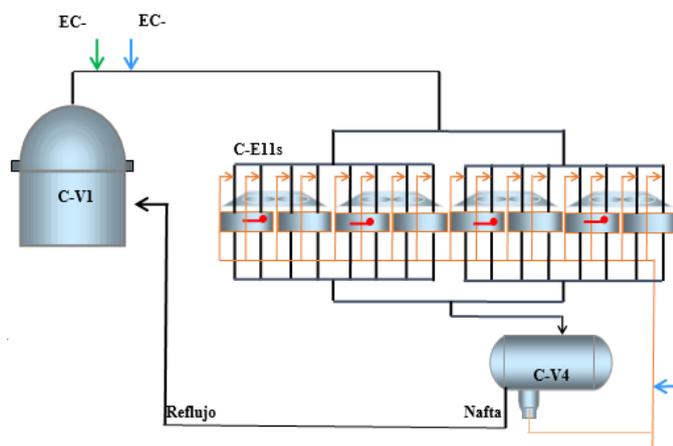
**Tabla 2.** Materiales de fabricación de los aereoenfriadores

| CONSTRUCCIÓN   |   |
|--|---|
| Presión de diseño                                    | 50psi   |
| Presión de prueba                                    | 75 psi  |
| Temperatura de diseño                                | 325 °F  |
| TUBO   |   |
| Material   | Acero al carbono SA 214                       |
| Norma  | ASME SA 214                                   |
| Diámetro interno del tubo de conexión de los cupones | 20,32 cm                                      |
| Diámetro interno                                     | 2,4842cm                                      |
| Diámetro externo                                     | 2,54cm  |
| Espesor de los tubos                                 | 0,0279 cm                                     |
| Numero de tubos por cada módulo                      | 243   |
| Longitud de los tubos                                | 30 pies 9,14 metros                           |
| Separación de los tubos                              | 2 ¼ pulgadas                                  |
| CABEZAL  |   |
| Numero de pases                                      | 3 por sección                                 |
| Material del cabezal                                 | Acero al carbona A 285                        |
| Material de los Tapones                              | Acero al carbono A 105-71                     |
| Norma para construcción de intercambiadores de calor | API 6661                                      |
| Tolerancia de corrosión (CA)                         | 1/8 pulgadas                                  |
| Tamaño interno de la boquilla                        | 8 pulgadas (2 boquillas)                      |
| Tamaño externo de la boquilla                        | 4 pulgadas ( 2 boquillas)                     |
| MECANICA DEL EQUIPO                                  |   |
| Motor eléctrico (2)                                  | 1750 RPM (TEFC-MAC) 460 voltaje-3-60 de 40 HP |
| Total del fluido entrante                            | 164.36 lb/ h                                  |
| Vapor  | 141.976 kg/h                                  |
| Vapor de condensación                                | 137.963 Kg/h                                  |
| CONDENSADOR DE LA COLUMNA DE CRUDO                   |   |
| Tamaño   | 21-305 pulgadas                               |
| Tipo   | 2 NS6S  |
| Calor del intercambiador                             | 52,880.000 Btu/h                              |
| Superficie externa                                   | 324,00o Btu/h                                 |
| Material   | Acero al carbono 21-305                       |

(Refinería de Esmeraldas, 2017)

### Selección, localización e instalación de los cupones de corrosión

Los puntos seleccionados para colocar los cupones de corrosión fueron determinados por el área de procesos de la Refinería, la misma que después de un análisis previo considerando el nivel de set point y new point (punto inicial y final de rocío); consideró que, cuando esto ocurre las primeras gotas son ácidas debido al aumento de temperatura, por este motivo se inyecta hidróxido de sodio más conocido como sosa cáustica (máx 5 PTB), este es inyectado a la salida del crudo de desalado (CV 11- Segunda desaladora); otros aspectos importantes para colocar los cupones en estos puntos fueron; presión, temperatura los cuales influyen para que se produzca el fenómeno de la corrosión.



**Figura 14.** Sistema C-V11 ubicación de los cupones de corrosión en el lado oeste (NALCO Champions, 2017)

Actualmente la empresa encargada de la colocación de los cupones es NALCO Champion, la misma que desde hace un año realiza el monitoreo de los niveles de corrosión en los diferentes puntos de la Refinería de Esmeraldas, esta empresa también es la encargada de la inyección de químicos los mismos que ayudan a controlar el nivel de corrosión producido en las diferentes unidades.

Una de las principales características que debe tener un cupón, son los materiales de fabricación, ya que estos deben ser similares a los materiales de fabricación del sitio donde será colocado, de esta forma el daño evidenciado en el sistema será similar a la del cupón, debido a que este contará con las mismas características. Sin embargo, el cupón admiralty es fabricado con otro tipo de material, como, por ejemplo; Cobre, Hierro, Estaño o Zinc; este es de un material más duradero y resistente, ya que su tiempo de exposición es normalmente de 56 días. En la Refinería de Esmeraldas se encuentran colocados este tipo de cupones en las piernas barométricas de vacío en las unidades de no catalítica 1 y 2. Otro factor importante para emplear la metodología de los cupones de corrosión es la selección del lugar adecuado, ya que una selección adecuada nos brindará resultados significativos para combatir la corrosión. Para seleccionar el lugar adecuado donde debemos colocar el cupón, tenemos que analizar las variables operacionales de presión, temperatura, caudal, pH, flujo, cantidad de oxígeno y otros contaminantes presentes en los fluidos.

### Tipo de flujo que circula en los aereoenfriadores

Determinar cuál es el tipo de flujo que circula por los aereoenfriadores es un factor determinante ya que este es un indicativo, para saber cuan brusco será el paso del fluido circulante; ya que al presentarse un flujo laminar el daño provocado en las tuberías en mínimo, si es transitorio el grado de afectación es menor, sin embargo, si el flujo es turbulento esto afectará las condiciones de la tubería.

**Tabla 3.** Niveles del tipo de flujo

| NÚMERO DE REYNOLDS |      |                   |
|--------------------|------|-------------------|
| 1                  | 2400 | Flujo laminar     |
| 2400               | 3600 | Flujo transitorio |
| Mayor a 3600       |      | Flujo turbulento  |

Para calcular el número de Reynolds se utilizan las siguientes fórmulas:

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\mu} \quad (\text{Ec. 1})$$

**Dónde:**

$\rho$  = Densidad

V= Velocidad del fluido

D= Diametro de la tubería o su Diámetro equivalente

$\mu$  =Viscosidad del fluido circulante

**Nafta inestabilizada**

$$masa = \frac{ton}{h} \rightarrow \frac{g}{seg}$$

**Volumen del fluido:**

$$d = \frac{m}{v} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$v = \frac{m}{d} \rightarrow m^3/seg \quad (\text{Ec. 3})$$

**Área transversal de la tubería:**

$$Area transversal = \pi * (r)^2 \quad (\text{Ec. 4})$$

$$Area transversal = \frac{\pi * D^2}{4} \rightarrow m^2$$

**Velocidad del fluido:**

$$Caudal = V * A \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\text{velocidad del fluido} = \frac{Q}{A} \rightarrow \text{m/seg}$$

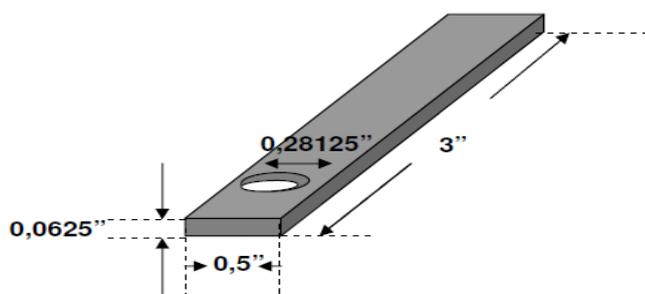
**Número de Reynolds:**

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\mu} \quad (\text{Ec. 1})$$

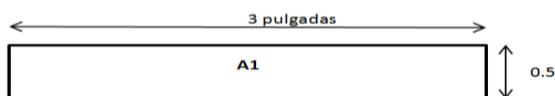
**Análisis de los cupones de corrosión**

La fórmula reducida que utiliza la empresa NALCO Champion, para realizar el cálculo de los mpy es la siguiente, no obstante, antes de calcular la rata de corrosión, se debe realizar el cálculo del área del cupón.

**Área del cupón**



**Figura 15.** Modelo de cupón de corrosión (NACE Internacional, 2014)



$$A1 = L * h$$

(Ec. 6)

**Área total del cupón:**

$$\text{Área total del cupón} = A1 + A2 + A3 \quad (\text{Ec. 7})$$

**Área de los huecos del cupón:**

$$Ah = \pi * r^2 \quad (\text{Ec. 8})$$

$$Ah = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

**Área neta del cupón:**

$$\text{Área neta del cupón} = (A1 + A2 + A3) - (Ah) \text{in}^2 \quad (\text{Ec. 9})$$

**Cálculo de los MPY**

$$MPY = 2.82 * K \left( \frac{\Delta \text{Peso}}{\text{Área del cupón} * \text{Días de exposición}} \right) \quad (\text{Ec. 10})$$

$$MPY = 2.82 * K \left( \frac{\Delta \text{Peso}}{3.1889 * \text{Días de exposición}} \right)$$

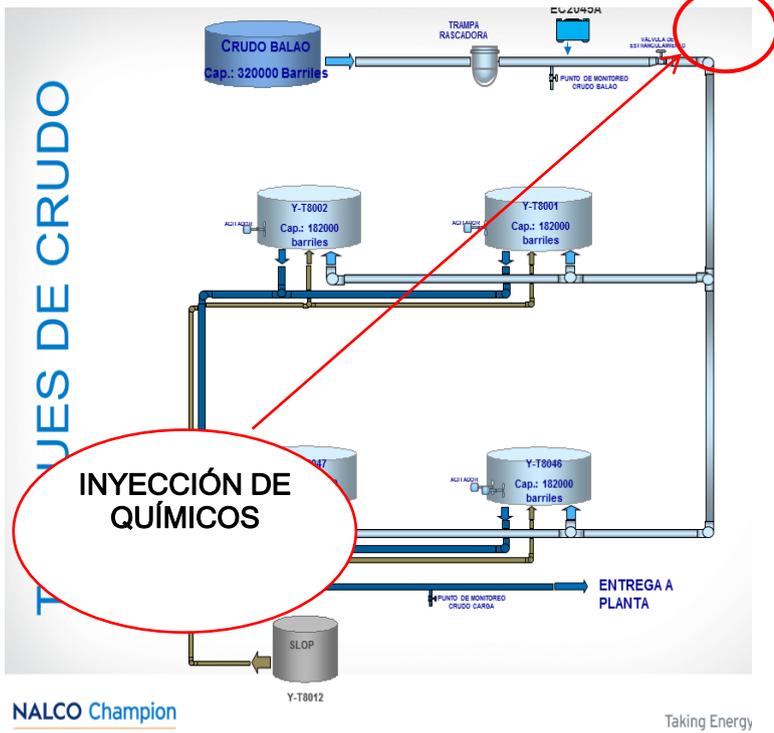
K= Factor para el acero al carbono (1.006)

$$MPY = 890 \left( \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Días de exposición}} \right)$$

**Descripción del proceso de inyección de químicos**

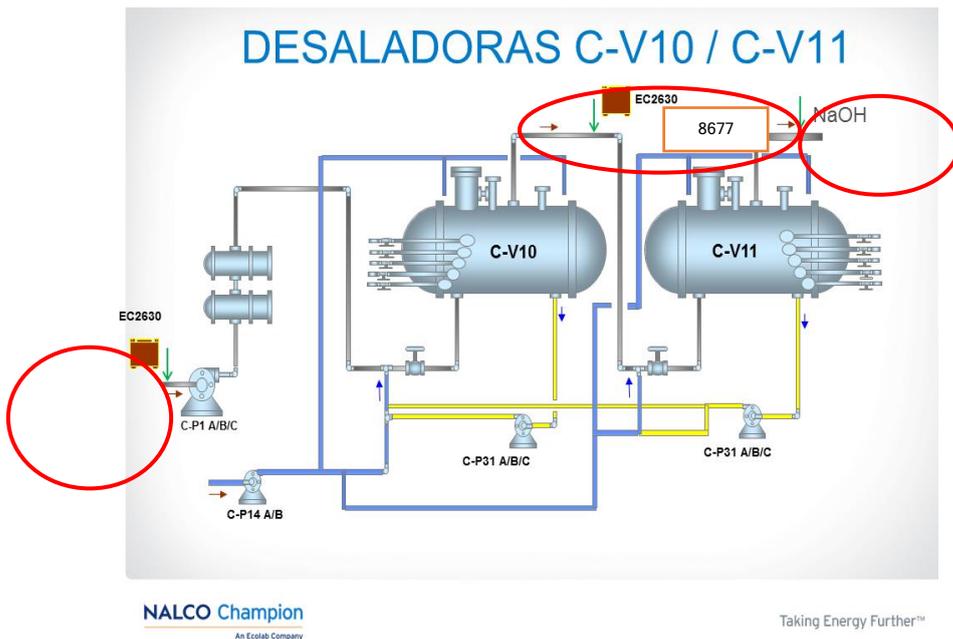
El proceso de inyección de químicos realizado por la empresa NALCO Champion, inicia en los tanques donde se inyecta un rompedor de emulsión (EC 2045; (Componentes activos: Nafta aromática pesada, naftaleno, 1,2,4, tri-metil benceno) este es un demulsificante de acción rápida que se aplica debido a que el crudo almacenado en los tanques tiene poco tiempo de residencia por lo cual este químico, acelera la separación del agua en el crudo; se inyecta 5 ppm

dependiendo del volumen del tanque y recomendaciones en base a pruebas de botella realizados por la empresa NALCO Champion. Si se inyecta más de los 5 ppm del químico esto produciría una re-emulsión lo que provocaría que difícilmente se rompan las emulsiones. El objetivo de este químico es entregar el crudo a la planta con un BSW máximo de 0,10%.



**Figura 16.** Proceso de inyección de químicos en los tanques de recepción de crudo (NALCO Champions, 2017).

Luego de esto el crudo tratado en el área de los tanques es enviado a lo unidad de NO CATALÍTICA 1 y 2, en la UNIDAD DE NO CATALÍTICA I el crudo es enviado a desaladora CV-10, en el crudo que se dirige a la desaladora CV-10 se inyecta 4 ppm de (EC 2630 A; Componentes activos: 2 – BUTOXIETAMOL, Kerosene, y Naftaleno); luego este crudo pasa a una segunda etapa de desalado CV-11, donde se inyecta de 1 a 1,5 ppm de EMULSUTRON (Componentes activos; Xileno, Tolueno, Etilbenceno, Alcohol Isopropilico, Naftaleno). Con la doble etapa de desalado el objetivo es bajar el contenido de sal hasta llegar por debajo de los 0,80 PTB (contenido de sal en el crudo, equivalente 1 libra de cloruro de sodio por cada 1000 barriles de petrolero); ya que el crudo debe salir con máximo 0,30 % de BSW.



**Figura 17.** Proceso de inyección de químicos en las desaladoras (NALCO Champions, 2017)

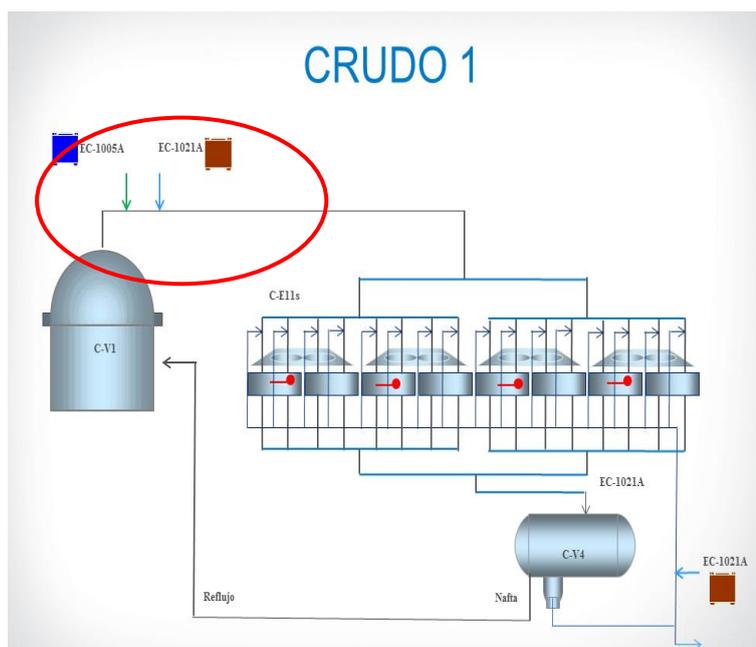
Cuando el crudo sale de la segunda desaladora se le inyecta sosa cáustica de 3 grados baumé (medición de sal en

agua); ya que necesita formar moléculas de cloruro de sodio, para que no se formen las moléculas de cloruro de magnesio y calcio; debido a que el cloruro de sodio se hidroliza a temperaturas superiores de 537 °C.

**Tabla 4.** Porcentaje de las sales residuales en el crudo

| SALES RESIDUALES EN EL CRUDO |                |          |
|------------------------------|----------------|----------|
| SALES                        | TEMPERATURA °C | % DE SAL |
| Na                           | 537            | 75       |
| Mg                           | 121            | 15       |
| Ca                           | 202            | 10       |

luego de esto el crudo pasa por el horno, y va a la torre de destilación atmosférica, en la cima de torre se inyecta **EC1005A** que es la amina neutralizante, la cual ayuda a mejorar el pH (5,9-6,2); luego se inyecta **EC1021A** que es la amina fílmica (máx 10 ppm), un inhibidor de corrosión, posteriormente se recircula el agua de lavado proveniente de la bota del tambor acumulador la misma que se le ha inyectado el fílmico **EC1021A**.



NALCO Champion  
An Ecolab Company

Taking Energy Further™

**Figura 18.** Inyección de químico en la cima de la torre de destilación atmosférica (NALCO Champions, 2017)

### Resultados y Discusión

El presente trabajo de estudio se desarrolló en la Refinería de Esmeraldas, con la empresa NALCO Champion, la misma que es encargada de la inyección de químicos y colocación de los cupones de corrosión en los aereoenfriadores, las características de la carga de esta unidad son las siguientes:

#### CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA

La carga a procesarse en la Unidad de Crudo I, de la Refinería Estatal Esmeraldas; es el petróleo extraído en la región Oriental, se le conoce como crudo de oriente, y tiene las siguientes características:

**Tabla 5.** Especificaciones generales de la carga del proceso de destilación

|                                   |                |
|-----------------------------------|----------------|
| CARGA TOTAL                       | 55.615 Bls/día |
| Gravedad API                      | 27.29 - 28.3   |
| Agua y sedimentos %               | 0,6            |
| Sal, tomado como NaCl Lb/1000 Bls | 15.0           |

(Laboratorio de la Refinería de Esmeraldas, 2017)

**Tabla 6.** Especificaciones de los productos del proceso de destilación atmosférica de la Unidad de Crudo I

| Producto     | Destilación   |          |
|--------------|---|----------|
| Nafta Pesada | 10 % -70 °C máx<br>50 % - 140 °C máx<br>95 % - 195 °C máx |          |
| Kerosene     | Punto de inflamación                                      | 43°C     |
|              | Prueba de corrosión                                       | N° 1 máx |
| Diésel       | 90% - 360 °C  |          |

(Laboratorio de la Refinería de Esmeraldas, 2017)

**Análisis del tipo de flujo**

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\mu}$$

Dónde:

 $\rho$  =Densidad

V= Velocidad del fluido

D= Diámetro de la tubería o su Diámetro equivalente

 $\mu$  =Viscosidad del fluido circulante**Tabla 7.** Especificaciones de los productos que pasan por los aereoenfriadores

|                      | DENSIDAD          | VISCOSIDAD | AZUFRE | TEMPERATURA |
|----------------------|-------------------|------------|--------|-------------|
|                      | Kg/m <sup>3</sup> | cSt        | Wt%    | °C          |
| Nafta Inestabilizada | 669,58            | 0,2971     | 0,015  | 125         |
| Jet Fuel             | 676,93            | 0,6413     | 0,168  | 110         |
| Diésel               | 686,68            | 1,018      | 0,845  | 140         |

(Laboratorio de la Refinería de Esmeraldas, 2017)

**Nafta inestabilizada**

$$masa = 86 \frac{ton}{h} \rightarrow 23888,88 \frac{g}{seg}$$

**Volumen del fluido**

$$v = \frac{m}{d}$$

$$v = \frac{23888,88 \text{ g/seg}}{0,66958 \text{ g/cm}^3}$$

$$v = 35677,4097 \frac{cm^3}{seg} \rightarrow 0,035677m^3/seg$$

Se divide el volumen para el número de tubos que contienen los aereoenfriadores, 243 tubos:

$$volumen \text{ del fluido por tubo} = \frac{0,035677m^3/seg}{243 \text{ tubos}}$$

$$volumen \text{ del fluido por tubo} = 1,4681 \times 10^{-4} m^3/seg$$

**Área transversal de la tubería:**

$$Area \text{ transversal} = \pi * (r)^2$$

$$\text{Area transversal} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$\text{Area transversal} = \frac{\pi * (0,02484\text{m})^2}{4}$$

$$\text{Area transversal} = 4,8461 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Velocidad del fluido:**

$$\text{velocidad del fluido} = \frac{Q}{A}$$

$$\text{velocidad del fluido} = \frac{1,4681 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{seg}}{4,8461 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\text{velocidad del fluido} = 0,3029 \text{ m/seg}$$

**Número de Reynolds:**

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\mu}$$

$$Re = \frac{669,58 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,3029 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \times 0,02484 \text{ m}}{0,2971 \times 10^{-3} \text{ Kg} * \text{ m} \frac{\text{seg}}{\text{seg}^2}}$$

$$Re = 16957,06 \rightarrow \text{flujo turbulento}$$

**JET FUEL**

$$\text{masa} = 24 \frac{\text{ton}}{\text{h}} \rightarrow 6666,66 \frac{\text{g}}{\text{seg}}$$

**Volumen del fluido**

$$v = \frac{m}{d}$$

$$v = \frac{6666,66 \text{ g/seg}}{0,67693 \text{ g/cm}^3}$$

$$v = 9848,37 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}} \rightarrow 0,00984837 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

**Dividimos el volumen para el número de tubos que contienen los aereoenfriadores, 243 tubos:**

$$\text{volumen del fluido por tubo} = \frac{0,00984837 \text{ m}^3 / \text{seg}}{243 \text{ tubos}}$$

$$\text{volumen del fluido por tubo} = 4,0527 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{seg}$$

**Área transversal de la tubería:**

$$\text{Area transversal} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$\text{Area transversal} = \frac{\pi * (0,02484\text{m})^2}{4}$$

$$\text{Area transversal} = 4,8461 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Velocidad del fluido:**

$$\text{velocidad del fluido} = \frac{Q}{A}$$

$$\text{velocidad del fluido} = \frac{0,00984837 \text{ m}^3 / \text{seg}}{4,8461 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\text{velocidad del fluido} = 20,3214 \text{ m/seg}$$

**Análisis del número de Reynolds:**

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\mu}$$

$$Re = \frac{676,93 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 20,3214 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \times 0,02484 \text{ m}}{0,6413 \times 10^{-3} \text{ Kg} \cdot \text{m seg/seg}^2}$$

$$Re = 532828,85 \rightarrow \text{flujo turbulento}$$

**DIÉSEL**

$$\text{masa} = 77 \frac{\text{ton}}{\text{h}} \rightarrow 21388,88 \frac{\text{g}}{\text{seg}}$$

**Volumen del fluido:**

$$v = \frac{m}{d}$$

$$v = \frac{21388,88 \text{ g/seg}}{0,001018 \text{ g/cm}^3}$$

$$v = 21010687,62 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}} \rightarrow 21,0106 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

Se divide el volumen para el número de tubos que contienen los aereoenfriadores, 243 tubos:

$$\text{volumen del fluido por tubo} = \frac{21,0106 \text{ m}^3 / \text{seg}}{243 \text{ tubos}}$$

$$\text{volumen del fluido por tubo} = 0,0864 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

**Área transversal de la tubería:**

$$\text{Area transversal} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$\text{Area transversal} = \frac{\pi * (0,02484 \text{ m})^2}{4}$$

$$\text{Area transversal} = 4,8461 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Velocidad del fluido:**

$$\text{Caudal} = V * A$$

$$\text{velocidad del fluido} = \frac{Q}{A}$$

$$\text{velocidad del fluido} = \frac{0,0864 \text{ m}^3 / \text{seg}}{4,8461 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\text{velocidad del fluido} = 178,28 \text{ m/seg}$$

**Análisis del número de Reynolds:**

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\mu}$$

$$Re = \frac{686,68 \frac{kg}{m^3} \times 178,28 \frac{m}{seg} \times 0,02484m}{1,018 \times 10^{-3} Kg * m \text{ seg}/seg^2}$$

$$Re = 2987176,179 \rightarrow \text{flujo turbulento}$$

**Tabla 8.** Resultados del cálculo del número de Reynolds

| TIPO DE FLUIDO     | DENSIDAD<br>Kg/m <sup>3</sup> | VELOCIDAD | # DE REYNOLDS | TIPO DE FLUJO |
|--------------------|-------------------------------|-----------|---------------|---------------|
| Nafta Estabilizada | 669,58                        | 0,3029    | 16957,06      | TURBULENTO    |
| Jet Fuel           | 676,93                        | 20,3214   | 532828,85     | TURBULENTO    |
| Diésel             | 686,68                        | 178,28    | 2987176,179   | TURBULENTO    |

(Laboratorio de la Refinería de Esmeraldas, 2017)

### Estudio de los MPY a los cupones colocados en los aereoenfriadores

Los cupones colocados en las entradas y salidas de los aereoenfriadores en la Unidad de No Catalítica I, en el proceso de destilación atmosférica, fueron instalados y retirados en las siguientes fechas:

**Fecha de instalación:** 17-Ago-2017      **Fecha de retiro:** 14 -Sept-2017

**Tabla 9.** Datos de los cupones colocados en los intercambiadores de calor

| NO CATALÍTICA I     |                           |                    |                                 |                               |                 |
|---------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| UBICACIÓN DEL CUPÓN | CÓDIGO DEL CUPÓN          | DÍAS DE EXPOSICIÓN | PESO INICIAL DEL CUPÓN (gramos) | PESO FINAL DEL CUPÓN (gramos) |                 |
| 1 ESTE C-E 11       | 9319                      | 28                 | 10.9387                         | 10.9156                       | Área del cupón  |
| 2 OESTE C-E 11      | 9459                      | 28                 | 10.8245                         | 10.7975                       |                 |
| 3 OESTE C-E 11      | 9458                      | 28                 | 10.7613                         | 10.5435                       | Lados del cupón |
| 4 ESTE C-E 11       | 9457                      | 28                 | 10.8177                         | 10.7974                       |                 |
| 5 ESTE C-E 11       | 9456                      | 28                 | 10.6755                         | 10.6549                       |                 |
| 6 OESTE C-E 11      | 9455                      | 28                 | 10.4397                         | 10.4145                       |                 |
| 7 OESTE C-E 11      | 9454                      | 28                 | 10.8477                         | 10.6218                       |                 |
| 8 ESTE C-E 11       | 9453                      | 28                 | 10.9566                         | 10.933                        |                 |
| C-V4                | 9452                      | 28                 | 10.3408                         | 10.3242                       |                 |
| FECHA DE EVALUACIÓN | 14 de Septiembre del 2017 |                    |                                 |                               |                 |

$$A1 = 1.5 \text{ in}^2 * 2$$

$$A2 = 0.031 \text{ in}^2 * 2$$

$$A3 = 0.1875 \text{ in}^2 * 2$$

$$A1 = 3 \text{ pulg}^2$$

$$A2 = 0.062 \text{ pulg}^2$$

$$A3 = 0.375 \text{ pulg}^2$$

### Área del cupón

$$\text{Area total del cupón} = A1 + A2 + A3$$

$$\text{Area total del cupón} = (3 + 0.062 + 0.0375) \text{ pulg}^2$$

$$\text{Area total del cupón} = 3.437 \text{ pulg}^2$$

**Área de los huecos del cupón:**

$$Ah = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$Ah = \pi * \left(\frac{0.28125}{2}\right)^2$$

$$Ah = 0.062 \text{ pulg}^2 * 2 \text{ (como son dos huecos)}$$

$$Ah = 0.124 \text{ pulg}^2$$

$$\text{Area neta del cupón} = (A1 + A2 + A3) - (Ah) \text{ in}^2$$

$$\text{Area neta del cupón} = (3.437) - (0.124) \text{ pulg}^2$$

$$\text{Area neta del cupón} = 3.1889 \text{ pulg}^2$$

**Análisis a los cupones colocados en los aereofriadores**

$$MPY = 2.82 * K \left( \frac{\Delta \text{Peso}}{\text{Area del cupón} * \text{Días de exposición}} \right)$$

$$MPY = 2.82 * K \left( \frac{\Delta \text{Peso}}{3.1889 * \text{Días de exposición}} \right)$$

K= Factor para el acero al carbono (1.006)

$$MPY = 890 \left( \frac{\Delta \text{Peso}}{\text{Días de exposición}} \right)$$

$$MPY = 890 \left( \frac{10.9387 - 10.9156}{28 \text{ días}} \right)$$

$$MPY = 0.73$$

**Tabla 10.** Resultados de los cupones colocados en la entrada y salida de los aereofriadores en el mes de septiembre del 2017

| NO CATALÍTICA I     |     |                       |                    |    |      |             |          |
|---------------------|-----|-----------------------|--------------------|----|------|-------------|----------|
| UBICACIÓN DEL CUPÓN | DEL | CÓDIGO DEL CUPÓN      | DÍAS DE EXPOSICIÓN | DE | MPY  | LIMITE, MPY | PROMEDIO |
| 1 ESTE C-E 11       |     | 9319                  | 28                 |    | 0.73 | 3           | 2.12     |
| 2 OESTE C-E 11      |     | 9459                  | 28                 |    | 0.86 |             |          |
| 3 OESTE C-E 11      |     | 9458                  | 28                 |    | 6.92 |             |          |
| 4 ESTE C-E 11       |     | 9457                  | 28                 |    | 0.65 |             |          |
| 5 ESTE C-E 11       |     | 9456                  | 28                 |    | 0.65 |             |          |
| 6 OESTE C-E 11      |     | 9455                  | 28                 |    | 0.80 |             |          |
| 7 OESTE C-E 11      |     | 9454                  | 28                 |    | 7.18 |             |          |
| 8 ESTE C-E 11       |     | 9453                  | 28                 |    | 0.75 |             |          |
| C-V4                |     | 9452                  | 28                 |    | 0.53 |             |          |
| FECHA DE EVALUACIÓN | DE  | 14 DE SEPTIEMBRE 2017 |                    |    |      |             |          |

**Cupones con altos MPY retirados el 14 de septiembre del 2017 de los intercambiadores de calor**

**Figura 19.** Cupones con alto índice de corrosión

**Análisis a los cupones colocados en los aereoenfriadores**

Los cupones colocados en las entradas y salidas de los aereoenfriadores en la Unidad de No Catalítica I, en el proceso de destilación atmosférica, fueron instalados y retirados en las siguientes fechas:

**Fecha de instalación:** 14-Sept-2017 **Fecha de retiro:** 28 -Sept-2017

En este caso se realizó el retiro de los cupones antes del tipo estimado, en los puntos **3 OESTE C-E 11 y 7 OESTE C-E 11** para verificar si existía una corrosión acelerada, con lo que se pudo comprobar que no existía una corrosión acelerada. Sin embargo, se pudo constatar la presencia de corrosión generalizada.

**Tabla 11.** Datos de los cupones colocados en los intercambiadores de calor

| NO CATALÍTICA I     |                           |                    |                                 |                               |  |
|---------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|
| UBICACIÓN DEL CUPÓN | CÓDIGO DEL CUPÓN          | DÍAS DE EXPOSICIÓN | PESO INICIAL DEL CUPÓN (gramos) | PESO FINAL DEL CUPÓN (gramos) |  |
| 3 OESTE C-E 11      | 9323                      | 14                 | 10.7747                         | 10.6647                       |  |
| 7 OESTE C-E 11      | 9419                      | 14                 | 10.9302                         | 10.8422                       |  |
| FECHA DE EVALUACIÓN | 28 de Septiembre del 2017 |                    |                                 |                               |  |

**Cálculo de MPY**

$$MPY = 890 \left( \frac{\Delta \text{Peso}}{\text{Días de exposición}} \right)$$

$$MPY = 890 \left( \frac{10.7747 - 10.6647}{14 \text{ días}} \right)$$

$$MPY = 6.99$$

**Tabla 12.** Resultados de los cupones colocados en la entrada y salida de los aereoenfriadores en el mes de septiembre del 2017

| NO CATALÍTICA I     |                       |                    |      |             |          |  |
|---------------------|-----------------------|--------------------|------|-------------|----------|--|
| UBICACIÓN DEL CUPÓN | CÓDIGO DEL CUPÓN      | DÍAS DE EXPOSICIÓN | MPY  | LIMITE, MPY | PROMEDIO |  |
| 3 OESTE C-E 11      | 9323                  | 14                 | 6.99 | 3           | 6.49     |  |
| 7 OESTE C-E 11      | 9419                  | 14                 | 5.99 |             |          |  |
| FECHA DE EVALUACIÓN | 28 De Septiembre 2017 |                    |      |             |          |  |

**Cupones con altos MPY retirados el 28 de septiembre del 2017 de los intercambiadores de calor**

**CUPONES CON ALTOS MPY A LA ENTRADA DE CE-11 Y C-E28**



FOTO 1. 3 OESTE C-E11 ENTRADA, MPY = 6.99



FOTO 2. 7 OESTE C-E11 ENTRADA, MPY = 5.59

**Figura 20.** Cupones con alto índice de corrosión

En base a los resultados obtenidos, mediante el análisis de laboratorio, se recomendó la evaluación de los puntos más críticos, con el fin de determinar el grado de corrosión durante los primeros días de exposición en el sistema. Sin embargo, cabe resaltar que a tiempos cortos de exposición normalmente los cupones nos brindan valores más altos, lo que lleva a concluir que la velocidad de corrosión en estos puntos de monitoreo tiene una tendencia a disminuir.

### Análisis a los cupones colocados en los aereofriadores

Los cupones colocados en las entradas y salidas de los aereofriadores en la Unidad de No Catalítica I, en el proceso de destilación atmosférica, fueron instalados y retirados en las siguientes fechas:

**Fecha de instalación:** 14-Sept-2017 **Fecha de retiro:** 12-Oct-2017

**Tabla 13.** Datos de los cupones colocados en los intercambiadores de calor

| NO CATALÍTICA I     |                  |                    |                                 |                               |
|---------------------|------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| UBICACIÓN DEL CUPÓN | CÓDIGO DEL CUPÓN | DÍAS DE EXPOSICIÓN | PESO INICIAL DEL CUPÓN (gramos) | PESO FINAL DEL CUPÓN (gramos) |
| 1 ESTE C-E 11       | 9356             | 28                 | 10.7512                         | 10.7353                       |
| 2 OESTE C-E 11      | 9357             | 28                 | 10.9009                         | 10.9033                       |
| 3 OESTE C-E 11      | 9328             | 14                 | 10.3642                         | 10.1913                       |
| 4 ESTE C-E 11       | 9359             | 28                 | 10.7562                         | 10.7385                       |
| 5 ESTE C-E 11       | 9369             | 28                 | 10.5463                         | 10.5224                       |
| 6 OESTE C-E 11      | 9368             | 28                 | 10.4604                         | 10.4466                       |
| 7 OESTE C-E 11      | 9324             | 14                 | 11.1120                         | 10.9891                       |
| 8 ESTE C-E 11       | 9417             | 28                 | 10.8878                         | 10.8742                       |
| C-V4                | 9355             | 28                 | 11.0761                         | 11.0596                       |
| FECHA DE EVALUACIÓN | 12 Octubre 2017  |                    |                                 |                               |

### CÁLCULO DE MPY

$$MPY = 890 \left( \frac{\Delta \text{Peso}}{\text{Días de exposición}} \right)$$

$$MPY = 890 \left( \frac{10.7512 - 10.7353}{28 \text{ días}} \right)$$

$$MPY = 0.51$$

**Tabla 14.** Resultados de los cupones colocados en la entrada y salida de los aereofriadores en el mes de septiembre del 2017

| NO CATALÍTICA I     |                  |                  |     |                    |    |      |             |          |
|---------------------|------------------|------------------|-----|--------------------|----|------|-------------|----------|
| UBICACIÓN DEL CUPÓN | DEL              | CÓDIGO DEL CUPÓN | DEL | DÍAS DE EXPOSICIÓN | DE | MPY  | LIMITE, MPY | PROMEDIO |
| 1 ESTE C-E 11       |                  | 9356             |     | 28                 |    | 0.51 | 3           | 2.11     |
| 2 OESTE C-E 11      |                  | 9357             |     | 28                 |    | 0.56 |             |          |
| 3 OESTE C-E 11      |                  | 9328             |     | 14                 |    | 7.43 |             |          |
| 4 ESTE C-E 11       |                  | 9359             |     | 28                 |    | 0.56 |             |          |
| 5 ESTE C-E 11       |                  | 9369             |     | 28                 |    | 0.76 |             |          |
| 6 OESTE C-E 11      |                  | 9368             |     | 28                 |    | 0.44 |             |          |
| 7 OESTE C-E 11      |                  | 9324             |     | 14                 |    | 7.81 |             |          |
| 8 ESTE C-E 11       |                  | 9417             |     | 28                 |    | 0.43 |             |          |
| C-V4                |                  | 9355             |     | 28                 |    | 0.52 |             |          |
| FECHA DE EVALUACIÓN | 12-OCTUBRE- 2017 |                  |     |                    |    |      |             |          |

**Cupones con altos MPY retirados el 12 de octubre del 2017 de los intercambiadores de calor**

CUPONES CON ALTOS MPY A LA ENTRADA DE CE-11 Y C-E28



FOTO 1. 3 OESTE C-E11 ENTRADA, MPY = 7.43



FOTO 2. 7 OESTE C-E11 ENTRADA, MPY = 7.81



FOTO 3. 1 OESTE C-E28 ENTRADA NORTE, MPY = 8.34

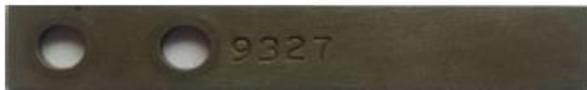


FOTO 4. 4 OESTE C-E28 ENTRADA NORTE, MPY = 4.13



FOTO 5. 5 OESTE C-E28 ENTRADA SUR, MPY = 7.25

Figura 21. Cupones con alto índice de corrosión

Tabla 15. Tendencia de corrosión de los cupones con mayor índice de corrosión, colocados en los ereoenfriadores desde el mes de febrero hasta el mes de octubre del 2017

| UBICACIÓN            | FEBRERO (mpy) | MARZO (mpy) | MAYO (mpy) | JUNIO (mpy) | JULIO (mpy) | AGOSTO (mpy) | SEPT (mpy) | SEPT (mpy) | OCT (mpy) |
|----------------------|---------------|-------------|------------|-------------|-------------|--------------|------------|------------|-----------|
| 3 OESTE CE11 entrada | 3.42          | 3.77        | 3.42       | 4.03        | 3.46        | 4.51         | 6.92       | 6.99       | 7.43      |
| 7 OESTE CE11 entrada | 3.13          | 3.29        | 2.98       | 3.79        | 2.59        | 4.99         | 7.18       | 5.59       | 7.81      |
| 1 CE28 ENTRADA NORTE | 3.71          | 3.47        | 3.11       | 4.57        | 3.72        | 5.03         | 6.45       | 6.69       | 6.34      |
| 4 CE28 ENTRADA NORTE | 4.09          | 3.37        | 2.86       | 4.51        | 3.46        | 4.87         | 6.63       | 6.54       | 4.13      |
| 5 CE28 ENTRADA SUR   | 1.57          | 1.53        | 2.93       | 4.06        | 3.16        | 5.43         | 8.10       | 8.06       | 7.25      |

En la siguiente gráfica se puede observar como en el mes de septiembre y octubre existe un incremento de corrosión, el mismo que fue analizado, y se tomaron las acciones pertinentes para controlar la corrosión.

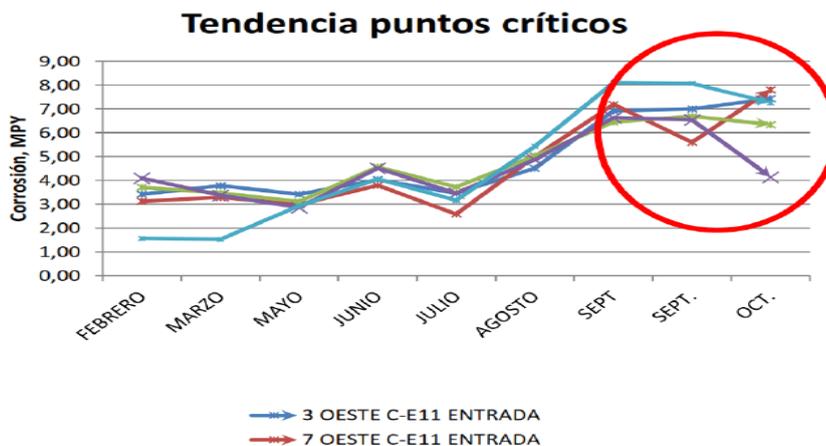


Figura 22. Gráfica de tendencia de los cupones con mayor índice de corrosión colocados en los aereoenfriadores desde febrero hasta octubre del 2017

## Novedades y hallazgos encontrados

- Los puntos críticos dentro del monitoreo realizado con los cupones de corrosión, colocados en la entrada y salida de los intercambiadores de calor los podemos observar en la figura 23.
- Los cupones con valores altos de mpy, colocados en las entradas y salidas de los aereoenfriadores fueron valorados a los 14 días.

La concentración de ácidos fuertes, débiles y orgánicos se controla con un manejo adecuado de amina neutralizante para controlar el pH del flujo de cima

## CONCLUSIONES

Con el cambio del demulsificante EC2630A a emulsutron 8677; en la segunda etapa de desalado, se logró disminuir el contenido de sal y porcentaje de BSW que va a ser procesado en la torre de destilación atmosférica; dando resultados positivos en los análisis de cupones; ya que se minimizó el índice de mpy y por ende la tasa de corrosión.

Se determinó que, en los intercambiadores de calor, el flujo que circula por los tubos, es turbulento; lo que ocasiona una corrosión bajo depósitos y un barrido de la amina filmica, la misma que ayuda a la protección de la tubería. Las causas por las cuales ocurre el fenómeno de la corrosión en los intercambiadores de calor es la presencia del HCl ya que este en estado líquido es altamente corrosivo; por esta razón se inyecta el hidróxido de sodio; para disminuir el nivel de corrosión ocasionado por el HCl, ya que este es altamente corrosivo cuando se encuentra en estado líquido.

En los aereoenfriadores con mayor velocidad de corrosión el monitoreo se lo realiza cada 14 días, y se incrementa la inyección de químicos hasta 5 ppm, este incremento se lo realiza en base a ensayos de pruebas de botella, realizados por la empresa NALCO Champion. Los cupones de corrosión son un método práctico y eficiente utilizado en la industria hidrocarburífera; upstream, midstream y downstream, para realizar el monitoreo de la velocidad de corrosión de equipos metálicos. Los equipos de los intercambiadores de calor trabajan en condiciones severas, como por ejemplo flujos turbulentos como se indica en la tabla 8; "Resultados del cálculo del número de Reynolds"; por lo que el cuidado y el monitoreo deben ser permanentes y eficientes. Se ha podido concluir que cuando se retiran los cupones y estos están doblados, esto no es un índice de una corrosión galvánica, sino más bien es un indicativo de que los cupones han sido mal instalados, es decir han sido colocados con presión al momento de introducirlos en la línea de flujo circulante.

## REFERENCIAS

- Ahmad, Z. (2000). *Principles of corrosion engineering and corrosion control*. Betterworh-Heuneman, London, pp 10, 11, 15, 16, 18, 25.
- Alvarado, J. (2007). *Selección Electroquímica de Compuestos Orgánicos como Inhibidores de Corrosión en Medio Ácido*. Tesis de Ingeniería de Ciencias de los Materiales. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca de Soto-México.
- Ballesteros, L. Cahueña, L. (2012). *Análisis del proceso de corrosión producida en la junta de soldadura de tubería API 5L X70, por el transporte de crudo*. (Tesis previa a la obtención del grado de Master en sistemas de transporte de petróleo y derivados. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Davis, J. (2000). *Corrosion Understanding the basic*. 2<sup>nd</sup> edition, ASM International, Ohio, United States of America, pp 6, 15, 45.
- Gonzales, F. (1989). *Control de Corrosión: Estudio y medida por técnicas electroquímicas*. GRAFIPREM, S.A, Madrid, España.
- Miño E., (2011), *Diseño del Sistema de Protección Catódica por corriente impresa en Líneas de Pipetrack en la Refinería de La Libertad (RLL) contra la Corrosión*, Quito, Institucional.
- NACE Standard RP0285: *Corrosion Control of Underground Storage Tank Systems by Cathodic Protection*, NACE International, Houston, 2007.
- NACE Standard SP0169-2007: *Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems*, NACE International, Houston, 2007.
- NACE, Estándar RP0775, (2005). *Preparación, Instalación, Análisis e Interpretación de los cupones de Corrosión*. ISBN1-57590-086-6, Houston, United States of America, pp 5, 6, 8, 9, 10, 15
- Ortega, J. (2000). *Corrosión Industrial*. Vanguard Grafic, S.A, Barcelona, España, pp 15, 20, 32, 33, 45.
- Otero, H. (2001). *Corrosión y Degradación de Materiales*. Editorial Síntesis, México, pp 17.
- Peabody, A. W.: *Control of Pipeline Corrosion*, National Association of Corrosion Engineers, Houston, TX (1967).
- Ramos, F. M.Sc. (2010). *Curso de Control, de la Corrosión en Operaciones de Producción de Petróleo*. UTE.
- Sánchez, F. (1995). *Control de Corrosión. Petroproducción*, Quito, Ecuador, pp 18, 19.
- Vinuesa, C. (2007). *Estudio de Análisis para control de corrosión en el Oleoducto Secundario Villano-Baeza de AOE. Tesis Ingeniería en Petróleos. Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito-Ecuador*.