



**Anotaciones en torno a los
costos de la corrosión en
Colombia**

Anotaciones en torno a los costos de la corrosión en Colombia

Carlos E. Arroyave Posada
Grupo de corrosión
Depto. de Ingeniería Metalúrgica
Universidad de Antioquia

Resumen

Teniendo en cuenta los resultados de estudios que se han aproximado a los costos de la corrosión en otros países y considerando cifras y particularidades colombianas, se deduce por comparación con el más reciente de los informes en vigencia, el de la N.B.S., en los Estados Unidos, que se pueden aplicar los índices determinados para otras latitudes, de manera que con el límite inferior de 2,5 por ciento del P.N.B., los costos de la corrosión para 1988 debieron alcanzar la suma de \$407.000 millones (US\$1.233 millones), de los cuales se podrían haber evitado entre \$40.700 y \$81.400 millones (US\$123 a US\$246 millones), mediante la aplicación de conocimientos y técnicas existentes. En consecuencia, se está frente a un problema de envergadura nacional, del que el gobierno se debe responsabilizar, con la certeza de que al enfrentarlo debidamente, se obtendrán economías plenamente justificadoras. A ello deben contribuir principalmente los sectores educativo y productivo, con todas las herramientas a su alcance.

Introducción

La vida moderna en sus diferentes formas de desarrollo, ha permitido afirmar que el grado de civilización de una sociedad se mide por el consumo de materiales fundamentalmente metálicos. Esto hace que, aun en un país significativamente atrasado como Colombia, las personas desde su infancia, en las más diversas actividades, entren en permanente contacto con los materiales metálicos y a su vez sufran el problema del deterioro de éstos a través del fenómeno natural de la corrosión.

A nivel colectivo se encuentra el mismo problema, maximizado, ya que hace sentir su efecto en actividades que van de la simple implantación de materiales dentales, hasta los más sofisticados procesos petroquímicos, pasando por una amplia gama de sectores como el transporte, agricultura, minería, manufacturas, informática y hasta la bioingeniería, pilares todos ellos de la economía del país.

A nivel individual, de personas y empresas, la significación del problema de la corrosión es relativa, pero para nadie es un secreto que hechos como el acelerado deterioro de los vehículos automotores en la costa Atlántica colombiana, el mantenimiento, deterioro y

reemplazo de partes y equipos en entidades de servicio público de todo el país, los costos de la lucha contra la corrosión en empresas como Ecopetrol y Alcalis de Colombia, son todos problemas de considerable importancia económica, cuyo peso será incrementado en el inmediato futuro por efecto del constante aumento en el uso de materiales metálicos, el surgimiento de procesos y condiciones de trabajo mucho más severos, la implantación de nuevas industrias y el progresivo aumento de la contaminación.

Debido a la corrosión, se tiene que pagar por la reposición de materiales, fabricación de nuevas piezas y equipos, protección anticorrosiva en diferentes formas, devaluación de partes y equipos, paradas de equipos y partes para mantenimiento y reparación y otro tipo de costos directos; además, surgen otros inconvenientes, quizá más importantes que son los riesgos indirectos, relacionados con la seguridad frente a incendios, inundaciones, naufragios, etc.; la pérdida y contaminación de materias primas y de productos; pérdida de calidad; complicaciones tecnológicas adicionales; deterioro del ambiente por pérdida de su apariencia y aumento de desechos; menor disponibilidad de materias primas y aumento del consumo energético, entre otros.

Cuánto suman estos costos es algo que, no siempre, puede ser respondido individualmente con un buen grado de exactitud. Ya los cálculos globales para el país sugieren grandes dificultades, que en el mejor de los casos, conducirán a un importante factor de error. En casos particulares se logra hacer los análisis de costo/beneficio, que ya a este nivel involucran parámetros complejos y difíciles de apreciar, relacionados con la conveniencia de aplicar métodos anticorrosivos de protección y, como resultado de esto, se pueden encontrar empresas que poseen personal y recursos destinados a dicha tarea.

Lógicamente, son muchas las empresas que están en mora de enfrentar sus problemas de corrosión, pero es mucho mayor el atraso si se considera el problema como algo que puede tener repercusiones nacionales y, en consecuencia, estar en manos del gobierno. Surgen dudas sobre la verdadera magnitud del problema y sobre la conveniencia de hacer los análisis esclarecedores, requeridos.

En los países más avanzados, los costos originados por la corrosión han llamado la atención y preocupado a personas, entidades y gobiernos desde hace ya bastantes años, de manera que se han hecho aproximaciones en torno a dichas cifras, concluyendo en la totalidad de los casos que, aunque no se pueda evitar totalmente, es necesario combatir y controlar la corrosión al máximo. Para lograrlo, la preparación y dedicación de gran número de investigadores e ingenieros ha sido uno de los principales objetivos a cumplir, lo mismo que la difusión más amplia posible de los conocimientos que se han ido adquiriendo. Se ha encontrado que se precisan conocimientos de ramas del saber como la Metalurgia Física, Ciencia de los Materiales, Electroquímica, Biología, Ingeniería, entre otras. Así, algo que en un principio fue fundamentalmente empírico, en los últimos años ha adquirido un carácter altamente científico; para ello se han usado las más modernas técnicas de investigación: microanálisis químico de superficies, microscopía electrónica, métodos de ensayos electroquímicos modernos, como las técnicas de impedancia y el ruido electroquímico, etc., que a fin de cuentas han permitido mejorar y desarrollar las prácticas ingenieriles de combate de los problemas reales mediante el diseño y uso de materiales más adecuados, recubrimientos protectores (metálicos, cerámicos y orgánicos), la protección catódica, el uso de inhibidores y otras formas de control.

No hay duda de que en Colombia, en beneficio de multitud de empresas y personas, se necesita estar al tanto del desarrollo de los conocimientos sobre la corrosión y su combate y, en consecuencia, se requiere personal calificado, en los diferentes grados de formación, capaz de asumir esta tarea. El estado, como principal responsable de la educación de la población, debe asumir también ésta como una más de sus responsabilidades; a su vez, esta obligación puede verse reforzada cuando al mirar la magnitud de los problemas de corrosión en otros países, se deduce que sus costos deben alcanzar cifras que los torna verdadero problema nacional, tal que las acciones gubernamentales deben ir mucho más allá de las meras oportunidades de formación, debiendo estimular la investigación, asimilación, difusión y aplicación de conocimientos a través de un programa de carácter nacional. Con este análisis como punto de partida, se plantea la urgencia de implementación de tal programa y se califica como importante la tarea de acercarse lo más exactamente posible a los verdaderos costos de la corrosión en Colombia y principalmente, identificar los problemas que demandan una más pronta solución.

Situación mundial

Es suficiente recordar algunas noticias de prensa recientes para notar cómo la corrosión está presente en diferentes circunstancias y lugares, provocando daños y gastos a veces exageradamente altos: en la restauración de la estatua de La Libertad, en Nueva York, donde los principales problemas encontrados fueron originados por la corrosión, se invirtieron 66,3 millones de dólares (1); problemas de corrosión de la tubería de una planta de tratamiento de petróleo en el lago de Maracaibo (Venezuela), permitieron que se produjera quizá el mayor derrame de petróleo en el mundo, con más de 50 kilómetros cuadrados totalmente cubiertos por una espesa capa, de incalculables repercusiones para el ecosistema del lago (2); en la lucha contra la degradación de la torre Eiffel en París, se están empleando anualmente 700 toneladas de pintura (3).

Son los tres casos, muestra clara de la afirmación que se hace en relación con que el principal consumidor de acero en el mundo es la corrosión, situación que se detectó hace ya mucho tiempo y que cada vez se fue tornando más preocupante, de manera que a comienzos del siglo, ya empiezan a aparecer reportes y anotaciones llamando la atención y procurando hacer estimativos de los costos generados y la cantidad de materiales perdidos (4,5,6); pero es en 1949, cuando H.H. Uhlig presenta el informe sobre un estructurado análisis de los costos anuales de la corrosión en los Estados Unidos, que se sientan las bases de este tipo de estudios y se llama definitivamente la atención de los países desarrollados hacia la problemática de la corrosión. Uhlig encontró que, a pesar de no haber logrado recoger la totalidad de la información, los costos directos alcanzaban cifras del orden de 5.500 millones de dólares (7), con lo cual justificaba la implantación de un programa de lucha anticorrosiva; éste, podría afirmarse, es el comienzo del acelerado desarrollo de los conocimientos en corrosión.

En los años siguientes se continuó haciendo estimativos y cálculos permitiendo afirmar (8) que para 1965 en la Unión Soviética, de aproximadamente 70 millones de toneladas de acero consumido, cerca del 10 por ciento se perdieron en corrosión, porcentaje que aplicado a la producción mundial de la época significaba cerca de 20 millones de toneladas de metal. Para el mismo año, la National Bureau of Standards (NBS) en los Estados Unidos, estimaba en cerca de 10.000 millones de dólares los costos de corrosión (9).

En 1966, para este mismo país, se afirmó (10) que la industria perdía de 8.000 a 10.000 millones de dólares por costos directos y cerca del doble en indirectos; se calcularon (11) los costos de corrosión para cada 1.000 millas recorridas por un automóvil en US\$5,25 y se compararon los costos de reposición de los silenciadores del parque automotor con los costos de construcción del Canal de Panamá. Para el mismo año, en el mundo, en costos directos, se estimó la suma de 25.000 millones de dólares; continuó el lógico crecimiento de los costos y para el año siguiente se calculó (12) que en los Estados Unidos éstos alcanzaron algo más de 10.000 a 15.000 millones de dólares.

En 1970, Hoar (13) presenta al Ministerio de Industria y Comercio de la Gran Bretaña, un informe en el que se estima que el costo total de la corrosión en ese país, para dicho año, sin considerar algunos sectores, alcanza la cifra de 1.365 millones de libras, equivalentes al 3,5 por ciento del Producto Nacional Bruto (PNB), siendo los sectores más afectados, en su orden, transporte, marina, construcción e industria química (14).

La N.B.S., con base en un estudio del Batelle Columbus Laboratory, presentó al Congreso de su país un informe sobre los costos de corrosión para 1975 (15), donde indicó que dicho monto era de US\$ 70.000 millones, o sea 4,2 por ciento del P.N.B., cantidad sorprendentemente mayor a la que se tenía estimada. De dichas cifras, US\$ 8.000 millones correspondieron al sector gubernamental, de US\$6.000 a US\$14.000 millones al parque automotor y US\$4.000 millones al sector eléctrico (debe tenerse en cuenta que sobre estos datos, se estimó una incertidumbre cercana al 15 por ciento, atribuible a las dificultades de consecución de información).

De acuerdo con estos informes y con algunos estudios sectoriales actualizados (16), se han hecho proyecciones, de modo que para 1982 se estimaban (17) los costos para Gran Bretaña en una suma cercana a 4.000 millones de libras, o sea aproximadamente cuatro veces lo determinado por Hoar doce años antes. De igual manera, para 1985 se estimaba (18) que en Estados Unidos los costos totales ascendían a 167.000 millones de dólares.

En algunos otros países, incluidos Australia y México (19) se han hecho aproximaciones que permiten deducir que los costos anuales por corrosión fluctúan entre 2,5 y 5,0 por ciento del P.N.B., de un país. De acuerdo con cálculos hechos en el sector eléctrico, que mostraron costos cercanos a 27 millones de dólares para 1982 y comparando economías (20), en el Brasil se ha tomado un índice del 3 al 3,5 por ciento del P.N.B. (18,21), para afirmar por ejemplo, que en ese año los costos totales ascendieron a cerca de 7.000 millones de dólares.

Otra forma también muy dicente de enfrentar el asunto, ha sido el tratar de estimar la cantidad de materiales perdidos por causa de corrosión, aspecto que muestra más directamente la relación con el consumo de recursos minerales y energéticos. Al respecto Tomashov (8) afirma que cerca de un tercio de los materiales que se desechan, es porque se han corroído y asume que dos terceras partes pueden recuperarse por refusión, perdiéndose definitivamente cerca del 10 por ciento. La N.B.S., en los Estados Unidos, estima que cerca del 40 por ciento de la producción anual de acero es destinada a la reposición de productos corroídos, es decir, del orden de 40 millones de toneladas anuales, para los últimos tiempos (14). De igual forma se afirma (22) que en Gran Bretaña, cada 90 segundos se pierde una tonelada de acero. Basta recordar que para producir una tonelada de este metal se precisan cerca de $2,5 \times 10^{10}$ Joules, para imaginarnos la cantidad de energía consumida por causa de la corrosión.

De otro lado, los estudios realizados han mostrado algo que es mucho más interesante y es que aplicando la tecnología disponible para la conservación de materiales y equipos, se logran significativos ahorros que justifican verdaderamente la dedicación al combate del fenómeno. A manera de ejemplo puede citarse cómo mediante el correcto control de adición de un inhibidor a un circuito de agua de refrigeración, se alcanzó una economía de 6 millones de francos belgas en un año (23). De manera semejante, se ha calculado (24) que mediante la utilización y desarrollo intenso de los métodos de control de la corrosión, los grandes complejos químicos, petroquímicos y siderúrgicos alcanzan ahorros del orden del 25 por ciento de sus gastos de mantenimiento; así, los sectores químico y petrolero de la Gran Bretaña, economizaron cerca de 3 millones de libras en 1970 (25). Por este motivo, el informe Hoar (13) estimó en cerca de 300 millones de libras (el 22 por ciento de los costos de la corrosión, aproximadamente), el monto de lo economizable anualmente, con la aplicación de los conocimientos existentes en la época. Igualmente el informe de la N.B.S. (15) calculó que para 1975 se podrían haber evitado cerca del 15 por ciento de los costos hallados (10.000 millones de dólares aproximadamente). Todas estas cifras, individual y globalmente, justifican cualquier programa de lucha contra la corrosión que se implante.

Finalmente, en el marco de estos análisis, vale la pena hacer resaltar que sabiendo que cerca del 80 por ciento de las superficies metálicas en uso están expuestas a la atmósfera, se estima que entre un 30 y un 50 por ciento de los costos, se deben a corrosión atmosférica (5,21).

El caso colombiano

Infortunadamente, en Colombia se le ha prestado poca atención a la corrosión, pudiéndose afirmar que a excepción de contadas empresas y personas, el tema ha pasado más que desapercibido. Esto no quiere decir que los problemas sean de poca monta, pues como simples ejemplos bastaría con mencionar la suspensión casi total, durante varios días, del suministro de agua potable a las dos mayores ciudades del país, por problemas de corrosión en las redes de acueductos; dan mucho qué pensar también hechos como el que una empresa nacional gaste del orden de 200 mil dólares al año, en obras de pintura de mantenimiento en su lucha contra la corrosión, con resultados poco efectivos; igualmente es significativo el que un contrato de cerca de 100 mil dólares, para la instalación de las lámparas de un moderno edificio público, sea puesto en tela de juicio y se obligue a la reposición de gran parte de los equipos, por causa de problemas de corrosión surgidos durante el almacenamiento previo a la instalación. Estas son sólo unas poquísimas muestras de lo que efectivamente ocurre en el país.

Obviamente, no se conocen aproximaciones a los posibles costos generados por la corrosión, a excepción de la aplicación del factor de 3 por ciento del P.N.B., con resultados que la mayoría de las veces escandalizan y que al fin de cuentas son de poca o ninguna aceptación. Por esto es interesante mirar algunos indicadores de la economía nacional y ciertas particularidades que, con base en estudios ajenos, pueden justificar mejor cualquier conclusión al respecto.

Producto nacional bruto (P.N.B.)

En 1988 el P.N.B., colombiano se estimó en 49.330 millones de dólares (expresados en valores de 1986 (26-27), que a precios corrientes corresponden a cerca de 16,3 billones

de pesos) que, a grosso modo, equivale a una centésima parte del P.N.B., de los Estados Unidos.

Producción y consumo aparente de acero (C.A.A.)

Siendo importante conocer la producción nacional de acero, se tiene que para 1988 se alcanzaron cerca de 753.600 toneladas (28), correspondientes, también, a una centésima parte de la producción estadounidense.

Más importante aún, en este caso, es hablar del C.A.A. (producción + importación - exportación) que se estima mínimo en 1,4 millones de toneladas, equivalentes aproximadamente a una setentava parte del C.A.A., de los Estados Unidos (28).

Teniendo presente que en Colombia el costo mínimo del acero para ese año superó los 650 dólares por tonelada, el costo mínimo total de C.A.A., alcanzó la cifra de 300.000 millones de pesos (cerca de 910 millones de dólares).

Análisis comparativo de los costos de la corrosión

De los índices presentados arriba, puede verse que el más favorable para Colombia es el C.A.A., lo cual está de acuerdo con el comportamiento del consumo en los últimos años, que mientras disminuye en los Estados Unidos crece en casi todos los otros países. En cierto sentido, éste sería el indicador más próximo al monto de los costos de la corrosión, que al aplicarlo al caso colombiano, suponiendo que en 1988 los Estados Unidos tuvieron costos por corrosión del orden de 167.000 millones de dólares (cifras muy conservadoras), da como resultado 2.386 millones de dólares (\$ 787.380 millones de pesos), correspondientes al 4,8 por ciento del P.N.B. Superior sería este resultado si se tuviera en cuenta que los precios internacionales del acero son muy inferiores a los nacionales.

Por otra parte, tomando el índice reportado del 40 por ciento del C.A.A., en los Estados Unidos como la cantidad destinada a reposición, a precios internacionales de mediados de 1988, tal acero tendría un costo de 16.000 millones de dólares o sea una décima parte de los costos de corrosión; en Colombia, suponiendo que sólo el 10 por ciento es destinado a reposición (según la concepción de Tomashov para 1965 en el mundo), se alcanzaría una inversión de 30.000 millones de pesos, de manera que aplicando la misma proporción del 10 por ciento, que tenga en cuenta los verdaderos costos de piezas, estructuras y equipos, gastos de protección, uso de aleaciones más resistentes, gastos de reemplazo, costos de paradas y la serie de costos indirectos antes mencionados, los costos de la corrosión serían cercanos a 300.000 millones de pesos, o sea el 1,8 por ciento del P.N.B.

De un modo más directo, podría utilizarse la proporción entre los P.N.B., para decir que los costos de la corrosión en Colombia, corresponden a una centésima parte de los de Estados Unidos y se encontraría un resultado del orden del 3,4 por ciento del P.N.B.

Cualquiera de las cifras anteriormente deducidas se vería afectada, por un lado, por las condiciones climáticas severas del trópico y por la poca disposición que se ha tenido para enfrentar el fenómeno y en sentido contrario, por circunstancias como la ausencia de complejos de extrema severidad, (p. e. instalaciones nucleares) y un menor grado de

contaminación. En resumen, podría arriesgarse un equilibrio entre estos factores e intentarse la aplicación de alguno de estos porcentajes. Así, partiendo de que los costos de corrosión en Colombia caen dentro del rango de porcentajes del P.N.B., señalado para otras latitudes, y considerando aquellos elementos que pueden influir notoriamente en el intento por trasplantar los índices de países desarrollados -tales como el hecho de que, en ellos, la proporción de superficies metálicas expuestas y por proteger es muy superior a las proporciones analizadas, que la proporción de bienes de capital (más gravemente afectables por la corrosión) respecto a los de consumo es muy superior, que los costos de construcción, mantenimiento, reparación y reposición de obras son mucho mayores y que los patrones de calidad de vida son superiores- se podría afirmar, optimistamente, que se está en el límite inferior del rango, o sea 2,5 por ciento; lo cual significa que los costos debidos a los daños producidos por la corrosión y su combate, durante 1988, ascendieron, como mínimo a 407.000 millones de pesos (1.233 millones de dólares).

Alcances de una campaña de control:

Pareciendo no existir inconvenientes para que los conocimientos actualmente existentes en torno al fenómeno corrosivo y su combate puedan ser aplicados en el país, tal como se procura hacer en otros lugares, es razonable pensar que el porcentaje de gastos que se evitaría podría fluctuar entre un 10 y un 20 por ciento de los costos totales originados por la corrosión, o sea que entre 40.700 y 81.400 millones de pesos (123 a 246 millones de dólares) durante 1988.

Conclusiones

Indudablemente, el monto de los costos de la corrosión en Colombia, es alto; las cifras por sí solas son más que dicientes, para corroborarlo basta con tener en cuenta que un sector que aporte algo así como el 2,5 por ciento del P.N.B., ya es de peso en el ámbito económico nacional. Es decir, que el problema merece mucha más atención de la que se le ha prestado y toda inversión necesaria, se ve suficientemente justificada al tener en cuenta que, además de importantes ganancias directas, se están evitando considerables costos indirectos como el consumo adicional de minerales y energía, tan escasos y costosos en la actualidad.

El problema realmente es de importancia nacional, de manera que el gobierno debería ser el primero en estar presente en la tarea por combatirlo. Por eso, los organismos estatales pertinentes, deberían, no sólo apoyar sino impulsar el estudio de la corrosión y la aplicación de los métodos anticorrosivos, lo mismo que la implantación de tales técnicas. En consecuencia, una entidad como Colciencias, ente estatal para el fomento de la investigación, que en horabuena apoyó el surgimiento del denominado "Programa Nacional de Ciencia y Tecnología de la Corrosión", está llamado a impulsar y respaldar, con carácter prioritario, las investigaciones en técnicas experimentales, protección catódica, recubrimientos metálicos, inhibidores, corrosión atmosférica y pinturas, que se vienen adelantando y todas aquellas otras que vislumbran contribuciones a la solución de los problemas colombianos.

De igual manera, las instituciones colombianas que imparten educación en ciencia y técnica, principalmente las relacionadas con las áreas de la química, la mecánica y la metalurgia, deberían considerar la magnitud del problema y contribuir a aliviarlo,

Bibliografía

1. *El Colombiano*, Medellín, jn' 9'86
2. *El Mundo*, Medellín, jn' 11'86
3. *El Mundo*, Medellín, O' 4'86
4. F.N. Speller. *Corrosion Causes and Prevention*. 3th, ed. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, 1951
5. K. Barton. *Protection Against Atmospheric corrosion*. Wiley, London 1976
6. M. Pourbaix. *Lectures on Electrochemical Corrosion*. Plenum Press. New York, 1975
7. E. Pietsch. "La corrosión en la economía mundial" En T. Todt (Ed) *Corrosión y Protección*. Aguilar, Madrid, 1959
8. N. D. Tomashov. *Theory of corrosion and Protection of Metals*. The Mc. Millan Co; New York, 1967
9. V. Gentil. *Corrosao 2a. ed.* Guanabara Dois S.A. Rio de Janeiro, 1983
10. I. Mellan. *Corrosion Resistant Materials Handbook*. Noyes Development Co, New Jersey, U. S. A. 1986
11. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Centro Regional de Ayuda Técnica (AID). *La Corrosión y cómo evitarla*. 1a. ed. Madrid, 1966
12. *Mat Prot*, V. 6, N. a, p. 29, Ap' 67
13. T.P. Hoar. "Corrosion - Cost and Control" *Economics of Corrosion Control Autumn Review Course*. The Institution of Metallurgists, London, 1.3 Nv' 74
14. J. Weber. *Rev. Tec.- Sulzer*, 1/2, 1977. pp. 35-42
15. L. H. Bennet et al. "Economic Effects of Metallic Corrosion in the United States". A Report to the Congress by the National Bureau of Standards, My' 78. p. 33
16. M. Khabaib et al. "Accelerated Atmospheric Corrosion Testing" *Atmospheric Corrosion of Metals*. ASTM STP 767, Denver, 19-20 pp. 374-375, My' 80
17. E. Ford. *Rev. Ib. C. y P.*, pp. 11-13 Nv'Dc'84
18. Informe CEPEL No. 24, Rio de Janeiro, Ab'Jn' 86
19. V. Ashworth. *Conferencia*, Bucaramanga, My' 24'83
20. E.T. Serra et al. "Monitoramento para dimensionamento de protecao anticorrosiva. 13o. Seminário de Inspeção de Equipamentos. Maceio, Brasil, 1985
21. E. T. Serra "A atuação do CEPEL na implantação de um estudo de corrosao atmosférica para o setor elétrico brasileiro" IX Congreso Pan-Americano de Engenharia Mecánica, Elétrica e Ramos afins, Costa Rica, 1982

22. J. G. Hines. "On line surveillance techniques. Past, present and future". Symposium on Line Surveillance and Monitoring of Process Plants, Soc. of Chem. Ind., London, Sp'. 77
23. A. Pourbaix. "Le Contrôle de la corrosion". Cebelcor, R. T. 247, o' 78
24. P. Elliot. Corrosion Survey Report, Suppl. to the "Chemical Engineer", Sp' 73
25. *El Colombiano*, Medellín, Ab' 9'89
26. A. Astaburvaga L. Siderurgia Latinoamericana, N. 347, Mr' 89. pp. 2-27