

EL MEDIO AMBIENTE DE LA
REPÚBLICA DE CUBA Y SU
INFLUENCIA EN EL DETERIORO DEL
HIERRO Y EL BRONCE. ALGUNOS
MÉTODOS PARA SU EVALUACIÓN,
CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN

• *Ana E. Cepero Acán* •

RESUMEN

El objetivo de este texto es analizar el proceso de corrosión de los metales, es decir, su influencia de parámetros meteorológicos y aeroquímicos, de acuerdo al medio ambiente de la República de Cuba. Lo cual acarrea consecuencias económicas en la isla. De acuerdo a la problemática antes planteada se enunciarán las estrategias y objetivos de los trabajos de investigación en estaciones de corrosión, de acuerdo a modelos matemáticos y mecanismos de formación y transformación de los productos de corrosión. En particular se analizará el cobre y los factores que determinan su deterioro; así como la formulación y obtención de productos protectores. Este trabajo es el resultado del Proyecto de investigación conjunta con el Getty Conservation Institute (GCI) denominado "Evaluación de recubrimientos protectores ORMOCER en clima tropical-húmedo".

EL MEDIO AMBIENTE DE CUBA Y EL DETERIORO DEL HIERRO Y BRONCE



IMAGEN 1. Vista del Puerto de la Habana

La corrosión de los metales es un tema de gran importancia desde el punto de vista económico y tecnológico, que además reviste gran interés para todos aquellos relacionados con el estudio y la conservación del patrimonio cultural metálico, sin importar el contexto en el que se encuentre: expuesto en los espacios públicos, exhibido en salas de museos o galerías; almacenado en depósitos, formando parte de la estructura de edificios históricos; en el fondo de los mares o bajo tierra. Todos ellos deben ser protegidos.

Los metales constituyen un grupo de materiales en esencia inestables, ya que el proceso que determina su deterioro, LA CORROSIÓN, es totalmente espontáneo, debido a la tendencia de regresar a su estado

EL MEDIO AMBIENTE DE CUBA Y EL DETERIORO DEL HIERRO Y BRONCE

original, es decir, convertirse en minerales (óxidos, cloruros, sulfatos, carbonatos), de donde han sido extraídos por diferentes procesos tecnológicos desarrollados por el hombre.

De ahí que la presencia en la atmósfera de oxígeno, humedad, salinidad (Cl^-), compuestos de azufre (SO_2 , SO_3 , SO_4^{2-} , SH_2 ...), dióxido de carbono (CO_2), y otros contaminantes ambientales, en contacto directo con los metales, provocarán reacciones que facilitarán la trayectoria de los mismos hasta llegar a su condición inicial.

Resulta un problema fundamental en Cuba, donde las pérdidas asociadas a este fenómeno se calculan en más de 3,000 millones de pesos anuales. Lo cual explica la necesidad de conocer con exactitud las causas que determinan esta situación para, a partir de esto, proceder a la búsqueda y aplicación de acciones que permitan neutralizar las afectaciones.

A continuación brindaremos información que les permita conocer la forma en que especialistas, investigadores, conservadores, y personal afín, hemos abordado la temática, considerando como hipótesis

que el singular comportamiento de los materiales metálicos, como veremos más adelante, estaba asociado, en lo fundamental, a las características medioambientales de la isla.

El archipiélago cubano se encuentra situado entre los $20^\circ 12' 36''$ latitud norte, $74^\circ 07' 52''$ longitud oeste; y los $22^\circ 51' 40''$ latitud norte, $84^\circ 57' 54''$ longitud oeste. Tiene un área total de 110,922 km^2 , y una extensión de 1250 km, con 6073 km. de costas, lo que indica que prácticamente todos los puntos del país se encuentran cercanos a ellas. Este importante hecho determina en gran medida el comportamiento de los materiales.

La temperatura media anual en Cuba es de $25,5^\circ \text{C}$ y la diaria nunca es menor de 10°C . La humedad relativa oscila en el verano entre 60-70 % durante el día, y hasta 80-90% durante la noche. En invierno varía desde 65-70% durante el día, y de 85-90 % en el transcurso de la noche. La humedad relativa media anual es de 75%. El clima, entonces, se clasifica como tropical húmedo, otro factor más de riesgo para los metales.

En el ritmo anual de las precipitaciones atmosféricas existen en Cuba dos estaciones del año definidas: la de seca, de noviembre a abril (HR= 68%); y la de lluvia, de mayo a octubre (HR= 82%). El relieve es en extremo variado, y las regiones costeras se caracterizan por un mayor nivel de radiación solar. El estudio de la capa vegetal y del suelo ha puesto en evidencia la presencia abundante de microorganismos y de los elementos necesarios para su metabolismo, otro factor de peligro para la estabilidad física de los objetos, sobre todo en el caso de aquellos enterrados en sitios arqueológicos, que pueden sufrir procesos de corrosión biológica.

Está reportado que la salinidad es un parámetro en extremo importante cuando se analiza el comportamiento de los metales, y en esto cabe señalar que, por la posición geográfica de la isla, casi paralela al Ecuador, la mayor parte del territorio nacional está sometido a la acción de las masas de aire procedentes del norte (vientos alisios del nordeste en invierno, y del este nordeste en verano), lo que debe facilitar el acceso del aerosol marino a las superficies de los objetos y las edificaciones.

Como parte de las investigaciones realizadas durante más de 30 años se ha podido establecer un esquema de distribución de la salinidad, dividiendo a la isla en 3 regiones:

1. alta salinidad: zona comprendida hasta menos de 1 km de la costa norte.
2. media salinidad: zona ubicada a 1-3 km de la costa norte, y hasta 1 km de la costa sur.
3. baja salinidad: zona a más de 3 km de la costa sur.

Existen algunas peculiaridades de interés que se observan en el medio ambiente cubano y que se asocian al comportamiento inusual de los metales y sus medios de protección.

- Elevado nivel de la radiación solar y de los gradientes de temperatura entre el día y la noche, lo que provoca un aumento en los procesos de destrucción de los recubrimientos protectores a base de polímeros; así como de los objetos, esculturas y estructuras metálicas de edificios históricos, que se exponen en condiciones atmosféricas, tanto en exteriores como en interiores.

EL MEDIO AMBIENTE DE CUBA Y EL DETERIORO DEL HIERRO Y BRONCE

- Altos valores de temperatura y de humedad relativa promedio del aire. Por las noches se llega al punto de rocío, y los objetos se cubren de una capa fina de humedad durante 68 horas.

- Concentración notable de iones cloruros (salinidad) en la atmósfera, debido a la cercanía con el mar.

- Considerable actividad química y biológica de los suelos y aguas naturales debido al contenido de iones de hierro, aluminio, sulfatos, cloruros, microorganismos aeróbicos y anaeróbicos.

Las cuestiones antes mencionadas conducen a un incremento de la agresividad ambiental con relación a los materiales en general y a los metales en particular.

La situación ha exigido a los científicos y especialistas tomar medidas para luchar contra el deterioro de los bienes culturales metálicos, y por otra parte, nos ha dado la oportunidad de realizar evaluaciones específicas de productos de corrosión en las condiciones rigurosas de un clima tropical-húmedo con influencia salina.

Se sabe que alrededor de 30% de objetos de metal que se producen anualmente se pierde por corrosión; y aunque de éste se regeneran las 2/3 partes por refundición, 10% de la producción desaparece de forma irremediable.

Datos reportados en la literatura especializada indican que las pérdidas por corrosión a nivel internacional oscilan generalmente entre 4 y 5% del producto interno bruto (PIB). , Atendiendo a algunas de las fundamentales ramas de la economía responde a la siguiente distribución aproximada:

TRANSPORTE-----	30%
NAVAL -----	20%
QUÍMICA Y PETROQUÍMICA-----	15%
SIDEROMECÁNICA-----	12%
CONSTRUCCIÓN-----	9%
ENERGÉTICA-----	8%
COMUNICACIONES-----	5%
OTROS-----	1%

EL MEDIO AMBIENTE DE CUBA Y EL DETERIORO DEL HIERRO Y BRONCE

Como se observa en los datos, nada señala las pérdidas correspondientes al Patrimonio Cultural: colecciones metálicas, esculturas, monumentos, artefactos arqueológicos.

En cierto sentido es normal, ya que las personas que los elaboran ni siquiera consideran a los Bienes Culturales; y suponiendo que lo hicieran, al referirse al deterioro del patrimonio cultural metálico nunca lo podrían hacer en términos de gastos, ni en porcentaje de pérdidas.

No podríamos considerar el material únicamente, existe una historia, una identidad, el mensaje que porta; son factores cosas imposibles de valorar económicamente.

Se ha intentado obtener cifras, aunque sean aproximadas, pero a pesar de las dificultades objetivas existentes para hacer una valoración económica; únicamente nos corresponde a los encargados del cuidado y preservación del Patrimonio Cultural llamar la atención sobre la importancia y la necesidad de implementar las medidas que permitan garantizar su estabilidad física y durabilidad, sensibilizando a

todos los estratos de la sociedad. Sólo así estaremos cumpliendo cabalmente con nuestra obligación de entregar a las generaciones futuras el legado que hemos recibido de nuestros antepasados.

La estrategia seguida en Cuba para luchar de forma objetiva y sobre bases científico-técnicas contra el deterioro de los materiales metálicos, para contrarrestar las pérdidas económicas y sociales provocadas, ha sido, en primer lugar, CONOCER LOS FACTORES QUE DETERMINAN LA CORROSIÓN Y LOS MECANISMOS MEDIANTE LOS CUALES SE PRODUCE.

Para esto, durante más de 30 años diferentes grupos de especialistas del país han llevado a cabo investigaciones para evaluar el comportamiento del hierro, cobre, bronce, latón y otros metales de interés en diferentes zonas; para caracterizar la composición de fases de los productos de corrosión e incrustaciones que se forman sobre la superficie, y así descubrir los mecanismos a través de los cuales se produce la destrucción de estos metales. Con los resultados se pretende participar en el desarrollo de los productos que garanticen su protección efectiva.

EL MEDIO AMBIENTE DE CUBA Y EL DETERIORO DEL HIERRO Y BRONCE

Los trabajos en condiciones de intemperie se han realizado en estaciones de corrosión, debidamente caracterizadas de acuerdo a las normas ISO.

ESTACIÓN	DISTANCIA	DISTANCIA	CORROSIÓN	AGRESIVIDAD
	COSTA NORTE	COSTA SUR	ANUAL ACERO	ISO - 9223
Costera	0,15	54	4081-1304	> C5
Industrial	3	48	510-340	C4
Rural	30	15	267	C3

Los valores de corrosión anual fueron obtenidos en placas de acero al carbono, siguiendo la misma metodología de evaluación en todos los casos.

El acero al carbono es una aleación ferrosa. La corrosión que sufre es de tipo uniforme, porque se produce a la misma velocidad a lo largo de toda la superficie, formando, en condiciones atmosféricas adecuadas, la conocida herrumbre, una mezcla de óxidos de hierro hidratados, resultado de una serie de procesos electroquímicos que se aceleran en presencia de la humedad, y cuya coloración dependerá también de ella.

Para realizar un pronóstico del comportamiento que va a tener cierto metal, en un ambiente determinado, un parámetro importante a tener en cuenta, en el análisis que se lleve a cabo, es el valor de la temperatura en la cual ocurre la corrosión.

Como resultado de las investigaciones ejecutadas en Cuba, se ha determinado que la temperatura del aire a la que se produce la corrosión es aquella en la que la humedad relativa es mayor a 80%. Por lo tanto, el intervalo de temperatura en el cual se alcance más veces una humedad relativa superior a 80%, corresponderá con una frecuencia mayor de ocurrencia del proceso de deterioro metálico. Las mediciones efectuadas permitieron ubicarlo entre 20 a 250C.

Si tomamos en consideración la situación geográfica del país, supone que los cambios climáticos en la isla serán pequeños ya que, como sabemos, el clima cambia fundamentalmente con la altura, y el intervalo de latitudes en que se ubica el archipiélago cubano es muy estrecho. Entre los 200 y 230 solo hay una diferencia de 30. Esto ha podido co-

robórase pues, para la mayoría de las regiones del país, el tiempo durante el cual la humedad relativa es superior a 80% es muy corto.

Se puede por tanto considerar que si la temperatura y la humedad relativa son aproximadamente constantes en todo el territorio, los fenómenos de corrosión observados, y en específico, la velocidad de corrosión van a estar determinados por la acción de los contaminantes ambientales. Debido a esto, a pesar de no encontrarnos en un país caracterizado por un nivel alto de industrialización, también se ha dirigido la atención a la determinación cuantitativa de la influencia de los contaminantes ambientales en el deterioro de los materiales metálicos.

Los contaminantes que se definen a nivel mundial como los de mayor importancia para la corrosión de los metales son los iones cloruros (salinidad) y los compuestos del azufre. Sin embargo, la experiencia de Cuba es que el contaminante natural más importante es la salinidad. Por ejemplo, un aumento de la salinidad en $1\text{mg}/\text{m}^2$ por día llega a producir un incremento en la velocidad de corrosión del acero en $15\text{g}/\text{m}^2$. Esta aceleración se ha manifestado también

en otros metales de interés cultural como el zinc, el aluminio y el cobre.

Esto no quiere decir que otros parámetros no influyan, si no que su acción, en un marco general, es más constante. Tal es el caso de los compuestos de azufre, que muchas veces acompañan a los aerosoles de cloruros, y que pueden producirse por las industrias, los motores de combustión interna entre otros.

Tomando en consideración estos hechos se han propuesto varios modelos matemáticos. Uno de ellos ha encontrado cumplimiento para los datos acumulados por más de 25 años, en los ensayos realizados con el acero, en condiciones atmosféricas expuestos a diferentes tiempos de exposición. Con este modelo se proponía una dependencia directa de la velocidad de corrosión del acero con la salinidad y de los compuestos de azufre, incluyendo interacciones entre ambos, y una posible aceleración por cada uno. Todo esto confirma lo que hemos observado en la práctica, pues los aniones cloruros y los sulfatos se encuentran siempre presentes en los aerosoles y en los productos de corrosión.

Otro dato de importancia que se debía determinar era el tiempo durante el cual tenía lugar el proceso de corrosión, y resultó ser de 58% del año para exteriores, y 30% para interiores.

Desde el punto de vista teórico también se han hecho contribuciones a los mecanismos de formación de los productos de corrosión del acero en medios acuosos neutros, que fueron corroborados posteriormente para el caso de la corrosión atmosférica.

Los principales productos de corrosión del acero en el clima tropical-húmedo de Cuba son los oxihidróxidos goetita α , lepidocrocita γ y el óxido magnetita Fe_3O_4 , en proporciones que van a depender de las características del medio en el cual se produce el proceso de corrosión.

Un resultado novedoso fue la detección del desarrollo de una transformación de fase, en la cual el oxihidróxido lepidocrocita (γ) se transformaba en el oxihidróxido goetita (α) cuando la salinidad era baja. Si por el contrario ésta era alta, aparecía también la magnetita. Lo que conlleva implicaciones de carácter práctico, como se dijo la goetita es una película de

óxido compacta, homogénea y uniforme que puede actuar como una barrera que aísla la superficie metálica protegiéndola del contacto directo con los agentes agresivos del medio ambiente. La lepidocrocita (γ), por el contrario, es menos compacta dejando parte de la superficie al descubierto y expuesta al ataque.

A continuación presentaremos la situación para el cobre, un metal no ferroso que es la base de las aleaciones bronce y latón. El empleo del bronce en la escultura y la monumentalidad se remonta casi a las primeras etapas de la civilización. Durante mucho tiempo se consideró al bronce un material altamente resistente a las condiciones atmosféricas. No obstante, el incremento de la quimización de los procesos industriales modernos ha ido modificando el entorno, aumentando la agresividad del medio ambiente, y provocando de esta forma, una aceleración de los procesos de alteración de las aleaciones haciendo aparecer manchas, costras, rajaduras.

Internacionalmente, para este material se ha planteado que los agentes que más influyen son los compuestos de azufre: SO_2 , SO_3 , H_2S , H_2SO_4 . En nuestro caso, necesitábamos saber cuál era el com-

portamiento en las condiciones ambientales peculiares del país. No se podía asumir lo reportado sin analizarlo con un espíritu crítico, y sin confrontarlo con nuestra realidad. La velocidad de corrosión fue evaluada así como la deposición de los iones cloruros (salinidad) y de los compuestos de azufre en 5 estaciones de corrosión durante 5 a diferentes periodos de exposición.

Resultó interesante comprobar que la corrosión del cobre en Cuba era muy alta comparada con la reportada en varios países europeos. Los valores obtenidos en las zonas rurales cubanas, donde se considera mínima la contaminación, fueron de 0,78-0,94 $\mu\text{m}/\text{año}$, resultando equivalentes a los reportados en zonas costeras europeas, consideradas de alta agresividad, donde existe un elevado nivel de salinidad.

También se observó diferencia en el orden de la agresividad, atendiendo al tipo de atmósfera. Si bien en Europa, de forma general es:

Industrial > Costera > Rural

en Cuba se obtuvo:

Costera > Industrial > Rural

Los valores de corrosión determinados por pérdida de peso, obtenidos en las diferentes estaciones, se realizó una correlación lineal entre la corrosión del cobre en cada estación y el tiempo de exposición obteniéndose buenos ajustes. En todos los casos la pendiente va aumentando en el orden:

Rural < Industrial < Costera

Pero esta pendiente puede considerarse igual a la velocidad de corrosión estacionaria, o lo que es lo mismo, al valor de la corrosión cuando ya el metal se encuentra cubierto por una capa de productos de corrosión.

Para determinar si el cobre cumplía, como en el caso del acero, con que las variaciones fundamentales de la corrosión estaban determinadas por la salinidad y los compuestos del azufre se realizaron correlaciones multilineales entre la corrosión del cobre en todas las estaciones y la concentración de iones cloruros y de dióxido de azufre para los tiempos de 1, 2, 3, 4 y 5 años.

EL MEDIO AMBIENTE DE CUBA Y EL DETERIORO DEL HIERRO Y BRONCE

Los ajustes también fueron buenos. Solamente en el primer año esto no sucedió así, debido al hecho de que al cabo de ese tiempo, aún no se había alcanzado la velocidad de corrosión estacionaria, y la influencia de otros factores meteorológicos, como la humedad y la temperatura.

En las ecuaciones se observó claramente que los coeficientes que acompañan a la concentración de dióxido de azufre son siempre superiores a los coeficientes que afectan a la concentración de iones cloruros. Lo anterior confirma el hecho de que el cobre es más susceptible a la acción de los compuestos de azufre que a la salinidad cuando se corroe a la intemperie. Este comportamiento es totalmente diferente al del acero.

Mediante análisis por Difracción de Rayos X (DRX) de los productos de corrosión recogidos sobre las superficies de las placas de cobre en las estaciones, se estableció, de acuerdo a criterios semicuantitativos, que la composición de fases variaba de la siguiente forma:

ESTACIÓN INDUSTRIAL

Antlerita > Brocantita > Óxido de cobre I > Atacamita > Malaquita

ESTACIÓN COSTERA

Atacamita \approx Paratacamita > Óxido de cobre I > Brocantita

ESTACIÓN RURAL

Brocantita > Atacamita > Óxido de Cobre I

Se observó que la composición de los productos de corrosión coincide con la contaminación reportada, ya que en la zona industrial se obtienen más sulfatos (antlerita, brocantita) y en la costera más cloruros (atacamita, paratacamita).

El resultado de los análisis por DRX de la capa de productos de corrosión de un monumento de bronce ubicado en la Avenida del Puerto, muy próximo a la Bahía de La Habana y a vías del elevado tránsito vehicular, mostró como fases fundamentales a los cloruros básicos atacamita y paratacamita.

EL MEDIO AMBIENTE DE CUBA Y EL DETERIORO DEL HIERRO Y BRONCE

Para corroborar los resultados obtenidos por el análisis de DRX se registraron los espectros infrarrojos IR de los productos de corrosión recogidos sobre las placas de cobre en la estación rural y costera, así como de los encontrados en el monumento anteriormente citado.

El espectro de la incrustación del monumento ubicado en la Avenida del Puerto es una especie de combinación de lo encontrado en los productos de corrosión de las estaciones de ensayo rural y costera.

Esto nos permitió establecer, y no de forma empírica, la agresividad de la zona frente a los monumentos de bronce, y permitió dar las recomendaciones pertinentes para la realización de los tratamientos de intervención y protección de otras esculturas situadas en el mismo lugar, amenazadas de sufrir la "enfermedad del bronce", al encontrarse los iones cloruros Cl^- como contaminantes en las incrustaciones.

En nuestras investigaciones no olvidamos el hecho de que gran parte de las colecciones metálicas se encuentran ubicadas en galerías, museos, depósitos y edificios históricos. De ahí que nos interesó saber

también cual era el comportamiento que tendrían estos materiales en dichas condiciones.

Se hicieron determinaciones de contaminantes ambientales, en específico de iones cloruros (salinidad), polvo y compuestos de azufre sedimentados. Se seleccionaron 4 museos y las metodologías utilizadas forman parte del Sistema de Normas Cubanas.

En la tabla siguiente se observa que los valores son elevados, lo que se explica a partir de la ubicación de los 3 museos, en zonas cercanas al puerto, y zonas urbanas de elevado tránsito vehicular, dos de ellos comprendidos dentro del Centro Histórico de la Habana Vieja, considerado Patrimonio de la Humanidad. La diferencia de los niveles de salinidad entre una costa y otra de la isla quedó al descubierto en las investigaciones.

EL MEDIO AMBIENTE DE CUBA Y EL DETERIORO DEL HIERRO Y BRONCE

ESTACIONES EXPERIMENTALES	EMPOLVAMIENTO TOTAL mg/m ² día	COMPUESTOS DE AZUFRE mg/m ² día
Museo Nacional de la Música		
Sala principal	30.2	8.6
Museo de la Ciudad		
Salón del trono	16.7	7.0
Despacho privado	22.7	4.8
Salón de armas	9.9	7.3
Salón de espejos	10.5	6.0
Museo Napoleónico		
Gran Salón	17.6	4.7
Recibidor	17.7	-
Despacho	5.8	2.3
Dormitorio	19.4	6.1
Biblioteca	106.9	-

Determinación de contaminantes ambientales en zonas de interés histórico-cultural.

En el caso del cuarto museo, Museo Provincial de Cienfuegos, ubicado en la costa sur, a pesar de los valores elevados de temperatura y humedad relativa, que sobrepasan los señalados como favorables; la corrosión que presenta los objetos de la colección metálica no es tan fuerte, lo que pone de manifiesto la necesidad de la contaminación ambiental para que se haga efectivo, de manera considerable, el proceso de deterioro, ya que en este caso la salinidad determinada (presencia de iones cloruros) es más baja.

Estación experimental	Salinidad Cl ⁻ mg/m ² día
Museo de la Música (costa norte)	24.9
Museo Provincial Cienfuegos (costa sur)	3.0
HR= 73,6%, T= 250 C	

A continuación se presentan los valores de corrosión obtenidos en muestras de cobre y de acero expuestas en el Museo Nacional de la Música, donde habíamos obtenido un alto nivel de empolvamiento y de compuestos de azufre.

EL MEDIO AMBIENTE DE CUBA Y EL DETERIORO DEL HIERRO Y BRONCE

		Intemperie	Sala	Vitrina	Almacén
6 meses	ACERO	0,0840	0,0378	0,0013	0,0017
12 meses		1,4771	0,0764	0,0302	0,0356
6 meses	COBRE	0,0436	0,0018	0,0006	-
12 meses		0,0529	0,0044	0,0011	0,0012

Pérdida de peso (g) del cobre y el acero en el Museo de la Música

Todos los resultados nos llevaron al concepto de tratamiento de conservación diferenciado, es decir, a la optimización de los recursos materiales y humanos utilizados en la protección anticorrosiva, el tipo de recubrimiento, los espesores de las películas protectoras, los periodos de chequeo, los cuales deberán adecuarse a las características del lugar y del metal.

Datos reportados en la literatura señalan que más de 80% de las instalaciones, equipos, monumentos, esculturas, objetos metálicos y estructuras metálicas de edificios históricos se exponen en condiciones atmosféricas, desde una plaza pública hasta el interior de una vitrina, sometidos a la acción dañina de los agentes meteorológicos y aeroquímicos. Todos ellos deben ser protegidos.

Pero esta protección no siempre se realiza correctamente. En ocasiones se seleccionan productos de baja resistencia para las condiciones dadas, mientras que otras veces se aplican algunos que ofrecen un grado de protección mayor de lo necesario, resultando de esta forma antieconómicos.

De ahí la importancia primordial de, en primer lugar, conocer la agresividad corrosiva de una atmósfera. Esto permitirá garantizar la máxima durabilidad de los objetos, emplear los métodos más adecuados y seleccionar los regímenes de mantenimiento y conservación pertinentes. Por otra parte, al aumentar el conocimiento de los mecanismos que determinan la ocurrencia del proceso de la corrosión, estaremos en mejores condiciones

de formular productos anticorrosivos cada vez más efectivos, optimizando al propio tiempo los procedimientos para su obtención.

La estrategia que hemos seguido en el desarrollo de medios de protección anticorrosiva ha prestado especial atención a la utilización de materias primas nacionales como proveedores de los principios activos.

Hasta el momento, de los medios que se han producido en nuestros laboratorios, los más prospectivos han sido:

- TPC-88

Un fluido multipropósito, penetrante, anticorrosivo y desincrustante, elaborado a partir de derivados de la caña de azúcar, que ha dado muy buenos resultados como eliminador del agua y la humedad superficial, y como medio de protección temporal para el hierro y el bronce en interiores. Se puede aplicar por inmersión, con brocha o mediante *spray*. De muy fácil preparación, para lo que no se requiere de equipos especiales, ni personal especializado y por el que se solicitó y obtuvo patente de invención.

Su utilización en el tratamiento de conservación de la colección de agujas metálicas fonógrafo del s. XIX, pertenecientes al Museo Nacional de la Música, permitió la recuperación de este valioso patrimonio, el cual, después de más de 10 años de almacenaje en condiciones climáticas no controladas, no ha presentado signos de ataque, encontrándose las agujas listas para ser utilizadas.

Para su formulación partimos de la información de patentes, donde encontramos que en este tipo de producto siempre estaban presentes ácidos carboxílicos, los cuales tratamos de buscar en los derivados de la cera de la caña de azúcar, un cultivo nacional.

- CONVERTOR

Un convertidor de óxidos. Este tipo de sustancia a la que también se le conoce como transformador de herrumbre, porque es capaz de penetrarla y reaccionar con ella dando lugar a compuestos estables, adherentes y compactos, capaces de proteger la superficie del acero; se obtuvo a partir del tаниno de eucalipto. Su aplicación ha sido efectiva al ser utilizado en la conservación de objetos ferrosos en

museos, de rejas metálicas colocadas en exteriores, y con posibilidades de empleo en los tratamientos localizados para las estructuras metálicas dañadas en el hormigón armado.

Finalmente presentaremos resultados de la utilización en Cuba de un sistema de recubrimientos protectores para el acero, el bronce y el latón, desarrollados mediante el proyecto EV5V-CT92-0107 New Conservation Methods for Outdoor Bronze Sculptures (1993-1995) de la comunidad europea, en el que participaron diferentes instituciones de Dinamarca, Suecia, Alemania, Rumania y República Checa.

Dichos recubrimientos fueron probados en climas templados con muy buenos resultados, para proteger las aleaciones de cobre contra la acción atmosférica. No se reportaba información de su comportamiento en climas tropicales.

Gracias a la colaboración existente entre nuestro Laboratorio y el Getty Conservation Institute, de Los Ángeles, se llevó a cabo una investigación, en el marco del proyecto Environmental effects on collections in hot humid climates, mediante el cual evaluamos

en nuestras estaciones de corrosión, la resistencia de 2 formulaciones de los recubrimientos ORMOCER, nombre que proviene de ORganic MOdified CERamics, de lo cual se obtuvo una tremenda diferencia entre su comportamiento en las condiciones de un clima tropical-húmedo y las de un clima templado.

CONCLUSIONES

1.- Se ha podido determinar, en las condiciones del clima tropical-húmedo salino de la República de Cuba, que el deterioro del hierro y el cobre se produce por mecanismos diferentes. En el caso del hierro la determinante es la salinidad, mientras que para el cobre y sus aleaciones, el bronce y el latón, el factor de mayor influencia es la contaminación por los compuestos de azufre.

2.- A partir de materias primas nacionales se han obtenido los principios activos que han permitido la formulación de medios de protección anticorrosiva, para estos materiales metálicos, en estas condiciones específicas ambientales agresivas.

EL MEDIO AMBIENTE DE CUBA Y EL DETERIORO DEL HIERRO Y BRONCE

3.- El empleo de productos comerciales con buen comportamiento en climas templados no debe realizarse de forma indiscriminada y sin una evaluación previa en condiciones de agresividad mayores como el caso de los climas tropicales húmedos con influencia salina.

4.- Las investigaciones que se han ejecutado durante más de 30 años nos han permitido disponer en el presente de los parámetros objetivos para programar los ensayos acelerados de materiales metálicos y medios de protección en cámaras climáticas.

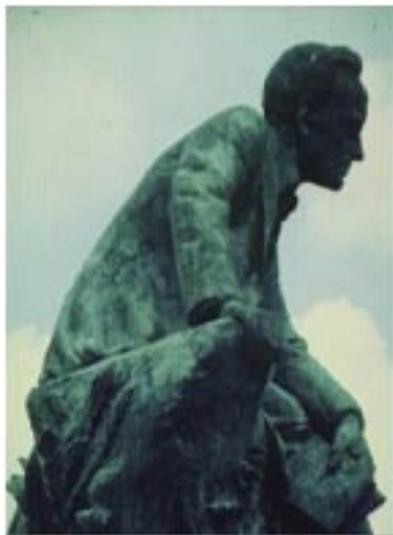


IMAGEN 2, Derecha. Escultura afectada por la "enfermedad del bronce" ubicada en la Avenida del Puerto de la Habana, Cuba.

IMÁGENES 3 Y 4, Arriba. Mezcla de óxidos de hierro hidratados sobre piezas colocadas a la interperie.

BIBLIOGRAFÍA

CEPERO, A.

- 1972 *Sobre algunos aspectos del mecanismo de crecimiento de las picaduras en acero inoxidable X18H10T.* Tesis de Master in Science. Centro Nacional de Investigaciones Científicas.
- 1982 *Algunos aspectos del mecanismo de la corrosión y protección del acero CT-3 en medios acuosos neutros.* Tesis de Doctorado. La Habana, Cuba, Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CENIC).
- 1998 "Los metales en los bienes culturales y estructuras: acción de los contaminantes ambientales en su deterioro", en *Libro de Actas IV Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificaciones*, La Habana, CICOP.
- 2002 "Corrosion and conservation of copper and its alloys in the Republic of Cuba". *Preprints 13th Triennial Meeting of the ICOM-CC*, Rio de Janeiro.

CEPERO, A, A. ABREU, C. CANDEDO, C. BAUTA, I, SALGADO

- 1988 "Medios para la protección interoperacional de piezas y equipos", *Revista Iberoamericana de Corrosión y Protección*, España, vol XIX, no 5.

CEPERO, A., C. CANDEDO, C. BAUTA, I, SALGADO.

- 1992 *Líquido multipropósito, penetrante, anticorrosivo y antincrustante.* Patente de invención C23F 11/10, 3-3-1992, Cuba.

CORVO, F.

- 1980 *Estudio de la corrosión atmosférica en el clima tropical-húmedo de Cuba.* Tesis de Doctorado, La Habana, Cuba, Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CENIC).

CORVO, F., N. BETANCOURT Y A. MENDOZA.

- 1995 "The influence of airborne salinity on the atmospheric corrosion of steel", *Corrosion Science*, vol 37, no 12.

CORVO, F. ET AL.

- 1985 "Development of Methods for protection against corrosion" en *Proceedings of the 4th International Conference of the COMECON on the problem*, Varna, Bulgary.

BRICUYET, E.

- 1987 *Protección temporal contra la corrosión de piezas de repuesto almacenadas bajo techo.* Tesis de Doctorado, La Habana, Cuba.

FEENSTRA, J.F.

- 1984 Cultural property and air pollution damage to monuments, art-objects, archives and buildings due to air pollution. The Netherlands, Ministry of House, Physical Plannig and Environment.

GETTY CONSERVATION INSTITUTE (GCI),

- 1996 *Environmental effects on collections in hot and humid climates.* Research Project.

GÓMEZ, J.L.

2002 *Estudio corrosivo sobre 4 metales en estaciones cubanas del proyecto MICAT*, Tesis de Doctorado, La Habana.

HACES, C.

1985 *Principales mecanismos de los productos de corrosión en el clima tropical-húmedo de Cuba*. Tesis de Doctorado, La Habana, Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CENIC), .

ISO 8565

Corrosion of Metals and Alloys- Atmospheric corrosion testing: General requirements.

ISO 9223

1992 *Corrosion of Metals and Alloys- Measurement of pollution in the atmosphere.*

ISO 4540

1980 *Metallic coatings: Coatings cathodic to the substrate Rating of electroplated test specimens subjected to corrosion test.*

N.C.12-01-08

1982 *Determinación del contenido de dióxido de azufre en la atmósfera*. Norma Cubana

N.C.12-01-09:

1988 *Determinación del contenido de cloruros en la atmósfera*. Norma Cubana

MENÉNDEZ, A.

1997 *Estudio de las condiciones ambientales en el Museo Provincial de Cienfuegos*. Tesis de Maestría , Cienfuegos, Cuba.

PATENTE URSS,

No 341541, clas. B08 B3/08, 14.07.72

No 865880, clas. C09 K3/10, 25.09.81

No 663706, clas. C09 K3/10, 25.09.79

PATENTE FRANCIA,

1975 No 2281778, clas. C09 K3/00.

PILZ M., ROMICH H.

1995 "A new conservation treatment for outdoor bronze sculptures based on ORMOCER", en *Actes de la Conférence internationale sur la conservation des métaux*, Semour en Auxois.

S/A

1988 *Investigaciones en el campo de la corrosión y el deterioro de materiales en ambientes naturales y especiales*. División de Corrosión, CENIC.

S/A

1989 *New Cuban National Atlas*. Instituto de Geografía. Academia de Ciencias de Cuba, Ciudad de la Habana.