

Designing a computerized mathematical model corrosion costs

**Matilde E. de Romero, Bertila Aponte¹, Silagdy Arias,
Francisca F. de García¹, Oladis T. de Rincón y Oswaldo Larreal²**

Centro de Estudio de Corrosión – ¹Departamento de Gerencia/Facultad de Ingeniería,

²Departamento de Matemática-Facultad de Ciencias. Universidad del Zulia.

*Tlf/Fax 58-261-7598175, E-mail: mati1956@cantv.net, bertyaponte@cantv.net
silagdy@uru.edu.ve, oladis@luz.edu.ve y olareal@luz.edu.ve*

Abstract

Recording and analyzing the costs associated with corrosion control in Venezuelan Industry, indeed in most industries, is not considered as a factor associated with an individual or independent heading under Corrosion. They are simply listed or included under general maintenance operations, which conceals the costs really incurred by corrosion. The need therefore arises for segregating these costs so as to be able to determine not only how much industry invests with respect to this problem but also how it impacts its budgets and the losses sustained as a function of the Gross Domestic Product (GDP). These costs were determined by first developing a phase in which a series of surveys and interviews were carried out among the industries that are most important for the Venezuelan economy, considering two of the main categories in the Industrial Sector: Production-Manufacture and Services. Secondly, a computerized mathematical model was developed from the series of variables produced by these instruments. The model includes all the essential variables associated with corrosion problems and control methods. The application of this model will provide knowledge of the costs associated with the problem of corrosion in Venezuela at large as well as in the industries in which it is applied.

Key words: Corrosion costs, preventive maintenance, corrective maintenance, computerized mathematical model.

Diseño de un modelo matemático computarizado de costos por corrosión

Resumen

El registro y análisis de los costos asociados con operaciones de control de la corrosión en la Industria Venezolana y en la mayoría de las industrias, no se toma como un factor asociado a un rubro individual o independiente de Corrosión; simplemente éstos se relacionan o se incluyen a las operaciones de mantenimiento en general; lo cual enmascara los costos verdaderos por corrosión. Por lo tanto, surge la necesidad de disgregar estos costos con la finalidad de determinar no solo cuanto invierte la industria en lo que respecta a este problema; sino cuál es el impacto en sus presupuestos y las pérdidas en sus operaciones ocasionadas por este fenómeno. Para ello, lo primero que se tuvo que realizar fue el diseño de dos instrumentos de medición (entrevista y encuesta) aplicándolas a las industrias más importantes en la economía del país, abarcando dos categorías principales del sector industrial, a saber: Producción-Manufactura y Servicios. Con estos instrumentos de medición se obtuvieron resultados valiosos, tanto desde el punto de vista de corrosión como de costos, que permitieron posteriormente desarrollar un modelo matemático computarizado, donde se consideraron todas las variables esenciales asociadas a los problemas y métodos de control de la corrosión. La aplicación de este modelo permite conocer los costos

ocasionados por la corrosión en cualquier industria y su impacto en la economía del país a través de la variable económica Producto Interno Bruto (PIB).

Palabras clave: Costos por corrosión, mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo y modelo matemático computarizado.

Introducción

En todo sistema de costos existen dos objetivos generales, uno es proporcionar información financiera a una entidad económica y el otro es proporcionar información financiera a la gerencia y a los distintos departamentos para planear y controlar las actividades de la organización [1]; no obstante, en gran medida estos costos están solapados y su identificación amerita un gran esfuerzo sobre todo disciplina en la alimentación constante de los sistemas de costos. Tal es el caso, de los costos por corrosión; los cuales en la mayoría de las empresas son incluidos indistintamente como labores de mantenimiento preventivo o correctivo sin disgregarlos; lo cual no permite que las gestiones dirigidas a la optimización de recursos y minimización de costos se analicen adecuadamente desde su origen.

A nivel industrial se conoce a la corrosión como un factor determinante en la confiabilidad y reducción de la vida útil de los equipos metálicos usados en la producción y transformación de un producto, donde el problema de la corrosión es ignorado o es aceptado como disminución normal en la vida útil de un equipo. No obstante, esto se traduce en costos para la empresa que pudieran ser minimizados, conociendo las estrategias a emplear en materia de métodos de control asociados con este fenómeno.

Recientemente, en Julio 2002, [2] la "Federal Highway Administration" de los Estados Unidos reportó los resultados de un estudio sobre los costos directos de la corrosión metálica en el sector industrial de los Estados Unidos (Infraestructuras, Transporte, Producción y Manufactura). Este estudio arrojó como resultado que los costos directos por corrosión eran del orden de 276 millones de dólares; lo cual representa el 3.1% del Producto Interno Bruto (PIB).

En Venezuela, los estudios realizados en 1985 en la industria petrolera mostraron costos directos por corrosión, del orden de 925 MMBs.; lo cual representó un 20% del presupuesto de mantenimiento [3]. Posteriormente, este estudio

fue proyectado a 1991, permitiendo estimar dichos costos en la suma de 6.500 MMBs. para toda la Industria Petrolera y Petroquímica Nacional (IPPEN) [4]. Esta proyección además de tener más de 10 años de haberse realizado, cubrió solamente el sector industrial de producción en la actividad Petrolera y Petroquímica; aunque es la más importante del país, no permitió estimar el impacto en relación al Producto Interno Bruto.

Actualmente, las industrias deben procurar el ahorro de energía, la conservación de los recursos naturales y a la reducción en los costos de sus procesos; por tal razón, el Centro de Estudios de Corrosión de La Universidad del Zulia y la Asociación Venezolana de Corrosión junto con la Asociación Internacional de Corrosión en Venezuela y con el financiamiento del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Humanístico, decidieron realizar un estudio sobre "*Evaluación económica de las pérdidas por corrosión en el mantenimiento preventivo y correctivo de equipos e instalaciones en Venezuela*". El objetivo que se persigue con este estudio es obtener los costos por corrosión y medir su impacto en la economía del país, mostrando con este artículo los primeros resultados relacionados con el diseño de dos instrumentos de medición (encuesta y entrevista), los resultados obtenidos de su aplicación y la generación de un modelo matemático computarizado. Facilitando a la gerencia el cálculo de los costos por corrosión y un patrón de referencia para la elaboración del presupuesto en la partida de mantenimiento.

Descripción Metodológica

Para obtener resultados confiables y representativos, se pensó en el desarrollo de un modelo general de costos por corrosión. Para ello, se desarrollaron dos instrumentos de medición con suficiente grado de aplicabilidad, luego se seleccionaron varias empresas representativas del sector industrial y después se aplicaron los instrumentos con la finalidad de conocer en detalle la estructura de costos por corrosión.

Desarrollo de Encuestas y Entrevistas: La elaboración de estos instrumentos de medición se llevó a cabo mediante una revisión y análisis de bibliografía [5-12] y experiencia de expertos en el área del Centro de Estudios de Corrosión, con el propósito de determinar las variables asociadas. Una vez establecidos todos los aspectos a considerar, ambos instrumentos fueron sometidos a validación por un grupo de expertos de la industria.

La entrevista constó de catorce preguntas relacionadas con mantenimiento [8], costos y corrosión (Tabla 1); mientras que la encuesta fue estructurada por un conjunto de siete secciones (Tabla 2), para cubrir más en detalle las mismas variables.

Selección de las Industrias: Utilizado la técnica de muestreo intencional que consiste en la elección de una o varias características predefinidas del fenómeno a estudiar, se consideraron las siguientes características en el sector industrial nacional: participación en la determinación del producto interno bruto, grandes y al-

tamente organizada, fluidos que manejan en el proceso productivo, el entorno agresivo del ambiente, la complejidad de sus procesos, nivel de asignación de recursos en la partida de mantenimiento. De esta forma se obtuvieron las industrias más representativas desde del punto de vista de corrosión, enfocándose a dos categorías de la actividad industrial: *Producción-Manufactura*, estratificada en los siguientes factores: *Explotación y Producción de Petróleo y Gas, Refinación de Petróleo, Química y Petroquímica*, Alimentos (seleccionando la Industria Cervecera), Siderúrgica y *Papelera, y Servicios* representada por la industria Eléctrica.

Aplicación de la entrevista y encuesta:

Los instrumentos fueron aplicados a gerentes, superintendentes y personal relacionado con los departamentos de mantenimiento y corrosión para obtener una información confiable. El proceso de recolección de datos se llevó a cabo a través de todo el territorio nacional como puede observarse en la Figura 1.

Tabla 1
Entrevista Aplicada

1.	¿Maneja usted información a cerca de los costos asociados al mantenimiento de los equipos e instalaciones?
2.	¿Cuál es el sistema empleado en su empresa para el registro de costos?
3.	¿Cómo está estructurada la distribución de los costos: actividad, proceso, función, departamento, centro de costos y órdenes de trabajo?
4.	¿En qué partida se registran los costos asociados a los problemas de corrosión y/o mantenimiento?
5.	El personal que labora en los departamentos de corrosión y/o mantenimiento es: Contratado o propio de la empresa.
6.	¿Se identifican los costos originados por los métodos de control para la corrosión empleados en su empresa?
7.	¿A través del sistema empleado para registro de costos por su empresa se pueden determinar los costos asociados a parada de planta?
8.	¿A través del sistema empleado para registro de costos por su empresa se pueden determinar los costos asociados a reposición de equipos?
9.	¿La empresa posee un historial específico para conocer la frecuencia con la cual se presentaron las fallas de equipos y proceso, por problemas de corrosión?
10.	¿Con qué frecuencia ocurren accidentes relacionados con los problemas de corrosión?
11.	¿Son cuantificados los costos debidos a accidentes causados por problemas de corrosión y a su vez los mismos son comparados con los costos originados en el caso de emplear técnicas para la prevención y control de la corrosión y evitar de esta manera el accidente?
12.	¿Son identificados los costos asociados al mantenimiento preventivo dentro de su organización?
13.	¿Son identificados los costos asociados al mantenimiento correctivo dentro de su organización?
14.	¿Los costos debidos a los problemas de corrosión son divididos en Directos e Indirectos, o se clasifican en una sola partida?

Tabla 2
Encuesta Aplicada

A. Datos Generales de la Empresa y del Encuestado

1. Nombre de la organización: _____
 2. Actividad que desempeña: Servicio___, Comercial___, Explotación___, Producción___, Otras (Especifique)_____
 3. Indique el área específica en la que se desarrolla: Petrolera, Química, Petroquímica, Telecomunicaciones, Papelera, Transporte, Alimento, Automotriz, Metalmecánica: _____Otros (Especifique)_____
 4. Nombre del encuestado:_____
 5. Nivel Académico:_____
 6. Cargo en la empresa:_____
-

B. Información profesional del personal que labora en el área de corrosión de su empresa

1. ¿Dispone su empresa de uno o varios, departamentos, áreas, secciones o dependencias encargadas de la prevención, protección y seguimiento para operación y control de la corrosión? Si___No___
 - a. Si su respuesta es afirmativa indique cuál dependencia está encargada de la prevención, protección y seguimiento para la operación y control de la corrosión; así como, a qué gerencia mayor reporta: Ingeniería___, Mantenimiento___, Operaciones___, Producción___, Control de Calidad___, Otro___ Especifique_____ Gerencia_____
 - b. Si su respuesta es negativa, indique cómo realiza su empresa esta actividad:_____
 2. ¿Dispone su empresa de personal calificado, certificado o con estudios especializados en el área de corrosión? Si___ No___
 - a. Si su respuesta es negativa, podría indicar brevemente cuáles son los planes a corto, mediano y largo plazo para calificar o tener un personal preparado para la protección y el control adecuado de la corrosión en su empresa:_____
 - b. Si su respuesta es afirmativa indique el nivel de su personal:_____
-

C. Información sobre los problemas de corrosión y las medidas de ingeniería para la prevención y protección contra la corrosión en su empresa

1. Indique qué tipos de corrosión se presentan en su empresa:
 1. Corrosión Uniforme___
 2. Corrosión Galvánica___
 3. Corrosión Intergranular___
 4. Corrosión por Picadura___
 5. Corrosión por Tensión___
 6. Corrosión por Espacios Confinados___
 7. Corrosión a Altas Temperaturas___
 8. Corrosión con Erosión___
 9. Daños por Hidrógeno___
 2. Señale cuáles son las causas que le originan mayores problemas de corrosión
 1. *Atmósfera*___
 2. *Suelo*___
 3. *Agua: salada___, salobre___, potable___, otra___, especifique*_____
 4. *Interfases de medios*_____, *especifique*_____
 5. *Fluidos específicos: gas, crudo, vapor, especifique*_____
 6. *Sustancias químicas*_____, *especifique*_____
-

Tabla 2. (Continuación)

-
7. Bacterias____, especifique_____
8. Falta de mantenimiento_____
9. Inadecuado mantenimiento_____
10. Operación discontinua o inadecuada de los sistemas de protección_____
11. Modificación de las condiciones de servicio original_____
12. Modificación de las condiciones de instalación originales_____
13. Diseño Inadecuado_____
14. Selección de Materiales Inadecuada_____
15. Modificaciones al diseño original_____
16. Otros (Especifique)_____
3. Indique los métodos utilizados para prevenir o proteger contra la corrosión:
1. Recubrimientos No metálicos:
- Orgánicos: Pinturas____, Gomas____, Otros____,Especifique_____
- Cerámicos____, especifique_____
- Compuestos no metálicos_____
- Compuestos no metálicos con metálicos_____
2. Recubrimientos metálicos____, especifique_____
3. Protección Catódica: Ánodos de Sacrificio____, Corriente Impresa____, Ambos____, Especifique_____
4. Tratamiento Químico: Inhibidores____, Neutralizantes____, Biocidas____, Antiincrustantes____, Desoxigenantes____, Secuestrantes de Especies____, Especifique_____ Protección Anódica_____
5. Reemplazo regular de materiales: materiales metálicos____, materiales no metálicos____, ambos____, Especifique_____
6. Otros no indicados_____
- 3.1. Identifique cómo previene o protege de la corrosión en cada una de las causas indicadas en el punto 2.
Por favor sea explícito en su respuesta principalmente en lo referido a sustancias químicas.
- a. Atmósfera_____
- b. Suelo_____
- c. Aguas: salada____, salobre____, ,potable____, Otras____, Especifique_____
- d. Interfases de medios_____
- e. Fluidos específicos: gas, crudo, vapor, especifique_____
- f. Sustancias químicas____, especifique_____
- g. Bacterias_____
- h. Falta de mantenimiento_____
- i. Inadecuado mantenimiento_____
- j. Operación discontinua o inadecuada de los sistemas de protección_____
- k. Modificación de las condiciones de servicio original_____
- l. Modificación de las condiciones de instalación originales_____
- m. Diseño Inadecuado_____
- n. Selección de Materiales Inadecuada_____
- o. Modificaciones al diseño original_____
- p. Otros (Especifique)_____
- 3.2. Identifique cómo previene y protege de la corrosión en función de los tipos de corrosión:
1. Corrosión Uniforme_____
2. Corrosión Galvánica_____
3. Corrosión Intergranular_____
4. Corrosión por Picadura_____
5. Corrosión por Tensión_____
6. Corrosión por Espacios Confinados_____
7. Corrosión a Altas Temperaturas_____
8. Corrosión con Erosión_____
9. Daños por Hidrógeno_____
-

Tabla 2. (Continuación)

4. Indique cuáles de las siguientes consecuencias generadas frecuentemente paralizan las operaciones de su empresa:

1. *Disminución de espesor* _____
2. *Ruptura de: Equipos* _____, *Tuberías* _____, *Otros (Especifique)* _____
3. *Pérdida de Eficiencia* _____
4. *Otros* _____

D. Información sobre los sistemas de inspección para el seguimiento de control y medición de la corrosión

1. Marque con una (x) los métodos utilizados para seguimiento, control y medición de la corrosión:

Inspección Visual ____, *Ajustes operacionales* ____, *Medición de potencial* ____, *Medición de Velocidad de Corrosión* ____,
Probetas de polarización ____, *Probetas de Resistencia Eléctrica* ____, *Ensayos no Destructivos* ____, *Cupones de pérdida de peso* ____,
Rayos X ____, *Ultrasonido* ____, *Métodos Analíticos* ____, *Tintes Penetrantes* ____, *Medidas de pH* ____,
Concentración del Inhibidor ____, *Análisis químico* ____, *Fe++* ____

E. Información sobre las acciones de mantenimiento operacionales para el control de la corrosión aplicado en su empresa

1. Organizativamente, cómo se lleva a cabo el mantenimiento para el control de corrosión en su empresa: _____
2. Indique el tipo de mantenimiento utilizado por su empresa para el control de la corrosión:
a. Preventivo ____ b. Correctivo ____ c. Ambos ____
d. Predictivo ____ e. Ninguno ____
3. Indique en cuáles áreas de su empresa es aplicado el programa de mantenimiento: _____
4. ¿El personal involucrado en las operaciones de mantenimiento para el control de corrosión recibe adecuado adiestramiento? Si ____ No ____
Si es afirmativa especifique donde: Interior del país ____ Exterior ____
5. ¿Qué cantidad de personal con experiencia en el área dispone su empresa para realizar las labores de mantenimiento para el control de corrosión? _____

F. Información sobre investigación y desarrollo

1. ¿Las acciones desarrolladas por su empresa involucran las áreas de Investigación y Desarrollo? Si ____ No ____
2. La investigación y Desarrollo lo hacen internamente o a través de organismos externos:
Internamente _____
Externamente _____
3. Externamente a través de que organismo realizan esta actividad:
a. Universidad ____, Especifique _____
b. Institutos de Investigación ____, Especifique _____
c. PDVSA Intevep _____
d. Otros ____ Especifique _____

G. Estimación de costos.

1. ¿Cuánto estima usted que podrían ser los costos por corrosión en su empresa de acuerdo con los siguientes rubros?
Revestimiento Bs. _____
Protección Catódica Bs. _____
Protección Anódica Bs. _____
Selección de Materiales Bs. _____
Tratamiento Químico Bs. _____
Investigación y desarrollo Bs. _____
2. ¿Podría usted estimar los costos por corrosión en su empresa de acuerdo con los siguientes rubros?
Corrosión Uniforme Bs. _____
Corrosión Galvánica Bs. _____
Corrosión Intergranular Bs. _____

Tabla 2. (Continuación)

Corrosión por Picadura Bs.	_____
Corrosión por Tensión Bs.	_____
Corrosión por Espacios Confinados Bs.	_____
Corrosión a Altas Temperaturas Bs.	_____
Corrosión con Erosión Bs.	_____
Daños por Hidrógeno Bs.	_____

a. ¿Podría usted diferenciar los costos y pérdidas por corrosión en su empresa? Si ___ No ___

b. ¿Dispone su empresa de una herramienta que le permita determinar los costos por corrosión en función de las técnicas de corrosión aplicada? Si ___ No ___

c. ¿Dispone su empresa de una herramienta que le permita determinar las pérdidas por paradas de planta no programadas que involucren fallas de equipos por corrosión? Si ___ No ___

Resultados y Análisis

Al analizar los resultados obtenidos en la Tabla 3, puede decirse que el 60% del personal entrevistado desconoce la información relacionada con los costos de mantenimiento de equipos e instalaciones, el 80% emplea el sistema SAP (Sistema, Aplicaciones y Productos en el Procesamiento de Datos) como herramienta para el registro de costos, el 80% no identifica si el mantenimiento ejecutado es por corrosión; lo cual origina el desconocimiento de la magnitud del problema, el 50% posee un historial de fallas de sus equipos por corrosión; no obstante, la mayoría no lleva un registro estadístico para conocer la frecuencia de las mismas y el 60% aunque conocen los costos totales de una parada de planta o la reposición de un equipo, no disgregan los costos asociados a la corrosión.

De las 20 empresas encuestadas solamente 12 retornaron la encuesta con la información requerida, representando un 60% del total de las encuestas. A continuación se presentan los principales resultados:

El 50% de las industrias encuestadas cuentan con departamentos propios encargados de la prevención, protección y seguimiento para la operación y control de la corrosión. Las empresas que no poseen un departamento que se encargue de estas operaciones contratan servicios externos para desarrollar estas labores, minimizando los efectos de este fenómeno mediante limpieza periódica de equipos, tratamiento químico y el uso de revestimientos. El 67% de las industrias no cuenta con un personal que posea conocimientos con bases teóricas y analíticas sólidas en el área de corrosión. Más aún, en la mayoría no existen planes concretos sobre lo que piensan

hacer para capacitar al personal y resolver preventivamente los problemas de corrosión.

Tipos de corrosión: El 83% coinciden que las corrosiones: galvánica, por picaduras y uniforme, son las formas más comunes en las que suele presentarse este problema, seguidas por la erosión con un 67%, por espacios confinados con un 58% y la corrosión bajo tensión con un 50%. El menor porcentaje lo tienen altas temperaturas e intergranular con un 42% y el daño por hidrógeno con un 25% (Figura 2). Lo anterior coincide con evaluaciones realizadas en países como México y Colombia donde se ha encontrado que la forma de corrosión más recurrente es el ataque por picadura [9, 10].

Causas de la corrosión: Se encontró que los efectos atmosféricos tienen la mayor incidencia en la ocurrencia de este fenómeno. Las sustancias químicas (ácido sulfúrico y fluorhídrico) y el agua salobre constituyen el segundo y tercer agente propiciador de la corrosión en las industrias. Otras de las causas que sobresalen son la falta de mantenimiento, el diseño inadecuado y la operación discontinua o inadecuada de los sistemas de protección. La Figura 3 muestra en detalle los porcentajes de cada una de las causas. Igualmente al comparar con otros países de América Latina se pudo confirmar la similitud de las causas entre los diferentes países.

Métodos para prevenir la corrosión: Son los recubrimientos orgánicos y metálicos, el tratamiento químico, la selección de materiales y la protección catódica los más empleados (Figura 4); lo cual también es comparable con los resultados obtenidos en México y Colombia

Método de inspección: Los más empleado es inspección visual. La herramienta más usada



Figura 1. Distribución geográfica de las empresas seleccionadas.

para medir la velocidad de corrosión son los cupones de pérdida de peso, ya que permite medir la pérdida de material y en muchos casos la morfología del ataque. El ensayo no destructivo más común es el ultrasonido y de los métodos analíticos la medida de pH representa la primera opción para llevar el control de los parámetros que ocasionan corrosión.

Acciones de Mantenimiento: Organizativamente, el 50% de las industrias no lleva a cabo las acciones de mantenimiento para el control de la corrosión mediante dependencias propias. Estas labores las desarrollan contratistas especialistas en el área. El 58% aplica tanto mantenimiento correctivo como preventivo y el resto de las industrias combina los mantenimientos anteriores con el mantenimiento predictivo.

Costos generado por corrosión: En cuanto a la pregunta dirigida para determinar si las industrias discriminan los costos por corrosión, se determinó que el 75% de las empresas encuestadas desconoce los costos por corrosión relacionados con los diferentes sistemas de control, tipos

de corrosión y mantenimiento correctivo, siendo para la mayoría desconocido el monto de las pérdidas por corrosión y su impacto en el producto interno bruto. En cuanto a investigación y desarrollo, se determinó que la mayoría de las empresas encuestadas realiza estas labores externamente.

Desarrollo del Modelo

Con el análisis de los resultados de la entrevista y la encuesta se pudo determinar que todas las variables contempladas desde el punto de vista de tipo de corrosión, sistemas de control y medios corrosivos son válidas para cualquier tipo de industria, lo cual fue esencial para el desarrollo del modelo. Adicionalmente, se determinó que es completamente necesario el establecimiento a nivel industrial de un programa computarizado, sencillo y amigable que permita calcular los costos y pérdidas por corrosión.

Se diseñó el modelo considerando los costos en función de los tipos de corrosión más comunes presentes en la industria, los costos relacionados

Tabla 3
Resultado de la entrevista

Empresa	Posición de las preguntas en la entrevista													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	N	Winsigot	OT	Mantto.	Mixto	N	S	S	N	NSC	N	S	S	Una sola partida
B	N	VIPS	CC	Mantto.	Mixto	N	S	S	N	NSC	N	S	N	Una sola partida
C	S	SAP	CC- OT	Mantto.	Mixto	N	N	N	N	MED	N	S	S	Una sola partida
D	N	SAP	CC- OT- FUNC	Mantto. de rep- puestos y suminis- tros – plan de inver	Mixto	N	N	N	N	MED	N	S	S	Una sola partida
E	N	SAP	OT	Mantto.	Mixto	N	S	S	N	Baja	N	S	S	Una sola partida
F	N	SAP	OT-CC	Mantto.	Mixto	N	N	N	N	NSC	N	S	S	Una sola partida
G	S	SAP	ACT-OT	Mantto. de subes- taciones	Mixto	S	N	N	S	Baja	N	S	S	Una sola partida
H	N	Hipermax	DPTO CC	Mantto.	Propio	N	N	N	S	NSC	N	N	N	Una sola partida
I	N	SAP	CC -OT	Tto Gco-Serv- Asit- consumo de gases	Mixto	S	N	N	S	MED	N	S	N	Una sola partida
J	N	SAP	CC	Mantto.	mixto	N	S	S	S	MED	N	S	S	Una sola partida
K	S	SAP	CC-OT	Mmto	Propio	N	S	S	S	NSC	S	S	S	Una sola partida

Tabla 3. (Continuación)

Empresa	Posición de las preguntas en la entrevista													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
L	N	Máximo	OT-ACT-D EPTO-CC	Asesoría Tec-Serv' Contrat- Ing Pro- yectos	Contratado	N	S	S	S	NSC	N	S	S	Una sola partida
M	S	SAP	CC-OT	Prot Catod- Pintu- ras- Product Qcos- Asistencia Tec- Confiabilidad	Mixto	N	S	S	S	BAJA	N	S	S	Una sola partida
N	S	SAP	CC- OT	Mantto.	Mixto	N	S	S	N	NSC	N	S	S	Una sola partida
O	N	SAP	CC-OT	Mantto.	Mixto	N	S	S	S	BAJA	N	S	S	Una sola partida
P	S	SAP	CC-OT	Mantto.	Contratado	N	N	N	N	BAJA	N	S	S	Una sola partida
Q	S	SAP	DPTO- CC	Mantto.	Mixto	S	S	S	S	NSC	N	S	S	Una sola partida
R	S	SAP	CC-OT	Mantto.	Mixto	S	S	S	S	NSC	N	S	S	Una sola partida
S	N	SAP	FUNC-OT -CC	Mantto.	Mixto	N	N	N	N	NSC	N	N	N	Una sola partida
T	N	SAP	CC	Mantto.	Mixto	S	N	N	N	ALTA	N	S	S	Una sola partida
Total	60%	80%		80%	80%	75%	60%	60%	50%	50%	95%	90%	80%	100%

Leyenda: N: No. S:Si. CC: Centro de Costos. OT: Órdenes de trabajo. ACT: Actividad. TTO QCO: Tratamiento Químico. MANTTO. : Mantenimiento. FUNC: Función. DPTO: Departamento. NSC: No se conoce.

Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia, Vol. 28, No. 1, 2005

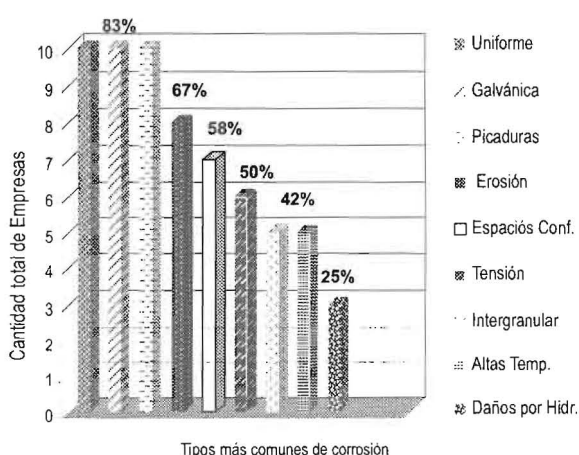


Figura 2. Tipos de Corrosión más comunes que se presenta en la industria venezolana.

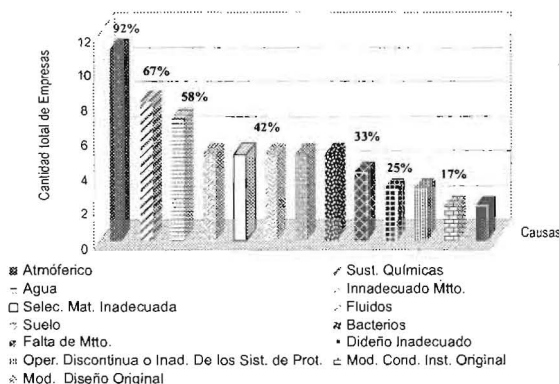


Figura 3. Causas que originan los mayores problemas de corrosión.

con los métodos de control e inspección para prevenirla y corregirla (aplicados directamente por la empresa o contratados), los costos por mantenimiento preventivo y correctivo y los costos por investigación y desarrollo. La estructura de costos establecida está en función de sus elementos principales: mano de obra, materiales y costos indirectos aplicados. Considerando todas estas variables, se estructuró el modelo de forma que aplicase en cualquier industria que incurra en costos por corrosión. La industria que aplica sea compleja por la variedad de los problemas de corrosión que presente como por ejemplo la industria petrolera, o sencilla como la industria

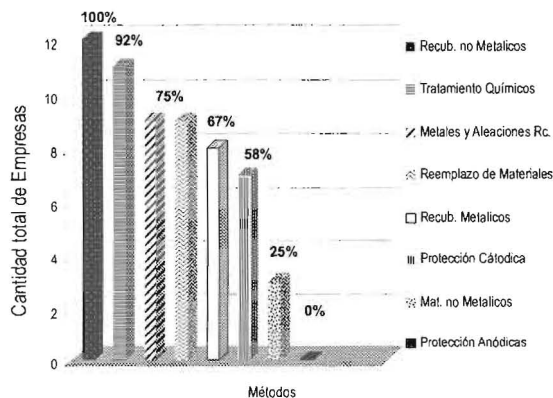


Figura 4. Métodos de prevención y control de corrosión más frecuentemente.

eléctrica. Así, el modelo se formuló utilizando 19 ecuaciones principales tal y como se muestra a continuación:

$$CMO = CH \times H \tag{1}$$

donde:

CM: Costo de mano de obra.

CH: Costo por horas.

H: Horas trabajadas.

$$CTMO = \sum_{i=1}^n CMO_i \tag{2}$$

donde:

CTMO: Costo total de mano de obra.

n: Representa la cantidad de CMO.

CMO_i: Costo de mano de obra numero I.

$$CM = QM \times CU \tag{3}$$

donde:

CM: Costo de materiales.

QM: Cantidad de materiales.

CU: Costos unitario.

$$CTM = \sum_{i=1}^m CM_i \tag{4}$$

donde:

CTM: Costo total de materiales.

CM_i: Costo materiales numero I.

m: Representa la cantidad de los CM.

$$CI = QI \times CU \tag{5}$$

donde:

- CI: Costo indirecto.
- QI: Cantidad o factor indirecto.
- CU: Costo unitario.

$$CTI = \sum_{i=1}^P CI_i \quad (6)$$

donde:

- CTI: Costo total indirecto.
- CI_i: Costo indirecto numero I.
- P: Representa la cantidad de los CI.

$$CSC = \sum_{i=1}^Z SC_i \quad (7)$$

donde:

- CSC: Total de servicios cont.
- SC_i: Costo servicios contratados número.
- Z: Representa la cantidad de los SC.

$$CTD = CTMO + CTM + CTI + CSC \quad (8)$$

donde

CTD: Costo total de la orden de trabajo.

Conjunto

- CC= {PC, PA, RE, SM, TQ}.
- AP= {CI, AG, CR, MT, OR, PL}.
- TC= {UN, PI, GA, IN, TE, EC, AT, ER, DH, CO, MI}.
- MO= {MP, MC, IDI, IDE}.
- AI= {PM, SR}.
- PM= {AGR, ALI, COS, FAR, MEG, MIN, PET, PEQ}.
- SR= {ELT, GOB, HOT, RET, SAG, SAS, SGA, SFIN}.

$$CTTC = \sum_{\substack{i=1 \\ X \in CC}}^{m(X)} CTD(X)_i \quad (9)$$

donde:

- CTCC: Costo total por Control de Corrosión.
- X: Opción tomada dentro del Conjunto de CC.
- CTD (X)_i: Costo total de la orden N° i con la opción X.

m(X): Es el número total de órdenes de trabajo para la opción X.

$$CTTC = \sum_{\substack{i=1 \\ X \in TC}}^{m(X)} CTD(X)_i \quad (10)$$

CTTC: Costo total por tipo de corrosión.
X: Opción tomada centro del conjunto de TC.

CTD (X)_i: Costo total de la orden N° i con la opción X.

m(X): Es el número total de órdenes de trabajo para la opción X.

$$MPT = \sum_{i=1}^{m(MP)} CTD(MP)_i \quad (11)$$

donde:

- MPT: Costo total mantenimiento preventivo.
- MP: Mantenimiento preventivo.
- CTD(MP): Costo total de la orden N° i con la opción MP.
- m(MP): El N° total de órdenes de trabajo para la opción MP.

$$MCT = \sum_{i=1}^{m(MC)} CTD(MC)_i \quad (12)$$

donde:

- MCT: Costo total mantenimiento correctivo.
- MC: Mantenimiento correctivo.
- CTD (MC): Costo total de la orden N° i con la opción MC.
- m(MC): El N° total de órdenes de trabajo para la opción MC.

$$IDIT = \sum_{i=1}^{m(IDI)} CTD(IDI)_i \quad (13)$$

donde:

- IDIT: Costo total investigación y desarrollo interno.
- IDI: investigación y desarrollo interno.
- CTD(IDI)_i: Costo total de la orden N° i con la opción IDI.
- m(IDI): El N° total de órdenes de trabajo para la opción IDI.

$$IDET = \sum_{i=1}^{m(IDE)} CTD(IDE)_i \quad (14)$$

donde:

IDET: Costo total investigación y desarrollo externa.

IDE: investigación y desarrollo externa.

CTD (IDE)_i: Costo total de la orden N° i con la opción IDE.

m(IDE): El N° total de órdenes de trabajo para la opción IDE.

$$CTPC = \sum_{\substack{i=1 \\ X \in MO}}^{m(X)} CTD(X)_i \quad (15)$$

donde:

CTPC: Costo total por corrosión.

X: Opción tomada dentro del conjunto de MO.

MO: Menu de opciones.

CTD(X)_i: Costo total de la orden N° i con la opción X.

m(X): Es el número total de órdenes de trabajo para la opción X.

$$PMT = \sum_{\substack{i=1 \\ X \in PM}}^{m(X)} CTPC(X)_i \quad (16)$$

donde:

PMT: Costo total de producción y manufactura.

PM: Producción y manufactura.

CTPC(X)_i: Costo total de la orden N° i con la opción X.

m(X): El N° total de órdenes de trabajo para la opción X.

$$SRT = \sum_{\substack{i=1 \\ X \in SR}}^{m(X)} CTPC(X)_i \quad (17)$$

donde:

SRT: Costo total por servicios.

SR: Servicios.

CTPC(X)_i: Costo total de la orden N° i con la opción X.

m(X): El N° total de órdenes de trabajo para la opción X.

$$CTAI = PMT + SRT \quad (18)$$

donde:

CTAI: Costo total actividad industrial.

$$\%PIBC = \frac{CTAE}{PIB} \times 100\% \quad (19)$$

donde:

%PIBC: Porcentaje del PIB por corrosión.

PIB: Producto interno bruto.

Todas estas ecuaciones fueron utilizadas para realizar un programa que permitiera manejar los costos, titulado "Sistema de Asignación de Costos Industriales por Corrosión (SACIC)", diseñado en Visual Basic versión 6.0 como herramienta de programación.

Conclusiones

El 50% de las industrias encuestadas cuentan con departamentos propios encargados de la prevención, protección y seguimiento para la operación y control de la corrosión.

El 75% de las industrias encuestadas desconoce la información relacionada con los costos por corrosión, tanto desde el punto de vista de mantenimiento preventivo como correctivo, y más aún los costos en función del tipo de corrosión o los sistemas de control aplicado e investigación y desarrollo.

El 66,7% de las industrias encuestadas no cuenta con un personal que posea conocimientos sólidos en corrosión y en la mayoría no existen planes de formación concretos.

Los tipos de corrosión más comunes son galvánica, picadura y uniforme y las menos comunes son alta temperaturas, intergranular y daño por hidrogeno.

Las causas principales de corrosión en la industria son por ambientes atmosféricos agresivos, sustancias químicas como ácido sulfúrico y ácido fluorhídrico y aguas salobres.

El orden secuencial de la aplicación de los métodos de control es: revestimientos orgánicos, revestimientos metálicos, tratamiento químico, selección de materiales y protección catódica.

Los métodos de inspección más comunes son el visual y el ultrasonido (medición de espesor) la herramienta más usada para medir velocidad de corrosión son los cupones de corrosión.

El modelo de costos diseñado utilizando los instrumentos de medición de encuestas y entrevis-

tas, permitió realizar un programa computarizado, con el cual además de conocer los costos por corrosión en Venezuela y su impacto en la economía del país, permitirá desagregar los costos por empresa en función de los tipos por corrosión, métodos de control, mantenimiento preventivo y/o correctivo, servicios contratados, investigación y desarrollo y pérdidas por corrosión.

Agradecimiento

CONDES y ASVENCOR/NACE International Sección Venezuela por el apoyo financiero en la realización de este estudio. Petróleos de Venezuela por su aporte en la validación de las encuestas (José Vera y Aleida de Carruyo) y a los profesores Miguel Sánchez y Daniel Contreras. En el ven por permitir la validación del modelo en sus instalaciones y a todas las empresas que permitieron la aplicación de la entrevista y encuestas y que por razones de confidencialidad no son nombradas.

Referencia Bibliográfica

1. Polimeni, Ralph et al. "Contabilidad de Costos", Editorial Mc Graw Hill, 3^{ra} Edición, 1999.
2. Koch Gerhardus H. et al. "Corrosión Costs by Industry Secto", Supplement to Materials Performance, NACE International, (2002), 2-10.
3. Blanco Ernesto "Plenaria: La Corrosión en la Industria Petrolera y Petroquímica Venezolana" II Congreso Venezolano de Corrosión y Protección, Maracaibo-Venezuela 1986, 33.
4. Blanco Ernesto "Los Impactos de la Corrosión en la Industria Petrolera y Petroquímica Nacional" Revista Corrosión, Año 2 No. 3, Maracaibo-Venezuela (1992), 10.
5. Chavez Alizo Nilda "Introducción a la Investigación Educativa", Editorial Universal Maracaibo, 1994.
6. Revie R.W. Uhlig's, "Corrosion Handbook", 2^{da} edición Electrochemical Society Series, John Wiley&Sons, INC, 2000.
7. Fontana et al. "Corrosion Engineering", Mc. Graw Hill. USA, 1967.
8. Diaz Montablos, "Confiabilidad del Mantenimiento" Editorial Mc Graw Hill, 2^{da} Edición, 1997.
9. Avila J. et al. "Corrosión y Protección en la Industria Química Mexicana" Ciencia al día, México 1998, 103-111.
10. Herrera Francisco J. et al.: "Ponencia: Avances sobre un estudio de los costos de corrosión en Colombia, región Antioquía y Córdoba", II Encuentro Nacional de Corrosión y Protección, Medellín-Colombia 1993, 1-21.
11. Gallego Nilda C. et al.: "Ponencia: Los problemas de corrosión y su efecto económico en industria del suroccidente Colombiano", II Encuentro Nacional de Corrosión y Protección, Medellín-Colombia 1993. 1-35.
12. Delgado J et al. "Análisis Estadístico Para la Determinación del Impacto de la Corrosión en Colombia" Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquía, Colombia (2000), No. 21, pp. 116-125.

Recibido el 10 de Marzo 2004

En forma revisada el 14 de Febrero de 2005