

LOS PROBLEMAS DE CORROSIÓN Y SU RELACIÓN CON EL AMBIENTE EN EL SISTEMA PRODUCTIVO COLOMBIANO

*Carlos E. Arroyave P.
Francisco J. Herrera B.
Juan Delgado L.
Joaquín Cuervo T.^{1*}*

RESUMEN

Teniendo en cuenta la imprescindible relación que existe entre el ambiente y el deterioro de los materiales, se incluyó como parte constitutiva de un estudio encaminado a levantar el diagnóstico de los problemas de corrosión en el país, la medida del efecto de los principales ambientes corrosivos (atmósfera, suelos, agua salada, agua potable y sustancias químicas) sobre la estabilidad de los materiales y, a su vez, el impacto de los fenómenos corrosivos en la calidad de los principales constituyentes ambientales (seres vivos, atmósfera, suelos, materiales y aguas). Se encontró, entre otras cosas, que el medio más perjudicial es la atmósfera y que en cuanto al efecto de la corrosión sobre el entorno, no se observan diferencias significativas en el grado de afección de los diferentes componentes.

Palabras claves: Materiales, degradación, contaminación, industria colombiana.

ABSTRACT

As a part of a broad study on the corrosion problems in the Colombian industry, it was included an assessment of the effect of the main corrosive environments (atmosphere, soil, salad and drinking water, and chemicals), on materials stability. On the other hand, the impact of the corrosion processes on the environmental constituents (live species, atmosphere, soil, materials, and water) was also assessed. Main conclusions are: i) atmosphere is the more extensively corrosive environment, and, ii) all the environmental constituents are affected by corrosion without significant differences.

Key words: Materials degradation, pollution, Colombian industry.

1 En la recolección de la información para este trabajo se contó con el valioso aporte, entre otras, de las siguientes personas: Asdrúbal Valencia y Delia Cristina Marín (Universidad de Antioquia, Medellín), José Wilches (Universidad del Norte, Barranquilla), Orlando Aguirre, Luz Elena Arias, Alexis Miranda, César Ortiz y César Ríos (Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga), Félix Lindado y Mario Parra (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja), Gustavo Vila (q.e.p.d.), Luz Marina Guerrero y Flor Ángela Muñoz (Universidad Nacional de Colombia, Santa Fe de Bogotá), Ruby Mejía de Gutiérrez, Nidia C. Gallego y Luis A. Vélez (Universidad del Valle, Cali), Carmen Ramírez, Ángel Sánchez y John Millán (Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín), Jorge Reyes y Juan Vicente Villamizar (Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, Cartagena).

* Grupo de Corrosión y Protección, Universidad de Antioquia. A.A. 1226, Medellín.

1. INTRODUCCIÓN

La interacción entre los materiales y el ambiente es una condición *sine qua non* en la ocurrencia de los fenómenos de corrosión. La naturaleza del ambiente, su estado, homogeneidad, composición y características fisicoquímicas y biológicas, inciden directamente en la extensión del ataque que puede experimentar un material. Por su parte, los procesos corrosivos influyen de manera significativa en el deterioro del ambiente. Su ocurrencia exige la reposición de importantes cantidades de materiales, con el consiguiente incremento del consumo de materias primas y de energía y, a su vez, la generación de mayores volúmenes de sustancias contaminantes.

De los más de setecientos millones de toneladas de acero producidas anualmente en el mundo, se estima que mínimo el diez por ciento está destinado a reposiciones obligadas por la corrosión. Por su parte, la producción de una tonelada del material requiere del consumo de varias toneladas de minerales, de unos 20 000 litros de agua y energía equivalente a *c.a.* 5000 kW h (1). Entre los residuos, se generan cientos de kilogramos de material particulado que puede ir a la atmósfera, junto con miles de metros cúbicos de gases.

Los productos de corrosión y las fugas de sustancias a través de las perforaciones en las paredes de los sistemas de almacenamiento, procesamiento y transporte, pueden contaminar el ambiente. La transformación de equipos, estructuras, partes y piezas en cerros de chatarra, lo mismo que la mala apariencia de las superficies atacadas por el fenómeno, deterioran el paisaje y, obviamente, conllevan un significativo impacto ecológico.

Un estudio reciente, dirigido a cuantificar la extensión de los problemas de la corrosión en Colombia (2), evaluó las dificultades existentes en el sector productivo y la naturaleza y magnitud de dicha interacción. Para ello, se midió el efecto de los principales ambientes en la ocurrencia de los fenómenos de corrosión y se analizó el impacto de éstos sobre el entorno. A continuación se describen el procedimiento seguido, los resultados obtenidos, su análisis y las conclusiones de mayor interés.

2. PROCEDIMIENTO

Para el estudio de los problemas de la corrosión en el país se tuvieron en cuenta la marcada división climatológica y geográfica de su territorio y el hecho de que la población y su actividad productiva se concentran principalmente en dos regiones, cuyas condiciones naturales de corrosividad son claramente diferenciables, debido a sus distintos regímenes de lluvia, temperatura, humedad relativa y salinidad de la atmósfera. Ellas son la Costa Atlántica, sobre el Mar Caribe, y la Región Andina en el interior.

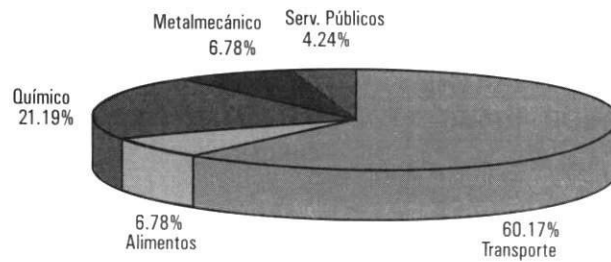
Considerando las características de los diferentes sectores de la actividad productiva nacional y los resultados obtenidos en investigaciones similares hechas en otros países (3-4), se seleccionaron como objeto de estudio las industrias de alimentos, química, metalmecánica, servicios públicos y transporte. Por su magnitud y significado, el sector de petróleo y petroquímica se consideró independientemente.

A partir de una prueba piloto y del conocimiento de la población total (5286 empresas) y las subpoblaciones o sectores de interés (5), se realizó un muestreo aleatorio estratificado, que permitió determinar el tamaño muestral en cada uno de los tipos de industrias, por zona y por tamaño, según sus ventas y ganancias. La muestra total quedó constituida por 333 empresas, con una confiabilidad del 95% y un error máximo admitido relativo del 15.2%. Luego, de forma completamente aleatoria, fueron escogidos los nombres de las empresas a analizar. La Figura 1 ilustra la manera en que quedó constituida la muestra y sus componentes en las dos zonas.

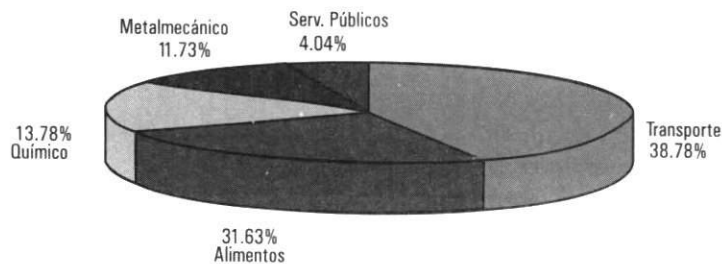
Con base en la información preliminar, se elaboraron el formulario de recolección de la información y la guía de procedimiento (6). Dicho formato incluyó la indagación acerca de cuáles elementos del ambiente (atmósfera, suelo, agua salada, agua potable y sustancias químicas), generaban problemas de corrosión en la empresa, y a cuáles bienes ambientales (seres vivos, atmósfera, suelos, materiales o aguas) afectaban los fenómenos de corrosión.

La prueba piloto se realizó en 1992, y el grueso de la información fue recopilada entre 1993 y 1994.

Costa Atlántica:



Interior:



País

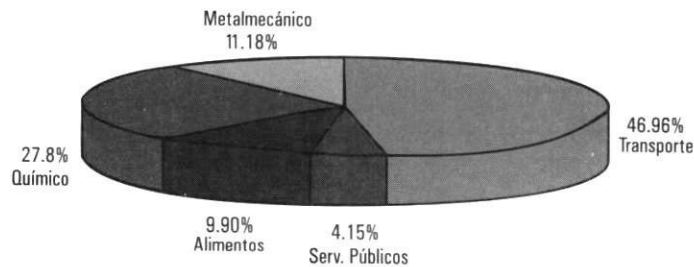


Figura 1. Configuración de la muestra definida para el estudio

3. RESULTADOS

Las Figuras 2 y 3 sintetizan la información relacionada con los porcentajes de empresas encuestadas en cada sector industrial y en cada zona del país, que reportaron problemas ocasionados por

los diferentes medios corrosivos. Por su parte, la Figura 4 consolida dichos datos para el país.

La Tabla 1 presenta los porcentajes totales de empresas, sin distinción por sector de la actividad económica, que manifestaron ser afectadas por cada uno de los citados medios corrosivos.

Tabla 1. Porcentajes de empresas afectadas por cada uno de los medios corrosivos en consideración

MEDIO	EMPRESAS AFECTADAS (%)		
	COSTA	INTERIOR	PAÍS
Atmósfera	88	61	71
Suelos	19	15	17
Agua salada	69	23	41
Agua potable	14	43	32
Sust. químicas	25	55	44

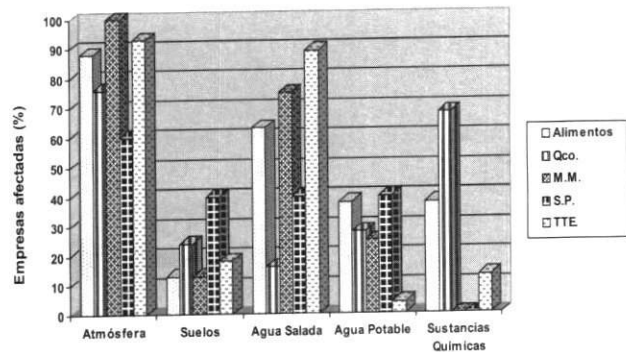
Un manejo diferente de los datos permite hablar de la frecuencia con que actúan dos o más medios corrosivos simultáneamente en una industria. De esta forma se encontró que el 74 por ciento de todas las empresas del país sólo se siente afectado por uno o dos medios, mientras que apenas el 6 por ciento, correspondiente principalmente al sector químico, se manifestó perjudicado por cuatro o más.

La otra cara del problema, relacionada con el efecto de la corrosión sobre los principales componentes ambientales, se visualiza en las Figuras 5 a 7. En ellas se aprecia el porcentaje de empresas de cada uno de los cinco sectores, en las que la corrosión afecta a los seres vivos, a la atmósfera, a los suelos, a los materiales o a las aguas. La Tabla 2 muestra los porcentajes totales de las empresas de cada una de las zonas y del país, que ven afectados los diferentes constituyentes.

Tabla 2. Frecuencia de afección de los componentes ambientales, debida a problemas de corrosión

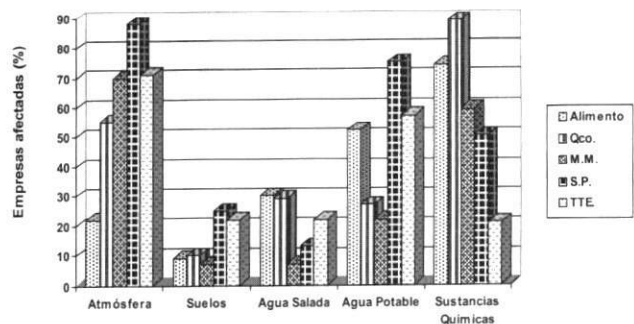
COMPONENTE AMBIENTAL	EMPRESAS AFECTADAS(%)		
	COSTA	INTERIOR	PAÍS
Seres vivos	5	9	7
Atmósfera	9	19	15
Suelos	9	8	9
Materiales	41	87	69
Aguas	2	16	11

La evaluación de la simultaneidad en el efecto sobre los diferentes componentes ambientales, permitió determinar que el 89% de las empresas del país considera que en su caso sólo se ven afectados uno o dos de dichos componentes. Por su parte, únicamente el 3% consideró que se veían afectados 4 o 5 de dichos componentes.



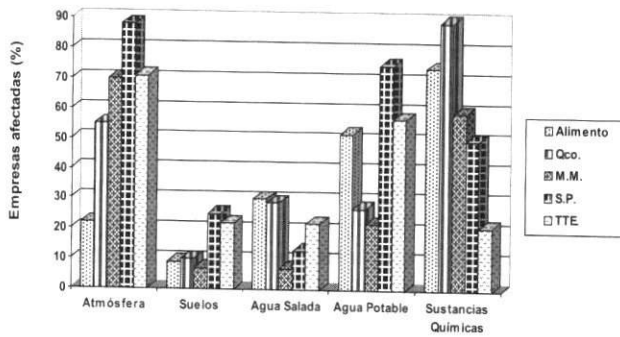
Medio corrosivo

Figura 2. Impacto de los distintos medios agresivos en los diferentes sectores de la actividad industrial en la costa Atlántica



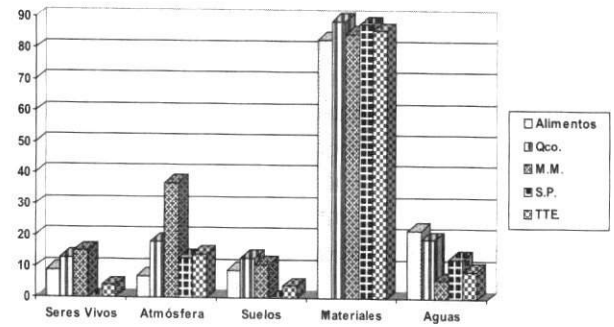
Medio corrosivo

Figura 3. Impacto de los distintos medios agresivos en los diferentes sectores de la actividad industrial en el Interior



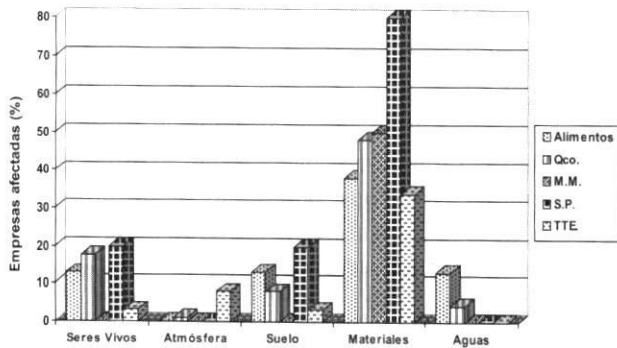
Medio corrosivo

Figura 4. Impacto de los distintos factores agresivos en los diferentes sectores de la actividad industrial en el País



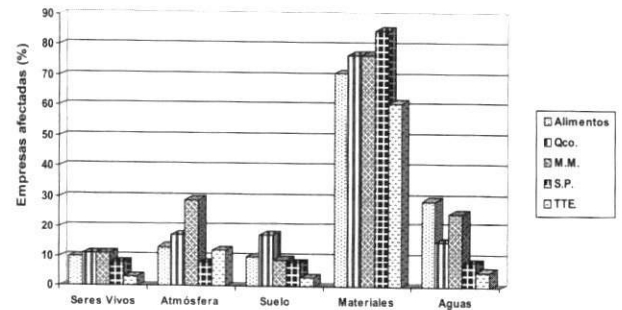
Componentes ambientales afectados

Figura 6. Impacto de los fenómenos corrosivos sobre los diferentes componentes ambientales en las industrias del Interior.



Componentes ambientales afectados

Figura 5. Impacto de los fenómenos corrosivos sobre los diferentes componentes ambientales en la industrias de la Costa Atlántica



Componentes ambientales afectados

Figura 7. Impacto de los fenómenos corrosivos sobre los diferentes componentes ambientales en las industrias del País

4. DISCUSIÓN

Es evidente el gran impacto que tiene la atmósfera en la generación de problemas de corrosión en la Costa Atlántica, pues en todos los sectores en estudio, presentó la mayor incidencia (Figura 2). Para el interior, y obviamente para el país, la situación es bastante similar, a excepción de lo encontrado para el sector de alimentos. Esto coincide con el hecho ampliamente aceptado de que cerca del ochenta por ciento de las superficies metálicas en servicio, se encuentran expuestas a la acción de la atmósfera, de manera que este tipo de ataque llega a ser el responsable del treinta al cincuenta por ciento de los costos totales de la corrosión (7). En el caso colombiano, para 1994, se estaría hablando de costos generados por la corrosión atmosférica, que podrían corresponder a un porcentaje del PIB entre 0.39 y 0.65, o sea unos \$400 a 650 millardos de pesos (8).

La ligera superioridad en los porcentajes de empresas afectadas en la Costa Atlántica, es claramente asociable a la mayor agresividad de la atmósfera en esta zona. El porcentaje relativamente bajo de empresas de alimentos preocupadas por la agresividad de la atmósfera en el interior del País, es completamente explicable por el uso intensivo de aceros inoxidables en el sector, susceptibles en atmósferas marinas, pero bastante resistentes en otros ambientes.

El suelo es el factor ambiental que afecta el menor número de empresas en ambas zonas, siendo necesario resaltar la mayor sensibilidad de las empresas de servicios públicos, asociable a la gran cantidad de estructuras y equipos que mantienen enterrados.

Mientras en la Costa Atlántica se presenta un significativo efecto de las aguas saladas, en el interior el efecto del agua potable es muy superior, principalmente en los sectores de servicios públicos, transporte y alimentos.

Las sustancias químicas tienen un gran efecto en el sector químico en ambas zonas. En el Interior su efecto es importante en otros sectores, como alimentos, metalmecánico y servicios públicos.

A pesar de que las características de la información recolectada no permiten evaluar directamente los costos del fenómeno corrosivo, si es un claro indicador del

número de personas afectadas y eventualmente beneficiadas con programas de prevención y de control. Se puede afirmar que en orden de importancia, los problemas a estudiar serían la corrosión atmosférica, la corrosión por agua salada en la Costa Atlántica, la corrosión por sustancias químicas en el Interior, la corrosión por agua potable y la corrosión por suelos.

Observando esta panorámica, se puede deducir el efecto de los contaminantes ambientales en el incremento del daño corrosivo. Es posible afirmar que los contaminantes atmosféricos, naturales y antropogénicos, juegan un papel decisivo en el estímulo general de los fenómenos de corrosión, lo cual constituye otra poderosa razón para pensar en su prevención y en el manejo de los problemas que generan, mediante el uso de materiales adecuados.

Todo lo anterior se puede relacionar con el empleo y búsqueda de métodos de protección anticorrosiva. Evidentemente, hay que buscar materiales resistentes a la corrosión atmosférica y es por ello que el uso de pinturas está tan extendido. También, hay que tener en cuenta los criterios de diseño adecuados, el uso de otros tipos de recubrimientos, el desarrollo de materiales resistentes a la atmósfera y el adecuado manejo de los problemas de corrosión en el concreto armado, como los principales métodos de protección.

Es entendible la preocupación de las empresas de servicios públicos por el manejo del agua potable (Figura 3). Se estima que las pérdidas de agua en los acueductos colombianos pueden ser del orden del 45 por ciento del total que sale de las plantas de tratamiento, de las cuales cerca de la cuarta parte son atribuibles a problemas de corrosión (9).

Llama la atención el bajo grado de simultaneidad en el efecto de los diferentes medios corrosivos. Esto podría hacer pensar que quizás con tres de ellos que se estudien a profundidad, podría estarse resolviendo gran parte del problema. De esta manera, habría que decir que dedicándole esfuerzos a atender problemas atmosféricos, con sustancias químicas y con el manejo de las aguas, se estaría respondiendo a las principales necesidades de la mayoría de las empresas del país.

En cuanto al efecto que tienen la corrosión en el ambiente, es bastante obvio el gran impacto sobre los

materiales, y es clara la similitud en los porcentajes de empresas de los diferentes sectores que ven afectados el resto de componentes del entorno, sin distinciones significativas entre las dos zonas. Lógicamente, el aspecto de los materiales no merece discusión y puede considerarse sólo como punto de referencia.

Es interesante observar el hecho de que mientras la generalidad de las empresas del Interior manifiestan una alta preocupación por el efecto que tiene la corrosión sobre la atmósfera y las aguas, en la Costa Atlántica dicha preocupación está limitada a uno o dos sectores de la actividad productiva.

Casualmente, las cifras obtenidas al evaluar el grado de simultaneidad en que se ven afectados los diferentes componentes ambientales, son muy semejantes a las correspondientes a las del grado de simultaneidad en el que los ambientes afectan a las empresas.

5. CONCLUSIONES

Se ha puesto en evidencia el importante papel que tiene la atmósfera en la generación de problemas de corrosión, específicamente en el caso colombiano, tanto en la zona de la Costa Atlántica como en el Interior del país.

De forma análoga, se ha encontrado que de los medios estudiados, el suelo es el que menor número de empresas perjudica. No obstante, resalta su importancia en el caso del sector de servicios públicos.

En orden de prioridad, los problemas que más estudios demandan son los relacionados con la corrosión atmosférica, la corrosión de equipos por sustancias químicas y el manejo de las aguas. De esta forma se estaría respondiendo a la casi totalidad de los problemas del sector productivo colombiano.

Respecto al efecto de la corrosión sobre los diferentes constituyentes del ambiente, ha quedado claro que respecto a los materiales, los seres vivos, la atmósfera, los suelos y las aguas, son relativamente poco afectados y entre sus grados de afección no existen diferencias significativas.

Agradecimientos. Los autores del artículo expresan sus más sinceros agradecimientos al doctor Jaime Palacio por los valiosos comentarios hechos a la versión previa. Este trabajo hizo parte del proyecto realizado con el apoyo de COLCIENCIAS, a través del contrato 11508-006-90.

REFERENCIAS

1. PACALI, R., *L'Ingenieria della Corrosione. Notas del Primer Curso Internacional sobre Corrosión*, CIF-UIS: Bucaramanga, 1988.
2. HERRERA, F., DELGADO, J., CUERVO, J., ARROYAVE, C., VALENCIA, A., WILCHES, J., AGUIRRE, O., LINDADO, F., PARRA, M., VILA, G., DE GUTIÉRREZ, R., GALLEGO, N., VÉLEZ, L., RAMÍREZ, C., Y REYES, J., *Inventario de Problemas de Corrosión en el Sector Productivo Colombiano*. En: *Memorias IV Congreso Colombiano de Corrosión y Protección*, U.P.T.C. Universidad del Valle: Paipa, 1997.
3. HOAR, T. P., *Report of the Committee on Corrosion and Protection*, Department of Trade and Industry: London, 1971.
4. BENNETH, L.H., KRUGER, J., PARKER, R.L., PASSAGLIA, E., REIMAN, C., RUFF, A.W., AND YAKOWITZ, H., *Economic Effects of Metallic Corrosion in the United States*, NBS Special Publication: Washington, 1978.
5. DELGADO, J., VALENCIA, A., MARÍN, C., HERRERA, F., Y ARROYAVE, C., *Los Costos de la Corrosión en Colombia: Diseño del Estudio y Resultados Preliminares*, En: *Memorias Primer Encuentro Nacional de Corrosión y Protección*, Universidad de Antioquia: Medellín, 1991.
6. HERRERA, F., DELGADO, J., MARÍN, C. Y RAMÍREZ, C., *Avances sobre un Estudio de los Costos de Corrosión en Colombia, Región Antioquia y Córdoba*, En: *Memorias Segundo Encuentro Nacional de Corrosión y Protección*, Universidad de Antioquia: Medellín, 1993.
7. BARTON, K., *Protection Against Atmospheric Corrosion*, Wiley: London, 1976.
8. ARROYAVE, C., VALENCIA, A., HERRERA, F., MARÍN, C., DELGADO, J., CUERVO, J., WILCHES, J., AGUIRRE, O., LINDADO, F., PARRA, M., DE GUTIÉRREZ, R., RAMÍREZ, C., AND REYES, J., *Corrosion Problems and their Incidence on the Colombian Economy*. En: *Proc. 10th Asia - Pacific Corrosion Conference*, Asia Pacific Materials and Corrosion Association & Indonesian Corrosion Association: Bali 1997.
9. SÁNCHEZ, L., *Seminario Internacional sobre Corrosión en Sistemas de Agua Potable*, ACODAL: Cali, 1989.