

# **CORROSION DEL ACERO AL CARBONO (A-36) EN COMPAÑÍA AZUCARERA VALDEZ S.A.**

**Lindao Chalén Pablo Ing.**

Ingeniero de Producción

Guerrero Valenzuela #913 entre San Martín y Argentina Guayaquil, Guayas, Ecuador, Email(s): [plindao@valdez.com.ec](mailto:plindao@valdez.com.ec);

## **INTRODUCCION**

Sin lugar a dudas, el acero es el material de mayor uso industrial de todos los existentes. La gran variedad de aceros existentes hace inviable un estudio sobre su corrosividad, debido al gran esfuerzo material, económico y humano necesario para realizar dicho estudio. Por este motivo se ha decidido realizar un estudio de corrosividad sobre el acero al carbono dado que es el componente base de los aceros de uso industrial, y es un exponente del comportamiento a la corrosión de la mayoría de los aceros de construcción.

### **1. OBJETIVOS GENERALES**

Estudiar el efecto de los factores meteorológicos que inciden en los procesos de corrosión en la atmósfera.

- § Analizar los procesos químicos que juegan algún papel en los procesos de deterioro de los materiales en el ambiente de interés.
- § Profundizar en el estudio de los mecanismos de interacción entre los materiales y la atmósfera.
- § Conocer en detalle los procedimientos y formas de evaluación del grado de ataque experimentado por los materiales en la atmósfera y la determinación de la agresividad

de ésta.

- § Estudiar en detalle las principales formas de combate y prevención de los fenómenos de corrosión atmosférica de los principales materiales de ingeniería

### **2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- § Recolectar los datos atmosféricos y de concentración de SO<sub>2</sub> ya existentes para caracterizar la zona donde se ubica la estación de monitoreo y estudiar la influencia de los parámetros ambientales sobre la corrosión.
- § Desarrollo del procedimiento para determinar la velocidad de corrosión en diversas estaciones de ensayo.
- § Diseñar las estaciones de monitoreo a la intemperie y bajo techo para estudiar el comportamiento de la velocidad de corrosión en las probetas tomando en cuenta estas dos variables.
- § Desarrollar los procedimientos para determinar la concentración de dióxido de azufre y cloruro en el ambiente.
- § A partir de los datos obtenidos preparar un procedimiento para crear un mapa de corrosividad de la zona de influencia del Ingenio Valdez de

Ciudad de la Milagro.

### 3 METODOLOGÍA

#### 31 ESTACIÓN DE CORROSIÓN

Se construyó una estación de corrosión con capacidad para diez probetas las cuales se encuentran ancladas con pernos de teflón para que no interfieran en los resultados del estudio.

La estación estuvo ubicada en el techo del Laboratorio de CONTROL DE CALIDAD del INGENIO VALDEZ cuya ubicación geográfica es al occidente del Ecuador continental: Latitud Sur: 2°09'S Longitud Oeste: 79°3'W, el Laboratorio se encuentra a 100 mt. de las Torres de Sulfitación y del Trapiche que es uno de los equipos de molienda de caña, junto a la Planta Eléctrica y frente al Taller Mecánico y a unos 300 metros de las chimeneas de los 5 calderas de la Planta y de la caldera # 12 de Ecoelectric.

Los análisis de contaminantes fueron realizados cada 30 días empezando el 03 de Mayo del 2010 y culminando con la última medición y recogida de las probetas para su pesaje el 03 de Septiembre del 2010, en total se realizaron 3 mediciones de Cl<sup>-</sup> y 3 de SO<sub>2</sub>.

#### 32 ACCESORIOS DE LA ESTACIÓN DE CORROSIÓN

##### Captadores de SO<sub>2</sub>

Para la colocación de los captadores de SO<sub>2</sub> se construyó inicialmente una caseta de cartón, posteriormente se cambió a una de madera con ventilación a los cuatro lados de la misma. En su base se situó un trozo de espuma al

que se le practicó un orificio de 1" diámetro igual que el del tubo de plástico (1" x 8") al cual va enrollada la tela con la pasta captadora de dicho contaminante. El anclaje era tal que hace falta hacer un poco de presión para que dicho tubo quede bien encajado y no se caiga por efecto del viento, este captador va dentro de la caseta de madera, como se lo puede ver en la figura 1:

**FIGURA 1**



Fuente: Proyecto Corrosión En CAVSA

#### 3.3 CAPTADORES DE CLORUROS.

Para el anclaje del mismo se colocó un aro metálico en el cual cabe la botella que contiene la disolución captadora de cloruros la misma se mantuvo soportada por el aro metálico, como se ve en la figura 2.

**FIGURA 2**



Fuente: Proyecto Corrosión En CAVSA

### 3.4 ESTACIÓN METEOROLÓGICA.

Para nuestro estudio se utilizaron los datos meteorológicos proporcionados por la Estación Meteorológica INAMHI-CHIRIJO ubicada en el Ingenio Valdez a 500 metros de distancia de la estación de corrosión de acero al carbono.

Latitud Sur: 02°09'

Latitud Oeste: 79°36'

Altitud mínima: 3 msnm

Altitud máxima: 14 msnm

## 4 RESULTADOS OBTENIDOS.

En las tablas 1 y 2 se muestran los índices de corrosividad obtenidos para las distintas estaciones y los contaminantes presentes y el tiempo e humectación obtenida en las condiciones de los meses de Junio, Julio, Agosto.

**TABLA 1**

Muestras (días)	Velocidad de corrosión (gr/mm <sup>2</sup> * día)	Velocidad de corrosión (gr./m <sup>2</sup> * año)	Categoría de corrosividad
30	0,00000443857	1620,08	C5
60	0,00000185242	676,13	C5
90	0,00000157024	573,13	C4

Índices de corrosividad obtenidos para la estación de corrosión en el Ingenio Valdez.

**TABLA 2**

Mes	SO <sub>2</sub> (mg/l)	Cloruros (mg/l)	Tiempo de Humectación (horas)
Junio	7,32	1,42	672
Julio	13,72	0,71	744
Agosto	5,67	1,06	600

Contaminantes y tiempos de humectación para la estación de corrosión de Ingenio Valdez

## RESULTADOS OBTENIDOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X Y POR SEM

### DIFRACCIÓN DE RAYOS X.

El análisis por difracción de rayos se realizó con las cuartas probetas correspondientes a la cuarta y sexta recogida (primer y segundo año respectivamente). El análisis de los difractogramas obtenidos se hizo a través de un software específico, equipado con las bases de datos más recientes. En las figuras 3, 4 y 5 se presentan varios de los difractogramas obtenidos correspondientes a tres de las estaciones estudiadas. En la tabla 3 se muestran los productos obtenidos en las estaciones estudiadas:

**FIGURA 3**

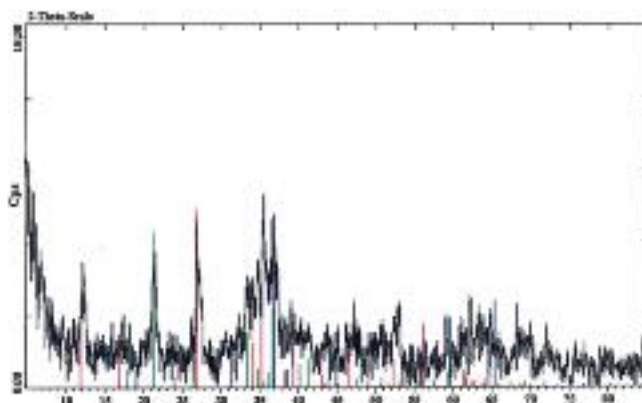


Figura: Difractograma correspondiente a una probeta de acero al carbono de la estación del Ingenio Valdez, Guayaquil de la 1era Probeta retirada.

PRODUCTOS DE CORROSIÓN DEL  
ACERO AL CARBONO.

**FIGURA 4**

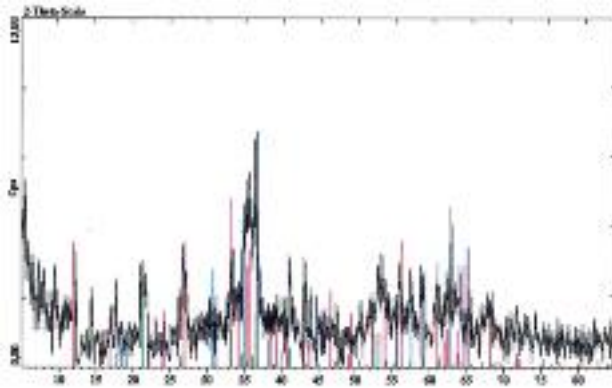


Figura4: Difractograma correspondiente a una probeta de acero al carbono de la estación del Ingenio Valdez, Guayaquil, de la 2ª probeta retirada.

**FIGURA 5**

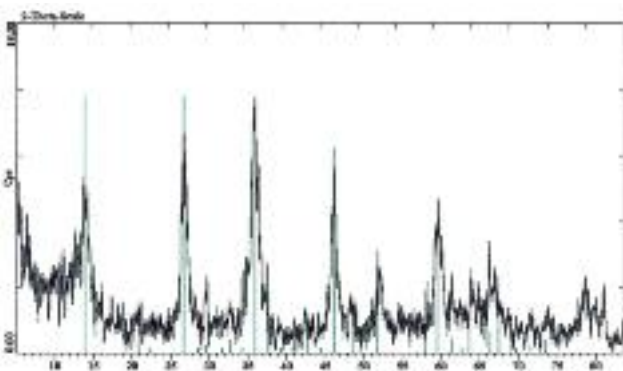


Figura5: Difractograma correspondiente a una probeta de acero al carbono de la estación del Ingenio Valdez, Guayaquil, de la 2ª probeta retirada

**TABLA 3**

Nº días	Producto	Fórmula
30	Lepidocrocite Akagaenite-M Magnetite Goethite	FeO(OH) FeO(OH) FeFe2O 4 FeO(OH)
60	Akagaenite-M, Syn Lepidocrocite, Syn Akagaenite-M Iron Oxide Phosphate	FeO(OH) FeO(OH) FeO(OH) ~Fe2(PO4 )O
90	Lepidocrocite Akagaenite-M, Syn Magnetite Goethite Hidróxido de Fe (III) Hematite	FeO(OH) FeO(OH) FeFe2O 4 Fe(OH) 3 Fe 2O 3

**ANÁLISIS DE LOS PRODUCTOS  
DE CORROSIÓN.**

El estudio de los productos de corrosión formados sobre la probeta de acero al carbono reviste un gran interés debido a que su estudio nos puede desvelar el mecanismo de transformación de los mismos y la valoración de su efecto protector.

La velocidad de corrosión observada en la probeta de acero al carbono es elevada en los instantes iniciales de la exposición, pero a medida que pasa el tiempo los valores de velocidad de corrosión se vuelven estables. Esto puede deberse a que la capa de óxido que se forma sobre la probeta se vuelve más compacta con el tiempo, la cual estará en función con el tipo de ambiente y nivel de contaminación. De ahí el interés por conocer la naturaleza y

tipo de producto de corrosión formado.

La presencia de contaminantes afecta a la distribución de los productos de corrosión. Generalmente, en el acero al carbono el carácter protector de los productos de corrosión difiere considerablemente del observado en otros metales, ya que se requiere mucho más tiempo para que aparezca este efecto protector y cuando lo hace es en menor proporción. Esta diferencia con los metales no féreos se debe a que el mecanismo de ataque es diferente.

De los resultados obtenidos a partir del análisis por DRX, se observa que los productos de corrosión mayoritarios son la *lepidocrocita*,  $\sim$ -FeO OH, *goethita*, FeOOH, *magnetita*,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , *hematita*,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y *akagaenita*,  $\text{FeOOH}$ . Se ha observado la existencia de productos de corrosión no descritos antes en la bibliografía sobre corrosión atmosférica, el greenrust,  $\text{Fe}_3, 6\text{Fe} 0,9(\text{O},\text{OH},\text{SO}_4)_9$  y el iron oxide phosphate,  $-\text{Fe}_2(\text{PO}_4)\text{O}$ .

## RESULTADOS OBTENIDOS EN SEM.

La velocidad de corrosión de los aceros al carbono es inicial en los instantes iniciales debido, entre otras cosas, a que los productos de corrosión formados sobre ellas no tiene buenas propiedades protectoras. Tal y como ya se ha indicado, los productos de corrosión consisten, mayoritariamente, en  $\sim$ -FeOOH (lepidocrocita) y  $\sim$ -FeOOH (goethita). Si examinamos dichos compuestos al microscopio nos encontraremos con que la lepidocrocita presenta una forma laminar, mientras

que la goethita presenta una forma como de motas de algodón. Debido a la ya mencionada transformación lepidocrocita-goethita, en el 2º año de exposición nos encontraremos las placas de acero al carbono cubiertas por goethita.

En la figura 6 se puede apreciar que la distribución de la capa de productos de corrosión es uniforme sobre la superficie de la probeta, y en la figura 7 se puede apreciar la estructura de los productos de corrosión, muy similares a la forma que presenta la goethita. En la figura 8 se puede apreciar claramente la estructura anteriormente descrita para la goethita, donde se observa la formación de masa esponjosa, similar a motas de algodón. Esta imagen se corresponde con la probeta correspondiente a un año de exposición en la estación nº 13.

**FIGURA 6**

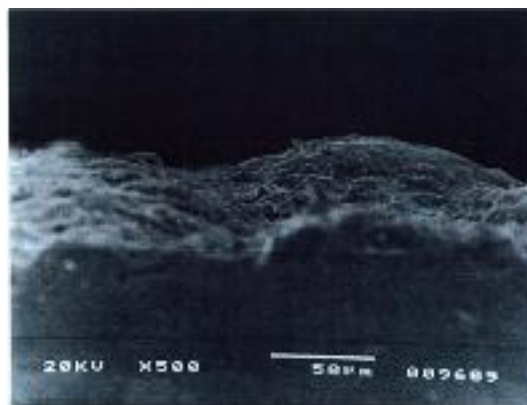


Figura 6: Imagen SEM de los productos de corrosión de una probeta de acero al carbono expuesta durante un mes en la probeta nº 1.

**FIGURA 7**



Figura 7: Imagen SEM de los productos de corrosión de una probeta de acero al carbono expuesta durante dos meses en la probeta n° 2.

**FIGURA 8**

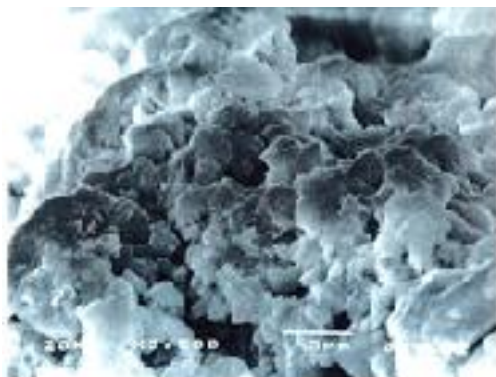


Figura 8: Imagen SEM de la goethita donde se puede apreciar la estructura tipo “mota de algodón”, en la 2da probeta.

En las figuras 9, 10 y 11 se puede apreciar el distinto tipo de ataque que sufren las probetas. Así, por ejemplo, en la figura 9 correspondiente a una probeta expuesta en la estación n° 25 se observa una distribución más uniforme de la capa de productos de corrosión, presentando ésta un carácter esponjoso debido a la presencia de cloruros. Sin embargo, en las figuras 10 y 11, se puede apreciar un ataque menos uniforme y más agresivo, ya que el aspecto de la capa de productos

de corrosión es más abrupto que la correspondiente a la anterior figura. La figura 24 se corresponde con una probeta expuesta en la estación n° 15 con, una categoría de corrosividad C4. En la inspección visual efectuada sobre esta probeta se podían observar trozos de hierro sin corroer en medio de la capa de productos de corrosión.

**FIGURA 9**

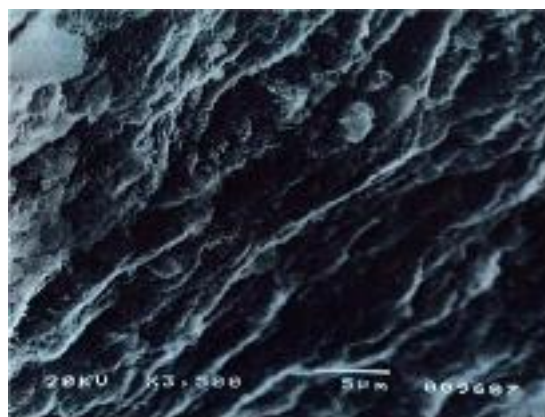


Figura 9: Imagen SEM de la capa de productos de corrosión donde se puede apreciar una distribución uniforme y con aspecto esponjoso.

**FIGURA 10**

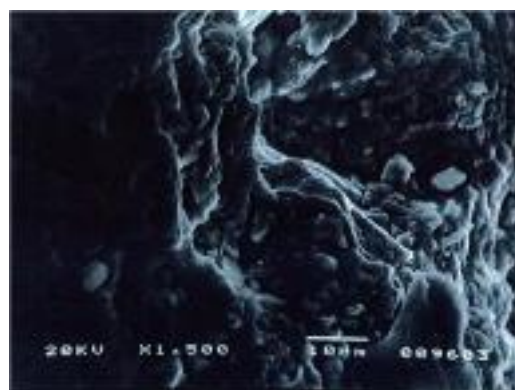


Figura 10: Imagen SEM de la capa de productos de corrosión donde se puede apreciar una distribución abrupta, correspondientes a una estación con categoría C4.

**FIGURA 11**



Figura 11: Imagen SEM de la capa de productos de corrosión donde se puede apreciar un ataque menos uniforme y más agresivo, correspondiente a una estación con categoría de corrosividad C4.

## 5 CONCLUSIONES

1. Los productos de corrosión encontrados en los difractogramas, revelan que no existe influencia de cloruros y anhídrido sulfuroso sobre las probetas de acero al carbono.
2. De acuerdo a la clasificación del grado de corrosión del Ingenio Valdez con respecto al acero al carbono, se podrían dar alternativas para proteger las instalaciones construidas de dicho material en un estudio posterior.
3. La Humedad relativa en la estación de monitoreo (INAMHI) varía en un intervalo de 72 % a 90% durante los 3 meses de exposición, lo cual es favorable

para la corrosión de las placas, y para este año 2010 la humedad promedio anual será más o menos de un 82%, dichos valores corresponde a la categoría IV que es la más alta según la Norma ISO 9223.

4. La presencia de fosfato en los análisis de difracción se debe a que durante el proceso de elaboración de azúcar y cuando hacen falta fosfatos al jugo de caña se utiliza Ácido Fosfórico.

## 6 RECOMENDACIONES

1. Principalmente darle seguimiento al proyecto, lo que implica proporcionar mantenimiento a las estaciones (limpieza, pintura, vigilancia periódica).
2. Análisis de datos, así como para el análisis de los contaminantes  $\text{SO}_2$  y  $\text{Cl}_2$ .
3. Realizar mensualmente la solicitud de los datos meteorológicos al INAMHI para analizar los valores de acuerdo a lo establecido.
4. Ir documentando y analizando los datos obtenidos del laboratorio y meteorológicos conforme se van cumpliendo los periodos de recolección
5. Hacer uso de los formatos establecidos para el reporte de datos de la concentración de los contaminantes, datos meteorológicos y corrosividad y sus categorías de acuerdo a la Norma ISO

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

- 1.- Enrique Otero Huerta: Corrosión y Degradación de Materiales de 1997
2. - Calvert, J.G, Stockwell, W.R.; "Mechanisms and rates of the gas-phase Oxidation of sulfur dioxide and nitrogen oxides in the atmosphere" en SO<sub>2</sub>, NO, and NO<sub>2</sub> Oxidation Mechanism: Atmospheric Considerations. (Ed. J.C. Calvert), Butterworth, Wobum, MA, 1984
3. - Baton, K.; Protection against atmospheric corrosion, Wiley and Sons, Londres. 1976.
4. - Gregor, H.D., Bull, K.R.; "Mapping" en Draft manual on methodologies and Criteria for mapping critical levels and loads in geographical areas where they are Exceed, UN/ECE, Bad Harzburg, 1990.
- 5.- Programa de Pos título de Control y prevención de la Corrosión 1998 USACH 6.- Corrosión.