



**UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS**

**TESIS DOCTORAL**

**ESTUDIO DE LA MODELACION MATEMÁTICA DE LA  
CORROSIÓN ATMOSFÉRICA DEL COBRE EN LA PROVINCIA DE  
LAS PALMAS. CARACTERIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE  
CORROSIÓN MEDIANTE TÉCNICAS ELECTROQUÍMICAS.**

**PEDRO MIGUEL GONZÁLEZ SÁNCHEZ**

Las Palmas de Gran Canaria, 2009

A mis padres.

A Nandy.

A mis hijos.

## **Agradecimientos**

Quiero dejar constancia de mi más sincera gratitud al Dr. D. Juan Emilio González González, catedrático de universidad y director de este trabajo, por haberme dado la oportunidad de desarrollar esta tesis. Su confianza y tesón han sido, sin duda, el mejor de los estímulos; su conocimiento y experiencia, el mejor de los avales.

También quiero agradecer especialmente al Dr. D. Juan José Santana Rodríguez su colaboración en este trabajo; sus acertados consejos y experiencia han sido también fundamentales.

Mi cariño y gratitud a todos y cada uno de los componentes de la familia de CAFMA, por su total predisposición en todo momento y por conseguir que en estos años me sintiera como uno más.

A mis compañeros y amigos, por sus ánimos siempre necesarios.

Y especialmente a mi familia, por todo su amor y aliento, siendo los grandes sacrificados para que esta tesis haya visto la luz.

A todos, muchas gracias.

# Índice General

---

<b>1.- INTRODUCCIÓN GENERAL.</b> .....	2
1.1.- La corrosión metálica. ....	2
1.1.1.- <i>Importancia económica y social.</i> .....	4
1.1.2.- <i>Clasificación.</i> .....	6
1.1.3.- <i>Formas de expresar la velocidad de corrosión.</i> .....	9
1.2.- Antecedentes. ....	10
1.2.1.- <i>Principios generales de la corrosión atmosférica.</i> .....	10
1.2.1.1.- <i>Mecanismo de la corrosión atmosférica y principales variables.</i> .....	10
1.2.2.- <i>Datos climáticos, viento y tiempo de humectación.</i> .....	13
1.2.2.1.- <i>Humedad relativa del aire.</i> .....	14
1.2.2.2.- <i>Influencia del viento.</i> .....	17
1.2.3.- <i>Acción de los cloruros.</i> .....	17
1.2.4.- <i>Acción del SO<sub>2</sub>.</i> .....	19
1.2.5.- <i>Partículas atmosféricas.</i> .....	23
1.2.6.- <i>Efecto de la orientación del metal.</i> .....	24
1.2.7.- <i>Corrosión del cobre.</i> .....	24
1.2.8.- <i>Ecuaciones de velocidad de corrosión.</i> .....	29
1.3.- Objetivos. ....	33
<b>2.- FUNDAMENTOS DE LA CORROSIÓN METÁLICA.</b> .....	36
2.1.- La corrosión electroquímica. ....	36
2.2.- Aspectos termodinámicos de la corrosión. ....	39

2.2.1.- <i>Termodinámica electroquímica. Medidas de potencial de electrodo.</i> .....	41
2.2.2.- <i>Diagramas de Pourbaix.</i> .....	45
2.3.- Aspectos cinéticos de la corrosión. ....	48
2.3.1.- <i>Descripción matemática.</i> .....	48
2.3.2.- <i>Determinación de la velocidad de corrosión.</i> .....	56
2.4.- Métodos electroquímicos para el estudio de la corrosión. ....	60
2.4.1.- <i>Métodos de corriente continua para determinar la velocidad de corrosión. Polarización lineal.</i> .....	61
<b>3.- METODOLOGÍA EMPLEADA.</b> .....	64
3.1.- Elección de los puntos de colocación de las probetas. ....	64
3.2.- Construcción de la estructura metálica y preparación de las probetas. ....	67
3.2.1.- <i>Estructuras Metálicas.</i> .....	67
3.2.2.- <i>Probetas.</i> .....	68
3.2.2.1.- <i>Marcado.</i> .....	69
3.2.2.2.- <i>Limpieza.</i> .....	70
3.2.2.3.- <i>Pesada, cálculos de superficie y empaquetado.</i> .....	70
3.3.- Accesorios de la estación de corrosión. ....	72
3.3.1.- <i>Captadores de SO<sub>2</sub>.</i> .....	72
3.3.2.- <i>Captadores de cloruros.</i> .....	72
3.3.3.- <i>Estaciones meteorológicas.</i> .....	72
3.4.- Análisis de los contaminantes atmosféricos. ....	72
3.4.1.- <i>Método analítico empleado en la determinación de SO<sub>2</sub>.</i> .....	72
3.4.2.- <i>Método analítico empleado en la determinación de cloruros.</i> .....	74
3.5.- Estudio de las probetas de cobre. ....	75
3.5.1.- <i>Determinación de la pérdida de peso.</i> .....	75
3.5.2.- <i>Difracción de Rayos X.</i> .....	76
3.5.2.1.- <i>Introducción.</i> .....	76
3.5.2.2.- <i>Métodos de análisis.</i> .....	77
3.5.2.2.1.- <i>Método del polvo.</i> .....	77
3.5.2.2.2.- <i>Difractometría de Rayos X.</i> .....	78
3.5.2.3.- <i>Preparación de las muestras.</i> .....	79

3.5.2.4.-Equipo utilizado. ....	80
3.6.- Estudios de polarización. ....	81
<b>4.- RESULTADOS OBTENIDOS. ....</b>	<b>86</b>
4.1.- Pérdida de peso. ....	86
4.2.- Niveles de humedad y de contaminantes. ....	87
4.3.- Difracción de Rayos X. ....	87
4.4.- Polarización. ....	93
4.4.1.- Medidas en cloruros. ....	93
4.4.2.- Medidas en sulfatos. ....	99
4.4.3.- Medidas en $Na_2SO_4$ 0,05M ÷ diferentes concentraciones de NaCl.....	106
<b>5.- DETERMINACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE CORROSIVIDAD. ....</b>	<b>125</b>
5.1.- Introducción. ....	125
5.2.- Alcance de la norma. ....	126
5.3.- Símbolos y abreviaturas. ....	127
5.4.- Clasificación del tiempo de humectación. ....	128
5.5.- Clasificación de las categorías de contaminación. ....	129
5.5.1.- Categorías de $SO_2$ . ....	129
5.5.2.- Categorías de cloruros. ....	130
5.6.- Categorías de corrosividad de la atmósfera. ....	131
5.7.- Clasificación de la corrosividad basada en de velocidad de corrosión de especímenes estándares. ....	132
5.8.- Clasificación de la corrosividad en base a los datos medioambientales. ....	133
5.9.- Índices de corrosividad obtenidos. ....	134
5.10.- Mapas de corrosividad atmosférica para el cobre en la provincia de Las Palmas. ....	136
5.10.1.- Isla de Fuerteventura. ....	137
5.10.2.- Isla de Lanzarote. ....	138
5.10.3.- Isla de Gran Canaria. ....	139
<b>6.- MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL COBRE. ....</b>	<b>141</b>
6.1.- Ley Potencial. ....	141

6.1.1.- Modelación por categorías de corrosividad. ....	145
6.2.- Modelo propuesto. ....	147
6.2.2.- Modelación por categorías de corrosividad. ....	152
6.3.- Análisis de ajuste de los modelos estudiados. ....	154
6.3.1.- Ley Potencial. ....	157
6.3.1.1.- Análisis de ajuste por categorías de corrosividad. ....	159
6.3.2.- Modelo propuesto. ....	160
6.4.- Análisis de los residuos. ....	160
<b>7.- DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.</b> .....	162
7.1.- Discusión de los resultados del estudio de corrosión atmosférica. ....	162
7.2.- Discusión de los resultados de la modelación matemática. ....	164
7.3.- Discusión de los resultados de la difracción de rayos X. ....	166
7.4.- Discusión de los resultados de los estudios electroquímicos. ....	168
<b>8.- CONCLUSIONES.</b> .....	179
<b>10.- BIBLIOGRAFÍA.</b> .....	182
<b>ANEXO I.</b> .....	195
<b>ANEXO II.</b> .....	235
<b>ANEXO III.</b> .....	246
<b>ANEXO IV.</b> .....	379
<b>ÍNDICE DE TABLAS.</b> .....	400
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.</b> .....	404

# Capítulo 1

## Introducción General

---

### 1.- INTRODUCCIÓN GENERAL.

#### 1.1.- La corrosión metálica.

*1.1.1.- Importancia económica y social.*

*1.1.2.- Clasificación.*

*1.1.3.- Formas de expresar la velocidad de corrosión.*

#### 1.2.- Antecedentes.

*1.2.1.- Principios generales de la corrosión atmosférica.*

*1.2.2.- Datos climáticos, viento y tiempo de humectación.*

*1.2.3. - Acción de los cloruros.*

*1.2.4.- Acción del SO<sub>2</sub>.*

*1.2.5.- Partículas atmosféricas.*

*1.2.6.- Efecto de la orientación del metal.*

*1.2.7.- Corrosión del cobre.*

*1.2.8.- Ecuaciones de velocidad de corrosión.*

#### 1.3.- Objetivos.

## 1.- INTRODUCCIÓN GENERAL.-

### 1.1.- La corrosión metálica.-

A lo largo de la historia el hombre ha utilizado los metales que la naturaleza ofrece para dar respuesta a sus necesidades en muchísimos ámbitos del desarrollo de la humanidad. En la naturaleza los metales se encuentran en combinación con otros elementos, formando compuestos tales como óxidos, sulfuros, hidróxidos, etc., por tratarse de formas termodinámicamente más estables. Sólo aquellos metales más nobles se presentan en estado puro, sin estar combinados químicamente con otros elementos.

El hombre toma los metales de la naturaleza en su forma combinada, y los transforma en metales puros. Para llevar a cabo este proceso de extracción es necesario cambiar las condiciones termodinámicas utilizando reductores, altas temperaturas, etc., teniendo desde el principio el metal tendencia a reaccionar con el medio ambiente que le rodea (atmósfera, agua, suelo, etc.) retornando a la forma combinada; es lo que se denomina corrosión. Este proceso de corrosión es natural y espontáneo, y cuanto mayor sea la energía gastada en la obtención del metal a partir del mineral, tanto más fácilmente el metal revierte al estado natural, es decir, tanto más favorecida termodinámicamente está la reacción de corrosión.

La reacción básica de corrosión es, por tanto:



El primer trabajo científico sobre corrosión registrado por Vernon corresponde a D. Mushet (1835) con el título “Sobre la inmersión del cobre para pernos y recubrimiento de barcos, en ácido muriático, como ensayo de su estabilidad”[1].

Existen estudios de corrosión atmosférica sobre metales féreos que datan del siglo XIX, como el estudio efectuado por Parker. Este estudio consistió en exponer discos de acero de 1/4 de pulgada de grosor en un tejado en Londres [2]. La evaluación de la corrosión fue por pérdida de peso. Según parece, las primeras hipótesis sobre la naturaleza electroquímica de la corrosión datan del siglo XVIII. Fabbroni (1792) relacionó la corrosión con las pilas

galvánicas, idea reforzada por los estudios de Thénard (1819) y De la Rive (1830), entre otros [3-4]. M. Faraday [5] estableció unos años más tarde (1834-1840) una relación cuantitativa entre la corriente eléctrica que circula a través de un metal y la cantidad del mismo que se transforma. Según la ley de Faraday, el paso de 96.493 coulombios (un Faraday, F) provoca la disolución, desprendimiento o depósito de un equivalente gramo de sustancia, y observó que los procesos de corrosión se ajustaban a esta ley, lo que demostró la naturaleza electroquímica de la corrosión.

$$\frac{I \times t}{F} = \text{número de equivalente-gramo}$$

donde, I es la intensidad de corriente en amperios y t el tiempo en segundos.

Casi cien años más tarde, en 1932 [6], Evans y Hoas lograron demostrar la corrosión cuantitativa existente entre la corriente de las pilas de corrosión y la magnitud de ésta, dentro del marco de las leyes de Faraday, publicando la coincidencia entre observaciones gravimétricas y eléctricas (medidas en función de la intensidad y el tiempo).

Por lo tanto podemos definir la corrosión como:

**“El ataque químico o electroquímico que sufre un metal o aleación por acción del medio que lo rodea, con el consiguiente deterioro de sus propiedades”.**

La Federación Europea de Corrosión establece una apreciación adicional y distingue entre corrosión con oxidación del metal y formación de cationes metálicos y la disolución de un metal en otros metales o sales fundidas.

Sin lugar a dudas, esta definición de la corrosión no es más que una de las muchas que nos podemos encontrar en la bibliografía específica que hay sobre el tema. En nuestro caso estamos acotando la definición sólo a los metales, ya que serán éstos nuestro objeto de estudio. Otros autores, como J. A. González Fernández y col. [7], citan entre otras la siguiente definición de corrosión:

"destrucción o deterioración de un MATERIAL a causa de su reacción con el medio ambiente".

El ser humano extrae el metal de la naturaleza utilizando la reducción, llevándolo desde su forma oxidada (forma estable) a un estado reducido (inestable). Es obvio que el metal tenderá de manera natural a su forma oxidada, que es la forma favorecida termodinámicamente.

Podemos entonces decir que la metalurgia extractiva y corrosión son, por tanto, procesos de acción opuesta. Debido a que el proceso de la corrosión es el natural, nuestros esfuerzos han de centrarse en ralentizarlo lo más posible en aras de conseguir prolongar la vida útil de los metales.

Este objetivo básico atiende a dos expectativas claramente identificables, como son:

1.- la inquietud científica por desvelar los mecanismos que rigen los procesos de corrosión y de cómo afectan los factores que influyen en ella,

2.- la importancia económica y social relacionada con los procesos de corrosión.

### ***1.1.1.- Importancia económica y social.-***

Las pérdidas económicas derivadas de la corrosión pueden clasificarse en directas e indirectas. Las primeras se relacionan con los costes necesarios para la reposición de estructuras, equipos, maquinaria o componentes que pueden quedar inservibles por efecto de la corrosión. Las pérdidas indirectas son más difíciles de evaluar, pero sin duda pueden establecerse a modo de ejemplo las debidas a interrupciones de la producción, pérdidas de producto, las debidas a la contaminación de éstos, pérdidas de rendimiento, por sobredimensionado o por accidentes derivados de la corrosión.

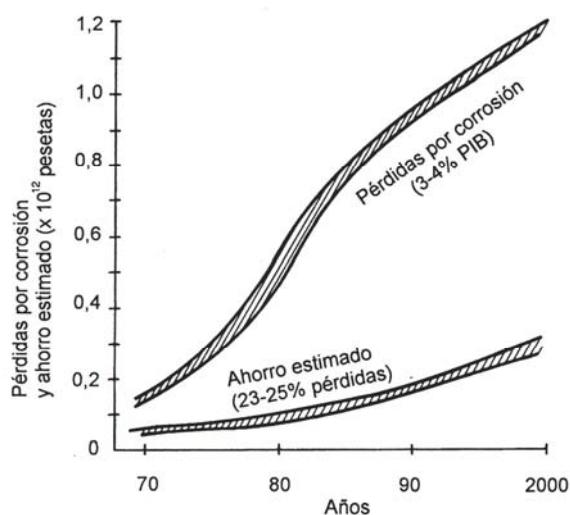
Se estima que la relación entre gastos directos e indirectos se sitúa entre 1:6 y 1:10.

No cabe duda de la relevancia de este punto y los datos económicos publicados así lo

corroboran [8-9]. El primer estudio elaborado con rigor dirigido a evaluar las pérdidas económicas por corrosión fue el informe HOAR, que en 1971 estimó que los costes directos generados al año por la corrosión alcanzan alrededor del 3,5% del PIB de un país, así como que se podría ahorrar entre el 20 y el 25% con el aprovechamiento de la tecnología existente para el control de la corrosión [10]. Es preciso destacar que se trata de una estimación de costes directos, de manera que la inclusión de los indirectos elevaría considerablemente la cifra.

En el II Congreso Nacional de Corrosión y Protección, celebrado en Zaragoza en 1976, se estimó que en España las pérdidas anuales se acercaban a los 75.000 millones de pesetas, de las cuales un elevado porcentaje corresponde a la corrosión en ambientes rurales y, en particular, a la acción de la atmósfera (Feliu, 1973). Teniendo en cuenta los datos del PIB y de ahorro posible, las conclusiones del informe HOAR aplicado a España (figura 1.1) estimaron para el año 2000 unas pérdidas del orden de 1,2 billones de pesetas.

Por otro lado, cuanto mayor sea el grado de desarrollo de un país, mayor es el número y sofisticación de sus instalaciones y procesos industriales, y mayores son las pérdidas. A título de ejemplo podemos citar que en Estados Unidos las pérdidas por corrosión se estiman en 70.000 millones de dólares [11,3], lo que equivale a casi el 4% del PIB, de los que un 30% serían evitables.



**Figura 1.1.-** Estimación de pérdidas por corrosión en España aplicando los criterios utilizados en el informe Hoar.

Aunque mejoren con el tiempo los medios y técnicas de protección, las pérdidas no disminuyen porque, simultáneamente, aumenta la agresividad de las atmósferas y los progresos tecnológicos imponen condiciones más severas en muchos aspectos.

### **1.1.2.- Clasificación.-**

Los procesos de corrosión se pueden clasificar recurriendo a criterios muy variados:

#### ◆ Según el MECANISMO.-

Es sin, duda, la clasificación más importante desde el punto de vista científico. Cualquier proceso de corrosión transcurre a través de uno u otro de los dos mecanismos que se analizan a continuación:

- **DIRECTA ó SECA:** tiene lugar cuando el metal está en contacto a altas temperaturas, sin la posibilidad de que aparezca una película de humedad sobre la superficie. Este mecanismo es característico de materiales metálicos expuestos a gases y vapores calientes, y consiste en la reacción química heterogénea directa entre la superficie metálica y un gas agresivo que generalmente es el O<sub>2</sub>. Desde el punto de vista morfológico, suele ser homogéneo o generalizado, afectando por igual a toda la superficie.
- **ELECTROQUÍMICA O HÚMEDA:** el proceso corrosivo que tiene lugar consiste en la formación de pilas electroquímicas microscópicas en zonas deslocalizadas en un mismo material o entre metales distintos. El metal sufre disolución en las regiones anódicas. El proceso no afecta pues por igual a toda la superficie del metal, pues en las regiones catódicas no hay ataque. Puede ser de dos tipos:
  - 1.- Con un medio de conductividad electrolítica: metal + electrolito; en particular el agua, disoluciones salinas, o la simple humedad de la atmósfera y de los suelos. De acuerdo con esto, la presencia de moléculas de agua sobre la superficie metálica es la condición necesaria para que ocurra corrosión electroquímica.

2.- Galvánica: se produce cuando ponemos en contacto dos metales de distinto potencial electroquímico en un mismo electrolito; el metal más activo actúa de ánodo, protegiendo al más noble (fundamento de la protección catódica).

La corrosión atmosférica será de esta naturaleza en función del porcentaje de humedad que haya en el ambiente.

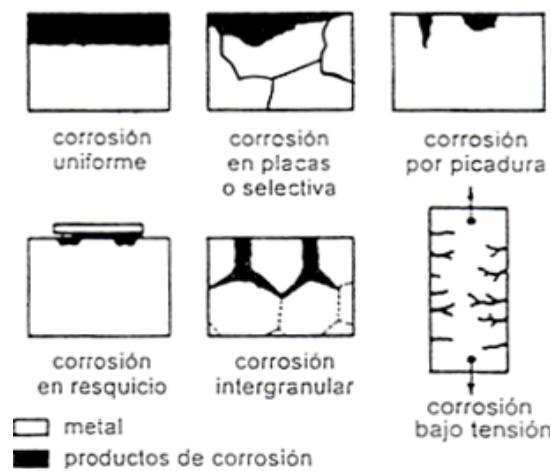
- BIOLÓGICA: tiene lugar debido a la acción de diversos microorganismos sobre la superficie metálica.

◆ Atendiendo a la MORFOLOGÍA DEL ATAQUE.-

- CORROSIÓN UNIFORME: el ataque es homogéneo y de igual intensidad sobre toda la superficie metálica, siendo, por tanto, la profundidad de penetración aproximadamente la misma en todos los puntos. Es, dentro de los diversos tipos de ataques, la forma más benigna.
- CORROSIÓN LOCALIZADA: el ataque corrosivo está localizado en unos puntos determinados del metal, mientras que el resto permanece pasivo. Dentro de este tipo de corrosión se dan varias formas de corrosión, unas sin la influencia de factores mecánicos, como:
  - Corrosión selectiva o en placas: el ataque, aún siendo general se intensifica en determinadas zonas.
  - Corrosión por picaduras: el ataque se localiza en puntos aislados de la superficie metálica y avanzan en profundidad, formando túneles internos.
  - Corrosión en resquicio: el ataque se localiza en uniones e intersticios, propagándose de forma similar a la corrosión por picaduras.
  - Corrosión intergranular: el ataque queda patente por la formación de unas franjas estrechas a lo largo de los límites de grano.

Y otras con la participación de factores mecánicos, como:

- Corrosión bajo tensión: el ataque tiene lugar por la acción conjunta de un medio agresivo específico y tensiones mecánicas de tracción y se caracteriza por la aparición de grietas en dirección normal a la de aplicación de la tensión. Cuando la tensión es cíclica, se da el proceso conocido como ‘corrosión-fatiga’. En este caso no es necesario un medio agresivo específico y origina grietas.
- Corrosión bajo erosión: está causada o acelerada por el movimiento relativo de la superficie de metal y el medio. Se caracteriza por rascaduras en la superficie paralelas al movimiento. Suele prevalecer en aleaciones blandas (por ejemplo, aleaciones de cobre, aluminio y plomo). Otros factores como turbulencia, cavitación, o efectos galvánicos pueden aumentar la severidad del ataque.
- Corrosión por rozamiento: el ataque ocurre cuando dos piezas de metal se deslizan una encima del otro y causan daños mecánicos a uno o a los dos elementos. En algunos casos, el calor de fricción oxida el metal y su óxido se elimina. En otros casos, la eliminación mecánica de la capa pasivante expone la superficie limpia del metal a los ataques corrosivos.



**Figura 1.2.-** Representación esquemática de algunos de los distintos tipos de corrosión de acuerdo a la morfología de ataque.

◆ Según el MEDIO QUE LA PROVOCA, podríamos realizar la siguiente clasificación:

- CORROSIÓN ATMOSFÉRICA.
- CORROSIÓN MARINA.
- CORROSIÓN EN SUELOS.
- CORROSIÓN EN AGUAS NATURALES.
- CORROSIÓN POR ÁCIDOS.
- CORROSIÓN POR SALES FUNDIDAS.

### ***1.1.3.- Formas de expresar la velocidad de corrosión.-***

Existen diversas formas de expresar la velocidad de corrosión de un metal expuesto a unas determinadas condiciones, siendo la que cuantifica la pérdida de peso (DP) del metal transcurrido un tiempo la más utilizada y se expresa generalmente en  $\text{mg/cm}^2 \cdot \text{día}$  o en  $\mu\text{m/año}$ .

$$V_{\text{corr}}(\text{DP}) = \frac{m_i - m_f}{S \cdot t}$$

donde:

$m_i - m_f$  : masa inicial y final, respectivamente, g.

S: superficie de la probeta,  $\text{cm}^2$ .

t : tiempo, horas.

Otra forma de expresar la velocidad de corrosión es a través de la disminución de espesor (DE), expresado, por ejemplo, en  $\mu\text{m/año}$ :

$$V_{\text{corr}}(\text{DE}) = \frac{V_{\text{corr}}(\text{DP})}{\rho}$$

donde:

$V_{\text{corr}}(\text{DP})$ : velocidad de corrosión por pérdida de peso.

$\rho$  : densidad del metal.

Existen otras formas de expresar la velocidad de corrosión de un metal, como por ejemplo por parámetros electroquímico como la intensidad de corrosión ( $i_{cor}$ ), o por el incremento de espesores de capa o por las variaciones en las propiedades mecánicas, entre otras.

## **1.2.- Antecedentes.-**

### ***1.2.1.- Principios generales de la corrosión atmosférica.-***

La corrosión atmosférica es, dentro de los diversos tipos de corrosión, la causante de las mayores pérdidas económicas que este fenómeno genera [12-16], lógico si tenemos en cuenta que la mayor parte de equipos y estructuras metálicas están expuestas a la acción directa de la atmósfera [17].

En esta misma línea, Tomashov (1966) ya afirma que más del 50% de las pérdidas por corrosión se deben a la acción de la atmósfera [18-19].

Ante estos datos es evidente la necesidad de estudiar el fenómeno de la corrosión atmosférica y ahondar en el conocimiento sobre los factores que influyen en ella, y que nos den la oportunidad de poder ejercer algún tipo de control sobre la misma [19-21]. Es obvio que el ahorro que supondría, por mínimo que fuera, representaría una cuantiosa cifra.

El proceso de corrosión atmosférica arroja resultados muy dispersos de velocidad de corrosión según el lugar de exposición. Esto justifica el interés de conocer las variables fundamentales que intervienen en la corrosión atmosférica y que originan tal dispersión de resultados. Querer establecer una relación entre la velocidad de corrosión y la agresividad de la atmósfera es una tarea muy complicada si no se entiende bien el proceso de corrosión. Para ello se hace indispensable tener un conocimiento de las fases estructurales de los productos de corrosión y de la cinética [22-23] para poder caracterizar el proceso corrosivo.

La interacción electroquímica existente entre el medio ambiente y los elementos constituyentes del metal es un factor fundamental para entender la corrosión atmosférica, debido a que ésta está afectada por la composición, tratamiento térmico y otros factores que ocasionan cambios en la estructura del metal [24].

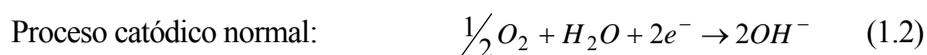
### **1.2.1.1.- Mecanismo de la corrosión atmosférica y principales variables.-**

Los procesos de corrosión atmosférica pueden ser considerados despreciables sobre superficies metálicas limpias y secas, dada la lentitud con la que se producen. Sin embargo, si la misma superficie metálica estuviera humedecida la velocidad de corrosión aumenta considerablemente [25]. Como ya se ha indicado anteriormente, el tipo de corrosión con la que nos vamos a encontrar en corrosión atmosférica es la corrosión electroquímica [26-29]. Para que este tipo de corrosión pueda darse es necesaria la presencia de un electrolito que sea el soporte de la reacción. Este electrolito está constituido por una extremadamente delgada película de humedad o una película acuosa, cuando el metal aparece perceptiblemente mojado. Bajo esta capa de electrolito tiene lugar una reacción de oxidación/reducción, es decir, la oxidación del metal (proceso anódico) y la reducción del oxígeno (proceso catódico) [30-31]. Los procesos de oxidación de los átomos metálicos ocurren en puntos de la superficie metálica distintos de los de reducción del oxidante. Ello implica la corriente de electrones por el metal, que va desde las zonas anódicas donde ocurre la oxidación, hacia las catódicas donde tienen lugar la reducción del oxidante, y se cierra el circuito de corriente mediante el correspondiente movimiento iónico en el electrolito en contacto con el metal. Ello da lugar a la formación de micropilas sobre la superficie metálica.

Estos dos procesos se pueden esquematizar de la siguiente forma:



Procesos catódicos:



Por lo tanto, la velocidad de corrosión va a variar sustancialmente dependiendo de que la superficie metálica esté seca o mojada. Una de las principales preocupaciones de los investigadores de este campo es la determinación del periodo en el cual la superficie metálica permanece mojada, ya que el proceso de corrosión atmosférica es suma de los procesos parciales de corrosión que tienen lugar cada vez que se forma la capa de electrolito sobre el

metal.

Obviamente, para determinar este periodo de tiempo hemos de tener en cuenta los días de lluvia, niebla y los periodos en los que se produjo rocío, entre otros. Aunque pudiéramos determinar el nº de horas durante las cuales la superficie metálica estuvo mojada y las micropilas de corrosión desarrollan plenamente su actividad [32], no ejerce el mismo efecto una lluvia torrencial que una llovizna o que el rocío [33]. Sin lugar a dudas, en los tres casos la superficie está mojada, pero de distinta forma. En los dos primeros casos, la lluvia ha mojado la superficie metálica, pero también la ha limpiado de contaminantes, por lo que los procesos corrosivos no serán los mismos que si sólo tuviéramos rocío, donde la superficie está humedecida pero con una capa de contaminantes sobre la misma.

La humedad relativa (HR) es un parámetro decisivo en la corrosión atmosférica, ya que se considera que por debajo de un cierto nivel no es probable la corrosión. Se ha encontrado que un buen indicador de la agresividad atmosférica es el periodo de tiempo en el cual la HR es superior a un cierto nivel. Como todos sabemos, la HR es función de la temperatura. En ambientes secos hace falta un gran descenso de la de la misma para alcanzar valores elevados de HR.

Un parámetro muy importante en el estudio de la corrosión atmosférica es el tiempo de humectación, TDH. Aunque existen muchas definiciones del TDH, hemos adoptado la que lo define como el nº de horas al año durante las cuales la HR es superior al 80% y la  $T^a$  es mayor de 0°C.

Este parámetro es de vital importancia, dado que si cada periodo durante el cual la superficie metálica está mojada se considera como un periodo individual de humectación, y la suma de todos estos periodos individuales nos determinan el TDH, sí podemos determinar el TDH como una función de la HR, que es un parámetro accesible y de fácil medida, no tendremos que recurrir a los periodos de lluvia, niebla o rocío. No obstante, hay autores que han determinado ecuaciones empíricas que relacionan el TDH con el nº de días de lluvia.

Otros autores, como Feliu y Morcillo [34], han conseguido correlacionar los valores de HR medios y las horas anuales de  $HR > 80\%$ , lo cual nos permite conocer el TDH a partir de la HR media. Esto se desarrollará más ampliamente en el siguiente apartado.

Para que la corrosión atmosférica sea importante, a parte de que la HR exceda un cierto valor, la atmósfera, además, ha de estar contaminada [35-36].

De entre todos los contaminantes que pueden coexistir en la atmósfera, nos centraremos en tres:  $[\text{Cl}^-]$ ,  $[\text{SO}_2]$  y partículas; y especialmente en la repercusión de los dos primeros, dado que se ha demostrado ampliamente que son los cloruros y sulfatos los contaminantes que más influyen en los procesos de corrosión atmosférica [37-41].

Dentro de las condiciones atmosféricas a controlar en el lugar de exposición de las estaciones de corrosión, se recomienda controlar los siguientes factores: temperatura, HR, nº de horas en las que hubo precipitación y volumen total de las mismas, velocidad y dirección del viento, horas de insolación y otras de menor importancia [42-43]. Obviamente, si intentamos controlar todas estas variables nos podemos encontrar con muchos problemas, no sólo desde el punto de vista material (equipar 39 estaciones) y humano (recolectar y tratar todo ese volumen de información), sino desde el punto de vista científico, dado que es muy difícil analizar el efecto de estas variables en la corrosión del metal a estudiar [44].

Respecto a este hecho, se recomienda la siguiente simplificación en cuanto a la instrumentación que ha de existir en las estaciones de corrosión [45]:

- Temperatura,
- Humedad Relativa (HR),
- Nivel de  $\text{SO}_2$ ,
- Nivel de  $\text{Cl}^-$ .

La temperatura no suele dar buenos ajustes respecto a los resultados de corrosión atmosférica, por lo que no se ha tenido en cuenta. Tampoco se ha analizado sistemáticamente la concentración de  $\text{NO}_x$ . Se han realizado análisis puntuales de los niveles de este contaminante en estaciones donde presumiblemente la concentración sería alta (aeropuerto y zona urbana con tráfico muy denso), pero los valores obtenidos son despreciables. Este análisis se efectuó según la legislación vigente con los captadores de pequeño volumen, y se muestreó durante una semana completa.

A continuación se discutirá el efecto de estas variables sobre la corrosión del cobre.

### ***1.2.2.- Datos climáticos, viento y tiempo de humectación.-***

Como se ha mencionado, la corrosividad de una atmósfera es función de la humedad relativa del aire (HR), del número de días en que ocurre precipitación acuosa (lluvia, rocío, niebla, etc.) y su duración, de la contaminación atmosférica, temperatura, viento, etc. Como se ha indicado, por debajo de un determinado nivel de HR no es probable la corrosión, pues no existe película apreciable de electrolito sobre el metal. Aún cuando la HR exceda de ese valor, para que la velocidad de corrosión sea realmente importante, la atmósfera debe estar, además contaminada.

Puede decirse que en la corrosión de los metales participan tanto los factores meteorológicos, los cuales determinan la presencia y duración de las capas de humedad sobre la superficie metálicas, como los factores de contaminación, que aceleran considerablemente el proceso corrosivo.

#### *1.2.2.1.- Humedad relativa del aire.-*

Como ya se ha mencionado en los apartados anteriores, la corrosión atmosférica es un proceso de tipo electroquímico. Para que pueda tener lugar, por tanto, es necesario que las chapas metálicas estén recubiertas por un electrolito. De este hecho se desprende la importancia que tiene el conocer cuánto tiempo permanece esa capa de electrolito sobre la chapa metálica.

Para establecer la influencia exclusiva de la humedad en el proceso corrosivo sería necesario disponer de datos referentes a atmósferas puras en las que sólo esa variable operara. La extrapolación a contaminación cero de la gráfica de corrosión del cobre frente a contaminación por en Madrid (Feliu y Morcillo 75) proporciona la cifra de 0,50 mm para las 2120 horas anuales estimadas de humectación, es decir, una velocidad media de corrosión de este metal de 0,24 mm por 1000 h de humectación.

Existen innumerables estudios que intentan determinar el nivel mínimo de humedad relativa de la atmósfera para que la corrosión del un metal sea apreciable. Por ejemplo se determinó que la velocidad de corrosión del hierro experimenta un notable aumento a partir

del 60-70% de HR, especialmente si la atmósfera está contaminada (Vernon, 1927, 1931, 1933, 1935) [46]. No obstante, existen estudios como los de Sanyal y Bhadwar (1959) en los que se estableció la humedad crítica para el cobre y el zinc, en una atmósfera de con el 0,3% de SO<sub>2</sub>, del 40%. En otros estudios llevados a cabo por Rozenfeld [47] no se constató, en cambio, ninguna corrosión perceptible del cobre a humedades relativas del 50-63%, aún en atmósferas con un 10% de SO<sub>2</sub>. Dentro de sus ensayos realizados, en los que se fue incrementando gradualmente la humedad de una atmósfera contaminada con el 0,01% de SO<sub>2</sub> han puesto de manifiesto la existencia de un valor crítico de humedad relativa en torno al 75% a partir del cual se producía un aumento apreciable de la velocidad de corrosión.

En el caso del hierro nos encontramos con que estos valores son, según distintos autores: del 81,5-85,5% con 1 ppm de SO<sub>2</sub> a 30°C (Barton y Bartonova); del 60-70% con 100 ppm de SO<sub>2</sub> (Vernon) y 60-80% con 0,3% de SO<sub>2</sub> (Sanyal y Bhadwar).

Los procesos de humectación del metal se dan en función de muchos factores. La presencia de constituyentes solubles (sulfatos, cloruros, etc.) sobre la superficie metálica reduce el nivel de HR necesario para la agravación del proceso corrosivo. Los propios productos de corrosión, como la herrumbre con un alto contenido de azufre suelen rebajar también la humedad crítica, siendo los higroscópicos los de mayor efecto en este sentido (Rozenfeld, 1972).

Tal y como se adelantó en el apartado 1.2.1.1, la humectación del metal está íntimamente relacionada con la humedad relativa del aire, y ésta, a su vez, está relacionada con los periodos de lluvia, rocío, niebla, etc. En los periodos de precipitación (lluvia, rocío, niebla, etc.) la superficie metálica se recubre de un depósito visible de agua. Esta película acuosa puede ser continua o discontinua, como cuando el aire se enfría a una temperatura ligeramente por debajo del punto de rocío y el vapor empieza a condensar en forma de pequeñas gotas sobre el metal.

En la bibliografía nos podemos encontrar con diversos métodos para determinar el TDH. A ese respecto, Feliu y Morcillo [48] apuntan diversas posibilidades, entre las que se encuentran la determinación directa por medio de equipos especiales que detectan la presencia de la capa de humedad, la de suma de los periodos en los que ha habido

precipitación de lluvia, rocío y niebla, incrementando el resultado con los periodos de secado de las superficies mojadas, y la de establecer el TDH a partir de la HR, según la definición adoptada anteriormente.

Dadas las distintas procedencias del electrolito que recubre al metal, se hace muy difícil poder calcular el periodo durante el cual ha permanecido mojada la superficie de forma exacta. Existen "detectores de humectación", que nos permiten determinar ese periodo, pero no siempre resultan efectivos cuando se necesitan en gran cantidad (por su costo) y su mantenimiento.

Por ello se ha recurrido a intentar determinar expresiones empíricas que relacionen el periodo de humectación del metal con otras variables conocidas, como son los días en los que ha habido lluvia, rocío o niebla, etc. Existen en la bibliografía diversas expresiones de este tipo, como la propuesta por Benarie y Lipfert como resultado de un análisis estadístico a escala mundial [49]:

$$\text{TDH} = 1,686 \cdot 10^{-3} + 3,66 \cdot 10^{-3} \cdot D \approx 3,65 \cdot 10^{-3} \cdot D \quad (1.4)$$

donde D es el nº de días en los que ha habido precipitación lluviosa.

En nuestro caso en particular, para la determinación del TDH recurrimos a dos procedimientos:

1.- En el 1<sup>er</sup> procedimiento determinamos directamente el TDH a partir de los datos de HR que obtenemos de los higrómetros situados en las estaciones. Dado que hemos definido el TDH como el nº de horas al año durante las cuales la HR es superior al 80%, simplemente hemos de contar el nº de horas en las cuales se rebasa este valor.

2.- En aquellas estaciones en las que no hemos podido registrar la HR directamente, hemos recurrido a los datos suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología (I.N.M.). Esta entidad nos suministra datos de HR, periodos de lluvia, dirección del viento, etc... En aquellas estaciones donde es posible tomar los datos de HR directamente (cercanía), aplicamos el mismo procedimiento que en el punto anterior. En aquellos casos donde no es

posible, recurrimos a los días de lluvia y aplicamos la ecuación suministrada por Benarie y Lipfert con un pequeño ajuste. Valiéndonos de datos conocidos en esas estaciones a partir de los higrómetros, hemos realizado un ajuste de la ecuación, obteniendo resultados muy buenos.

El tiempo de secado de la superficie metálica juega un papel importante en la corrosión. La difusión del oxígeno a través de la capa acuosa suele ser el factor influyente en la velocidad de corrosión [50]. El periodo de secado también afecta al proceso, dado que al irse adelgazando la capa de humedad aumenta la velocidad de difusión del oxígeno.

Una excesiva disminución del espesor de la capa de humedad frena el proceso de corrosión debido a la alta resistencia óhmica de las películas sumamente delgadas y a estar obstaculizadas en su seno las reacciones de ionización y disolución del metal (Rozenfeld, 1972 y Feliu, 1971). En la práctica no es raro encontrarse con una acentuación del deterioro por corrosión si la capa de líquido se seca y repone repetidas veces sobre el metal. Durante los periodos de secado las corrientes convectivas producidas por la propia evaporación del electrolito motivan una disminución del espesor efectivo (no del real) de la capa de difusión, con el consiguiente aumento de la velocidad de transporte de despolarizante catódico y, por tanto, de la velocidad de corrosión en un proceso bajo control catódico. El electrolito se autoagita durante la evaporación.

#### 1.2.2.2.- Influencia del viento. -

Aparte de la humectación del metal, existen otras variables meteorológicas de gran importancia, como son la velocidad y dirección del viento [51]. La importancia del viento radica en una serie de aspectos, como pueden ser el hecho de que sea un vehículo transportador de contaminantes o que ejerza un papel de pulido al arrojar pequeñas partículas sobre el metal, a modo de granalla.

#### **1.2.3.- Acción de los cloruros.-**

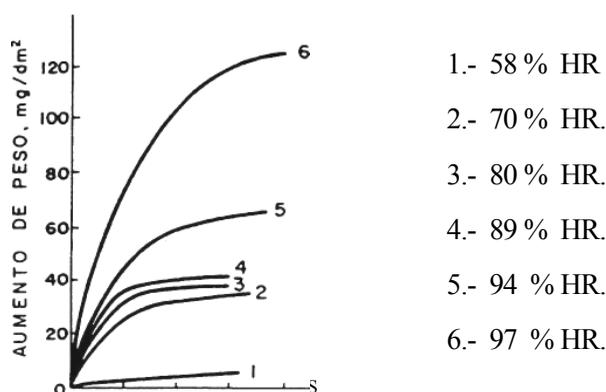
Los iones cloruro constituyen la segunda fuente de contaminantes [52]. El depósito de partículas salinas sobre una superficie metálica acelera su corrosión, sobre todo si pueden

dar lugar a productos de corrosión solubles en lugar de los escasamente solubles que se forman en agua pura, como en el caso de los cloruros, (por ejemplo, cloruro de hierro en lugar de hidróxido).

Este contaminante estará presente en las zonas costeras, en las cuales el aerosol marino arrastra partículas de sal que se depositan sobre la superficie metálica [53]. Por ello, la corrosión atmosférica en puntos cercanos a la orilla del mar suele exceder considerablemente a lo previsible en el caso de atmósferas no contaminadas distantes de la costa.

Si bien la información sobre la relación cuantitativa entre concentración de cloruros y velocidad de corrosión es menos abundante que respecto al  $\text{SO}_2$ , está perfectamente establecido el importante efecto de este contaminante. El efecto del ion cloruro es muy variado, y depende del tipo de metal que estemos estudiando. De forma general, tanto el ion cloruro como el  $\text{SO}_2$  aumentan la actividad de la capa acuosa, acelerando los procesos de corrosión [54]. Para que ello ocurra es necesario que la superficie metálica esté humedecida. Es obvio que este contaminante es de vital importancia en nuestra región geográfica, dado que estamos rodeados por mar. En islas como Lanzarote o Fuerteventura su influencia es mayor debido a que presentan un perfil orográfico bastante plano, por lo que los aerosoles se adentran tierra adentro mucho más que en cualquier otra isla, con una orografía más accidentada.

Dado el carácter higroscópico de estas sales se necesitará un menor nivel de humedad relativa para que pueda tener lugar el proceso corrosivo. A este respecto existen estudios como el efectuado por Preston y Sanyal [55] donde demuestran que bajo un depósito de partículas de  $\text{NaCl}$  sobre la superficie del hierro la corrosión empieza a notarse cuando la HR alcanza el 70 %, acelerándose notablemente a mayores humedades relativas.



**Figura 1.3.-** Corrosión del acero en presencia de partículas de NaCl en función de la humedad relativa (Preston y Sanyal, 1956).

En estudios de campo [56] se ha demostrado que la salinidad se deja sentir muy notablemente en la corrosión al ser la humedad atmosférica del 80 % de HR, cuestión que sustenta la decisión de haber tomado como nivel mínimo para determinar el tiempo de humectación el 80% de HR.

Es lógico suponer que la cantidad de cloruros en el aire, provenientes de las gotitas de agua de mar que el viento arrastra mecánicamente, dependa de la distancia al mar. A medida que nos adentramos tierra adentro la concentración de cloruros decrece rápidamente. Esto no siempre ocurre así, sino que se han determinado concentraciones apreciables de cloruro tierra adentro, aunque éstos no lleguen a depositarse [57]. Por lo tanto no sólo hemos de tener en cuenta la distancia de la estación de corrosión hacia la costa, sino la topografía del terreno, que a este respecto juega un importante papel, siendo más acusado el efecto de los cloruros en aquellas zonas con un perfil llano que en otras con un perfil más accidentado.

A pesar de la distancia a la que se encuentre la estación de medida de la costa se pueden registrar valores de corrosividad distintos para dos estaciones colocadas a la misma distancia. Influyen factores como el hecho de que la estación se encuentre cerca de un rompiente de mar o en una zona de aguas más sosegadas.

Junto con los efectos de la salinidad, pueden hacerse sentir los de una contaminación por compuestos de azufre, provenientes de áreas industriales o urbanas vecinas. Como es

previsible, la acción simultánea de los dos contaminantes exalta todavía más el proceso corrosivo.

#### **1.2.4.- Acción del SO<sub>2</sub>-**

Así como el ion cloruro es un contaminante muy importante por lo expuesto anteriormente, el SO<sub>2</sub> no influye tanto en el ámbito regional canario. Aunque generalmente este contaminante influye considerablemente en los procesos de corrosión, su presencia es escasa en las islas. La zona más afectada será la costera, al igual que ocurría con los cloruros. Dado la ausencia de industrias productoras de SO<sub>2</sub>, a excepción de unas pocas muy localizadas, la presencia de SO<sub>2</sub> en el resto de las zonas será despreciable.

La presencia de SO<sub>2</sub> en la atmósfera ejerce una gran influencia en la velocidad de corrosión atmosférica [58-63].

Por otro lado, los efectos producidos por el SO<sub>2</sub> son muy variados, y dependen de diversos factores, como las condiciones climáticas, la presencia de otros contaminantes, altura a la cual es emitido el SO<sub>2</sub> y el tiempo de residencia en la atmósfera. Se ha encontrado que la corrosión del hierro en ciertas zonas de Inglaterra, donde la HR era constante, era directamente proporcional a la concentración de SO<sub>2</sub> [64].

Es muy frecuente la presencia de SO<sub>2</sub> en la atmósfera en concentraciones que varían dentro de amplios límites, de acuerdo con el carácter de las industrias, fuentes de energía de la región, época del año, etc. En el ámbito regional canario este contaminante es poco frecuente debido a que no existen industrias potencialmente contaminadoras que emitan SO<sub>2</sub>, a excepción de unas pocas muy localizadas (Centrales Térmicas).

El origen puede ser variado. Puede ser de origen natural (volcanes), procedente del mar o de actividades microbianas (aunque no esté en forma de SO<sub>2</sub> sino de sulfuros y sulfatos) y de origen artificial, generalmente de la combustión de combustibles fósiles.

Existen estudios donde se intenta determinar la influencia del SO<sub>2</sub> en la velocidad de corrosión (Vernon y cois., Preston y Sanyal, Sanyal y cois., Patterson y Wilkinson, Sereda,

Guttman, Schikorr, Rozendfeld, Hudson y Stanners, Barton y col., Feliu y col.) [66]. Se ha determinado que la velocidad de corrosión aumenta de forma notoria con la concentración de SO<sub>2</sub> cuando la HR se mantiene constante, y que existe una notoria correlación entre la concentración de dicho contaminante y la velocidad de corrosión del acero (Hudson y Stanners) [66]. El ataque del acero se acelera considerablemente cuando la concentración de SO<sub>2</sub> supera los 0,1 mg/m<sup>3</sup> [67], de igual modo que se intensifica el deterioro de los recubrimientos protectores, sistemas de pinturas, acero galvanizado, etc.

Otras veces no ha sido posible detectar ningún efecto especial de la contaminación por SO<sub>2</sub>, probablemente por el bajo nivel de contaminantes y las amplias fluctuaciones de humedad que enmascaran sus defectos.

Debido a que el SO<sub>2</sub> está presente en forma gaseosa, se ha de fijar el mismo sobre la superficie metálica. En este aspecto juega un importante papel la lluvia. Por un lado, el agua de lluvia puede absorber SO<sub>2</sub> durante su trayectoria (lluvia acida) y fijarlo después sobre la probeta metálica. En contrapartida nos encontramos con que la lluvia también ejerce una acción de lavado, por lo que su efecto es ambiguo. Existen estudios (Haagenrud y Ottar (1975)) [68] donde se ha determinado el pH del agua de lluvia, pero ese tipo de control no es necesario en las islas debido a la escasez de focos contaminantes productores de SO<sub>2</sub> de importancia, como ya se ha mencionado.

Para entender el mecanismo de actuación del SO<sub>2</sub> hay que tener en cuenta el efecto que tiene este gas combinado con la humedad. Numerosos son los investigadores que han realizado estudios de laboratorio para desvelar los mecanismos de la acción del SO<sub>2</sub> sobre la corrosión de los metales, en particular, del efecto combinado de este gas y la humedad [69]. Vernon [70] fue el primero en mostrar el importante efecto acelerador del SO<sub>2</sub>, así como que no hay corrosión apreciable sin la intervención simultánea de contaminantes y humedad; aún las más altas concentraciones de SO<sub>2</sub> en atmósferas desprovistas de vapor de agua no ejercen, a temperatura ambiental, efecto alguno sobre el acero. La concentración de SO<sub>2</sub> disminuye la HR necesaria para que se inicie la corrosión del acero en la atmósfera, a la vez que incrementa la velocidad del proceso. Para un mismo nivel de SO<sub>2</sub>, la corrosión aumenta con la HR. Algo similar ocurre con otros metales.

Por otro lado, y tal como se adelantó en el apartado 1.2.1.1, para que exista corrosión ha de existir un electrolito. Ya se discutió el efecto de la humedad y su necesaria presencia. Es lógico pensar que si sobre el metal existen sustancias higroscópicas (tal y como ocurría con los compuestos salinos arrastrados por la brisa marina) se verá favorecida la adsorción de agua, y por lo tanto se verá acelerado el proceso corrosivo [71]. Existen estudios [72] que determinan el efecto que ejerce el SO<sub>2</sub> a este respecto. Los productos de corrosión sobre la superficie metálica, favorecen la captación de agua y de contaminantes, acelerando el proceso de corrosión. Sydberger y Vannerrberg (1972) [73] han mostrado la enorme influencia que sobre la velocidad de adsorción de SO<sub>2</sub> por la superficie metálica tiene el hecho de que esté o no, preoxidada. Por ello el SO<sub>2</sub> puede acumularse en el hierro recubierto de herrumbre durante los períodos secos y afectar más tarde al proceso corrosivo cuando la humedad se incrementa de nuevo. Mucho menor es la capacidad de adsorción de SO<sub>2</sub> para los productos de corrosión del cobre o del aluminio, siendo extremadamente baja a valores inferiores al 90% de HR, lo cual está de acuerdo a la menor sensibilidad de estos metales a la acción del SO<sub>2</sub> atmosférico en comparación con la del hierro o el zinc.

En la corrosión atmosférica, reacciones catódicas normales son la reducción del oxígeno y la descarga de hidrogenoides en los electrolitos ácidos (por ejemplo, como resultado de una contaminación por compuestos de azufre). Pero, además de estas reacciones, Rozenfeld (1972) ha mostrado que el SO<sub>2</sub> es también, de por sí, un activo despolarizante catódico por su susceptibilidad no sólo a oxidarse sino a reducirse sobre los metales. A este respecto, dado que la solubilidad del SO<sub>2</sub> en el agua es unas 2600 veces mayor que la del O<sub>2</sub>, aun siendo muy pequeño el contenido de gas SO<sub>2</sub> en la atmósfera, su concentración en el electrolito y sus efectos pueden ser del mismo orden que los del oxígeno, que es el despolarizante catódico por excelencia.

A continuación se explica de forma simple la corrosión atmosférica del hierro, suponiendo que ya ha tenido lugar la adsorción del SO<sub>2</sub> sobre la herrumbre (FeOOH) [74-76]. El siguiente paso a la adsorción es la formación de sulfato ferroso por la acción directa del SO<sub>2</sub> y aire sobre el hierro:



Posteriormente se forma más herrumbre a partir del sulfato ferroso en presencia de humedad con liberación de ácido sulfúrico [77]:

$4 \text{FeSO}_4 + \text{O}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{FeOOH} + 4\text{H}_2\text{SO}_4$  que reacciona con el Fe para dar más sulfato ferroso,



Ya que el ácido sulfúrico se regenera con consumo de agua, la corrosión del metal depende del período de humectación superficial. Algunos autores proponen que el ciclo del  $\text{H}_2\text{SO}_4$  induce la propagación del proceso corrosivo [78].

Los experimentos realizados con probetas previamente expuestas en una atmósfera contaminada y húmeda muestran que la corrosión continúa incluso en ausencia de  $\text{SO}_2$  con tal de que la humedad del aire sea suficiente; realmente esta humedad es necesaria para el desarrollo del mecanismo hidrolítico antes indicado.

Diferentes autores han intentado evaluar el valor crítico de  $\text{SO}_2$  para el que este contaminante tenga una influencia en el proceso corrosivo, observando en el caso del cobre que se hace cinéticamente significativo cuando la contaminación por  $\text{SO}_2$  se eleva a 0,49-0,55  $\text{mg}\cdot\text{SO}_2/\text{dm}^2\cdot\text{día}$ , sobre los 0,17-0,27  $\text{mg}\cdot\text{SO}_2/\text{dm}^2\cdot\text{día}$  para el acero (Knotková-Cermáková y otros, 1974, Barton, 1976).

### ***1.2.5.- Partículas atmosféricas.-***

En la atmósfera pueden existir pequeñas partículas, tanto sólidas como líquidas, como resultado de un proceso natural o artificial. Por su tamaño, estas partículas se pueden clasificar en dos grupos o fracciones:

- a) Partículas gruesas, con un diámetro aerodinámico equivalente superior a 2  $\mu\text{m}$
- b) Partículas finas, con un diámetro aerodinámico equivalente inferior a 2  $\mu\text{m}$ , y se subdividen en:

b.1) Núcleos de Aitken (diámetro < 0,05  $\mu\text{m}$ )

b.2) Partículas formadas por acumulación: diámetro entre 0,05 y 2  $\mu\text{m}$ .

El efecto de estas partículas puede ser muy variado. Por un lado, transportan en su seno diversos compuestos, entre los que podemos citar metales (Cd, Pb), compuestos orgánicos, así como ácido sulfúrico o sulfatos, pudiendo estar estos últimos en un porcentaje de hasta el 20%.

Por otro lado, estas partículas se depositan sobre la superficie metálica creando una capa sobre la misma, ensuciándola. Esta capa puede ocasionar dos efectos contrapuestos; por un lado evita que los contaminantes lleguen a entrar en contacto con la superficie metálica, por lo que la velocidad de corrosión se vería afectada debido a que la difusión de los contaminantes se ve impedida. También puede actuar como un fijador de contaminantes y agua.

Meethan [79], Ambler y Bain [80], Sanyal y otros [81] han mostrado que la oxidación del hierro se acelera grandemente en presencia de partículas sólidas en una atmósfera húmeda con  $\text{SO}_2$ , por lo que si somos capaces de proteger las probetas de esas partículas la corrosión se reducirá notablemente.

En la práctica se hace muy difícil el determinar la cantidad de polvo que se deposita sobre las probetas metálicas, debido a que en la atmósfera nos encontramos con polvo en suspensión, que envuelve a las probetas, y polvo sedimentable. Es muy difícil establecer la proporción de polvo que se deposita sobre las probetas a partir de estos datos.

### ***1.2.6.- Efecto de la orientación del metal.-***

Tanto la orientación de la superficie metálica como su inclinación afectan el proceso corrosivo, puesto que modifican el tiempo de insolación, el régimen de aporte de contaminante, el tiempo de humectación, la acumulación de polvo, la acción de lavado por la lluvia, etc. [82].

Estudios efectuados sobre probetas de aluminio (Mapa de Corrosividad de Canarias,

[83]) nos revelan que las caras inferiores presentan un nivel de deterioro mayor que las superiores en la inmensa mayoría de los casos estudiados. En el resto de los casos el nivel de deterioro es igual, pero nunca inferior. Esto demuestra la importancia de la inclinación de las probetas. Existen estudios donde queda patente la importancia que tiene la inclinación de las probetas (Kampur (India), Sanyal y Singhanía (1956)) [84], aunque no se llega a una unificación de criterios en cuanto a la importancia de este factor en la corrosión atmosférica. Así, por ejemplo, de acuerdo con Copson (1959), el ángulo de exposición puede modificar la velocidad de ataque en un 25 - 40 %, dato que tal vez sirva de orientación general acerca de la magnitud de los efectos previsibles.

### ***1.2.7.- Corrosión del cobre.-***

Dadas sus propiedades, el cobre se aproxima a los metales nobles, especialmente por su excelente resistencia a los agentes corrosivos naturales.

El cobre y la mayoría de sus aleaciones se caracterizan por su resistencia mecánica moderada, unida a una elevada ductilidad, y esta circunstancia hace que sean especialmente adecuados para tratamientos mecánicos en frío destinados a la fabricación de chapas, bandas y alambres.

Desde el descubrimiento de la electricidad y el consecuente desarrollo industrial de este sector, el cobre adquiere su principal uso hasta nuestros días que es el conductor. Asimismo se emplea en fontanería, arquitectura, en la industria en general y en transporte. Dada su buena resistencia a la corrosión es empleado en obras artísticas (esculturas, monumentos, etc.), con construcciones ornamentales y en los tejados de edificios, principalmente en el norte de Europa.

Las tuberías de cobre son utilizadas en muchas instalaciones de sistemas de agua potable. Del total de consumo de cobre en Europa y en USA en 1989, el tubo de cobre representó el 11% y 14%, respectivamente. Esto supone aproximadamente 250.000 toneladas/año de tubos de cobre en cada una de las regiones. Este alto grado de utilización se atribuye a numerosos factores, entre los que destacan su durabilidad y resistencia a la corrosión.

Comercialmente puede obtenerse cobre de elevada pureza y en esta condición es el mejor conductor de calor y electricidad conocido, a excepción de la plata. La presencia de impurezas, si bien afecta especialmente a su conductividad y ductibilidad, hay que anotar, por otra parte, que para otras aplicaciones no es preciso tan alto grado de pureza.

Para ello, suelen añadirse intencionadamente ciertos elementos, como el oxígeno, plata, selenio y telurio, en pequeñas proporciones, que confieren propiedades particularmente adecuadas para ciertas aplicaciones.

El cobre forma un gran número de aleaciones, entre las que destacan principalmente los latones (Cu-Zn), los broncees (Cu-Sn), los cuproaluminios (Cu-Al), los cuproplomos (Cu-Pb), los cuproníqueles (Cu-Ni), los cuproberilios (Cu-Be), cuprosilicios (Cu-Si), cupromanganesos (Cu-Mn) y cuproantimonios (Cu-Sb).

Al igual que el resto de los metales, el cobre puede sufrir diferentes tipos de ataque corrosivo, dependiendo del medio, del tipo de uso, etc. Estudios llevados a cabo por The American Society for Testing and Materials (ASTM), donde se ha evaluado la velocidad de corrosión de probetas de cobre expuestas a la atmósfera por más de 20 años, han demostrado que el cobre es un metal que resiste muy bien el ataque corrosivo propio de atmósferas típicas de ambientes rurales, urbanas, marinas, industriales y las diferentes combinaciones que establezcamos entre ellas. Se ha determinado que en ambientes donde podamos tener  $\text{NH}_3$ , el cobre sufre un ataque corrosivo considerable. Teniendo en cuenta que este compuesto sólo puede estar en la atmósfera en zonas industriales donde forme parte de la actividad de producción, el cobre permanecerá muy estable en el resto de los medios.

Los materiales a base de cobre son muy estables en la atmósfera, debido, además de su carácter semidoble, a la formación con el tiempo de delgadas capas protectoras (pátinas) sobre la superficie metálica.

El color bruto rojo salmón cambia rápidamente a tonos marrones rojizos, los cuales se oscurecen progresivamente para llegar a un color marrón oscuro después de algunos meses o años. Donde primero se manifiesta es en las superficies inclinadas y horizontales, y tarda más en detectarse en superficies verticales.

En atmósferas marinas o urbanas, la pátina puede comenzar a aparecer después de 5 ó 10 años de exposición. En atmósferas rurales tarda bastante más (del orden de cien años), o puede llegar a no aparecer si la atmósfera no está contaminada, y especialmente si la temperatura es baja. Los climas áridos dificultan la patinación natural.

El color marrón oscuro inicial se debe fundamentalmente al óxido de Cu (I). Los tonos verdosos desarrollados después proceden de sales básicas de cobre, principalmente de sulfatos, cloruros, nitratos y carbonatos, y en muy bajo porcentaje en compuestos de hierro y polvo de sílice.

La pátina formada en atmósferas urbanas o industriales contiene generalmente como sal básica sulfato cúprico como principal componente. En atmósferas marinas predomina el cloruro cúprico. Cuando la atmósfera es urbana y marina, la influencia urbana es mayor y el contenido predominante es el de sulfatos. En ciertos ambientes rurales, es el sulfato cúprico el producto mayoritario, y en otros es más frecuente la presencia de nitrato o carbonato cúprico [85-88, 89].

La composición de las distintas aleaciones de cobre afecta a la velocidad de corrosión de este metal, pero estas diferencias afectan en menor medida que los factores medioambientales.

Velocidades típicas de corrosión del cobre y de la familia de materiales base cobre, una vez formada la pátina protectora, pueden ser 1,5-2,5  $\mu\text{m}/\text{año}$  en una atmósfera industrial y 0,7-1,5  $\mu\text{m}/\text{año}$  en una atmósfera marina (Acholes y Jacob, 1970).

Debido a la importancia de este metal se plantea la necesidad de estudiar el comportamiento de dicho metal frente a la corrosión atmosférica para poder hacernos una idea del efecto que tendrán los diversos factores medioambientales y los contaminantes sobre el mismo, y poder determinar la magnitud del deterioro sufrido.

Hasta ahora he realizado una exposición de los factores decisivos para el estudio de la corrosión atmosférica: factores medioambientales, humedad relativa, tiempo de exposición y los niveles de los contaminantes (anhídrido sulfuroso e ion cloruro).

Para analizar la influencia de la humedad sería necesario disponer de datos referentes a atmósferas puras en las que operara exclusivamente dicha variable.

La extrapolación a contaminación cero de la gráfica corrosión del cobre frente a contaminación por SO<sub>2</sub> en Madrid (Feliu y Morcillo, 1975) proporciona la cifra de 0,50 µm para las 2.120 h anuales estimadas de humectación (0,24 µm por 1.000h).

Hay autores [90-93] que tienen en cuenta también la influencia de la temperatura en la corrosión atmosférica. Así como la mayoría de los estudios encontrados son específicos para conducciones de acero a altas temperaturas o instrumentación de acero sometida a alta temperatura, no existen muchos datos sobre la utilización de esta variable en corrosión atmosférica. Esto puede ser debido, entre otras causas, al efecto ambiguo que ejerce dicha variable.

De todos es sabido que al aumentar la T<sup>a</sup> aumenta la velocidad de las reacciones electroquímicas [94], pero al mismo tiempo se produce una evaporación de la capa de electrolito que recubre la superficie, por lo que no pueden tener lugar procesos corrosivos. El resultado final de los procesos corrosivos no sólo va a depender de la cinética de las reacciones electroquímicas, sino que el tiempo que permanezca el metal mojado va a jugar un papel fundamental. Esta aparente contradicción hace que esta variable sea muy ambigua.

En el caso específico de las islas, contamos con la ventaja de que no tenemos valores de T<sup>a</sup> inferiores a 0 °C, y la T<sup>a</sup> permanece casi invariable durante todo el año. No nos encontramos con las bruscas variaciones de esta variable en un clima continental, donde podemos pasar de T<sup>as</sup> bajo cero en invierno y cercanas a los 40 °C en verano.

No obstante, son pocas las ecuaciones empíricas encontradas en la bibliografía que incorporan esta variable, reduciéndose a un número muy pequeño. Si recurrimos a la ecuación expuesta para Ottawa, donde sí aparece esta variable, vemos que su influencia es muy poca, puesto que la corrosión no se modifica aún realizando variaciones de diez o más grados [95].

El SO<sub>2</sub> seco no ejerce ninguna influencia significativa en la corrosión del cobre, pero sí en presencia de agua. La velocidad de corrosión del cobre aumenta al estar contaminada la

atmósfera por cantidades importantes de  $\text{SO}_2$ . Lo mismo pasa con los latones y bronce. Según Barton, es necesario alcanzar un nivel mínimo de  $\text{SO}_2$  en la atmósfera para que este contaminante influya significativamente en la velocidad de corrosión. Este nivel en el caso del cobre parece situarse, igual que con el zinc, en los  $0,62-0,68 \text{ mg}\cdot\text{SO}_3/\text{dm}^2\cdot\text{día}$ . Una vez superado, la velocidad de Corrosion aumenta considerablemente con el grado de contaminación.

El mecanismo por el cual el  $\text{SO}_2$  ataca la superficie metálica no está del todo claro. Es probable que se oxide a  $\text{SO}_3$  y reaccione con el agua para dar ácido sulfúrico. Es posible también que el  $\text{SO}_2$  se disuelva en el agua con formación de ácido sulfuroso y sulfito metálico, que posteriormente se oxida a sulfato.

No hay duda, por los datos que se poseen, que el ion cloruro es el contaminante que ejerce una mayor influencia en la velocidad de corrosion del cobre, aunque se echan de menos estudios sistemáticos sobre la acción concreta de este contaminante. Esto impide, en muchos casos, el poder diferenciar en el aerosol marino, en qué porcentaje influye la presencia de cloruros y cual es el correspondiente al aporte de humedad dado por ese aerosol.

Según Berukshtis y Clark (1966), el Cu y Al serían metales más sensibles a la presencia del ion cloruro que el acero dulce. Estos autores encuentran que en una atmósfera marina la corrosion del Cu se multiplica por 3,7 mientras que la del acero lo hace sólo por 1,2 respecto a la de una atmósfera rural del interior.

Un trabajo de Sanyal y col. (1969), expone que niveles de contaminación del orden de  $300-600 \text{ mgNaCl}/\text{m}^2\cdot\text{día}$  provocan una importante exaltación de la corrosión del cobre puro. Los datos de Ambler y Bain (1955), referidos a un latón con el 65% de Cu, desvelan que contenidos superiores a unos  $200 \text{ mg}\cdot\text{NaCl}/\text{m}^2\cdot\text{día}$  incrementan la velocidad media de corrosión una 4-10 veces respecto a la de una atmósfera pura.

Según datos de la bibliografía existente referentes a la corrosion atmosférica del cobre en diferentes lugares del mundo, se muestra que la velocidad de corrosión de este metal tiende a disminuir con el tiempo, sobre todo en los primeros 5-10 años, debido seguramente a la patina protectora que se forma con el paso de los años. Hasta el décimo año, poco más o menos, la velocidad de corrosión se reduce hasta la mitad de su valor inicial,

experimentando después ya muy pequeñas variaciones. Ensayos realizados después de 20 años de exposición no revelan con claridad que la velocidad de corrosión del cobre siga descendiendo de modo indefinido, lo que hace concluir a Uhlig (1963) que: “*dentro de errores experimentales de las determinaciones, la velocidad de corrosión para un período de 20 años es aproximadamente la misma que para uno de 10 años*”.

Es de indudable interés disponer de datos referidos a períodos mayores de exposición. De los estudios realizados para largos períodos, como los de Tracy (1951), examina la corrosión de las planchas de cobre utilizadas en el tejado de una iglesia de Filadelfia después de 213 años de exposición, o los de Leidheiser (1971), que estudia la degradación por corrosión de los tejados de cobre de algunos edificios de Copenhague después de 200 años, o más, muestran unas velocidades de corrosión que no difieren mucho de las obtenidas en estudios para 10-20 años de exposición antes comentados.

### ***1.2.8.- Ecuaciones de velocidad de corrosión.-***

Aunque los datos anteriormente comentados permiten formarse una burda idea de cómo evoluciona la corrosión del cobre con el tiempo, lo ideal sería contar con una expresión matemática que relacionara ambas variables.

Generalmente, cuando hablamos de mapas de corrosividad nos estamos refiriendo a un mapa donde se recoge la magnitud del deterioro que sufre un metal debido a la acción de los agentes atmosféricos durante un año de exposición. La norma ISO 9225 [96] se fundamenta en este hecho, de tal forma que su ámbito de aplicación sólo es válido para datos de un año de exposición. Para conocer o poder estimar la corrosión en un intervalo de tiempo mayor hemos de recurrir a expresiones matemáticas que correlacionen los datos. Este es uno de los objetivos de la presente tesis, el determinar los modelos matemáticos que describan la corrosión atmosférica del cobre.

Algunos investigadores piensan que, después del primer un primer período de amortiguamiento, la velocidad de corrosión se estabiliza, planteándose a partir de este momento una ley lineal de variación de la corrosión con el tiempo. Las gráficas corrosión/tiempo de un trabajo de Southwell y col. (1976) parecen apuntar en ese sentido.

Sin embargo, sus datos pueden interpretados de la misma manera, a través de una ley del tipo  $C = A \cdot t^n$ , puesto que los puntos se alinean razonablemente bien en una representación doble logarítmica, siendo la ley que mejor describe la evolución de la corrosión del cobre, donde A y n son constantes y t es la duración del ensayo [97-100].

Hasta ahora se ha comentado el efecto que tienen sobre el cobre los distintos factores meteorológicos así como los distintos contaminantes. El objetivo principal de estudiar la influencia de dichos parámetros sobre el cobre es que podamos determinar una ecuación matemática (relación empírica) donde se pueda relacionar la velocidad de corrosión del cobre determinada mediante métodos gravimétricos con los factores meteorológicos, el nivel de contaminantes y el tiempo de exposición. Aunque existen gran cantidad de estudios relacionados con la contaminación atmosférica, son pocos los autores que intentan establecer un método cuantitativo para pronosticar el comportamiento de la velocidad de corrosión atmosférica del cobre a partir de datos climáticos de una región [101].

En la bibliografía nos podemos encontrar un gran abanico de expresiones que se han ensayado en distintos lugares, específicas para esos lugares. Así, por ejemplo, nos encontramos con las siguientes expresiones [102]:

$$1.- k = a \cdot \log (t_{\text{exp}}) + b \quad (1.5)$$

$$2.- k = a \cdot t_b + b \quad (1.6)$$

$$3.- k = a \cdot t_b + b \cdot \text{SO}_2 + c \quad (1.7)$$

$$4.- k = (a \cdot \text{SO}_2 + b) \cdot t_{\text{exp}} \quad (1.8)$$

$$5.- k = \log (t_b) + a \cdot \text{SO}_2 + b \cdot T_{\text{pr}} \quad (1.9)$$

$$6.- k = 9 \cdot T_{\text{sr}}' + b \cdot W_{\text{sr}}' + c \cdot \text{LDD} + d \cdot F_{\text{opad}} + e \cdot (\text{SO}_2 + \text{Cl}) \quad (1.10)$$

$$7.- k = \pi \cdot (\text{SO}_2 + \text{Cl}) \quad (1.11)$$

$$8.- k = a \cdot S_w + b \cdot T_w + c \cdot T_w^2 + d \cdot t_{\text{exp}} \cdot t_b + e \cdot t_{\text{exp}}^2 \cdot t_b^2 + f \quad (1.12)$$

$$9.- k = \sum_1^n t_b \cdot V_k \quad (1.13)$$

$$10.- \log k = \log K_{kr} + \beta \cdot \left| \frac{(W - W_{kr})}{(100 - W_{kr})} \right| \quad (1.14)$$

$$11.- k = C \cdot t^n \quad (1.15)$$

donde:

- k : pérdida de peso,
- $t_{exp}$  : tiempo de exposición,
- $t_b$  : tiempo de humectación,
- SO<sub>2</sub>: concentración de SO<sub>2</sub>,
- T<sub>pr</sub>: temperatura de la muestra,
- T'<sub>sr</sub>: temperatura media del entorno,
- W'<sub>sr</sub>: humedad relativa media,
- LDD: n° de días en los que se registraron precipitaciones,
- F<sub>opad</sub>: lluvia relacionada con el tiempo de humectación,
- Cl: concentración de cloruros,
- S<sub>w</sub>, T<sub>w</sub>: Concentración media y T<sup>a</sup> media,
- V<sub>k</sub>: corrosión para tiempos de humectación dados,
- K<sub>kr</sub>: Velocidad de corrosión a la humedad crítica,
- β: coeficiente normalizado de corrosión,
- C, a, ..., n: constantes.

Estas expresiones son un reducido n° de las que se puede encontrar en la bibliografía. A continuación se muestran algunas obtenidas para regiones concretas, como las dadas por Stanners (1972) [103]:

Tokio (1 mes de exposición)

$$C = (-1,63 + 0,028 \cdot H + 0,066 \cdot R + 0,083 \cdot S_1) \cdot t \quad (1.16)$$

Sheffield (1 año de exposición)

$$C = (0,035 + 0,70 \cdot S) \cdot t \quad (1.17)$$

EE.UU. (1 y 2 años)

$$C = 325 \cdot \sqrt{\frac{t}{365}} \cdot e^{2,75 \cdot S - \left(\frac{163,2}{H}\right)} \quad (1.18)$$

donde:

C: Corrosión,  $\mu\text{m}$ .

H: Humedad media relativa, %.

R: Lluvia,  $\text{mm} \cdot \text{día}^{-1}$ .

$S_1$ :  $\text{SO}_3$  recogido ( $\text{PbO}_2$ )  $\cdot \text{mg} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ .

S:  $\text{SO}_2$  en el aire,  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

t: tiempo de exposición.

O las obtenidas por el prof. Dr. D. Luis Espada Recarey [104] para la costa gallega:

$$k = 24,55 \cdot t^{0,7492} \cdot e^{(-5,75 \cdot 10^{-4} \cdot \text{SO}_2 + 7,22 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Cl}^-)} \quad (1.19)$$

donde:

k: pérdida de peso,

t: tiempo de exposición,

$\text{SO}_2$ : concentración de  $\text{SO}_2$ ,

Cl: concentración de cloruros.

Como se puede observar, las formas que adquieren las ecuaciones son muy variadas. Nos encontramos con ecuaciones que abarcan zonas geográficas pequeñas, como la ecuación obtenida para Tokio y otras más ambiciosas como la ecuación dada para los EE.UU.

En nuestro caso, vamos a realizar una modelación inicial para todas las estaciones objeto de estudio, seguida de otra según categorías de corrosividad y por último se intentará dar una ecuación para toda la provincia de Las Palmas. Para ello vamos a utilizar diversas ecuaciones de las obtenidas en la bibliografía realizando ciertos cambios que se comentarán más adelante.

### 1.3.- Objetivos.-

Después de la exposición inicial, se detallan a continuación los objetivos a conseguir en la presente tesis doctoral:

- Al no existir un estudio extenso sobre la corrosividad de la atmósfera del cobre en

la provincia de Las Palmas, se estudiará en profundidad la agresividad de la atmósfera con respecto a este metal y se determinarán las ecuaciones que mejor reproduzcan la velocidad de corrosión en función de los factores medioambientales, humedad, tiempo de exposición y nivel de contaminantes. Para ello se han utilizado los datos recogidos en el Mapa de Corrosividad de Canarias como datos de partida para el presente trabajo [105,106], a parte de los que se obtuvieron con posterioridad a su publicación y dentro del desarrollo de la presente tesis doctoral.

- Se utilizarán los datos del estudio para comprobar el ajuste matemático de la ecuación de la Ley Potencial a la evolución de la velocidad de corrosión del cobre en la provincia de Las Palmas y, a su vez, se intentará comprobar el ajuste del modelo matemático propuesto.

- Se caracterizará el cobre de forma electroquímica utilizando técnicas en corriente continua ( $E_{\text{corr}}$  vs  $t$  y resistencia de polarización), de manera que podamos estudiar la influencia relativa de los contaminantes por separado. Se intentará relacionar los resultados obtenidos mediante estas técnicas con los resultados obtenidos a través de corrosión atmosférica.

- Caracterizar la capa de productos de corrosión mediante difracción de rayos X.

# Capítulo 2

## Fundamentos de la Corrosión Metálica

---

### 2.- FUNDAMENTOS DE LA CORROSIÓN METÁLICA.

2.1.- La corrosión electroquímica.

2.2.- Aspectos termodinámicos de la corrosión.

*2.2.1.- Termodinámica electroquímica. Medidas de potencial de electrodo.*

*2.2.2.- Diagramas de Pourbaix.*

2.3.- Aspectos cinéticos de la corrosión.

*2.3.1.- Descripción matemática.*

*2.3.2.- Determinación de la velocidad de corrosión.*

2.4.- Métodos electroquímicos para el estudio de la corrosión.

*2.4.1.- Métodos de corriente continua para determinar la velocidad de corrosión.  
Polarización lineal.*

## 2.- FUNDAMENTOS DE LA CORROSIÓN METÁLICA.-

### 2.1. – La corrosión electroquímica.-

Considerada la corrosión como el proceso de ataque químico o electroquímico de los materiales por el ambiente, su estudio requiere conocer no sólo la resistencia intrínseca del material, sino también los fundamentos termodinámico y cinético de las reacciones que integran el proceso, así como el efecto de las distintas variables del medio.

A temperatura ambiente y en una atmósfera perfectamente seca, la corrosión puede ser ignorada a efectos prácticos, puesto que progresa a velocidad infinitesimal, pero en presencia de humedad alcanza valores significativos. Bajo estas últimas condiciones, la corrosión se produce mediante un mecanismo electroquímico en el que la fina capa de humedad que recubre el material representa el electrolito. De este modo, la corrosión atmosférica varía considerablemente en función del tiempo de humectación, de los cambios estacionales de las condiciones atmosféricas y de la naturaleza y cantidad de contaminantes. Ello conduce a agresividades ambientales diferentes.

Una vez que se de esta condición vamos a tener sobre el metal una zona catódica, una zona anódica y un medio conductor. El origen de que unas regiones de la superficie metálica actúen anódicamente y otras lo hagan catódicamente se debe a las diferencias entre sus potenciales electroquímicos. Tales diferencias son originadas por heterogeneidades del metal, del medio y de las condiciones, capaces de crear, a su vez, las heterogeneidades electroquímicas. Ambas reacciones constituyen el proceso global de corrosión.

De este modo puede formularse la reacción anódica, que siempre es de oxidación y conlleva la disolución del metal, de la siguiente forma:

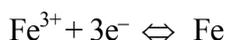
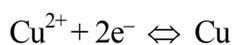


Mientras, en la reacción catódica nos encontramos con el siguiente proceso de reducción de algún oxidante presente en el electrolito y depende, por tanto, del medio en el

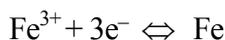
que opere el metal. En los electrolitos acuosos, los aceptores de electrones que invariablemente están presentes son los iones  $\text{H}_3\text{O}^+$  si el medio es ácido y el oxígeno disuelto, siendo las reacciones de electrolización correspondientes:

- En disoluciones neutras o alcalinas:  $\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-$
- En disoluciones ácidas:  $2 \text{H}_3\text{O}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$

El electrolito también puede, en determinados casos, contener otras especies oxidantes como los iones  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  o  $\text{NO}_3^-$ , en cuyo caso cabe que se desarrollen reacciones adicionales de electrolización del tipo:



o bien



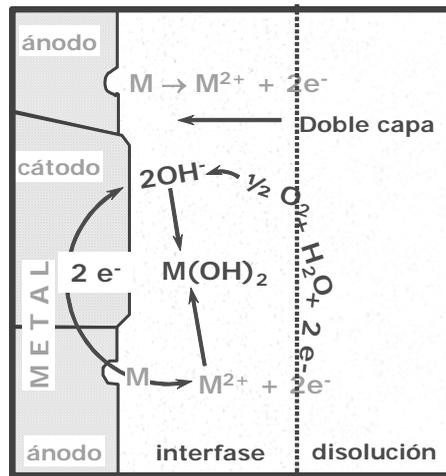
Entre las diversas reacciones catódicas posibles, las dos primeras son las más frecuentes, donde la descarga de hidrogeniones es la reacción catódica que se produce preferentemente en medio ácidos o en medios desaireados, mientras que la reacción fundamental en medios aireados neutros y básicos es la reducción del oxígeno disuelto en el agua para producir iones  $\text{OH}^-$ .

A estas reacciones de oxidación y reducción se las denomina reacciones electroquímicas, debido al tipo de mecanismo que implica este movimiento de electrones desde la región anódica, donde tiene lugar la oxidación, hasta la región catódica, donde se produce la reducción, cerrándose el circuito de corriente mediante el correspondiente movimiento iónico en el electrolito en contacto con el metal. La superficie metálica se comporta pues como un conjunto de múltiples micropilas galvánicas. La localización de las zonas anódicas y catódicas sobre la superficie del metal origina que el material se corroa de manera uniforme o generalizada o de manera localizada.

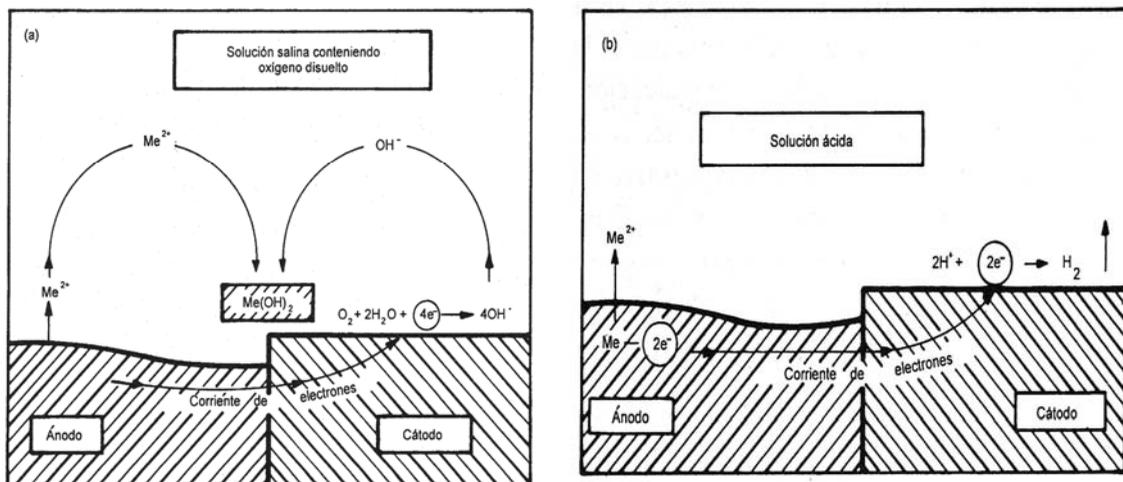
En la figura 2.1 se muestra el funcionamiento esquemático de una pila local de corrosión y en las figuras 2.2 (a y b) se observa los esquemas correspondientes a los dos tipos

de reacción catódica, esto es:

- a) Reacción catódica de reducción de oxígeno.
- b) Reacción catódica de reducción de protones  $H^+$ .



**Figura 2.1.-** Esquema del funcionamiento de una pila local de corrosión.



**Figura 2.2.-** Esquema del funcionamiento de una pila local de corrosión.

Sin embargo la corrosión electroquímica no ocurre solamente por contacto entre metales de diferente potencial de corrosión o por impurezas u otras heterogeneidades de la superficie del metal que originen regiones con diferente potencial electroquímico (teoría heterogénea de la corrosión), ya que también los metales ultrapuros se corroen. Tal y como

Wagner y Traud (1938) sugirieron, la condición necesaria y suficiente para que ello suceda es que la reacción de disolución del metal y alguna reacción de electrolización se desarrollen simultáneamente en la interfase metal ambiente.

Para que estos dos procesos ocurran simultáneamente basta y es suficiente que la diferencia de potencial a través de la interfase de reacción sólido-líquido sea superior a la diferencia entre los potenciales para la reacción de electrolización y deselectronización en la fuente y sumidero de electrones, respectivamente. Estas reacciones de electrolización y de disolución del metal se producen al azar sobre la superficie (necesariamente homogénea) de un metal de ese tipo (teoría homogénea de la corrosión).

## **2.2.- Aspectos termodinámicos de la corrosión.-**

Toda transformación química real que experimente un sistema deberá ser irreversible y, de acuerdo con los principios de la termodinámica, a presión y temperatura constante, que son las condiciones usuales en los procesos de corrosión, se experimenta una disminución de la energía libre o potencial termodinámico,  $G$ , del sistema [107], de tal forma que no debe cesar, una vez comenzada, hasta que dicho parámetro haya alcanzado un valor mínimo en el sistema.

$$G_1 > G_2, \text{ es decir, } \Delta G < 0$$

En todos los procesos de corrosión de materiales metálicos, y con la excepción de los metales nobles, se verifica esta disminución, de forma que son procesos espontáneos.

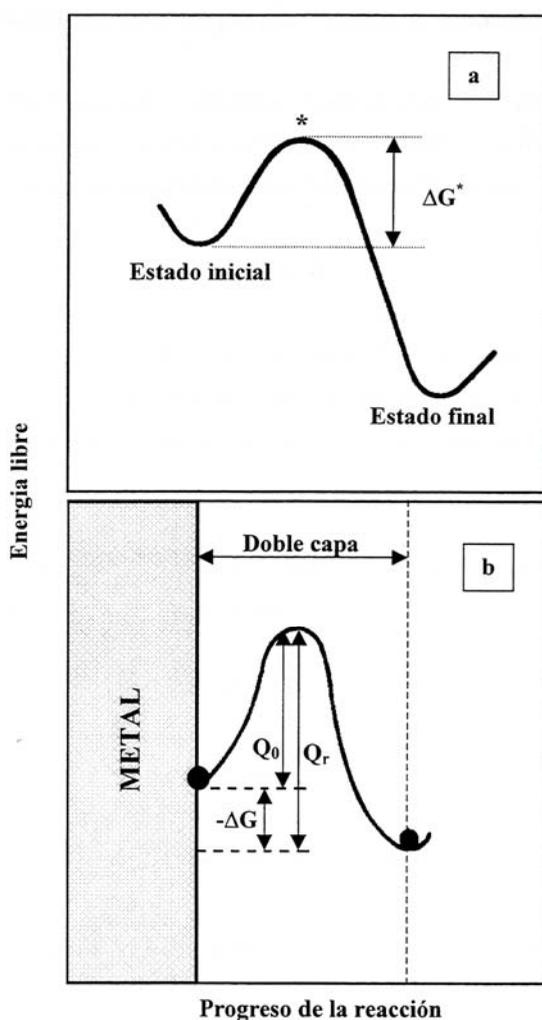
Al ser la energía libre una función de estado, lo que implica que su variación es independiente del camino seguido, siendo sólo función del estado inicial y final, esta variación no sirve para cuantificar la velocidad de corrosión, sino refleja sólo su tendencia a producirse y su dirección.

Para que pueda tener lugar, las reacciones necesitan superar una energía de activación,  $Q_0$ , tal y como se muestra en la figura 2.3.

Es este parámetro el que regula la velocidad de las reacciones químicas y no el cambio de energía libre. Se desprende del diagrama que un metal que presente una elevada energía de activación pueda ser útil en la práctica. La ecuación de Arrhenius nos relaciona la energía de activación con la velocidad a través de la ecuación:

$$k = A e^{-Q/RT} \quad (2.2)$$

donde k es la velocidad, A, una constante cinética de la reacción, R, la constante de los gases perfectos, Q, la energía de activación y T la temperatura absoluta.



**Figura 2.3.-** Diagrama de energía libre para un proceso en general (diagrama a) y el de un metal con tendencia a corroerse (diagrama b).

El cambio de energía libre tipo para la formación de casi todos los óxidos metálicos es negativo, esto es, los óxidos son termodinámicamente estables en atmósferas de oxígenos, mientras que los metales no lo son.

### 2.2.1.- Termodinámica electroquímica. Medidas de potencial de electrodo.-

Se puede relacionar la variación de energía libre de Gibbs ( $\Delta G$ ) de un proceso de corrosión metálica con la diferencia de potencial existente entre el estado inicial en la red metálica y el estado final en el seno de la disolución, y con la constante de la ley de acción de masas mediante las siguientes ecuaciones:

$$\Delta G = -n F E \quad (2.3)$$

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K \quad (2.4)$$

donde  $n$  es el número de electrones intercambiados,  $E$  es el potencial electroquímico al que tiene lugar el proceso ( $E_{\text{cátodo}} - E_{\text{ánodo}}$ ), que debe ser menor que cero para que se produzca espontáneamente, y  $F$  es la constante de Faraday ( $96.493 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ ).

Aplicando la ecuación (2.4) a una ecuación redox genérica:



resulta en una constante  $K$  para la ley de acción de masas de la forma:

$$K = \frac{(P)^p (Q)^q}{(A)^a (B)^b} \quad (2.6)$$

Reordenando se tiene

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{(P)^p (Q)^q}{(A)^a (B)^b} \quad (2.7)$$

La ecuación (2.3) también se puede particularizar para condiciones normales, con lo que tendremos

$$\Delta G^\circ = - n F E^\circ \quad (2.8)$$

y considerando la equivalencia entre (2.7) y (2.8) obtenemos la siguiente expresión:

$$E = E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln \frac{(P)^p (Q)^q}{(A)^a (B)^b} \quad (2.9)$$

en la que  $E^\circ$  representa el cambio de energía libre estándar para la reacción electroquímica en cuestión y se conoce como potencial normal o estándar. El valor de  $E$  en cada momento nos permitiría, por comparación con el correspondiente a condiciones normales,  $E^\circ$ , conocer en qué sentido se desplazará una reacción redox cualquiera.

Para cada sistema  $Me \Leftrightarrow Me^{n+} + ne^-$ , se obtiene, en condiciones estándar, un valor de potencial, de manera que pueden establecerse series de potenciales en las que los distintos equilibrios aparecen ordenados en función de los valores que toma el potencial  $E^\circ$  o potencial normal. Si la concentración de catión en el equilibrio es baja, el valor de  $E^\circ$  es mayor, como corresponde a equilibrios propios de metales nobles con poca tendencia a disolverse. Por el contrario, si la  $(Me^{n+})$  en el equilibrio es elevada,  $E^\circ$  toma valores inferiores, lo que caracteriza a metales activos.

Cuando un átomo metálico pasa a disolución como ion, al estar cargado, se genera una diferencia de potencial en la interfase metal-electrolito que, al ir creciendo a medida que pasan más iones a solución, se opone cada vez con mayor fuerza a la entrada en solución de nuevos iones hasta que, para una diferencia de potencial específica para cada sistema metal-solución, se alcanza un equilibrio en el cual el intercambio entre átomos metálicos y sus iones se realiza a igual velocidad en ambos sentidos.



Aplicando la ecuación (2.9) a la reacción electroquímica anterior, que representa por definición la reacción de corrosión, se obtiene:

$$E = E^\circ + \frac{RT}{nF} \ln (Me^{n+}) \quad (2.10)$$

Teniendo en cuenta que la actividad de las sustancias puras, (Me), se considera igual a la unidad. Este valor de potencial se conoce como potencial de equilibrio electroquímico. La ecuación se conoce como ecuación de Nernst y define el valor del potencial de electrodo en función de la actividad de sus iones en solución o, aproximadamente, en función de sus concentraciones, mucho más fáciles de conocer.

En el equilibrio, la variación de energía libre es cero y de (2.3) y (2.4), resulta para la ecuación (2.10)

$$E^{\circ} = - \frac{RT}{nF} \ln (Me^{n+}) \quad (2.12)$$

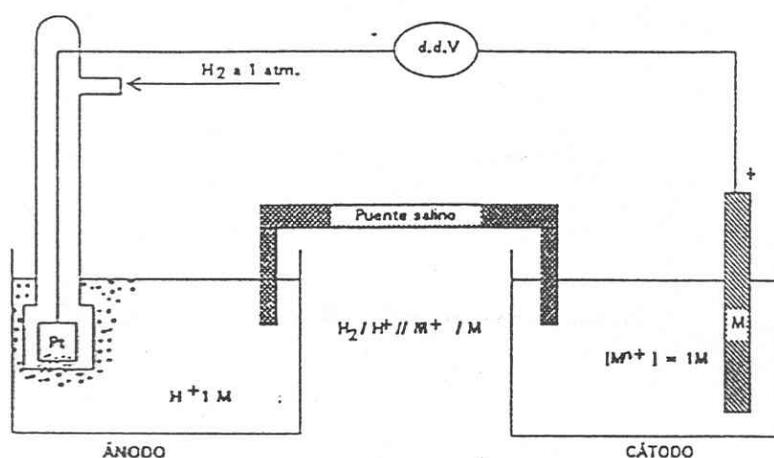
Desde el principio se buscó un electrodo cuyo potencial fuese fácilmente reproducible, para tomarlo como patrón.

Los potenciales normales se refieren al semielemento  $H^+/H_2$  constituido por un lámina de platino cubierta con negro de platino sumergida en una solución ácida de actividad igual a 1 y saturada con gas hidrógeno a la presión de atmósfera. Por convenio este potencial se toma como cero arbitrario de potenciales. El otro semielemento lo forman los diversos metales frente a soluciones de sus iones de actividad unidad. El esquema se muestra en la figura 2.4. De este modo es posible clasificar los potenciales normales de los metales de mayor a menor actividad, o lo que es lo mismo, por el orden de menos a más noble, según se muestra en la tabla 2.1, conocida como serie electroquímica de potenciales de reducción, potenciales estándar de semielementos, o potenciales de oxidación-reducción o redox.

Desgraciadamente, los electrodos de hidrógeno son frágiles y muy sensibles a la contaminación, por cuya razón las medidas suelen realizarse con respecto a otros patrones o electrodos de referencia. Los más usados son el electrodo de calomelanos (SCE), el de cobre saturado o el de plata-cloruro de plata, de los cuales se conoce sus potenciales respecto al electrodo de hidrógeno. En la tabla 2.2 se muestran los potenciales estándar de los electrodos de referencia comentados.

Par ox./red.	E° (V)
Pt <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ↔ Pt	1.60
Au <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> ↔ Au	1.50
4H <sup>+</sup> + O <sub>2</sub> + 4e <sup>-</sup> ↔ 2H <sub>2</sub> O	1.23
Ag <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ↔ Ag	0.799
Fe <sup>3+</sup> + e <sup>-</sup> ↔ Fe <sup>2+</sup>	0.77
O <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O + 4e <sup>-</sup> ↔ 4OH <sup>-</sup>	0.40
Cu <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ↔ Cu	0.34
2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> ↔ H <sub>2</sub>	0.000
Pb <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ↔ Pb	-0.126
Ni <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ↔ Ni	-0.257
Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ↔ Fe	-0.44
Cr <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> ↔ Cr	-0.744
Zn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ↔ Zn	-0.763
Al <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> ↔ Al	-1.66

**Tabla 2.1.-** Potenciales estándar de electrodo, a 25°C y frente al electrodo normal de hidrógeno.



**Figura 2.4.-** Determinación potencial de electrodo

$$E^{\circ} = E^{\circ} \text{Me}^{z+} / \text{Me} - E^{\circ} \text{H}^{+} / \text{H}_2$$

Electrodos de referencia	E° (V)
Ag/AgCl sólido en KCl 0,1 N	+0,288
Cu/CuSO <sub>4</sub> saturado	+0,316
Hg/Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> sólido en KCl 0,1 N	+0,334

**Tabla 2.2.-** Potenciales estándar de electrodos de referencia.

### 2.2.2.- Diagramas de Pourbaix.-

En los procesos corrosivos interviene gran multitud de factores que afectan a la velocidad de corrosión. Según lo visto hasta ahora, la termodinámica es capaz de determinar el potencial ( $E^\circ$ ), al cuál tiene lugar la disolución del metal, que es el potencial de equilibrio para el cual  $E=0$ . De esa deducción obteníamos el valor de  $E^\circ$  según la ecuación 2.12.

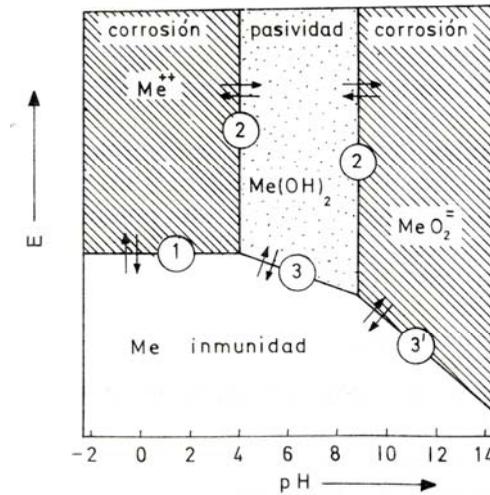
Esta ecuación es independiente del pH, puesto que no intervienen en ella los iones  $H^+$  u  $OH^-$ .

Sin embargo de alguna forma los iones  $H^+$  u  $OH^-$ , no sólo el potencial, condicionan las reacciones de corrosión, puesto que los iones  $Me^{+2}$  producidos en ellas dan lugar a óxidos o hidróxidos en presencia de aquellos, a potenciales que ya dependen de pH. Estos compuestos influyen en la velocidad de corrosión, a través de sus características más o menos protectoras. Además, por encima de cierto umbral de potencial, distinto para cada metal, los metales se disuelven, y los óxidos e hidróxidos previamente precipitados también, para dar aniones e iones complejos.

Todo esto es importante en el estudio de la corrosión, pues, en las condiciones en que se forman productos solubles, es de esperar corrosión, mientras que la forma de productos insolubles puede entorpecerla, y llegar incluso a proteger el metal por pasivación.

Esta valiosísima información puede resumirse en forma gráfica potencial-pH, conocido por diagramas de Pourbaix [108], debido a que fue él el primero en sugerirlo en 1945. Tales diagramas se pueden construir a partir de la ecuación de Nernst y en los productos de solubilidad de diversos compuestos metálicos.

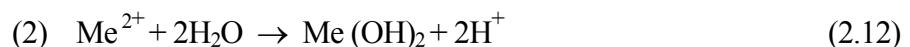
En un diagrama de Pourbaix tal y como se muestra en el esquema de la figura 2.5, se distinguen tres tipos fundamentales de líneas, con significados diferentes: las horizontales, las verticales y las oblicuas.



**Figura 2.5.-** Construcción de un diagrama de Pourbaix, con los tres tipos fundamentales de líneas que lo constituyen.

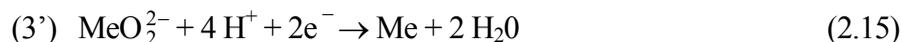
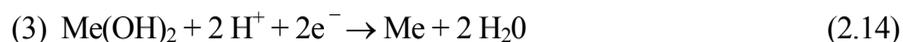
Las horizontales, como la 1, representan reacciones con intercambio de electrones, pero independientemente del pH, de las cuales la reacción  $\text{Me}^{2+} + 2\text{e}^- \leftrightarrow \text{Me}$  es la expresión general, y la ecuación (2.10) es la ecuación de Nernst correspondiente. Variaciones en la concentración de cationes  $\text{Me}^{2+}$  producen desplazamientos paralelos de tales líneas. En corrosión se utiliza frecuentemente la concentración  $\text{Me}^{2+} = 10^{-6}$  como frontera de separación entre corrosión y estabilidad o inmunidad, por convenio, pues es tan baja que equivale a corrosiones insignificantes.

Las líneas verticales representan reacciones independientes del pH pero no del potencial, porque no se trata de procesos redox (electroquímicos) con transferencias de cargas. Es decir, no hay cambio del número de oxidación por pérdida o ganancia de electrones. Por ejemplo:



equilibrios de hidrólisis que, a cualquier potencial, suceden a un pH precisado por el producto de solubilidad de los respectivos compuestos,  $\text{Me}(\text{OH})_2$  y  $\text{MeO}_2\text{H}_2$ . Finalmente,

aquellas reacciones que dependen a la vez del pH y del potencial y pueden tomar diversas pendientes:



originan rectas que quedan definidas si se conocen los potenciales estándar,  $E_3^\circ$  y  $E_{3'}^\circ$ , correspondientes a las dos últimas reacciones.

$$E_3 = E_3^\circ + \frac{RT}{nF} \ln H = E_3^\circ - 0.059 \text{ pH} \quad (2.15)$$

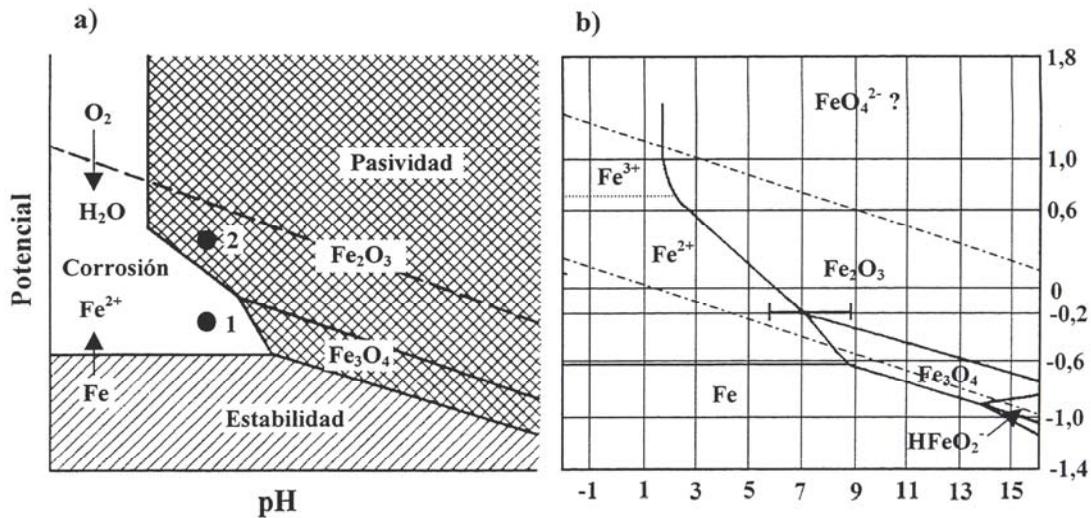
$$E_{3'} = E_{3'}^\circ + \frac{RT}{nF} \ln [\text{MeO}_2^{2-}] [\text{H}^+]^4 = E_{3'}^\circ - 0,118 \text{ pH} + 0,0295 \log [\text{MeO}_2^{2-}] \quad (2.16)$$

Puesto que  $2,3 \cdot RT/F = 0,059 \text{ V}$  a  $25^\circ\text{C}$ .

En resumen, aunque los diagramas de Pourbaix sólo ofrecen una descripción termodinámica del sistema metal/solución, sin permitir la predicción de las velocidades de reacción, son muy útiles para:

- a. Conocer la dirección espontánea de las reacciones.
- b. Estimar los estados de equilibrio a los que se tienden, es decir, la naturaleza de los productos de corrosión.
- c. Para predecir los cambios ambientales que pueden evitar o reducir la corrosión.

Dependiendo de la zona de potencial en la que nos encontremos tendremos una especie u otra. Si nos fijamos en los diagramas de Pourbaix para el hierro, mostrados en la figura 2.6, vemos que para potenciales más positivos la forma estable es la iónica, mientras que a potenciales más negativos se estabiliza la forma metálica. En el punto 1 del diagrama (a) vemos que la forma estable es el  $\text{Fe}^{2+}$ , mientras que si seguimos subiendo en el mismo diagrama hasta el punto 2 entraremos en una zona de pasividad. En la figura 2.6 (b) se muestra el diagrama de Pourbaix para el hierro con más detalle. Hay que tener en cuenta que los diagramas de Pourbaix nos suministran información sobre la termodinámica del proceso, y nunca sobre su cinética.



**Figura 2.6.-** Diagrama de Pourbaix para el hierro en agua a 25 °C. En a) podemos apreciar las distintas zonas de pasividad, estabilidad y corrosión, así como las especies existentes en cada zona b).

### 2.3.- Aspectos cinéticos de la corrosión.-

#### 2.3.1.- Descripción matemática.-

El análisis termodinámico de un sistema de corrosión nos proporciona información sobre si se produce o no la oxidación del material metálico en el medio corrosivo estudiado y si el proceso es espontáneo, pero no nos dice la velocidad con que ocurre, en el caso de que se produzca.

Los procesos de corrosión electroquímica se caracterizan por poseer una cinética heterogénea compleja. Como en todo mecanismo cinético, tanto la velocidad, como las características cinéticas del proceso en global, serán las de dicho paso lento o controlador.

Debido a que en los procesos de corrosión electroquímica no sólo se presentan etapas electroquímicas, sino también de carácter distinto (químico, difusivo, eléctrico), no serán exclusivamente las leyes de la electroquímica las que permitan evaluar la velocidad del proceso. Esto dependerá del paso controlante del mismo. No debe olvidarse que en todo proceso de corrosión ocurren dos semirreacciones; la anódica, de oxidación metálica, y la catódica, de reducción del oxidante. Cada una de ellas presenta un mecanismo cinético

individual. Entonces la velocidad de corrosión podrá estar determinada, a su vez, por una de ellas o por ambas (control anódico, catódico o mixto).

- **Polarización y sobretensión.**

Cuando se introduce un metal en una disolución electrolítica, se produce un intercambio de iones metálicos entre el metal y la disolución. Dependiendo de los potenciales en las fases (metal y electrolito), este intercambio estará favorecido en un sentido o en otro. Al cabo de cierto tiempo, se alcanza el equilibrio de los procesos en direcciones opuestas, gracias a la compensación de la diferencia de potencial electroquímico entre ambas fases.

Al existir en esta condición un equilibrio cinético entre las magnitudes de las semirreacciones anódica y catódica de cesión y toma respectiva de electrones, no se producirá intercambio neto de corriente entre el electrodo y el exterior, es decir, la corriente global será igual a cero. El potencial que posee un electrodo en este estado se denomina potencial de reposo ( $E_R$ ) y es el que manifiesta un metal introducido en una disolución electrolítica.

Ahora bien, en esta condición y cumpliendo los requisitos anteriores, se pueden diferenciar dos casos distintos: uno, en el que las semirreacciones catódica y anódica no sólo son iguales en magnitud sino también en naturaleza, como puede ser la oxidación del metal y la reducción de los propios iones, en cuyo caso el electrodo posee un potencial de reposo denominado potencial de equilibrio ( $E_{eq}$ ); y otro en el que ambos procesos son iguales en magnitud, pero de diferente naturaleza como la oxidación metálica y la reducción de un agente oxidante del medio corrosivo, (entonces, el potencial de reposo recibe el nombre de potencial mixto o de corrosión ( $E_{corr}$ )). En el segundo caso no habrá equilibrio termodinámico y el metal se corroerá, cambiando su masa con el tiempo.

Cuando, a través de un electrodo se hace circular una corriente eléctrica procedente del exterior, cambia su potencial desde el valor que poseía en el estado de reposo a un nuevo valor. Esta variación del potencial que sufre un electrodo cuando se hace circular a través de él una corriente eléctrica se denomina polarización:

$$P = E_{i \neq 0} - E_{i=0}, \quad (2.17)$$

donde  $E_{i=0} = E_R$

Todos los electrodos se polarizan, pero en diferente medida, en función de sus características, lo cual posee una enorme trascendencia en la práctica.

De manera muy simple, la causa de la polarización puede explicarse de la siguiente manera; si se aplica corriente al electrodo en reposo, el equilibrio cinético se rompe acelerándose aquellos procesos o reacciones que tienden a contrarrestar la alteración producida y atenuándose aquellos que la favorezcan, hasta alcanzar un nuevo estado estacionario, en el que toda la corriente introducida sea extraída a la misma velocidad. Pero las reacciones electroquímicas poseen cierta inercia que les impide alcanzar la condición estacionaria de manera inmediata, y se requiere un tiempo de respuesta o cambio, durante el cual se produce inevitablemente una acumulación de cargas en el electrodo que ocasionan el cambio de su potencial.

La diferencia en la velocidad de respuesta de los diferentes sistemas es consecuencia de las características cinéticas de los mismos. Como dentro de un mecanismo cinético la etapa limitante es la que determina la velocidad de reacción del proceso total, éste será a su vez el responsable de la polarización y su magnitud.

Como caso particular del fenómeno de polarización se tiene la sobretensión  $\eta$ , en el que el potencial de reposo se corresponde con el potencial de equilibrio, es decir:

$$P = E_i - E_{\text{corr}} \quad (2.18)$$

$$\eta = E_i - E_{\text{eq}} \quad (2.19)$$

- **Curvas de polarización.**

Se conoce como curva de polarización el registro de la variación de la intensidad o del potencial cuando se aplica, respectivamente, un potencial o intensidad al electrodo.

El trazado de estas curvas de polarización es una práctica habitual y muy útil en los estudios de corrosión, ya que de su forma y valores numéricos puede extraerse mucha información sobre los procesos de corrosión. Según el convenio de signo de la corriente que se aplica, las curvas pueden ser anódicas (en dirección de los potenciales positivos y nobles) o catódicas (en dirección de los potenciales negativos o más activos). Se considerará la corriente anódica como positiva, la corriente catódica como negativa y se situará el potencial en el eje de abscisa.

Por lo tanto, el valor de la polarización para una corriente dada es una medida de la dificultad con que se realiza el proceso y, por consiguiente, es un parámetro esencial de las ecuaciones de la cinética electroquímica. Existen diferentes tipos de polarización, polarización por transferencia, por difusión, por reacción química, por resistencia y por cristalización. En los fenómenos de corrosión pueden presentarse todos estos tipos pero, sin embargo, los dos primeros cubren la inmensa mayoría de los casos, por lo que exigen un estudio particular.

- **Polarización por transferencia**

Este tipo de polarización se presenta cuando el paso más lento de todo el mecanismo es el intercambio de cargas a través de la interfase metal-disolución. Para la semirreacción catódica, esto implica el paso de toma de electrones por la especie a reducirse sobre la superficie metálica, mientras que en la anódica, para metales activos significa la salida o escape de iones metálicos de su red cristalina a través de la interfase y la cesión de electrones a la fase metálica.

La velocidad de los procesos anódicos y catódicos para una reacción reversible del tipo:



es:

$$V_a = - \frac{dm_A}{dt} = K_a a_A^m \quad (2.21)$$

$$V_c = - \frac{dm_B}{dt} = K_c a_B^m \quad (2.22)$$

$K_a$  y  $K_c$  son las constantes de velocidad de reacción electroquímica, anódica y catódica respectivamente.

Utilizando la ecuación de Faraday en forma diferencial,

$$\frac{dm}{dt} = \frac{i}{zF} \quad (2.23)$$

se obtiene:

$$i_a = zFK_a a_A^n \quad (2.24)$$

$$i_c = -zFK_c a_B^m \quad (2.25)$$

Las constantes electroquímicas  $K$  incluyen las constantes de velocidad de reacción química  $k$ , o sea, en ausencia de diferencia de potencial, más un término que caracteriza la influencia del potencial en la velocidad de proceso.

$$i_a = zFK_a a_A^n \exp \frac{\alpha z F E}{RT} \quad (2.26)$$

$$i_c = -zFK_c a_B^m \exp \frac{-\beta z F E}{RT} \quad (2.27)$$

donde  $\alpha$  y  $\beta$  son los llamados coeficientes de transferencia,  $\alpha + \beta = 1$ .

Como sobre un electrodo pueden ocurrir las dos reacciones al mismo tiempo, la corriente exterior, neta o total será:

$$i_T = i_a + i_c = zFK_a a_A^n \exp \frac{\alpha z F E}{RT} - zFK_c a_B^m \exp \frac{-\beta z F E}{RT} \quad (2.28)$$

Como en el potencial de equilibrio se cumple que  $i_T = 0$ .

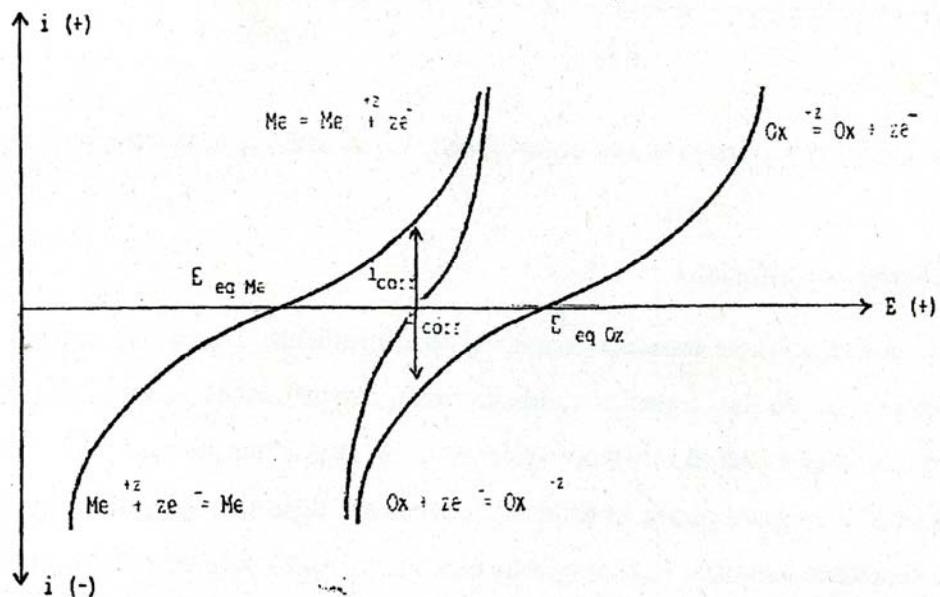
$$i_a = i_c = i_0 = zFK_a a_A^n \exp \frac{\alpha z F E_{eq}}{RT} = zFK_c a_B^m \exp \frac{-\beta z F E_{eq}}{RT} \quad (2.29)$$

donde  $i_0$  es la densidad de corriente de intercambio ( $i_{corr}$ )

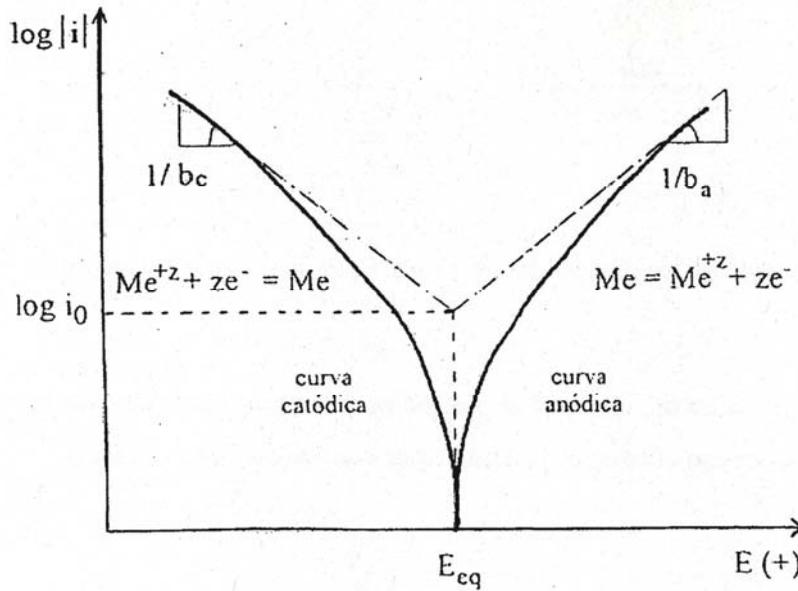
Recordando que  $\eta = E_i - E_{eq}$  (2.17), y sustituyendo en (2.25) obtenemos la ecuación:

$$i_T = i_a + i_c = i_{corr} \left( \exp \frac{\alpha z F}{RT} \eta - \exp \frac{-\beta z F}{RT} \eta \right) \quad (2.30)$$

llamada ecuación de Butler-Volmer [109], característica de los procesos electroquímicos de transferencia, en donde la primera exponencial corresponde al proceso anódico y la segunda al catódico. Con esta ecuación podemos determinar la corriente neta de un proceso electroquímico condicionado por la resistencia propia de la reacción, la resistencia de transferencia de carga. En un gráfico de corriente frente a potencial, esta diferencia de exponenciales toma la forma que muestra la figura 2.7 [110].



**Figura 2.7.-** Curvas de densidad de corriente-potencial ( $i$  vs  $E$ ) para procesos controlados por la transferencia electrónica.



**Figura 2.8.-** Curvas  $\log i$  vs  $E$  para procesos controlados por transferencia electrónica.

En la figura 2.8 se muestra la representación en función de  $E$  y  $\log i$ , de la cual se obtienen tramos rectos cuando el proceso de corrosión está controlado por fenómenos de polarización de activación (rectas de Tafel).

Las intensidades de corriente debidas a cada semirreacción sobre el electrodo por separado son:

$$i_a = i_{\text{corr}} \left( \exp \frac{\alpha z F}{RT} \eta \right) \quad (2.31)$$

$$i_c = i_{\text{corr}} \left( - \exp \frac{-\beta z F}{RT} \eta \right) \quad (2.32)$$

donde  $T$  es la temperatura absoluta,  $R$  la constante de los gases perfectos,  $F$  el faraday ( $96.486 \text{ C mol}^{-1}$ ),  $z$  el cambio de valencia en el proceso redox,  $\alpha$  y  $\beta$  son los coeficientes relacionados con la caída de potencial a través de la doble capa que rodea al electrodo,  $i_{\text{corr}}$  la corriente que atraviesa la interfase en el equilibrio y  $\eta$  es la polarización aplicada.

- **Polarización por difusión**

Este tipo de polarización se presenta cuando el paso más lento dentro del mecanismo cinético es el movimiento de las especies químicas involucradas en el mismo, desde la superficie del electrodo al seno del electrolito, o viceversa. En la práctica, el caso más común de control por difusión se presenta por la lentitud del movimiento de las especies desde el seno del electrolito a la superficie metálica, lo cual es más común en procesos catódicos, en los que están implicadas especies oxidantes no cargadas.

En estado estacionario el proceso de difusión se rige por la 1ª ley de Fick, ecuación (2.25) [111]:

$$\frac{dm}{dt} = -DS \frac{dC}{dx} \quad (2.33)$$

donde:

$\frac{dm}{dt}$ , es la velocidad molar de difusión,

$\frac{dC}{dx}$ , el gradiente de concentración en la sección perpendicular a la dirección del flujo o fuerza impulsora del proceso,

D, el coeficiente de difusión de la especie que difunde, y

S, el área de la superficie perpendicular a la dirección de difusión.

Si se tiene en cuenta la ecuación de Faraday en forma diferencial (2.20) y se considera al gradiente de concentración lineal,

$$\frac{dC}{dx} = \frac{\Delta C}{\Delta x} = \frac{C_s - C_0}{\delta} \quad (2.34)$$

se obtendrá:

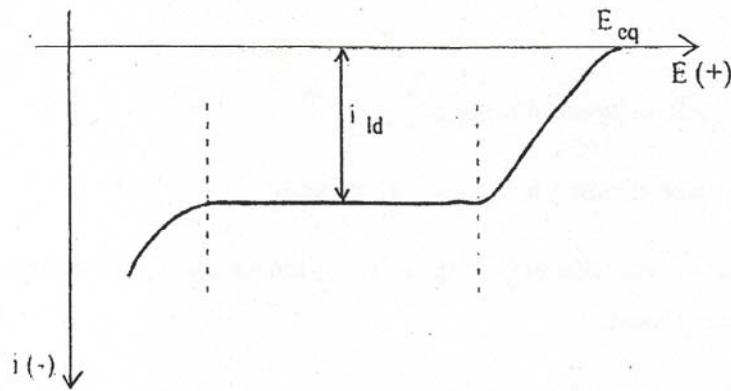
$$i = zFD \frac{C_s - C_0}{\delta} \quad (2.35)$$

$C_0$  y  $C_s$  son las concentraciones de las especies en el seno de la disolución y en la superficie metálica respectivamente, y  $\delta$  es el espesor de la capa de difusión.

Para un sistema dado, en el que  $D$ ,  $C_0$  y  $\delta$  son constantes, el incremento de corriente trae consigo una disminución de la concentración superficial,  $C_s$ . Si, por aplicación de sobretensiones mayores, aumentamos sucesivamente la corriente,  $C_s$  irá disminuyendo paulatinamente hasta hacerse igual a cero. En esta condición se alcanza el máximo valor de corriente, y se denomina a este estado condición límite de difusión, cuya expresión es:

$$i_{ld} = zFD \frac{C_0}{\delta} \quad (2.36)$$

y la corriente será la densidad de corriente límite de difusión,  $i_{ld}$ , la cual no depende del potencial. La figura 2.9, muestra la dependencia de la corriente con el potencial para un proceso controlado por difusión.



**Figura 2.9.-** Curva de polarización catódica para un proceso controlado por difusión.

El valor de la corriente límite de difusión depende de la concentración de la especie que se reduce,  $C_0$ , del coeficiente de difusión,  $D$  y del espesor de la capa límite,  $\delta$ . El coeficiente de difusión varía, a su vez, con la temperatura, viscosidad y fuerza iónica mientras que el espesor de la capa límite de difusión depende principalmente de la agitación del medio.

### 2.3.2.- Determinación de la velocidad de corrosión.-

Partiendo de la ecuación de Butler-Volmer (2.30) se consigue, a través de dos casos límite, que se corresponden con las rectas de Tafel y el llamado método de resistencia de polarización, una estimación de  $i_{corr}$ , es decir, de la velocidad de corrosión.

• **Método de intersección.**

Consiste en la obtención experimental de las curvas de polarización completas del sistema en estudio. En este caso, se trata de plantear los dos casos límite, que se corresponden con las rectas de Tafel. Así, en el caso de polarizaciones elevadas tales como:

$$\eta \gg \frac{RT}{\alpha zF} \quad (2.37)$$

$$-\eta \gg \frac{RT}{(1-\alpha)zF} \quad (2.38)$$

las ecuaciones (2.31) y (2.32) se linealizan al expresarse en forma logarítmica, a partir de los cuales podemos obtener la intensidad de corriente de corrosión buscada,  $i_{\text{corr}}$ . A su vez este parámetro puede convertirse en peso consumido o espesor de material penetrados por la aplicación de las leyes de Faraday,

$$j_{\text{corr}} t = \frac{zFw}{M} \quad (2.39)$$

con lo que, despejando, se tiene:

$$w = \frac{j_{\text{corr}} t M}{zF} \quad (2.39)$$

donde  $w$  es el peso del metal corroído expresado en gramos,  $M$  es el peso molecular del metal,  $t$  es el tiempo durante el cual ha circulado la corriente, expresado en segundos, y  $j_{\text{corr}}$  es la densidad de corriente de corrosión.

Si tomamos logaritmos de la expresión de Butler-Volmer obtenemos

$$\log i_a = \log i_{\text{corr}} + \frac{\alpha zF}{2,3RT} \eta \quad (2.40)$$

de donde

$$\eta = \frac{-2,3RT}{\alpha zF} \log i_{\text{corr}} + \frac{2,3RT}{\alpha zF} \log i_a = a + b \log i_a \quad (2.41)$$

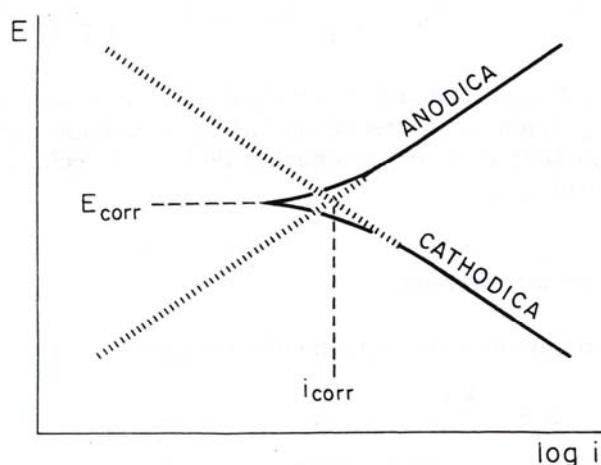
Esta ecuación tiene la forma de una ley de Tafel, después de englobar  $i_{\text{corr}}$  en la constante  $a$ , lo que se puede hacer pues  $i_{\text{corr}}$  adquiere un valor fijo para una combinación metal-medio electrolítico dada. El término  $b$  de la ecuación es la denominada pendiente de Tafel. Esta pendiente o constante de Tafel suele variar para las reacciones electroquímicas entre 0,05 y 0,15. Por tanto, para la semirreacción anódica se tiene:

$$b_a = \frac{2,3RT}{\alpha z F} \quad (2.42)$$

Análogamente, para el límite catódico se obtiene

$$b_c = \frac{-2,3RT}{\beta z F} \quad (2.43)$$

En las proximidades de  $E_{\text{corr}}$ , para polarizaciones pequeñas, los procesos anódicos y catódicos se influyen mutuamente y las curvas de polarización experimentales se apartan del curso semilogarítmico previsto por la ley de Tafel. Sin embargo, como para  $\eta = 0$  (para el  $E_{\text{corr}}$ ) de cualquiera de las ecuaciones (2.31 o (2.32) resulta que  $i_a = i_c = i_{\text{corr}}$ , se obtiene la  $i_{\text{corr}}$  buscada sin más que extrapolar cualquiera de las rectas de Tafel obtenidas a polarizaciones grandes hasta la línea  $E = E_{\text{corr}}$ , tal y como esquematiza la figura 2.10.



**Figura 2.10.-** Representación esquemática del log de la densidad de corriente frente al potencial.

La principal ventaja y desventaja de este método, derivado en principio por Evans [112] y Wagner, reside en la necesidad del trazado completo de las curvas de polarización, que por una parte posibilita un análisis electroquímico de la cinética del proceso de corrosión y, por otra, puede dar lugar a modificaciones de la superficie del electrodo por efecto de las elevadas polarizaciones.

- **Método de la resistencia de polarización.**

Este método, que debe su creación a los trabajos de Stern y Geary [113], ha sido la técnica que más ha contribuido al avance de la ciencia de la corrosión. El procedimiento se basa en que las curvas de polarización son prácticamente rectas en un pequeño entorno de  $E_{\text{corr}}$ , y su pendiente está relacionada con la velocidad de corrosión. Utiliza polarizaciones muy pequeñas, pues se basa en la proporcionalidad observada entre la corriente y el potencial en las cercanías del potencial y la corriente de corrosión.

Por ello, considerando que en el límite para  $x \rightarrow 0$ , se puede tomar:

$$e^x = 1 + x$$

$$e^{-x} = 1 - x$$

la ecuación (2.30) se puede simplificar de la forma:

$$i_T = i_{\text{corr}} = \left[ \frac{\alpha z F}{RT} \eta + \frac{(1 - \alpha) z F}{RT} \eta \right] \quad (2.44)$$

Sustituyendo en las ecuaciones (2.42) y (2.43), se obtiene:

$$i_T = \eta i_{\text{corr}} \left( \frac{1}{b_a} + \frac{1}{b_c} \right) \quad (2.45)$$

Al aplicar el límite de sobrepotenciales tendiendo a cero, resulta

$$i_{\text{corr}} = \frac{b_a \cdot b_c}{2,3(b_a + b_c)} \frac{di}{d\eta} \quad (2.46)$$

por lo que  $i_{\text{corr}}$  se puede determinar a través de la medida del cociente

$$\frac{di_T}{d\eta} = \frac{i}{E} \quad (2.47)$$

Finalmente, si consideramos constantes las pendientes de Tafel para un sistema dado, llegamos a la fórmula de Stern y Geary

$$i_{\text{corr}} = B \frac{i}{E} = \frac{B}{R_p} \quad (2.48)$$

donde

$$B = \frac{b_a \cdot b_c}{2,3(b_a + b_c)} \quad (2.49)$$

y en el caso de que la reacción parcial catódica alcance una intensidad límite de difusión, o que la anódica se vea controlada por un fenómeno de pasivación, entonces  $b_c$  o  $b_a$  se hacen infinitamente grandes, y a partir de la ecuación (2.45) se deducen, respectivamente, las ecuaciones (2.49) y (2.50):

$$i_{\text{corr}} = \frac{b_a}{2,3R_p} \quad (2.50)$$

$$i_{\text{corr}} = \frac{b_c}{2,3R_p} \quad (2.51)$$

#### 2.4.- Métodos electroquímicos para el estudio de la corrosión.-

Dentro de los métodos electroquímicos aplicados al estudio de la corrosión, se pueden distinguir dos tipos:

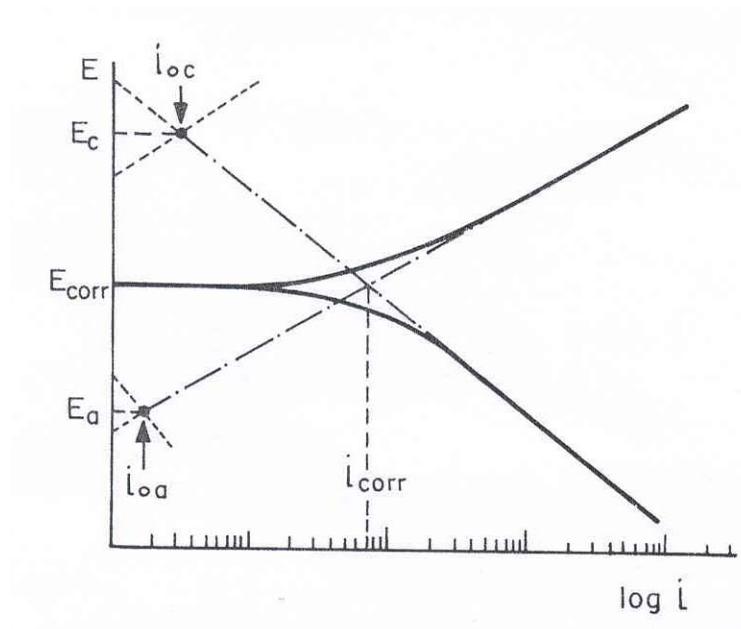
- métodos basados en el estudio de la señal de corriente continua,
- y los basados en el estudio de la señal de corriente alterna.

**2.4.1.- Métodos de corriente continua para determinar la velocidad de corrosión.**

**Polarización lineal.-**

Tal y como se comentó en el apartado 2.3.2, por el simple hecho de interferir en una reacción, se la fuerza a desplazarse de su estado estacionario en una dirección determinada, es decir, se polariza en esa dirección. Tal y como se demostró en dicho apartado, a partir de los casos límite, que se corresponden con las rectas de Tafel y el método de la resistencia de polarización podemos determinar la intensidad de corriente de corrosión (ecuaciones 2.50 y 2.51).

Si representamos gráficamente el potencial frente a la intensidad o al logaritmo de la intensidad, obtenemos un diagrama denominado diagrama de Evans (figura 2.11), y la determinación de la intensidad de corrosión puede obtenerse sin más que extrapolar las rectas de Tafel, anódica y catódica hasta el valor del potencial:



**Figura 2.11.-** Diagrama de polarización, en coordenadas semilogarítmicas, para un electrodo mixto, con gran diferencia entre los potenciales de equilibrio de las reacciones parciales.

# Capítulo 3

## Metodología Empleada

---

### 3.- METODOLOGÍA EMPLEADA.

3.1.- Elección de los puntos de colocación de las probetas.

3.2.- Construcción de la estructura metálica y preparación de las probetas.

*3.2.1.- Estructuras Metálicas*

*3.2.2.- Probetas.*

*3.2.2.1.- Marcado.*

*3.2.2.2.- Limpieza.*

*3.2.2.3.- Pesada, cálculos de superficie y empaquetado.*

3.3.- Accesorios de la estación de corrosión.

*3.3.1.- Captadores de SO<sub>2</sub>.*

*3.3.2.- Captadores de cloruros.*

*3.3.3.- Estaciones meteorológicas.*

3.4.- Análisis de los contaminantes atmosféricos

*3.4.1.- Método analítico empleado en la determinación de SO<sub>2</sub>.*

*3.4.2.- Método analítico empleado en la determinación de cloruros.*

3.5.- Estudio de las probetas de cobre.

*3.5.1.- Determinación de la pérdida de peso.*

*3.5.2.- Difracción de Rayos X.*

*3.5.2.1.-Introducción.*

*3.5.2.2.- Métodos de análisis.*

*3.5.2.2.1.- Método del polvo.*

*3.5.2.2.2.- Difractometría de Rayos X.*

*3.5.2.3.- Preparación de las muestras.*

*3.5.2.4.-Equipo utilizado.*

*3.6.- Estudios de polarización.*

### **3.- METODOLOGÍA EMPLEADA.-**

Para la caracterización del nivel de corrosividad de un lugar determinado se exponen una serie de probetas de metal desnudo, que en este caso cobre (aunque en la elaboración de un mapa de corrosividad también se contempla la exposición de cinc, acero al carbono, acero galvanizado y aluminio) en unas estaciones durante un periodo determinado. Se entiende por estación de corrosión el emplazamiento donde se encuentran ubicadas las estructuras que soportan las placas del metal que son objeto de estudio y una serie de dispositivos de captación.

#### **3.1.- Elección de los puntos de colocación de las probetas.-**

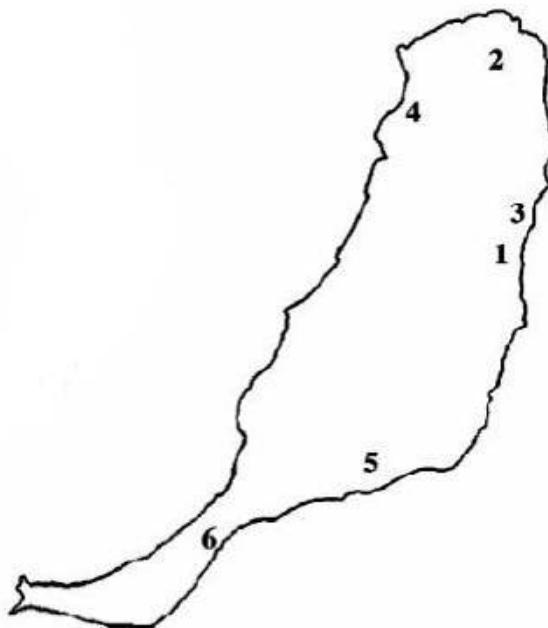
Los criterios para la ubicación de las estaciones de estudio, en cualquier plan de trabajo cuyo objetivo sea la determinación de la corrosividad atmosférica de una amplia zona geográfica, están recogidos en la norma ASTM G50-76 [114], y son:

- Intentar abarcar una zona lo más amplia posible.
- Introducir la mayor variedad posible de tipos de atmósfera (costera, rural, urbana e industrial), dentro de la diversidad que ofrezca la zona de estudio.
- Contemplar casos concretos, como zonas especialmente contaminadas, zonas de fuertes vientos, etc.
- Las estaciones deben ubicarse en un lugar en el que no puedan ser dañadas por personas o animales.
- Su localización debe ser tal que la acción de los agentes atmosféricos no esté impedida (no debe estar cubiertas por árboles, protegidas por muros, etc.).
- En caso de ser factible, se situarán lo más cerca posible de una estación meteorológica, que permita el seguimiento de los principales parámetros climatológicos.

Tras una visita a los posibles emplazamientos y en base los criterios anteriormente reseñados, se han seleccionado los siguientes puntos en las tres islas principales de la provincia de Las Palmas:

- a.- Isla de Fuerteventura: se colocaron 6 estaciones, distribuidas tal y como se muestra en la figura 3.1.
- b.- Isla de Lanzarote: se colocaron 6 estaciones, distribuidas tal y como se muestra en la figura 3.2.
- c.- Isla de Gran Canaria: se colocaron 27 estaciones, distribuidas tal y como se muestra la figura 3.3.

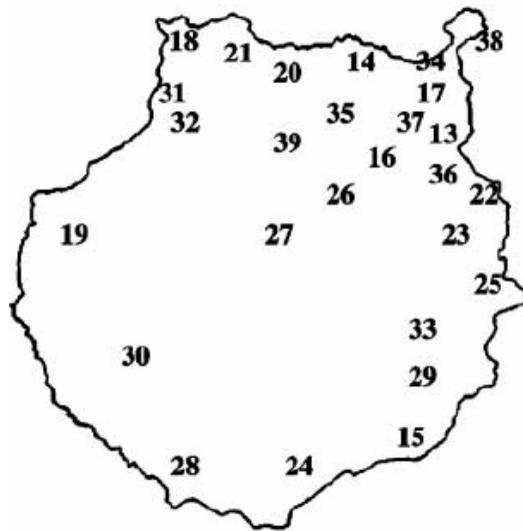
En el anexo I se detalla la localización exacta de cada estación, así como la altura a la que se encuentra sobre el nivel del mar.



**Figura 3.1.-** Distribución de las estaciones de corrosión en la Isla de Fuerteventura.



**Figura 3.2.-** Distribución de las estaciones de corrosión en la Isla de Lanzarote.



**Figura 3.3.-** Distribución de las estaciones de corrosión en la Isla de Gran Canaria.

### **3.2.- Construcción de la estructura metálica y preparación de las probetas.-**

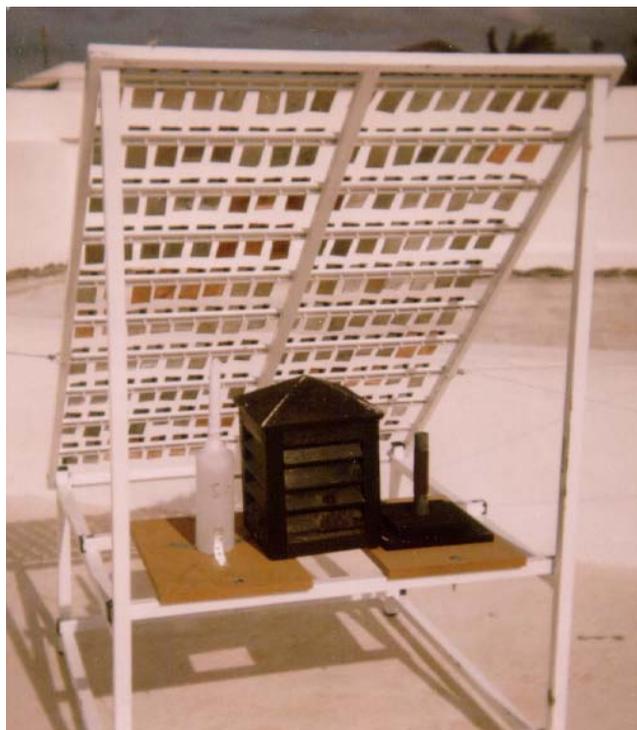
#### **3.2.1.- Estructuras metálicas.-**

Tanto las probetas de cobre como los captadores de SO<sub>2</sub> y cloruros están montados sobre una estructura metálica de 1,5 x 1,5 x 1,5 m. En las figuras 3.4 y 3.5 se puede apreciar una estructura ya montada con todos los elementos que componen la estación de corrosión.

Las estaciones fueron instaladas por el Grupo CAFMA durante el período que va desde 15 de Diciembre de 1995 hasta el 25 de Enero de 1996, en los lugares autorizados por los organismos colaboradores.



**Figura 3.4.-** Vista frontal de la estructura metálica y de las probetas objeto de estudio.



**Figura 3.5.-** Vista trasera de la estructura metálica donde podemos apreciar el captador de cloruros (a la derecha de la imagen) y la caseta de madera donde está ubicado el captador de SO<sub>2</sub> (a la izquierda de la imagen).

### 3.2.2.- Probetas.-

Las probetas utilizadas para el estudio son placas rectangulares de cobre y con unas dimensiones de 100 mm de largo, 40 mm de ancho y 2 mm de espesor. La composición química de las mismas es la siguiente:

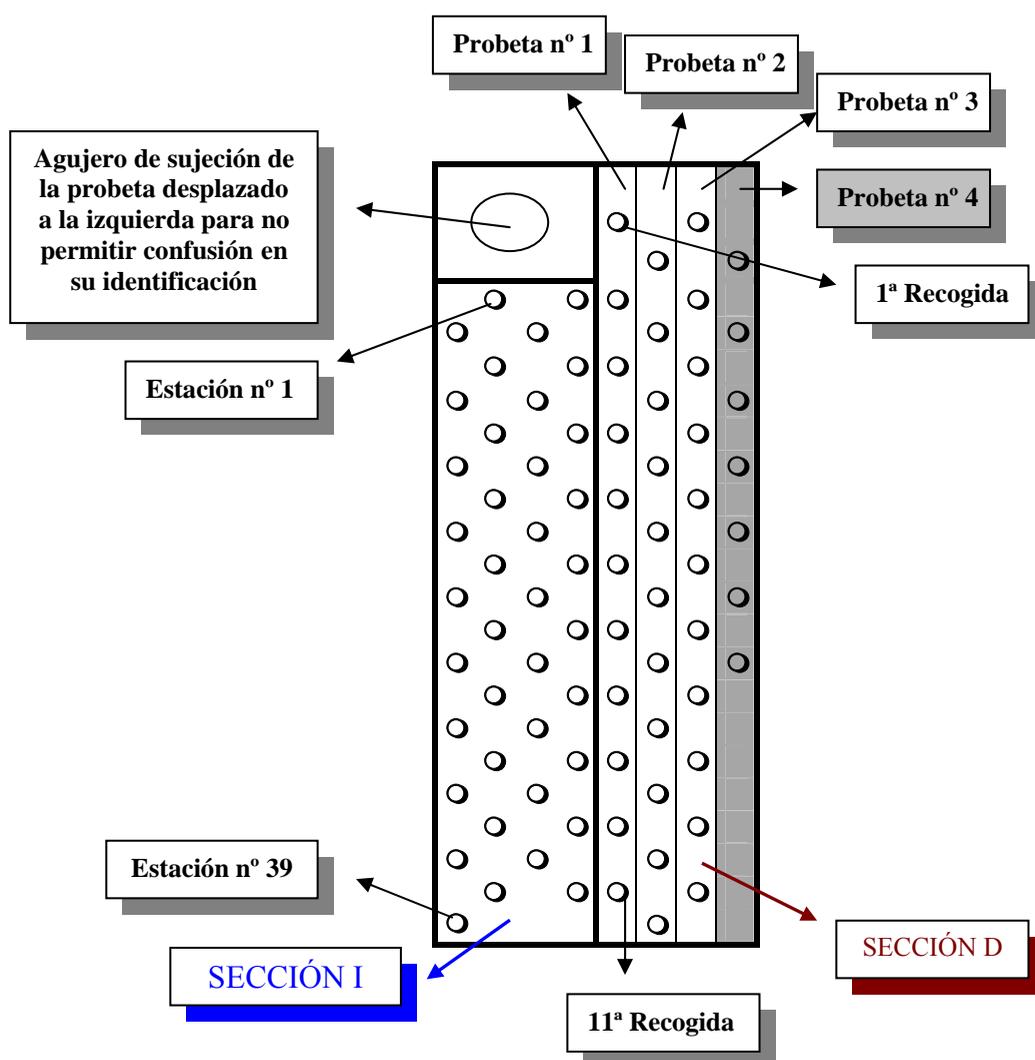
Composición química de las probetas de cobre (%)								
Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Fe	Cr	otros
0,25	98,5	0,05	0,05	0,09	0,05	0,9	-	0,09

**Tabla 3.1.-** Composición porcentual de las probetas de cobre.

A continuación se detallan todos los pasos seguidos durante la construcción e instalación de las estructuras metálicas.

### 3.2.2.1.- Marcado.-

El método empleado para la identificación de las probetas es una variación de diversos sistemas que hemos observado en otros proyectos. En la figura 3.6 se muestra un esquema de la codificación de las probetas. Para el anclaje de las probetas en la estructura metálica se utilizaron tornillos, arandelas y tuercas de nylon para evitar la formación de pilas galvánicas. Para conseguir una óptima separación de las probetas respecto a la estructura metálica, se utilizaron separadores de plástico de 2 cm de altura.



**Figura 3.6.-** Codificación de las probetas de cobre para su correcta identificación.

La probeta matriz se ha dividido en dos partes principales, la parte izquierda (sección I) contiene el nº de la estación a la que pertenece, así como el agujero de anclaje a la estación; en la parte derecha (sección D) se han distribuido las 8 recogidas de las tres probetas de cobre y las 7 recogidas de la cuarta probeta distribuidas para un total de 10 años de exposición. Una vez establecida la codificación anterior se procedió al troquelado y agujereado de las probetas.

#### 3.2.2.2.- Limpieza.-

Una vez identificadas las probetas se procedió a la limpieza y desengrasado de las mismas. Debido a que las probetas presentaban puntos de corrosión se efectuó una limpieza química, tal y como se describe en la norma ASTM G1-90: "*Standard Practice For Preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens*" [115], en el apartado de preparación de las muestras metálicas para la exposición atmosférica.

Al finalizar la limpieza química se lavan con agua destilada templada y se enjuagan con acetona. Posteriormente se depositan en la estufa un mínimo de dos horas, transcurridas las cuales se depositan en un desecador hasta el momento del empaquetado y transporte y colocación en las estaciones de corrosión.

#### 3.2.2.3.- Pesada, cálculos de superficie y empaquetado.-

El último paso, antes de la instalación de las probetas en las estaciones, consistió en el pesado de las probetas, cálculos de superficie individuales, empaquetado y numeración todo ello para facilitar su posterior colocación en las 39 estaciones a estudio. Para tal efecto se diseñó un plan de colocación y recogida tal y como se muestra en la figura 3.7. Las zonas sombreadas corresponden a huecos destinados a otros metales o, en su caso, a probetas de cobre que no han sido utilizadas en este estudio. En ella se puede apreciar la colocación real de las probetas en la estructura metálica. En el cálculo de la superficie total se tuvo en cuenta los orificios efectuados para la identificación de la probeta, así como el agujero de anclaje.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16 <b>Cu</b> 6 m
17 <b>Cu</b> 6 m	18 <b>Cu</b> 6 m	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40 <b>Cu</b> 12 m	41 <b>Cu</b> 12 m	42 <b>Cu</b> 12 m	43 <b>Cu</b> 12 m	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57 <b>Cu</b> 18 m	58 <b>Cu</b> 18 m	59 <b>Cu</b> 18 m	60 <b>Cu</b> 18 m	61	62	63	64
65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75 <b>Cu</b> 24 m	76 <b>Cu</b> 24 m	77 <b>Cu</b> 24 m	78 <b>Cu</b> 24 m	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95 <b>Cu</b> 36 m	96 <b>Cu</b> 36 m
97 <b>Cu</b> 36 m	98 <b>Cu</b> 36 m	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112
113	114	115 <b>Cu</b> 48 m	116 <b>Cu</b> 48 m	117 <b>Cu</b> 48 m	118 <b>Cu</b> 48 m	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128
129	130	131	132	133	134	135 <b>Cu</b> 72 m	136 <b>Cu</b> 72 m	137 <b>Cu</b> 72 m	138 <b>Cu</b> 72 m	139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155 <b>Cu</b> 96 m	156 <b>Cu</b> 96 m	157 <b>Cu</b> 96 m	158 <b>Cu</b> 96 m	159	160
		161	162												

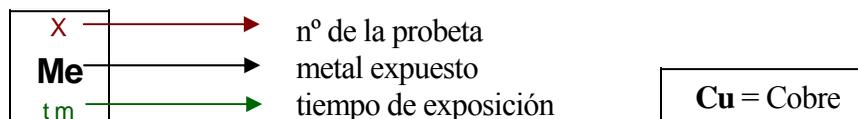


Figura 3.7.- Plan de colocación y recogida de las probetas de cobre.

### **3.3.- Accesorios de la estación de corrosión.-**

#### **3.3.1.- Captadores de SO<sub>2</sub>-**

Para la colocación de los captadores de SO<sub>2</sub> se construyeron 39 casetas de madera. En su base se situó un trozo de madera gruesa al que se le practicó un orificio de diámetro igual que el del tubo de plástico, al cual va enrollada la tela con la pasta captadora de dicho contaminante. El anclaje era tal que hace falta hacer un poco de presión para que dicho tubo quede bien encajado y no se caiga por efecto del viento.

#### **3.3.2.- Captadores de cloruros.-**

Los captadores de cloruros van situados dentro de la caseta de madera. Para el anclaje de los mismos se colocaron tres piezas metálicas en forma de codo, con una altura de unos 5 cm, de tal forma que la botella que contiene la disolución captadora de cloruros entrara en dicho orificio ejerciendo sólo una mínima presión. En la figura 3.8 se aprecia un detalle de este anclaje y del captador de SO<sub>2</sub>.

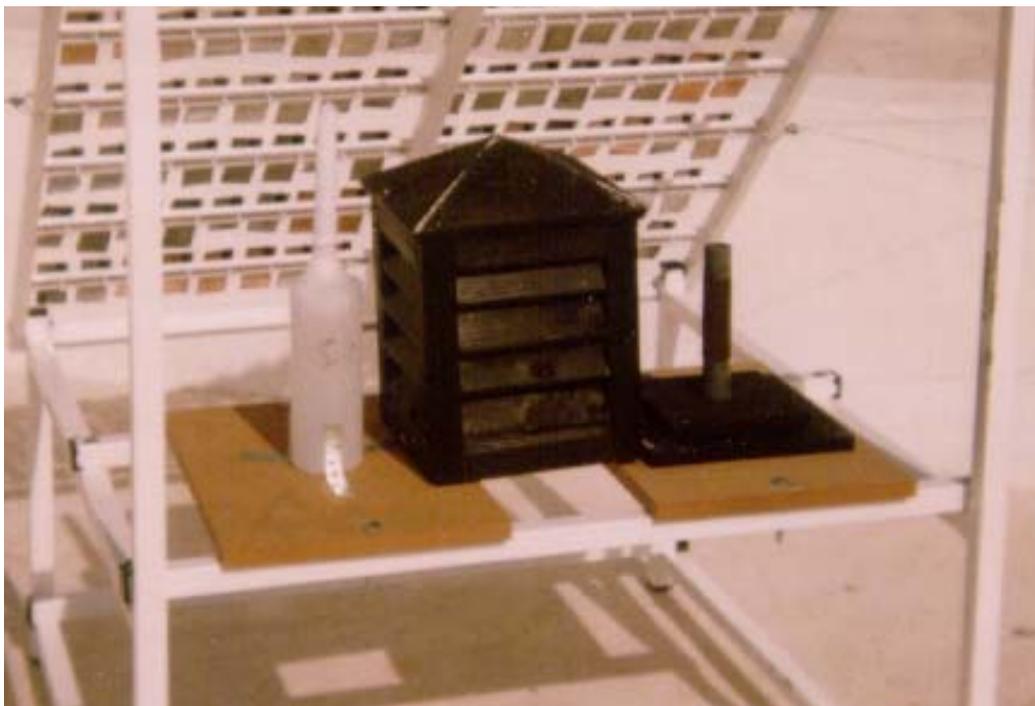
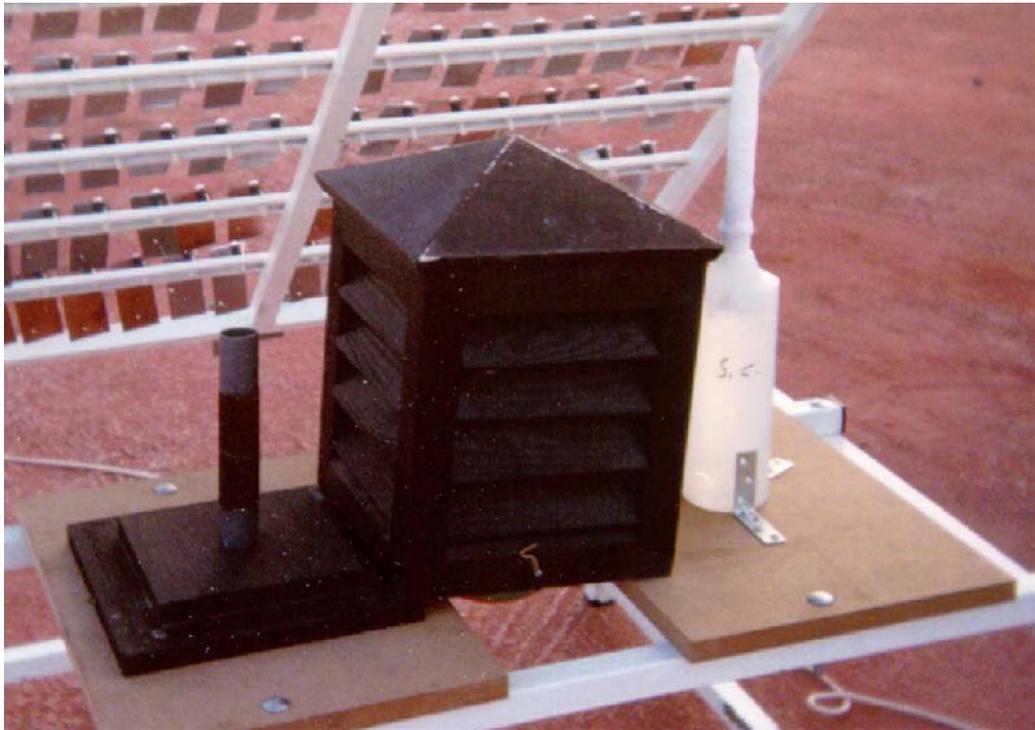
#### **3.3.3.- Estaciones meteorológicas.-**

Para la determinación de la humedad relativa se instalaron termohigrómetros. Estos termohigrómetros se alimentaban por pilas, y estaban situados dentro de la caseta de madera con los captadores de contaminantes.

### **3.4.- Análisis de los contaminantes atmosféricos.-**

#### **3.4.1.- Método analítico empleado en la determinación de SO<sub>2</sub>-**

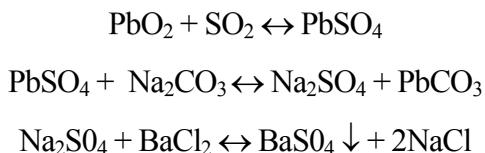
La determinación de SO<sub>2</sub> en la atmósfera se hace en base a la norma internacional ASTM D 2010 - 85 "*Standard Method for Evaluation of Total Sulfation Activity in the Atmosphere by the LeadDioxide Candle*" [116].



**Figura 3.8.-** Detalle de los captadores de cloruros y de la caseta y captador de SO<sub>2</sub>.

El SO<sub>2</sub> reacciona con una pasta impregnada con dióxido de plomo para formar el sulfato de plomo. Esta pasta está depositada sobre una tela enrollada alrededor de un tubo de plástico de tal forma que la superficie total de tela expuesta es de 100 cm<sup>2</sup>. Analizando el

sulfato recogido en los paños podemos conocer por extensión la cantidad de dióxido de azufre capturado. El resultado se expresará en mg SO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>-día). Las reacciones que tiene lugar son:



El reactivo usado (PbO<sub>2</sub>) puede también convertir en sulfato otros compuestos que contengan azufre, como el sulfhídrico o los mercaptanos. Para minimizar la captación de azufre procedente de las lluvias ácidas, la probeta de captación se ha colocado dentro de una caseta de madera, cubriéndola en toda su totalidad, con aberturas en forma de persiana en los cuatro costados para permitir el paso del aire.

Los captadores se recogen con una frecuencia mensual. Una vez recogidos se procede a tratar los mismos según indica la norma ASTM D 2010-85 [117], norma que está detallada en el anexo II. La determinación de la concentración de sulfates se efectúa con la ayuda de un espectrofotómetro de ultravioleta - visible. Aunque la norma indica que la determinación de sulfato debe hacerse mediante análisis gravimétrico, en nuestro caso empleamos un espectrofotómetro por ser más sensible y presentar un límite de detección más bajo. Previamente se realizó la puesta a punto de la técnica mediante la utilización de patrones.

### ***3.4.2.- Método analítico empleado en la determinación de cloruros.-***

La determinación de la cantidad de cloruro depositado por el método de la candela húmeda la realizaremos según indicaciones de la norma ISO 9225:1992(E) "*Corrosión of Metals and Alloys - Corrosivity of Atmospheres - Measurement of Pollution*" [118].

El método consiste en exponer una superficie textil de área conocida, humedecida con una disolución captadora de cloruros, durante un tiempo determinado. Esta tela impregnada es enrollada alrededor de un tubo de vidrio (tubo de ensayo) y colocada en la boca de una botella plástica que contiene la disolución captadora. Los extremos de la superficie textil que

quedan en la parte inferior del tubo de ensayo se introducen dentro de la botella de forma que entren en contacto con la disolución. De esta forma aseguramos que la tela esté humedecida en todo momento.

Al cabo de un mes de exposición se retiran los captadores y se analizan en el laboratorio según se expone en el anexo II de la presente tesis.

La determinación de la concentración de cloruro en la disolución se efectúa por volumetría con nitrato mercúrico. Una misma muestra se valoraba tres veces para asegurar que el resultado es repetitivo y válido. En cada tanda de muestras a analizar se valoraba un patrón de cloruro de concentración conocida.

### **3.5.- Estudio de las probetas de cobre.-**

#### ***3.5.1.- Determinación de la pérdida de peso.-***

Una vez recogidas las probetas se procedía a limpiarlas para eliminar los productos de corrosión y determinar luego el peso final. La diferencia entre el peso inicial de la probeta y el peso después de la limpieza nos determina la velocidad de corrosión.

La limpieza de las probetas se llevó a cabo de acuerdo con la norma internacional ASTM G1-90: "*Standard Practice For Preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens*" [119], en el apartado de limpieza de muestras metálicas expuestas a la atmósfera. Básicamente la limpieza consiste en lavarlas con agua y jabón, raspándolas con un cepillo para eliminar los restos de polvo, grasa, etc. Se dejan secar y a continuación se efectúa la limpieza química utilizando la disolución de Clarke. Luego se vuelven a lavar con agua raspando con un cepillo apropiado, se sumergen en un baño de agua destilada templada, se enjuaga con acetona y se depositan en la estufa un mínimo de dos horas. Transcurrido este tiempo se depositan en un desecador hasta que se enfríen, momento en el que se pesan en una balanza analítica de precisión. Se repite este proceso hasta que la pesada sea constante. En el anexo II se detallan todos los pasos seguidos en la limpieza química.

### 3.5.2.- Difracción de Rayos X.-

#### 3.5.2.1.- Introducción. -

El estudio de una reacción química precisa de la descripción de los reactivos y de los productos de reacción. En el caso de las reacciones que tienen lugar en los procesos de corrosión atmosférica, se suelen conocer los reactivos: metal, aire, contaminantes, humedad; sin embargo, los productos de corrosión, tanto los finales como los intermedios, son muchas veces difíciles de identificar. La dificultad es aún mayor a la hora de determinar sus concentraciones relativas.

Conviene dejar claro que el análisis de los productos de corrosión atmosférica no se diferencia substancialmente de cualquier otro análisis cuyo objetivo sea la determinación de los compuestos y fases presentes en un material inorgánico. Por tanto, cualquier método analítico empleado con éxito en otras disciplinas, por ejemplo, mineralogía, podría ser considerado en este contexto. Nos centraremos en la técnica de *Difracción de Rayos X de Polvo Cristalino*.

La difracción de rayos X de polvo cristalino es un método tradicional muy eficaz para identificar fases cristalinas. Para ello la muestra se irradia con rayos X monocromáticos que, al incidir sobre las sustancias cristalinas presentes en ella, dan lugar a fenómenos de interferencias, produciendo una serie de rayos reflejados de intensidad máxima. La condición para una reflexión máxima ( $n^\circ$  entero de longitudes de onda) viene dada por la conocida ley de Bragg, que relaciona el ángulo  $\theta$  ( $2\theta =$  ángulo entre el haz incidente y el difractado) con los espaciados interplanares del cristal. Estos espaciados, junto con las intensidades relativas, característicos de cada especie cristalina, facilitan la identificación de los compuestos presentes en la muestra por comparación con los datos publicados para compuestos conocidos.

El equipo instrumental está constituido por una fuente de rayos X (tubo), un detector (normalmente, contador proporcional o de centelleo) y un goniómetro que mide los ángulos de difracción.

El registro del difractograma puede ser digital o analógico; en el primer caso, los datos de los ángulos e intensidades se registran en un ordenador y, dependiendo del software (inclusión de librerías, ajuste de datos, etc.), se puede llegar con pocas manipulaciones al análisis semicuantitativo de la muestra. En el segundo caso, el registro analógico sobre papel permite medir y determinar las posiciones de las bandas de difracción y su intensidad relativa y luego compararlas con las tabuladas para las especies cristalinas que se pretenden asignar a la muestra en estudio.

Las principales ventajas de este método estriban en su sencillez, rapidez, escaso costo y seguridad en la identificación de compuestos. En cuanto a los inconvenientes hemos de tener en cuenta los siguientes:

1. Se necesita demasiada muestra, del orden de mg (es habitual separar del metal los productos de corrosión), no siendo, por lo general, posible estudiar películas delgadas. Cuando el espesor de la película es apreciable (aunque no suficiente para poder separar la película del sustrato) se puede obtener un difractograma in situ, en que aparecerán junto a los picos de la película los correspondientes al sustrato.
2. El análisis cuantitativo es complicado y tedioso, siendo imprescindible el uso de patrones que den cuenta de efectos de matriz, tamaño de partícula, orientaciones preferenciales, etc.
3. Los productos amorfos no dan picos definidos, sino bandas anchas difíciles de asignar, y los cuasimorfos o mal cristalizados dan difractogramas "intermedios" entre el material amorfo y el cristalino. La identificación de especies es prácticamente imposible en el primer caso, y difícil en el segundo.

### 3.5.2.2.- Métodos de análisis.-

#### 3.5.2.2.1.- Método del polvo. -

Con el método del polvo la muestra se pulveriza finamente y se asocia con un material amorfo, tal como el escolodión flexible, en forma de eje acircular de 0,2 a 0,3 mm de

diámetro. Esta aguja o muestra de polvo está formada idealmente por partículas cristalinas en cualquier orientación. Para asegurar la orientación totalmente al azar de estas pequeñas partículas con respecto al haz incidente, la muestra generalmente se hace girar en el haz de rayos X durante la exposición.

Cuando el haz monocromático de rayos X incide en la muestra, se producen simultáneamente todas las difracciones posibles. Si la orientación de las partículas cristalinas en la muestra es realmente al azar, para cada familia de planos atómicos con su característico espaciado  $d$ , existen muchas partículas cuya orientación es tal que hacen el ángulo apropiado  $\theta$  con el rayo incidente de tal manera que se satisface la ley de Bragg,  $n\lambda = 2d \cdot \text{sen}\theta$ . Los máximos de difracción de un conjunto dado de planos forman conos cuyo eje es el haz incidente y con un ángulo interno de  $4\theta$ . Todos los conjuntos de planos atómicos dan una serie de conos que corresponden a reflexiones de primero, segundo, tercero y órdenes más elevados ( $n=1, 2, 3, \dots$ ). Las diferentes familias de planos con distintos espaciados  $d$  satisfarán la ley de Bragg para valores apropiados de  $d$  y para valores enteros de  $n$ , dando lugar a conjuntos diferentes de conos de haces reflejados.

Un fino haz de rayos X monocromático se hace pasar por el sistema colimador e incide sobre la muestra, que está cuidadosamente centrada en el eje corto de la cámara de tal manera que la muestra permanece en el haz mientras gira la exposición. Los rayos que no han sido desviados pasan a través y alrededor de la muestra y entran en el obturador recubierto de plomo. En estas condiciones, la película corta los conos de rayos reflejados según curvas. Puesto que los ejes de los conos coinciden con el haz de rayos X, por cada cono habrá dos líneas curvas simétricas en la película dispuestas a cada lado del orificio por el cuál sale de la cámara el haz de rayos X. La distancia angular entre estos arcos es  $4\theta$ .

#### *3.5.2.2.2. - Difractometría de Rayos X. -*

En los últimos años la utilidad del método del polvo ha crecido considerablemente y su campo se ha extendido con la introducción del difractor de polvo de Rayos X. Este poderoso instrumento de investigación utiliza radiación monocromática y una muestra finamente pulverizada, como se hace en el método de polvo fotográfico, pero registra la

información de forma digital.

La muestra para el análisis difractométrico se prepara reduciéndola a polvo fino, que se extiende uniformemente sobre la superficie de un portaobjetos de vidrio, usando una pequeña cantidad de aglomerante adhesivo. El instrumento está construido de tal forma que el portaobjetos cuando se sitúa en posición, gira según la trayectoria de un haz colimado de rayos X, mientras que un detector de estos rayos, montado sobre un brazo, gira a su alrededor para captar las señales difractadas de rayos X.

Si la muestra ha sido preparada de forma adecuada, habrá millares de partículas pequeñísimas en el portaobjetos en todas las direcciones. Como ocurre en el método del polvo, todas las reflexiones posibles ocurren al mismo tiempo. Pero, en vez de registrarlas todas al mismo tiempo en una película, el detector de rayos X mantiene la relación geométrica apropiada para recibir separadamente cada máximo de difracción.

### 3.5.2.3.- Preparación de las muestras.-

El estudio de Difracción de Rayos X se ha efectuado sobre chapas metálicas y sobre muestras en polvo. Para realizar las medidas las muestras se prepararon tal y como se indica a continuación:

- Estudio de muestras en polvo: Se retiraron los productos de corrosión de la probeta y se pulverizaron en un mortero. Una vez reducidas a polvo se montaron sobre un portamuestras estándar, quedando listas para introducir en el equipo.
- Estudio sobre chapa: se corta la probeta para obtener una muestra de 50 x 50 mm.

Las probetas se introdujeron convenientemente dentro de una bolsa plástica sellada y luego se almacenaron en un desecador hasta el momento de efectuar el estudio.

3.5.2.4.- Equipo utilizado. -

El equipo empleado es un Difractómetro de rayos X, SIEMENS D-5000 que presenta las siguientes características:

Tipo de tubo	→ Tubo de rayos X de estructura fina con aislamiento de aire, tipo FK 60-04, con ánodo de Cu (Cu K $\alpha$ 1 5406Å)
Potencia generador de rayos X	→ 3000 W
Colimador Soller primario	→ 2,3°
Rendija de divergencia	→ 1 mm de apertura (ángulo de apertura 0,5°)
Rendija antidispersión	→ 1 mm de apertura (ángulo de apertura 0,5°)
Colimador Soller secundario	→ 2,3°
Monocromador	→ Rendija de 0,6 mm
Rendija del detector	→ Rendija de 0,1 mm (ángulo de apertura de 0,03°)
Detector de centelleo	→ 0,027 nm < $\lambda$ < 0,05 nm
Reproducibilidad del ajuste del ángulo ( $\theta$ y $2\theta$ )	→ < $\pm$ 0,001°
Exactitud absoluta ( $\theta$ y $2\theta$ )	→ < $\pm$ 0,01°

El software utilizado en el tratamiento de los datos es el siguiente:

Paquete de programas DIFFRAC AT.

Programa D5SETUP: Fichero de configuración.

Programa ADJD5: Ajuste de las condiciones de medida.

Programa EDQL: Editor de programas para barrido cualitativo.

Programa D5MEAS: Programa de rutinas de medición.

Programa EVA: Identificación de compuestos.

Las condiciones de medida son:

- Paso: 0,025°
- Tiempo de permanencia en paso: 1 s
- Velocidad de barrido: 1,5°/min
- Ángulos de barrido: 5° < 29 < 35°

### **3.6.- Estudios de Polarización.-**

Ya en el capítulo 1 de la presente tesis se expuso la teoría, aceptada por todos hoy en día, sobre la naturaleza electroquímica del proceso corrosión atmosférica, el cual se desarrolla de manera apreciable cuando la superficie metálica está recubierta por una capa de electrolito. A pesar de los esfuerzos realizados por numerosos autores [120] para poder predecir por vía electroquímica la velocidad de corrosión, no se han alcanzado buenos resultados por esta vía debido a la dificultad que entraña el aplicar estas técnicas a capas finas de electrolito.

La célula electroquímica de corrosión constituida por células metálicas multilaminares es la vía más desarrollada en los últimos tiempos. El procedimiento del ensayo se basa en las ideas originales del Stern [121]. No obstante este dispositivo ha planteado bastantes problemas, y los resultados obtenidos no son del todo fiables [122]. Los estudios de polarización efectuados en esta tesis tienen por objeto el determinar el efecto que ejercen los iones cloruros, el SO<sub>2</sub> y la combinación de ambos sobre la corrosión del cobre de manera cuantitativa y cualitativa, y posteriormente establecer una relación entre estos resultados y los obtenidos en el estudio gravimétrico. No se ha optado por construir el sensor antes descrito, dado que nuestro objetivo no es caracterizar la corrosión atmosférica por vía electroquímica, sino determinar el efecto relativo de los principales contaminantes sobre las probetas de cobre y relacionar estos resultados cualitativamente con los obtenidos por métodos gravimétricos.

El comportamiento electroquímico del cobre se ha estudiado mediante las técnicas en corriente continua, determinando el potencial de corrosión y la resistencia de polarización del cobre en medios con concentraciones variables de cloruros y sulfatos por separado. Para

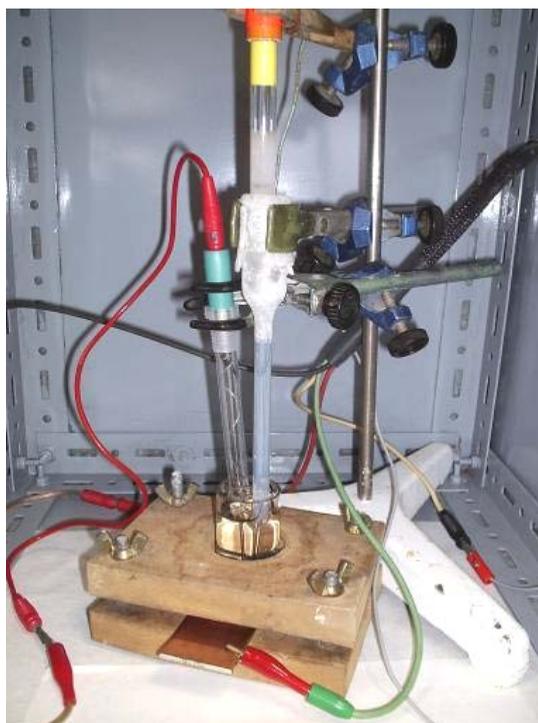
realizar este estudio se programaron los siguientes ensayos:

- medidas de polarización en disoluciones de NaCl 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 y 1,0 M.
- medidas de polarización en disoluciones de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 y 1,0 M.
- medidas de polarización en disoluciones de NaCl [0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 y 1,0 M] + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 M.
- medidas de polarización en disoluciones de NaCl [0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 y 1,0 M] + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M.
- medidas de polarización en disoluciones de NaCl [0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 y 1,0 M] + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M.

De cada medida realizada se determinaron los siguientes parámetros:  $R_p$ ,  $b_a$ ,  $b_c$  e  $i_{corr}$ . Con ello podremos determinar la influencia sobre la velocidad de corrosión del cobre de cada contaminante por separado y el efecto de la acción conjunta. Se ha fijado un bajo nivel de sulfato de sodio debido a que los niveles de SO<sub>2</sub> presentes en la atmósfera de la región objeto del estudio son muy bajos, SO<sub>2</sub> que una vez fijado a la superficie metálica se transforma en sulfato.

En la figura 3.9 se muestra el dispositivo utilizado para realizar las medidas, el cual consta de una célula o celda convencional de vidrio Pirex preparada para el montaje de tres electrodos, cuyas características son:

- área de trabajo de 5,56 cm<sup>2</sup>,
- electrodo de referencia. El electrodo de referencia empleado es el de Ag-AgCl,
- contraelectrodo. El contraelectrodo utilizado es el de platino.



**Figura 3.9.-** Conexión celda electroquímica.

Para la realización de las medidas electroquímicas se tomaron una serie de probetas de cobre de igual composición y dimensiones que las empleadas en el estudio gravimétrico. Antes de iniciar las medidas se efectuó limpieza de la placa de cobre según indica la norma ASTM G1-90 y posteriormente a un proceso de pulido manual con papel de esmeril de grados 500, 800 y 1000 y posterior pulido con pulidora mecánica y polvo de alúmina hasta calidad espejo para evitar posibles distorsiones en la medida. Finalmente se limpiaron con agua destilada.

Posteriormente se introdujeron los electrodos en las disoluciones de contaminantes bajo estudio permitiendo que durante 30 minutos éstos pudieran alcanzar su correspondiente potencial de circuito abierto o potencial de corrosión  $E_{\text{corr}}$ . Seguidamente se impuso al electrodo, bajo este valor de potencial de corrosión un barrido de potencial de  $\pm 250$  mV que permitió calcular la intensidad de corrosión ( $i_{\text{corr}}$ ) y la resistencia de polarización ( $R_p$ ).

Para la realización de las medidas electroquímicas efectuadas en este estudio se ha utilizado un potencióstato/galvanostato EG&G Princeton Applied Research, modelo 263 A, el cual se puede observar en la figura 3.10.



**Figura 3.10.-** Potencióstato/Galvanostato EG&G  
Princeton Applied Research, modelo 263 A

# Capítulo 4

## Resultados Obtenidos

---

### 4.- RESULTADOS OBTENIDOS.

4.1.- Pérdida de peso.

4.2.- Niveles de humedad y de contaminantes.

4.3.- Difracción de Rayos X.

4.4.- Polarización.

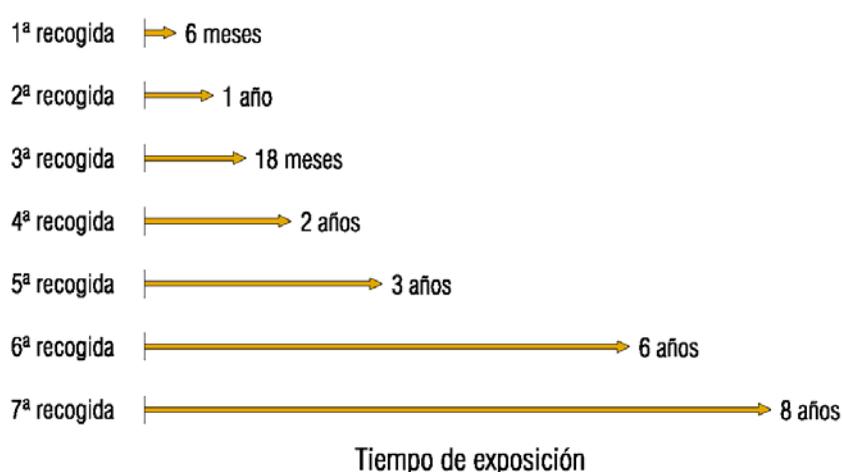
*4.4.1.- Medidas en cloruros.*

*4.4.1.- Medidas en sulfatos.*

*4.4.1.- Medidas en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,05 M ÷ diferentes concentraciones de NaCl.*

#### 4.- RESULTADOS OBTENIDOS.-

El presente estudio se ha realizado durante un periodo de exposición de las probetas de cobre de casi 8 años, iniciándose a principios de 1996 y finalizándose a mediados de 2004. Durante este periodo se realizaron un total de 7 recogidas de probetas de cobre con la siguiente distribución media de tiempos de exposición:



**Figura 4.1.-** Cronograma de recogidas de las probetas de cobre.

En cada recogida se retiraron una cantidad de 3 probetas de cobre para el estudio gravimétrico. Además, en la primera y tercera recogida que, como se muestra en la figura 4.1 corresponden a periodos de exposición de 6 y 18 meses respectivamente, se retiró una cuarta probeta para la realización de los estudio de rayos X.

#### 4.1.- Pérdida de peso.-

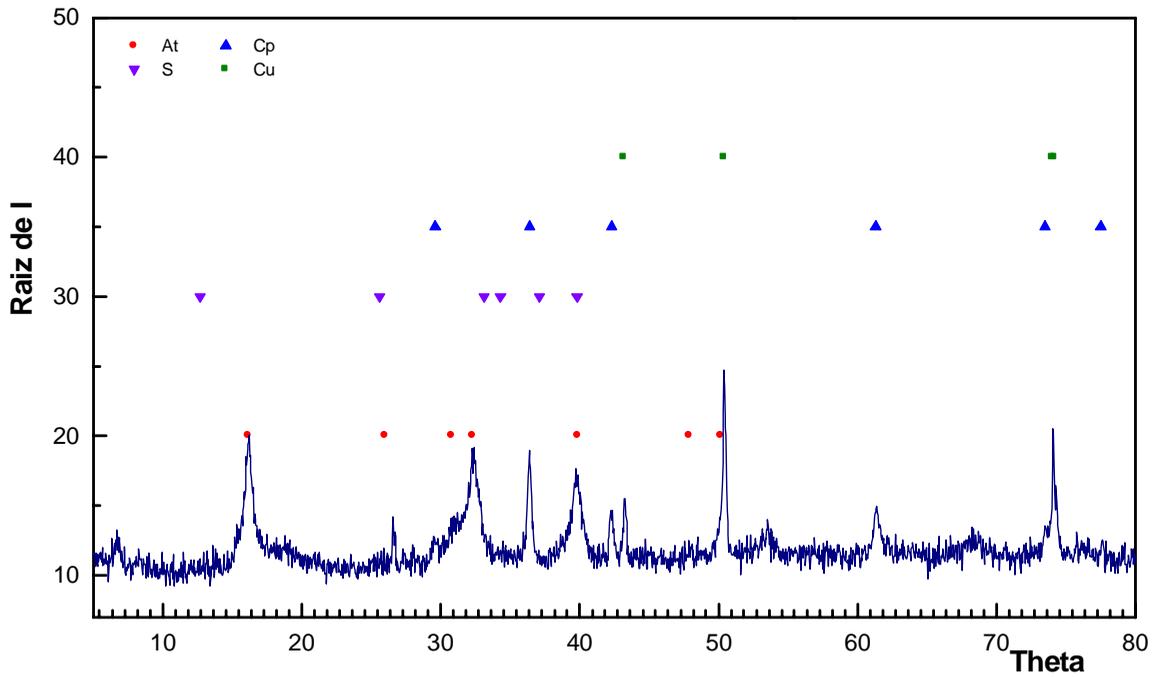
En el anexo I de este documento se muestran los resultados obtenidos en cuanto a pérdida de peso de las probetas de cobre expuestas durante el periodo de estudio.

#### **4.2.- Nivel de contaminantes.-**

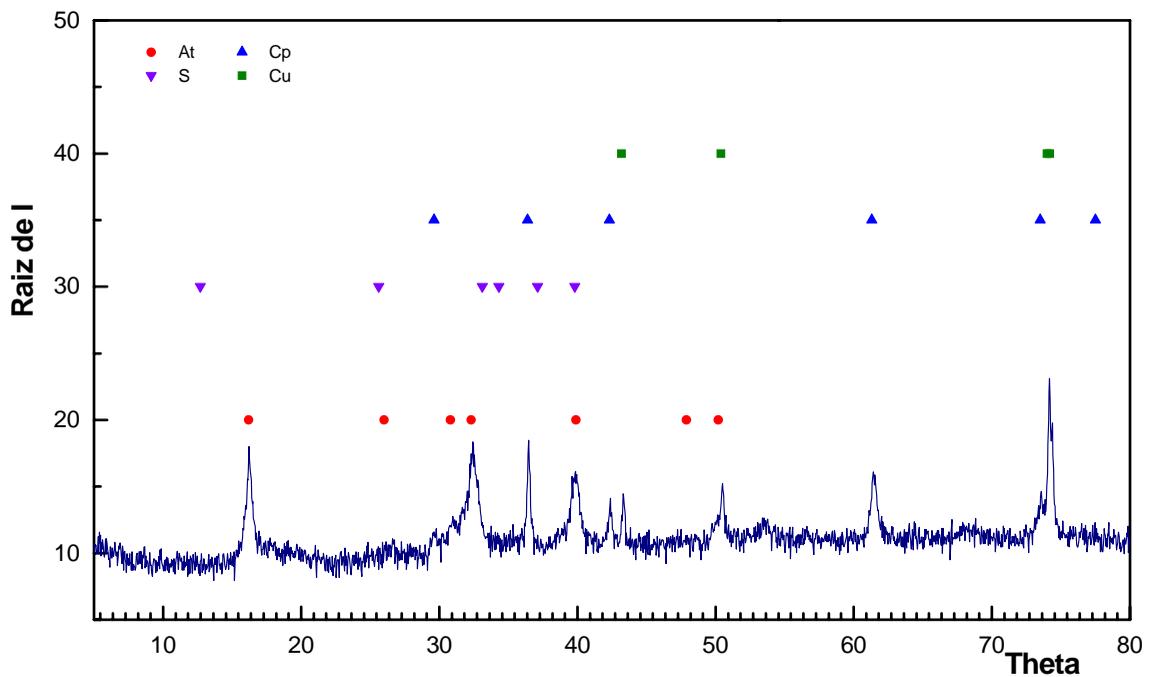
El análisis de contaminantes, es decir, de niveles de cloruros y sulfatos en las diferentes atmósferas de exposición, así como la determinación del TDH se realizó mensualmente. Los resultados obtenidos se muestran conjuntamente con la pérdida de peso de las probetas de cobre correspondiente a cada estación en el anexo I.

#### **4.3.- Difracción de Rayos X.-**

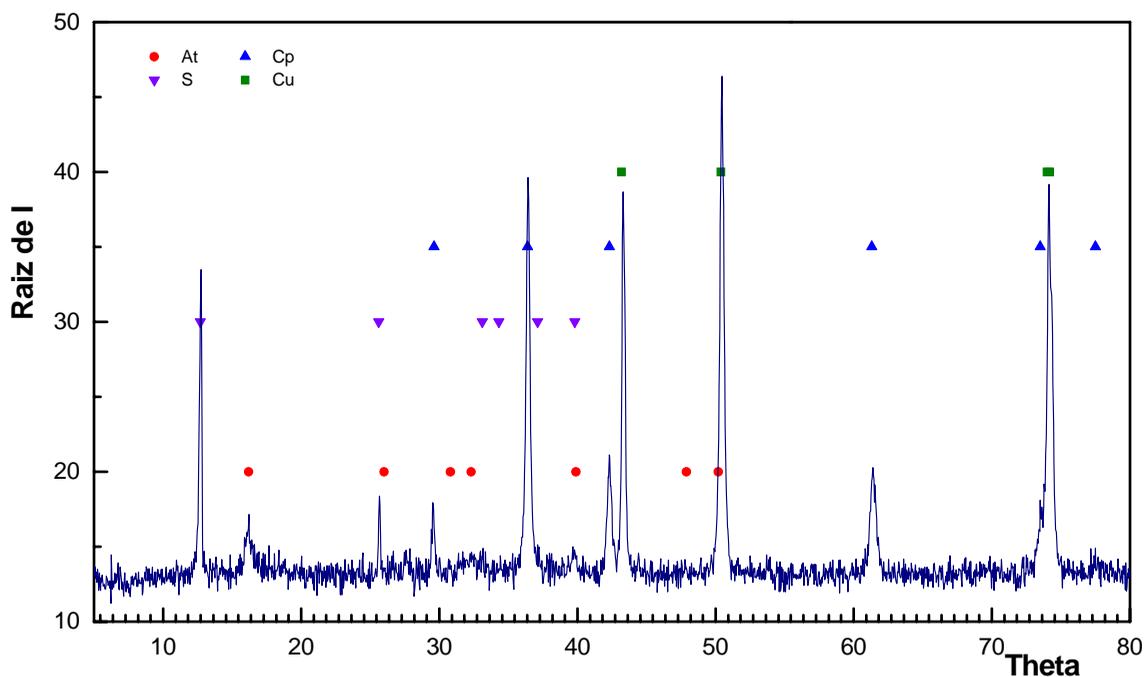
El estudio por difracción de rayos X se realizó con las cuartas probetas retiradas en la primera y tercera recogida, y correspondientes a 6 y 18 meses de exposición. El análisis de los difractogramas obtenidos se ha realizado con software específico equipado con las bases de datos más recientes. En las figuras 4.2 a la 4.7 se muestran algunos de los difractogramas obtenidos y en la tabla 4.1 se detallan los productos de corrosión obtenidos en cada un de las estaciones estudiadas. En el anexo III se recogen los difractogramas de todas las estaciones analizadas.



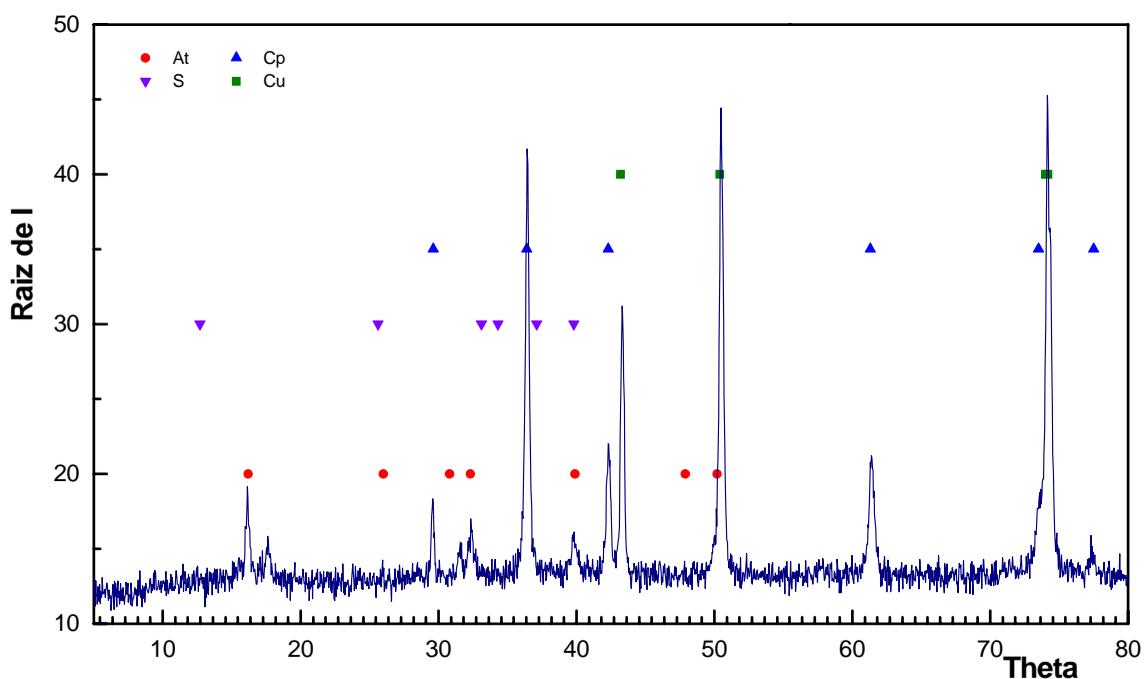
**Figura 4.2.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 3. (Central Térmica Las Salinas – Fuerteventura).



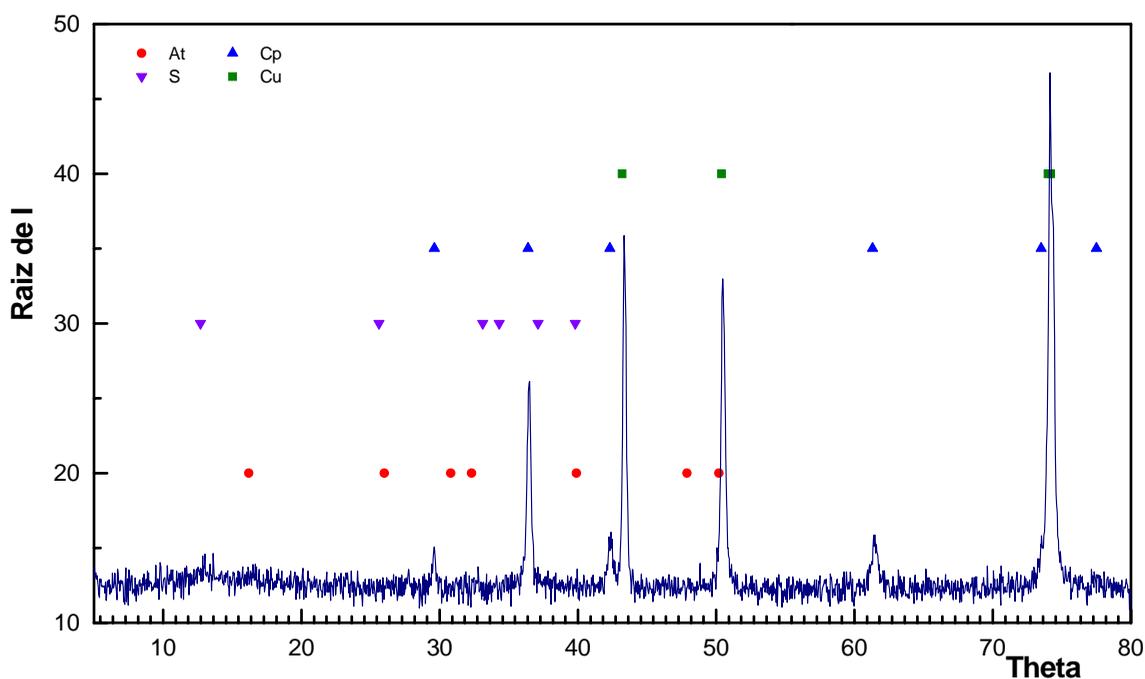
**Figura 4.3.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 3. (Central Térmica Las Salinas – Fuerteventura).



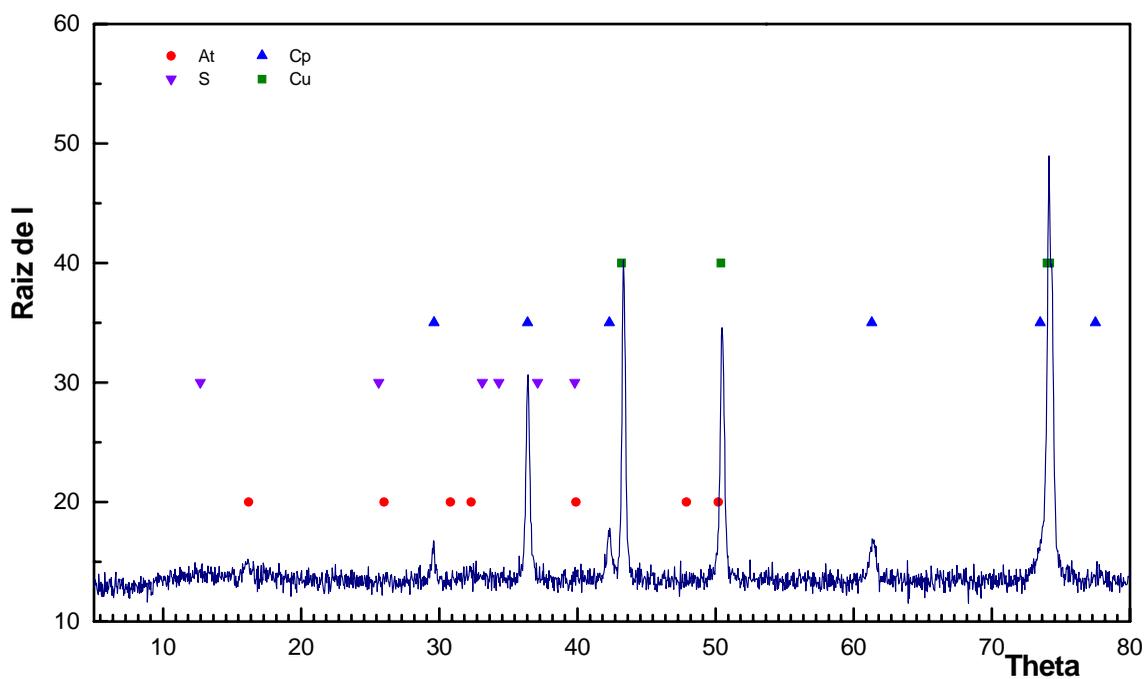
**Figura 4.4.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 37 (Edificio Departamental de Ingeniería, Campus Universitario de Tafira - Gran Canaria).



**Figura 4.5.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 37 (Edificio Departamental de Ingeniería, Campus Universitario de Tafira - Gran Canaria).



**Figura 4.6.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 35 (Ayuntamiento de Teror - Gran Canaria).



**Figura 4.7.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 35 (Ayuntamiento de Teror - Gran Canaria).

Estación		Productos de corrosión	
		1 <sup>er</sup> año	2 <sup>o</sup> año
1	Ayto. de Puerto del Rosario	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )
3	Central Térmica Las Salinas	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )
5	Gran Tarajal	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )
9	Aeropuerto de Lanzarote	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )
10	Ayuntamiento de Haría	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )	Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )
11	Almacén Municipal de Teguiise	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )	Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )
14	Ayuntamiento de Arucas	Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )
16	Ayto. de Santa Brígida	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )
17	Cabildo Insular de Gran Canaria	-	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )
19	Ayto. San Nicolás	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )	-
20	Ayto. de Moya	-	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )
24	Plta. D. ELMASA (San Agustín)	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) Brochantita ( $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ )	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )
26	Colegio Público de San Mateo	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )
28	Oficinas Municipales	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )
29	Almacén Municipal Sta Lucía	-	Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ )

30	Colegio Público de Mogán	-	Atacamita (Cu <sub>2</sub> Cl(OH) <sub>3</sub> ) Cuprita (Cu <sub>2</sub> O)
31	Ayuntamiento de Agaete	Cuprita (Cu <sub>2</sub> O)	Atacamita (Cu <sub>2</sub> Cl(OH) <sub>3</sub> ) Cuprita (Cu <sub>2</sub> O)
33	Ayuntamiento de Agüimes	Atacamita (Cu <sub>2</sub> Cl(OH) <sub>3</sub> ) Cuprita (Cu <sub>2</sub> O)	Atacamita (Cu <sub>2</sub> Cl(OH) <sub>3</sub> ) Cuprita (Cu <sub>2</sub> O)
35	Ayuntamiento de Teror	Cuprita (Cu <sub>2</sub> O)	Cuprita (Cu <sub>2</sub> O)
36	Centro Cívico polígono Jinámar	Atacamita (Cu <sub>2</sub> Cl(OH) <sub>3</sub> ) Cuprita (Cu <sub>2</sub> O)	Atacamita (Cu <sub>2</sub> Cl(OH) <sub>3</sub> ) Cuprita (Cu <sub>2</sub> O)
37	Edf. Dptal. de Ingeniería	Atacamita (Cu <sub>2</sub> Cl(OH) <sub>3</sub> ) Cuprita (Cu <sub>2</sub> O) Brochantita (CuSO <sub>4</sub> ·3Cu(OH) <sub>2</sub> )	Atacamita (Cu <sub>2</sub> Cl(OH) <sub>3</sub> ) Cuprita (Cu <sub>2</sub> O)
38	FEDEX. Muelle de la Luz	Atacamita (Cu <sub>2</sub> Cl(OH) <sub>3</sub> ) Cuprita (Cu <sub>2</sub> O)	Atacamita (Cu <sub>2</sub> Cl(OH) <sub>3</sub> ) Cuprita (Cu <sub>2</sub> O)

**Tabla 4.1-** Productos de corrosión del cobre formados después de 1 y 2 años de exposición en diferentes estaciones de corrosión.

#### 4.4.- Polarización.-

##### 4.4.1.- Medidas en cloruros.-

En la tabla 4.2 se muestran los resultados obtenidos al realizar las medidas de potencial de corrosión y Tafel sobre el electrodo de cobre en disoluciones de diferentes concentraciones de NaCl.

Concentración NaCl (M)	$E_{\text{corr}}$ (mV)	$I_{\text{corr}}$ ( $\mu\text{A}$ )	$R_p$ ( $\text{k}\Omega/\text{cm}^2$ )	$\beta_{\text{catódica}}$	$\beta_{\text{anódica}}$
0,1 M	-25,5	2,513	6,235	6,432E-02	1,818E-01
0,2 M	-227,3	2,631	1,935	7,558E-02	8,769E-02
0,3 M	-97,56	12,55	0,808	8,123E-02	2,039E-01
0,4 M	-218,5	16,62	1,152	8,204E-02	1,806E-01
0,5 M	-120,9	40,31	0,756	9,163E-02	4,047E-01
0,6 M	-258	5,44	0,533	7,633E-02	9,268E-02
0,7 M	-184,3	3,632	4,032	5,97E-02	1,874E-01
0,8 M	-265,1	9,7	0,736	7,916E-02	1,228E-01
0,9 M	-239	26,37	0,768	8,102E-02	2,948E-01
1,0 M	-258,9	44,02	0,362	9,648E-02	2,90E-01

**Tabla 4.2.-** Valores de  $E_{\text{corr}}$  y Tafel en disoluciones de NaCl.

En la figuras 4.8 ÷ 4.17 se muestra las respectivas curvas de polarización obtenidas en cada caso. Asimismo, en la figura 4.18 se muestra la evolución de la resistencia de polarización ( $R_p$ ) con el incremento en la concentración de NaCl.

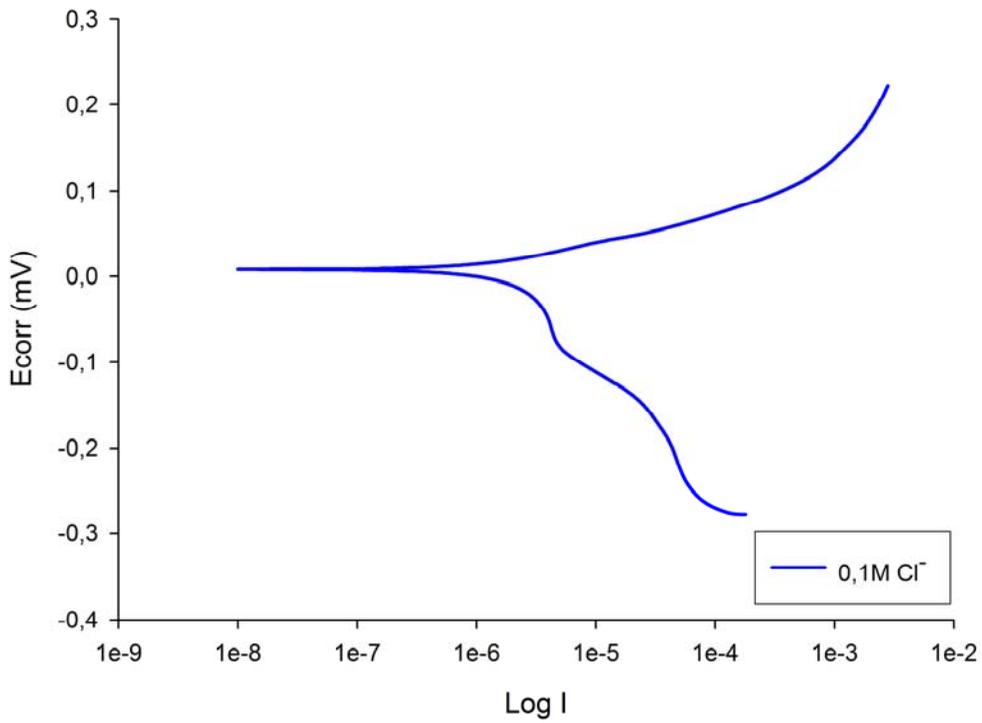


Figura 4.8.- Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,1 M.

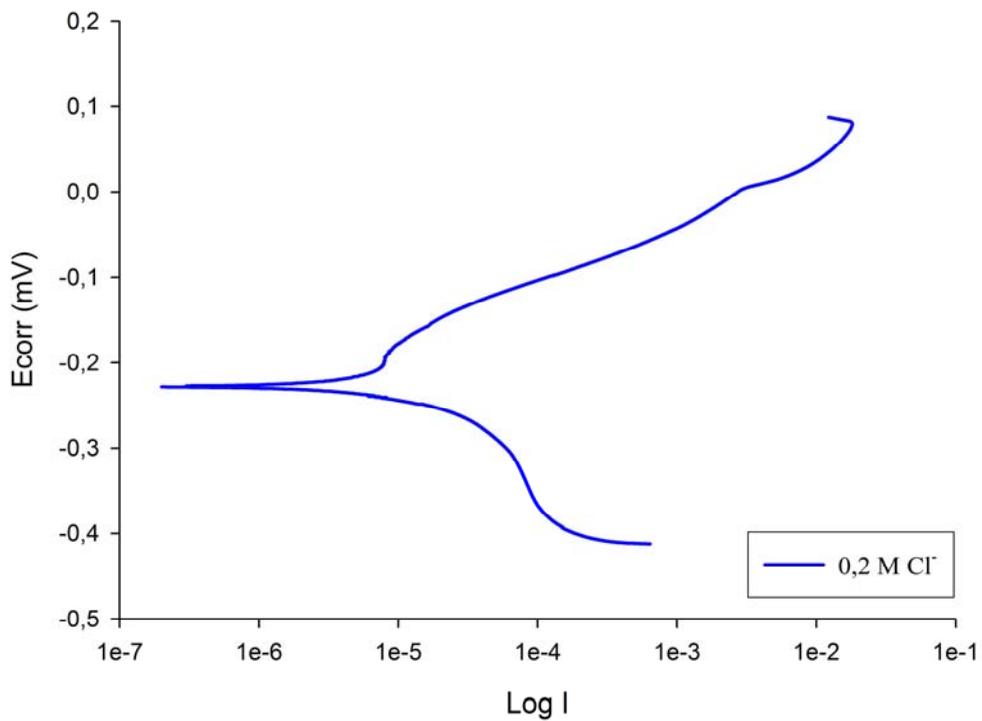
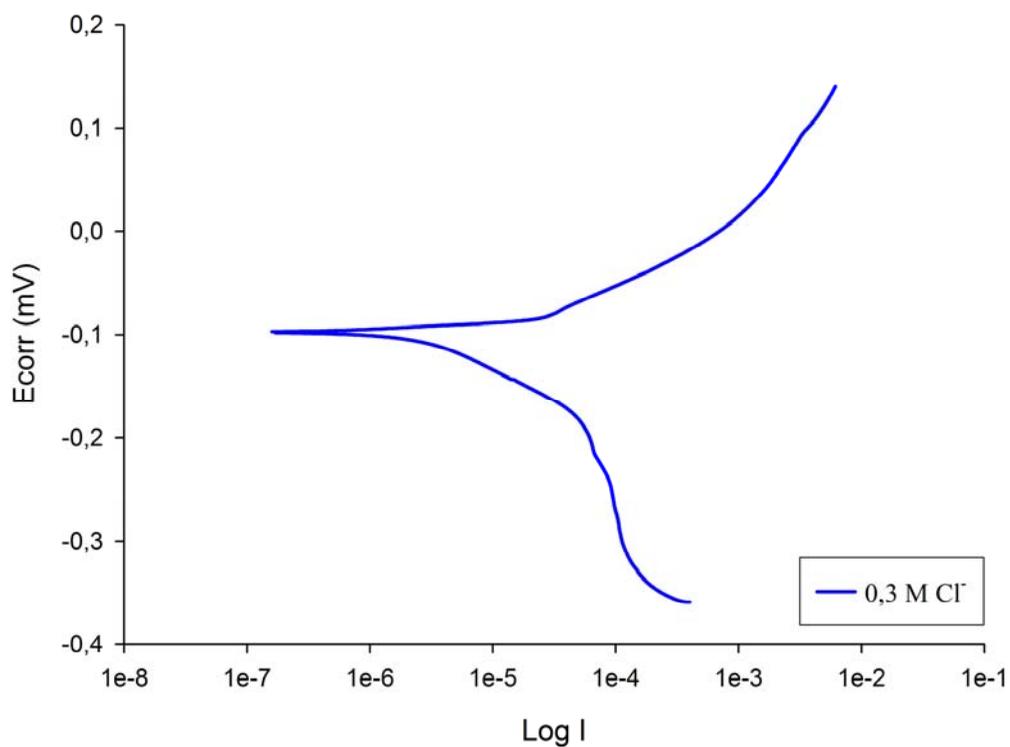
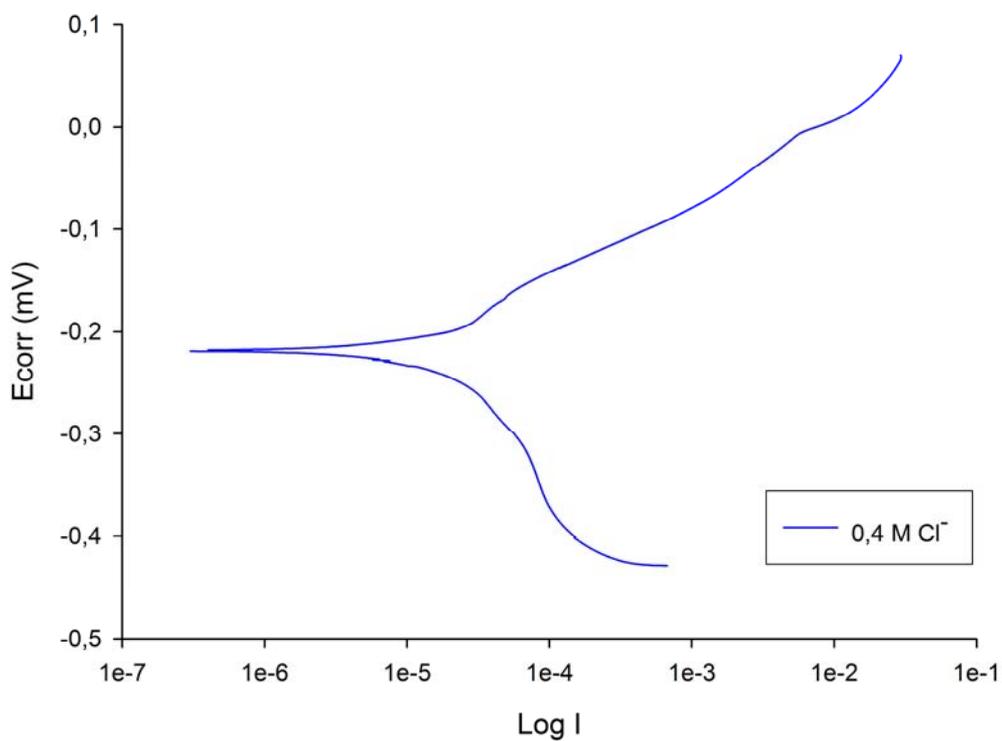


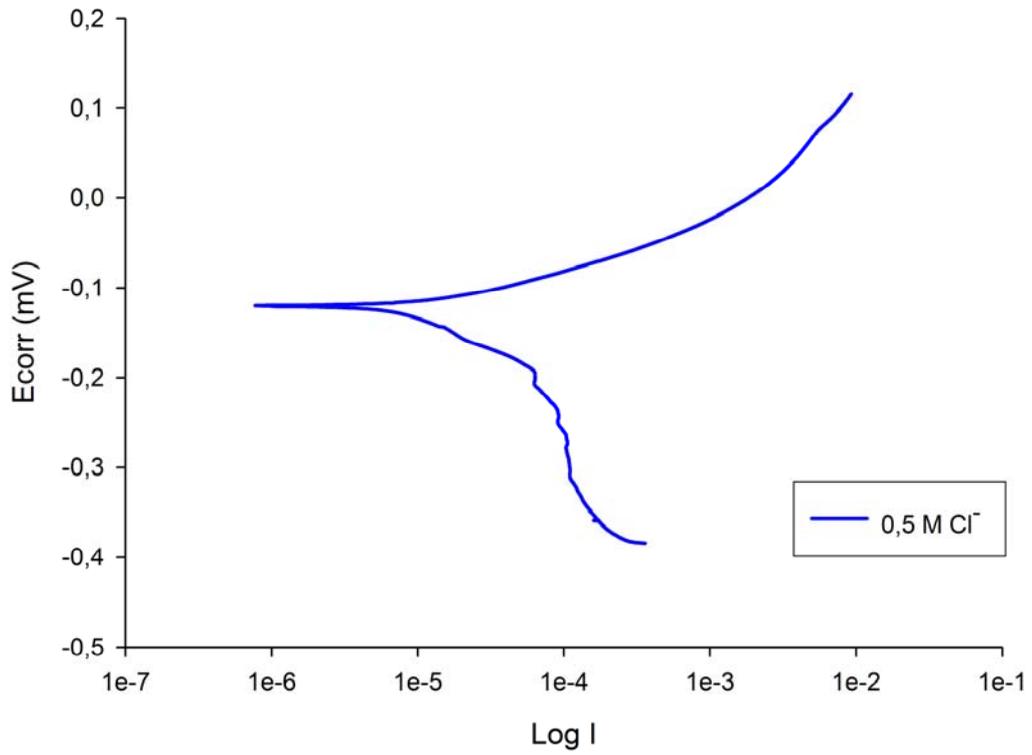
Figura 4.9.- Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,2 M.



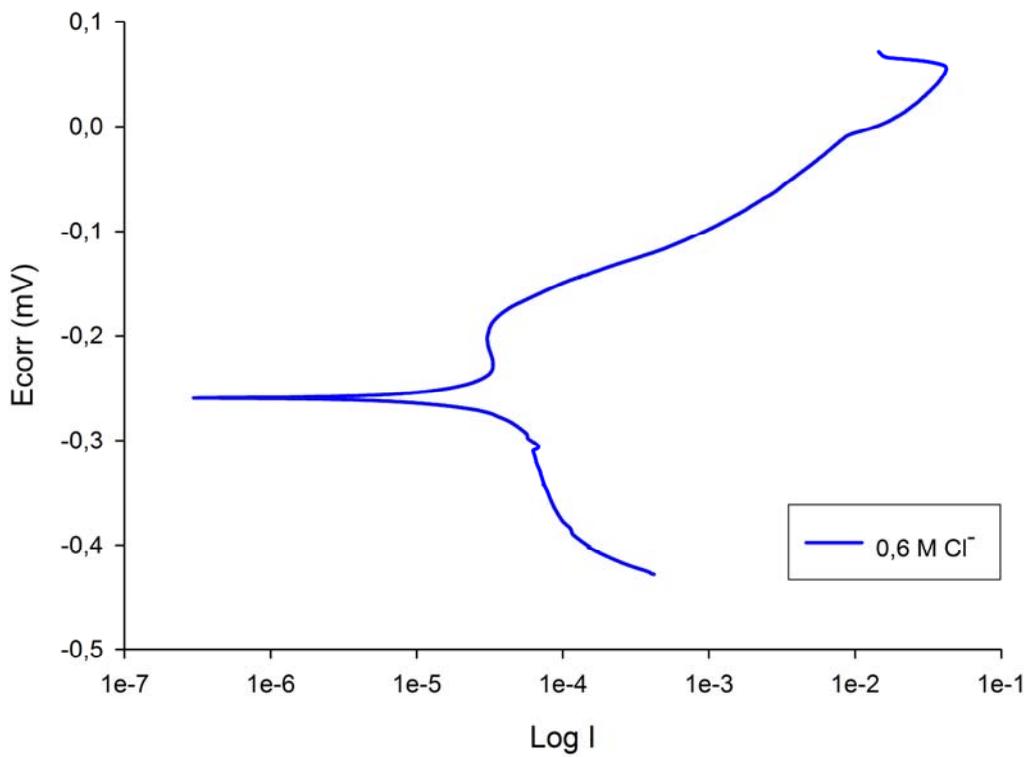
**Figura 4.10.-** Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,3 M.



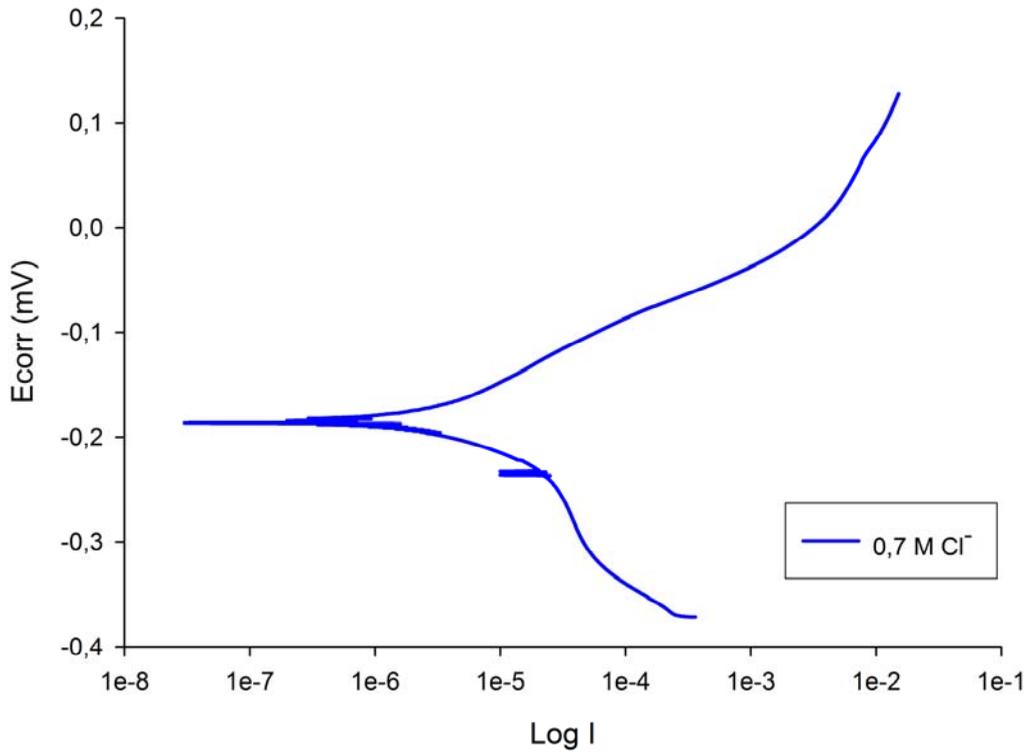
**Figura 4.11.-** Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,4 M.



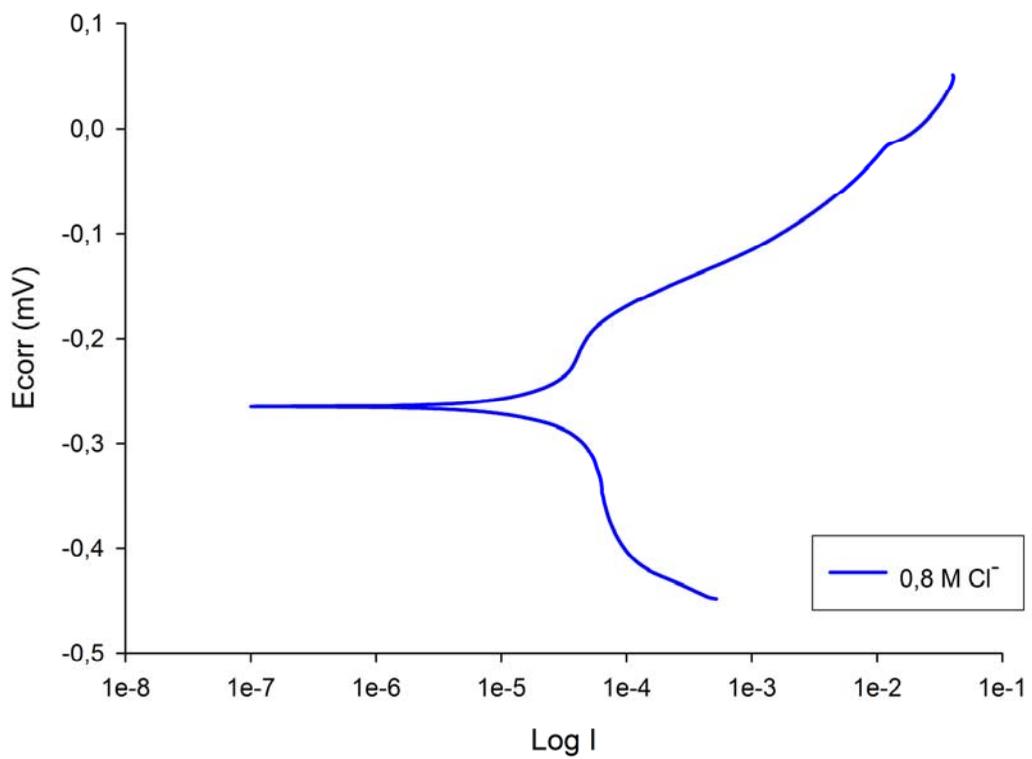
**Figura 4.12.-** Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,5 M.



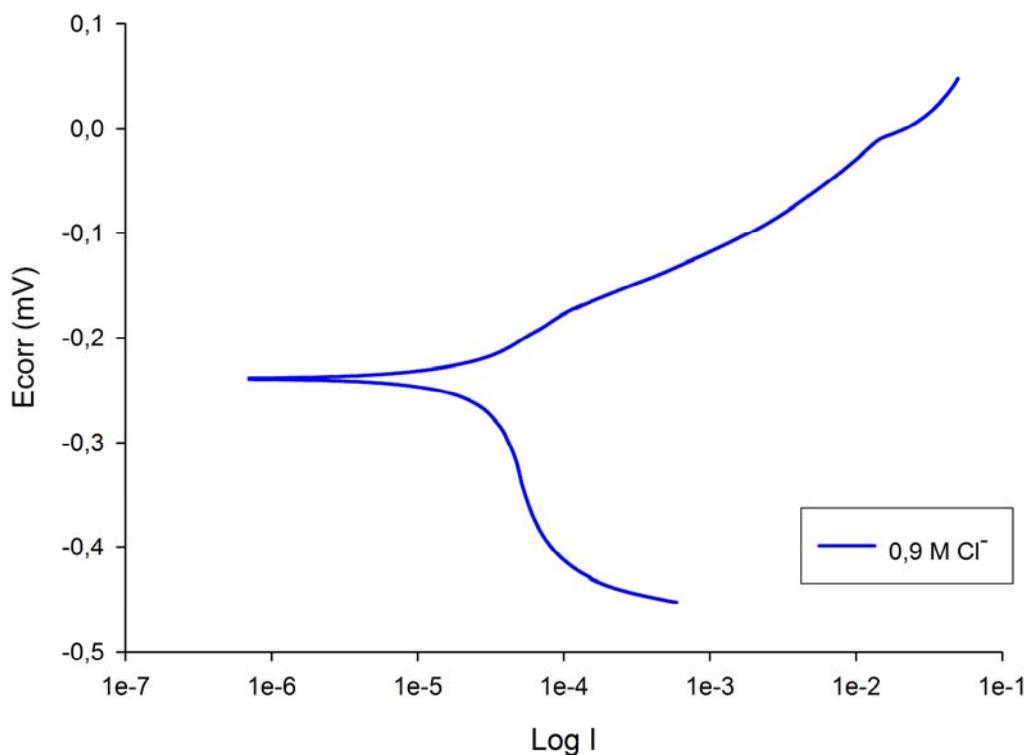
**Figura 4.13.-** Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,6 M.



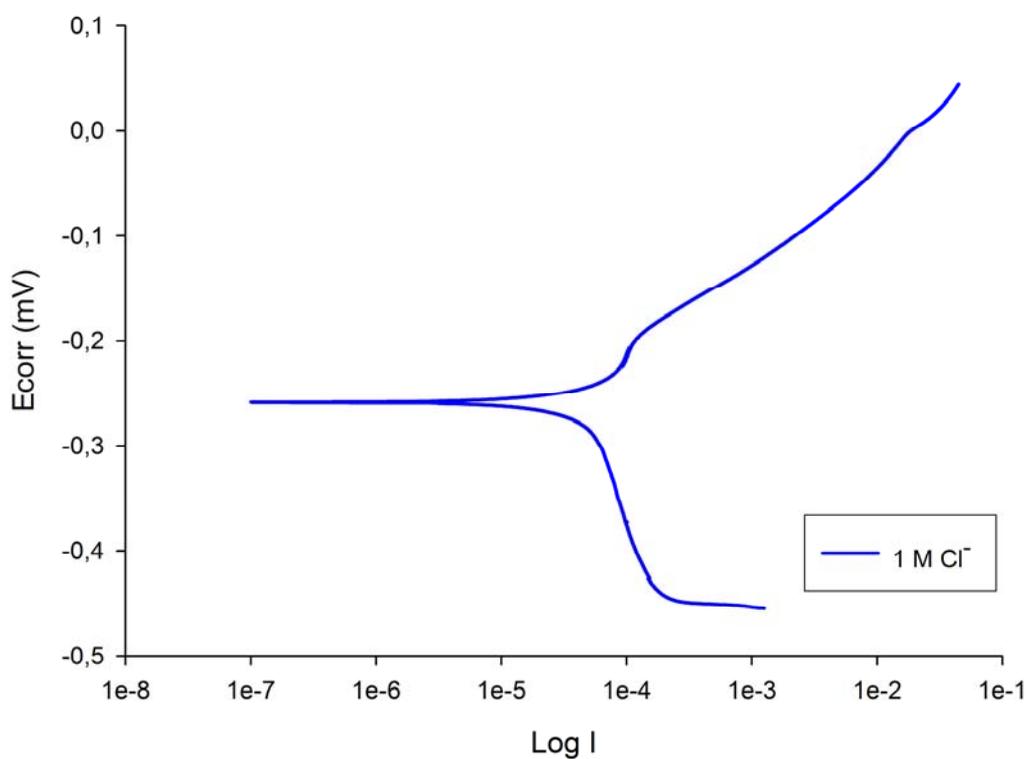
**Figura 4.14.-** Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,7 M.



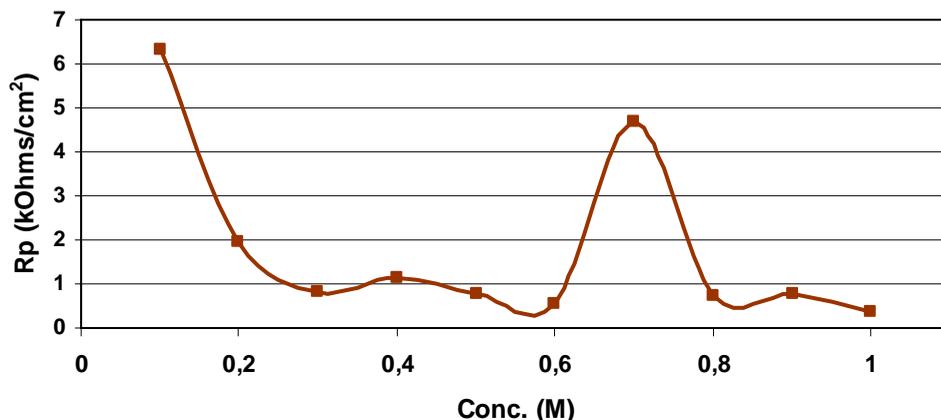
**Figura 4.15.-** Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,8 M.



**Figura 4.16.-** Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,9 M.



**Figura 4.17.-** Curva de Tafel del cobre en NaCl 1 M.



**Figura 4.18.-** Variación de la Rp con la concentración de cloruros.

Con el fin de determinar la posible aparición del pitting como consecuencia de la presencia del ión cloruro, las probetas se sometieron a barridos de potencial próximos a 500 mV por encima del potencial de corrosión [123].

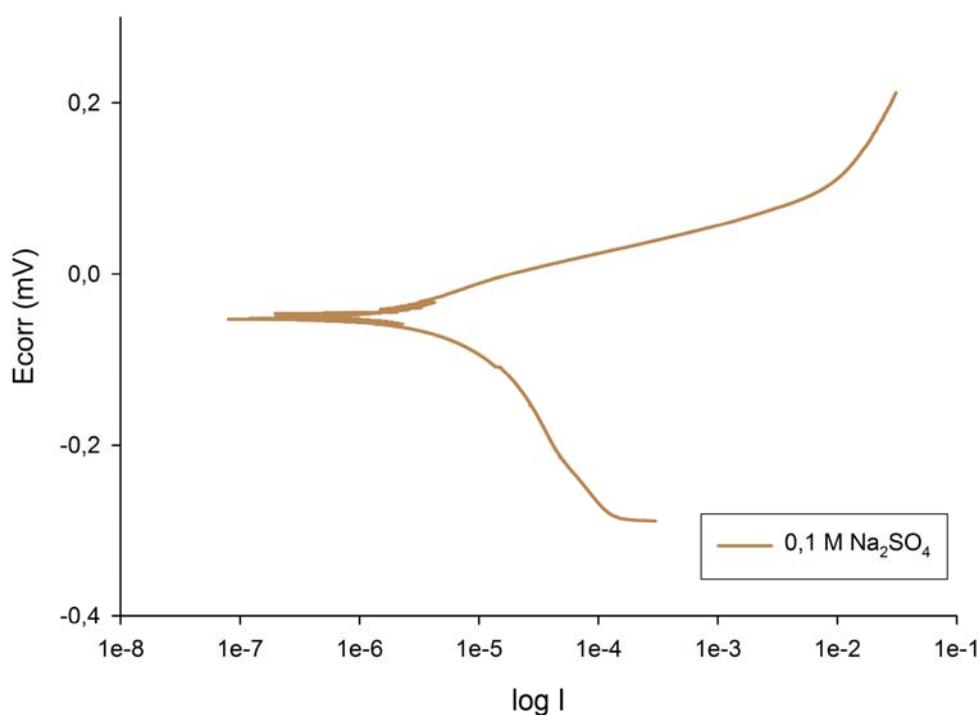
#### 4.4.2.- Medidas en sulfatos.-

En la tabla 4.3 se muestran los resultados obtenidos al realizar las medidas de potencial de corrosión y Tafel sobre el electrodo de cobre en disoluciones de diferentes concentraciones de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

En las figuras 4.19 ÷ 4.28 se muestran las respectivas curvas de polarización obtenidas en cada caso. De la misma manera, en la figura 4.29 se muestra la evolución de la resistencia de polarización (Rp) con el incremento en la concentración de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Concentración Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)	E <sub>corr</sub> (mV)	I <sub>corr</sub> (μA)	R <sub>p</sub> (kΩ/cm <sup>2</sup> )	β <sub>catódica</sub>	β <sub>anódica</sub>
0,1 M	-47,98	3,106	4,656	5,831E-02	1,389E-01
0,2 M	-37,15	3,111	5,405	1,397E-01	1,396E-01
0,3 M	-40,23	0,308	4,117	4,734E-02	9,359E-02
0,4 M	-53,07	5,122	3,128	5,541E-02	2,218E-01
0,5 M	-27,43	7,1	2,430	5,428E-02	2,012E-01
0,6 M	-5,532	0,172	8,737	4,354E-02	7,708E-02
0,7 M	18,11	4,471	8,686	1,443E+3	2,356E-01
0,8 M	-4,544	13,63	7,166	1,887E+2	3,888E-01
0,9 M	-17,74	4,686	5,139	2,515E-01	2,458E-01
1,0 M	-49,88	1,424	6,778	5,970E-02	1,874-01

**Tabla 4.3:** Valores de E<sub>corr</sub> y Tafel en disoluciones de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.



**Figura 4.19.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M.

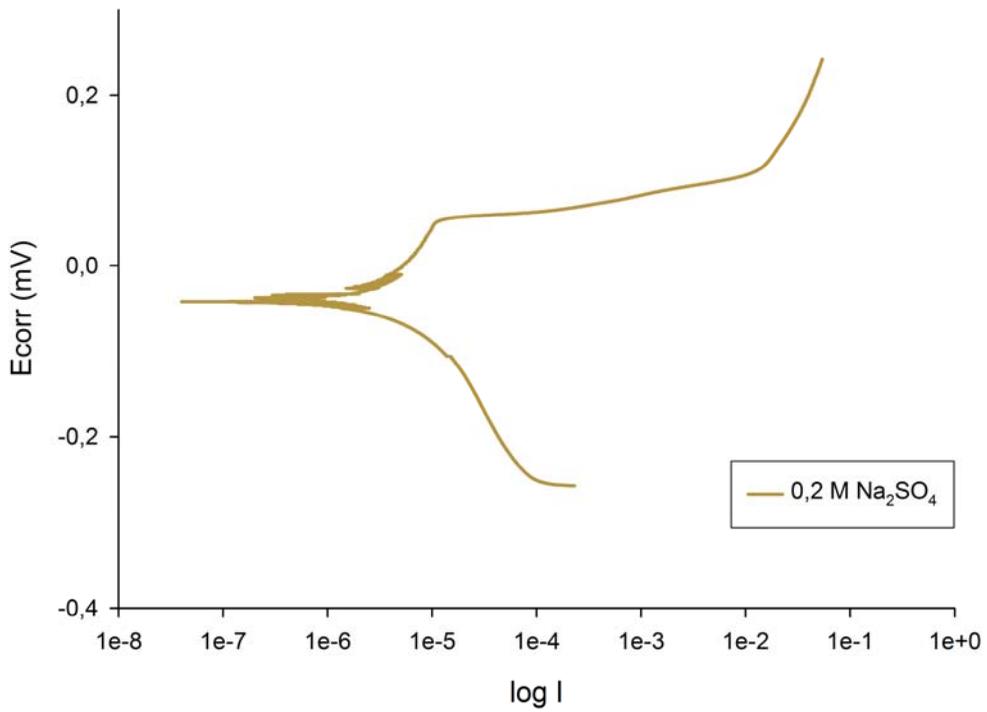


Figura 4.20.- Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M.

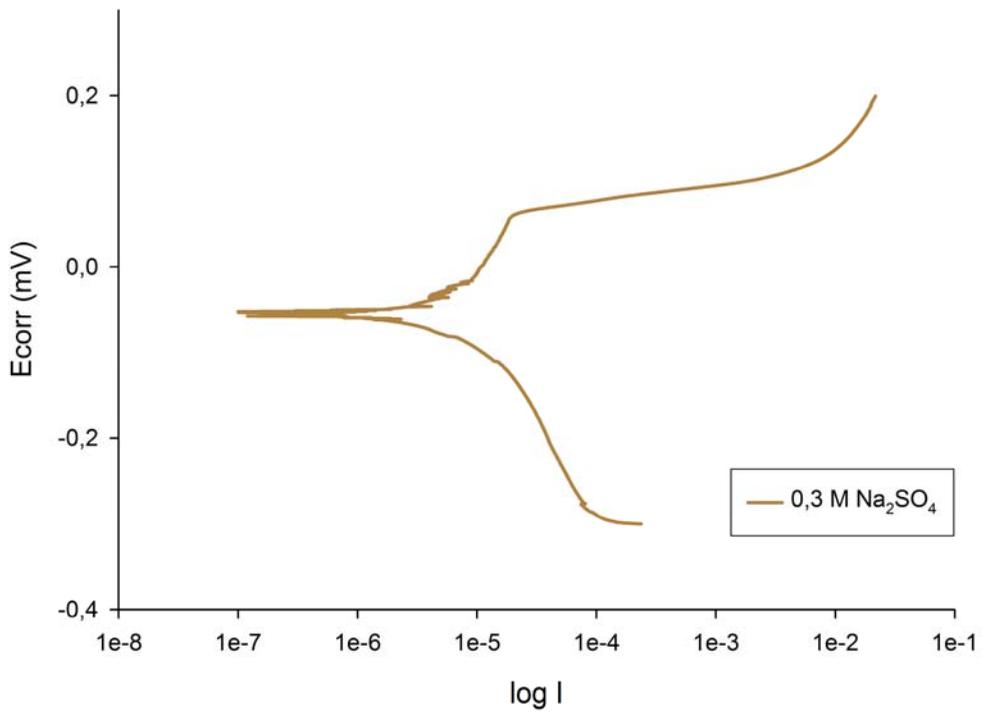


Figura 4.21.- Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,3 M.

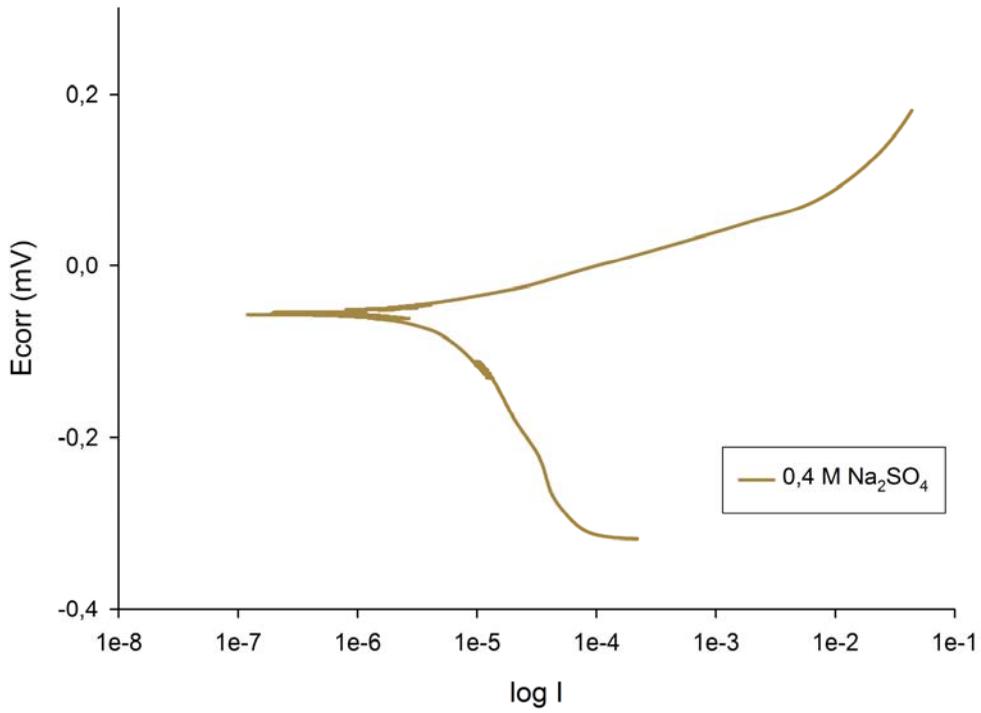


Figura 4.22.- Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,4 M.

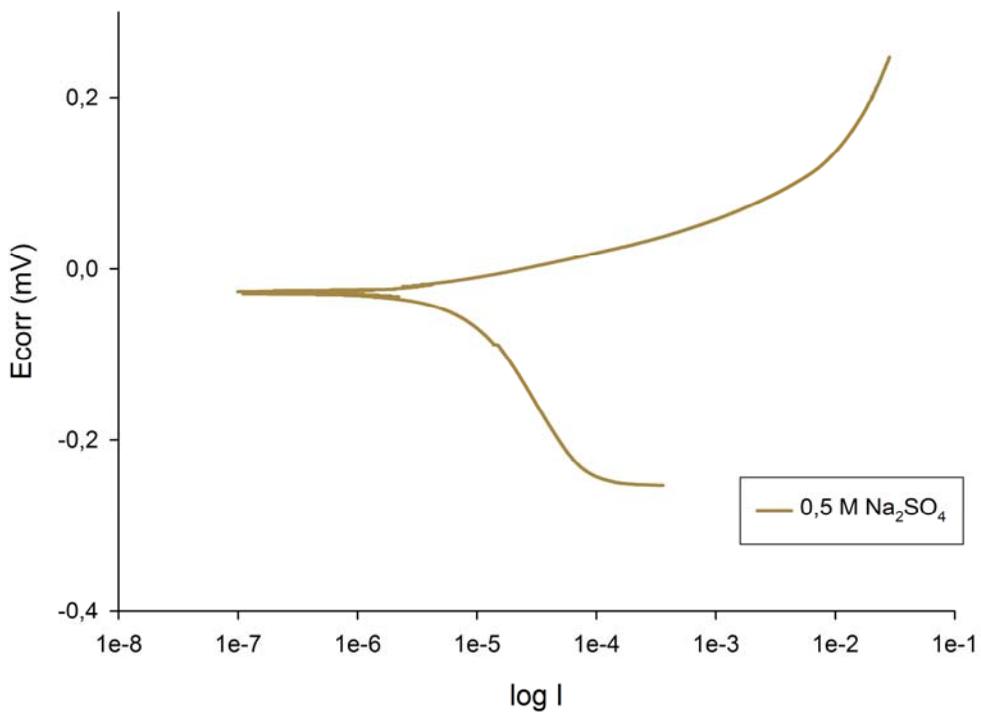


Figura 4.23.- Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M.

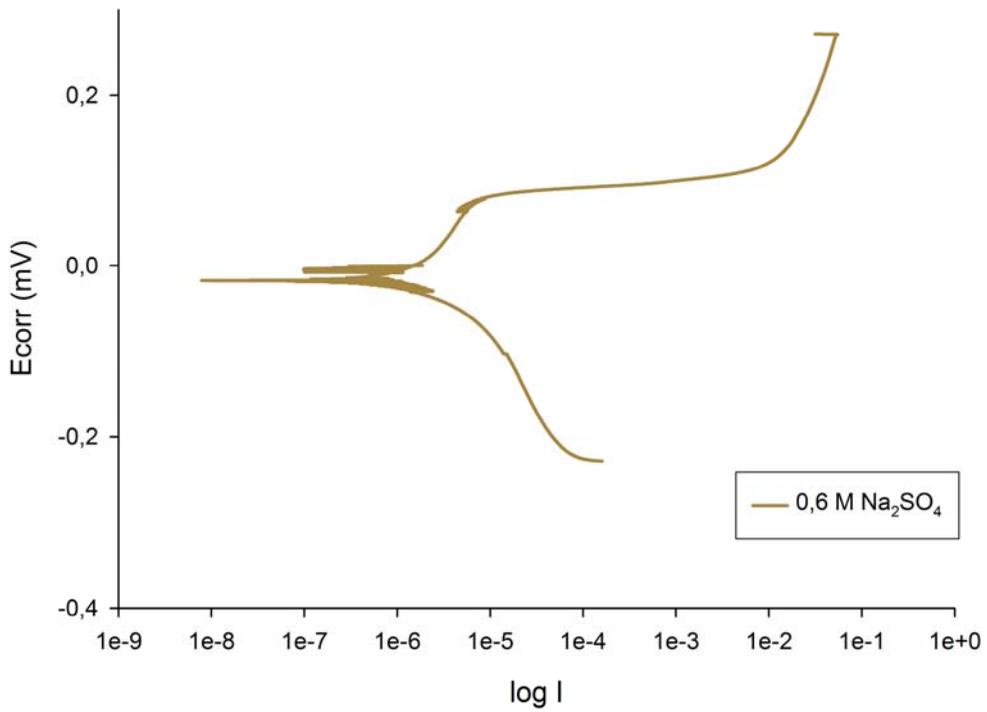


Figura 4.24.- Curva de Tafel del cobre en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,6 M.

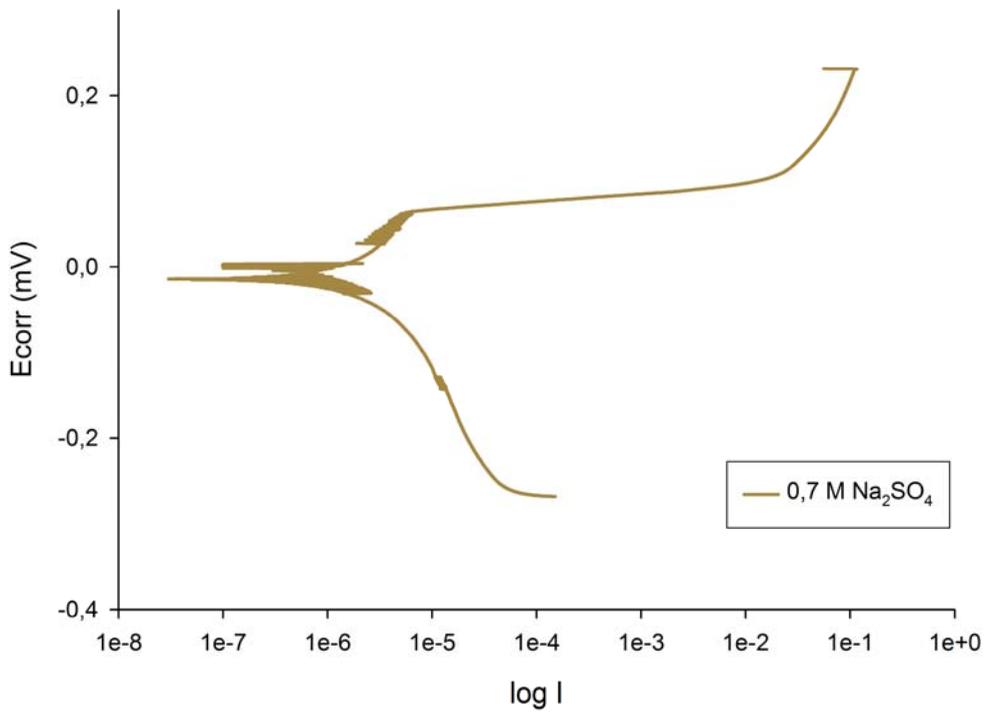


Figura 4.25.- Curva de Tafel del cobre en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,7 M.

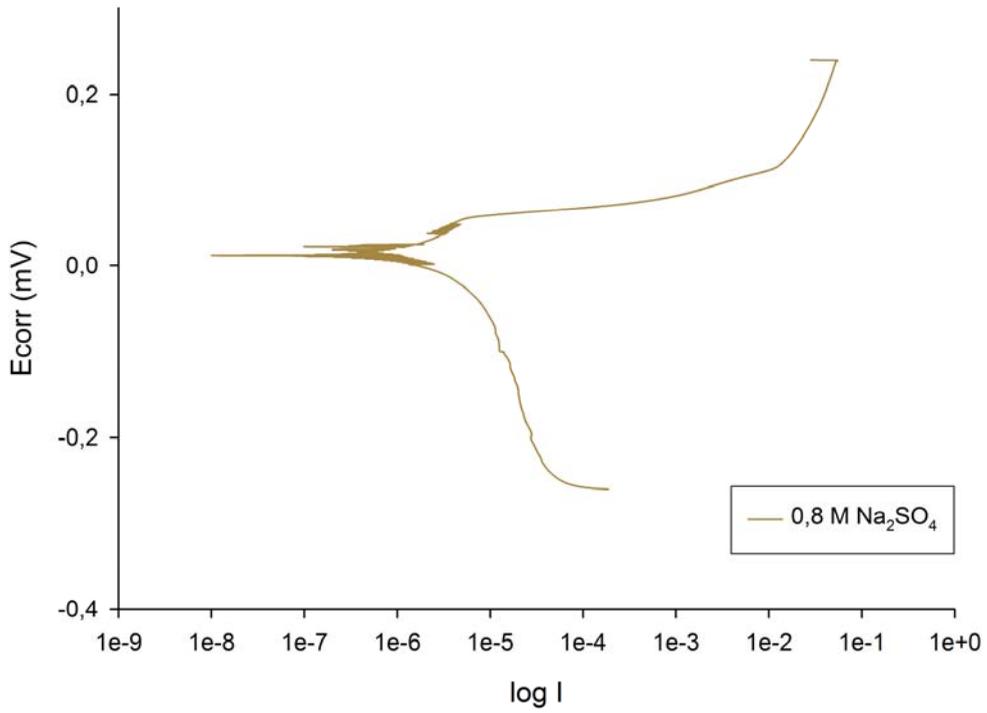


Figura 4.26.- Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,8 M.

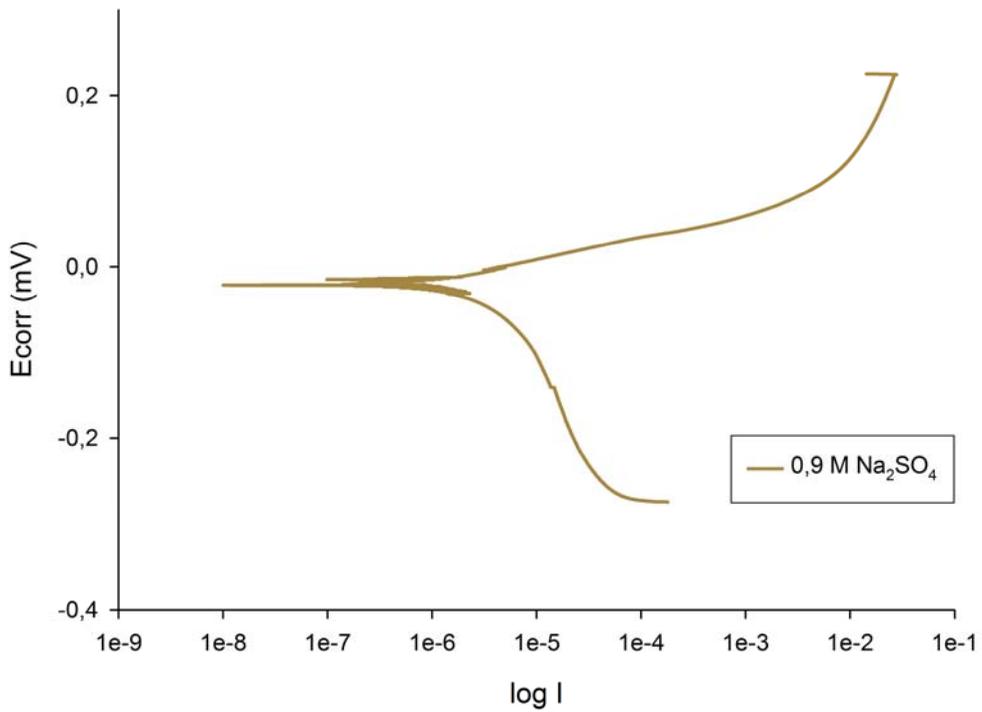


Figura 4.27.- Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,9 M.

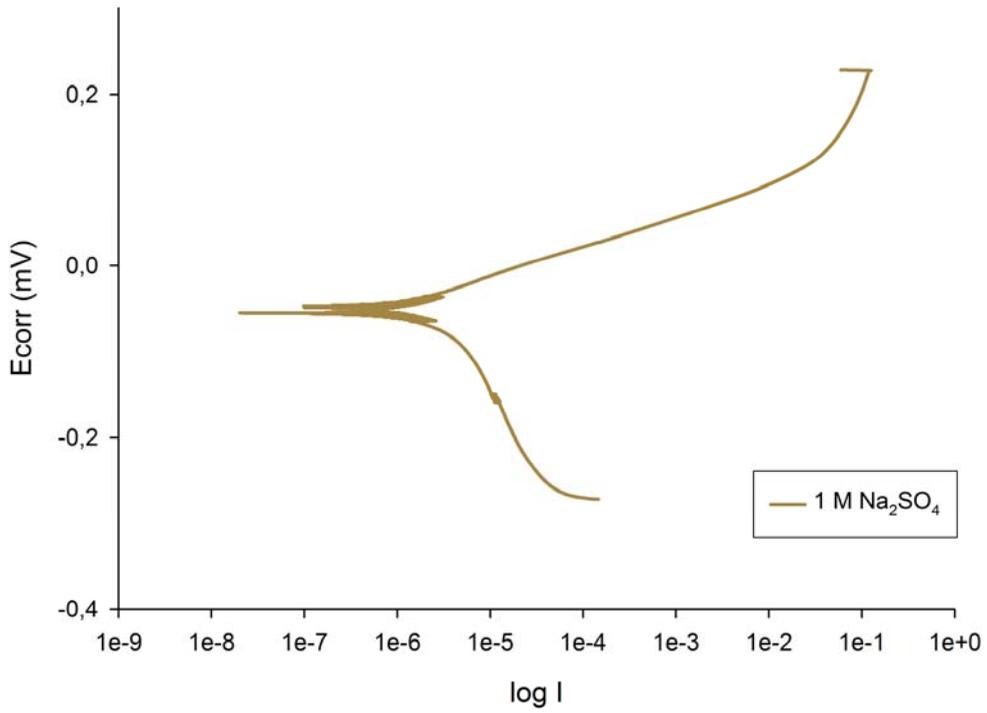


Figura 4.28.- Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M.

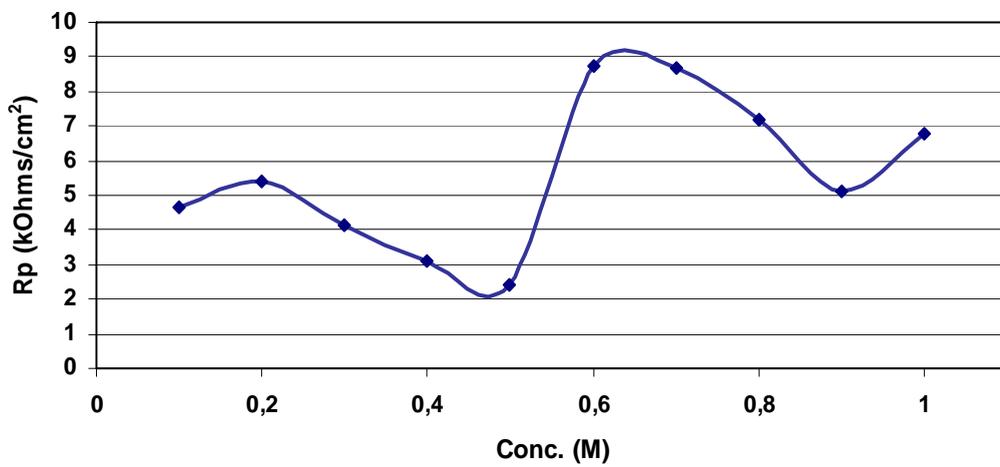


Figura 4.29.- Variación de la R<sub>p</sub> con la concentración de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

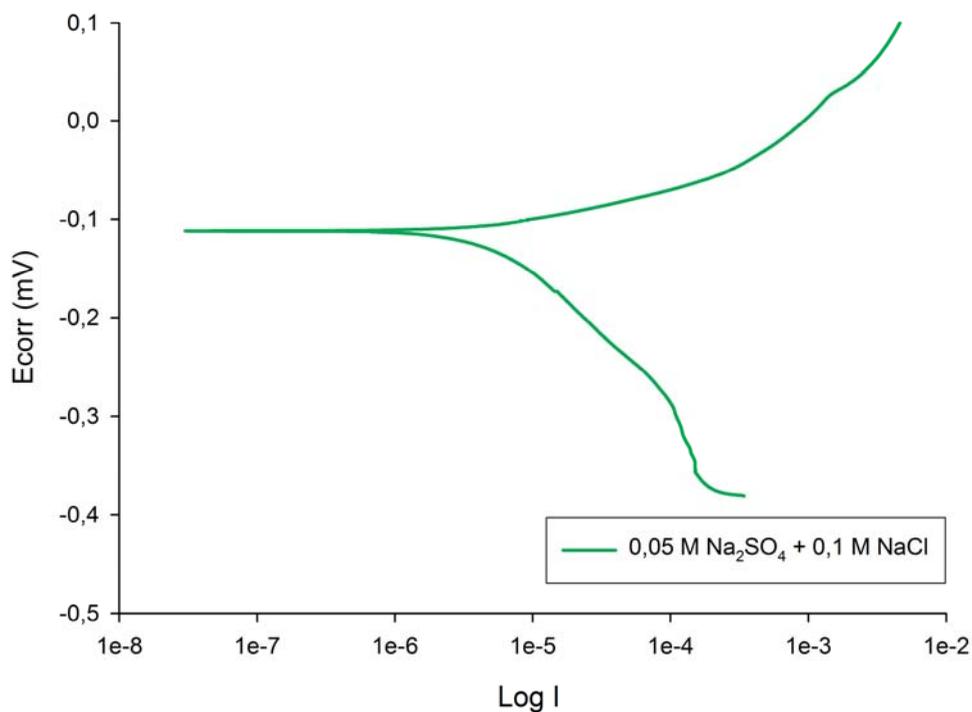
#### **4.4.3.- Medidas en concentración fija de $\text{Na}_2\text{SO}_4$ + diferentes concentraciones $\text{NaCl}$ .-**

En la tabla 4.4 se muestran los resultados obtenidos al realizar las medidas de potencial de corrosión y Tafel sobre el electrodo de cobre en disoluciones compuestas por concentraciones variables de 0,1÷1M de  $\text{NaCl}$ , junto con una concentración fija de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (0,05M, 0,1M y 0,2M).

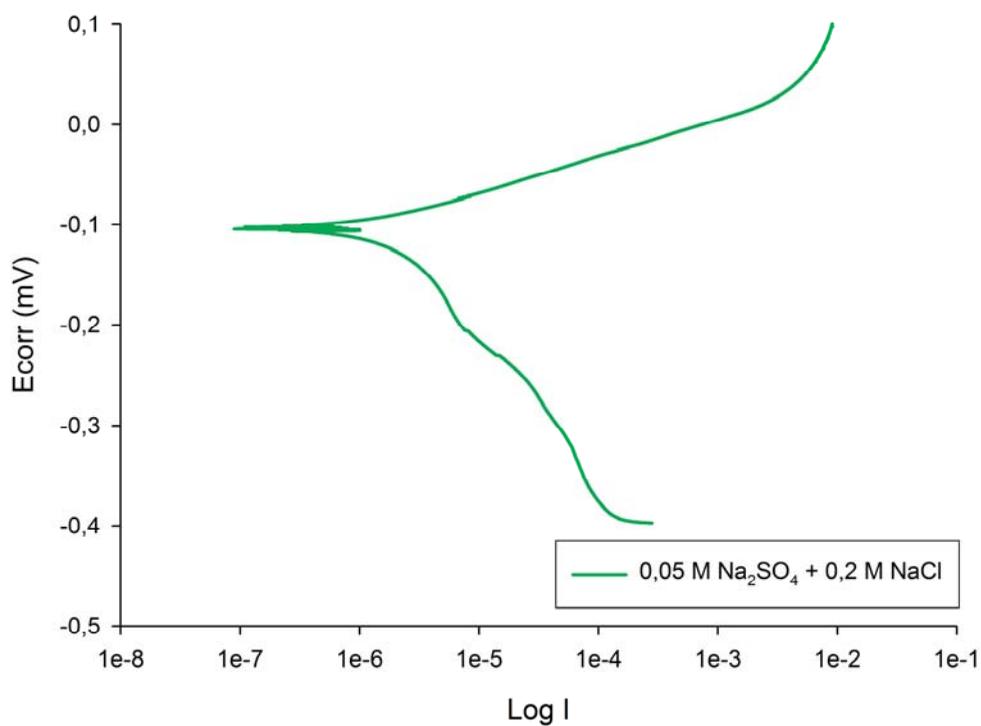
En la figuras 4.30 ÷ 4.59 se muestran las curvas de polarización obtenidas en cada caso. En la siguiente figura 4.60 se muestra la evolución de la resistencia de polarización ( $R_p$ ) con el incremento en la concentración de  $\text{NaCl}$  manteniendo fija cada concentración  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

Concentración 0,05 M Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + NaCl	E <sub>corr</sub> (mV)	I <sub>corr</sub> (μA)	R <sub>p</sub> (kΩ/cm <sup>2</sup> )	β <sub>catódica</sub>	β <sub>anódica</sub>
0,1 M NaCl	-112,1	10,09	1,534	7,682E-02	1,990E-01
0,2 M NaCl	-103,4	1,698	7,297	4,140E-02	1,419E-01
0,3 M NaCl	-283,9	2,513	1,884	1,060E-01	6,696E-02
0,4 M NaCl	-159,8	21,98	1,423	8,159E-02	2,560E-01
0,5 M NaCl	-184,9	0,781	8,975	8,250E-01	3,878E-01
0,6 M NaCl	-260,4	2,542	3,05	7,377E-02	7,682E-02
0,7 M NaCl	-283,9	2,680	1,528	8,290E-02	7,107E-02
0,8 M NaCl	-281,3	1,547	1,241	7,682E-02	7,843E-02
0,9 M NaCl	-216,5	15,69	1,845	7,446E-02	2,202E-01
1,0 M NaCl	-277,1	0,622	1,286	6,081E-02	6,18E-01
Concentración 0,1 M Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + NaCl	E <sub>corr</sub> (mV)	I <sub>corr</sub> (μA)	R <sub>p</sub> (kΩ/cm <sup>2</sup> )	β <sub>catódica</sub>	β <sub>anódica</sub>
0,1 M NaCl	-107,7	8,39	2,098	5,314E-02	2,009E-01
0,2 M NaCl	-160,9	4,268	5,833	7,004E-02	1,439E-01
0,3 M NaCl	-148,7	23,99	0,82	8,242E-02	2,715E-01
0,4 M NaCl	-166,7	43,44	0,635	8,633E-02	3,939E-01
0,5 M NaCl	-176	18,18	1,174	7,835E-02	2,406E-01
0,6 M NaCl	-242,4	4,196	2,932	7,486E-02	9,822E-02
0,7 M NaCl	-253,4	3,129	3,345	6,263E-02	9,347E-02
0,8 M NaCl	-281,5	0,848	1,272	6,578E-02	6,210E-02
0,9 M NaCl	-264	16,74	0,815	8,852E-02	1,837E-01
1,0 M NaCl	-250,6	0,678	3,197	5,673E-02	4,50E-02
Concentración 0,2 M Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + NaCl	E <sub>corr</sub> (mV)	I <sub>corr</sub> (μA)	R <sub>p</sub> (kΩ/cm <sup>2</sup> )	β <sub>catódica</sub>	β <sub>anódica</sub>
0,1 M NaCl	-108,1	4,317	3,807	6,676E-02	1,791E-01
0,2 M NaCl	-140,5	3,827	4,359	6,237E-02	1,525E-01
0,3 M NaCl	-154	15,1	1,424	5,720E-02	2,181E-01
0,4 M NaCl	-277,4	3,578	1,513	9,466E-02	7,764E-02
0,5 M NaCl	-280,6	5,245	1,382	8,784E-02	9,161E-02
0,6 M NaCl	-255,2	1,503	2,802	6,806E-02	7,300E-02
0,7 M NaCl	-279,2	15,61	0,314	6,582E-02	2,083E-01
0,8 M NaCl	-280,9	3,234	1,124	7,822E-02	8,256E-02
0,9 M NaCl	-289,8	1,888	1,061	6,885E-02	7,174E-02
1,0 M NaCl	-287	9,909	1,041	8,124E-02	1,48E-01

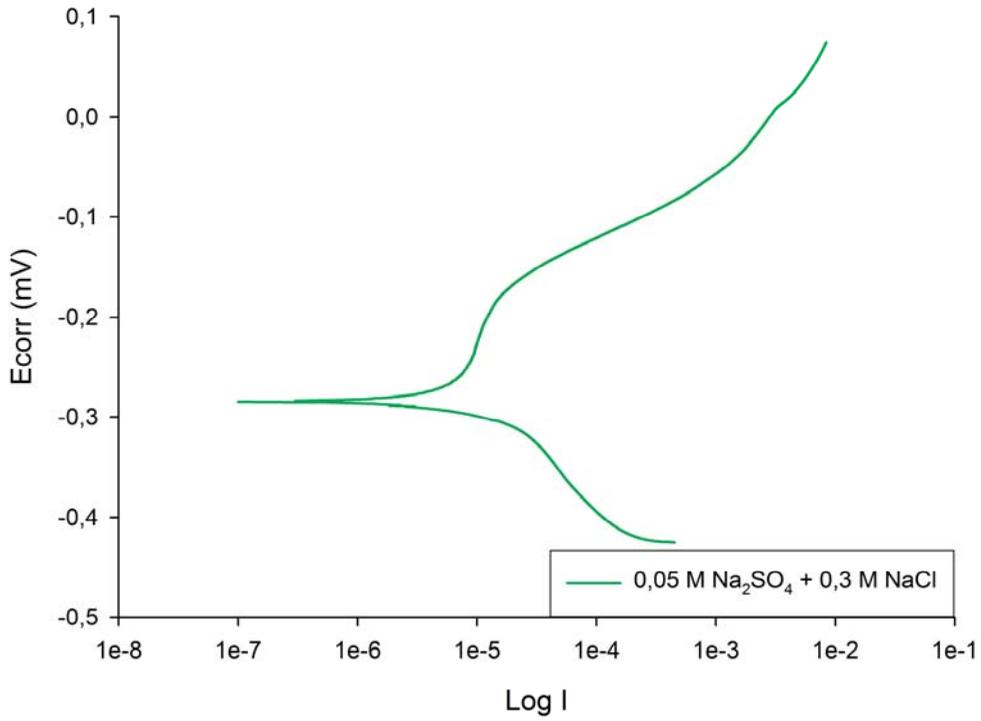
**Tabla 4.4:** Valores de E<sub>corr</sub> y Tafel en disoluciones mezcla de NaCl y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.



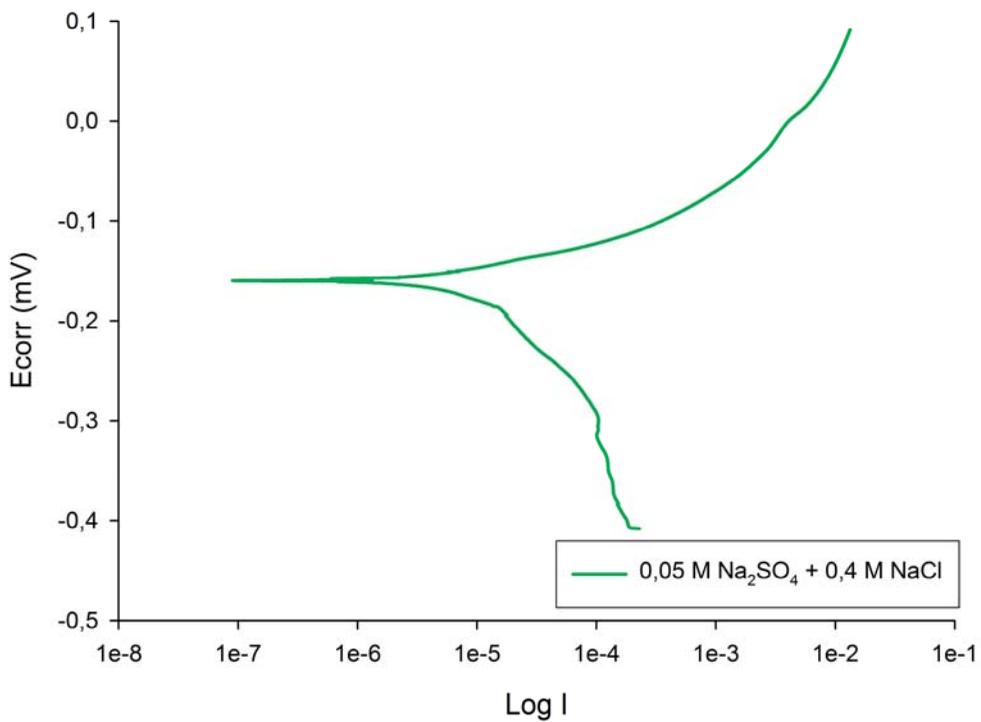
**Figura 4.30.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 M + 0,1 M NaCl.



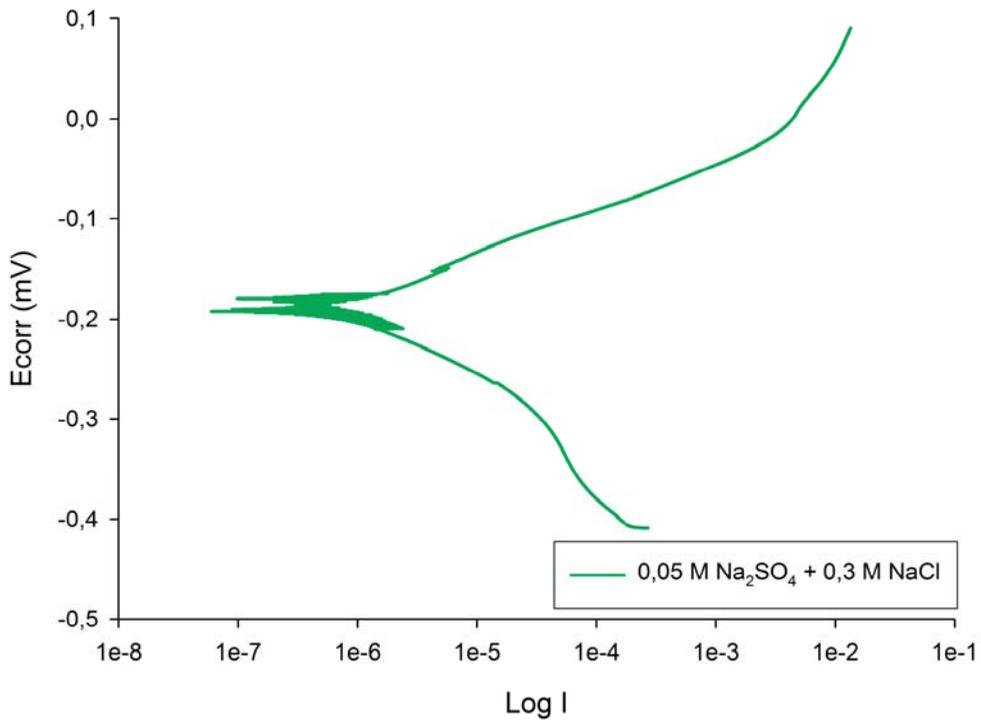
**Figura 4.31.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 M + 0,2 M NaCl.



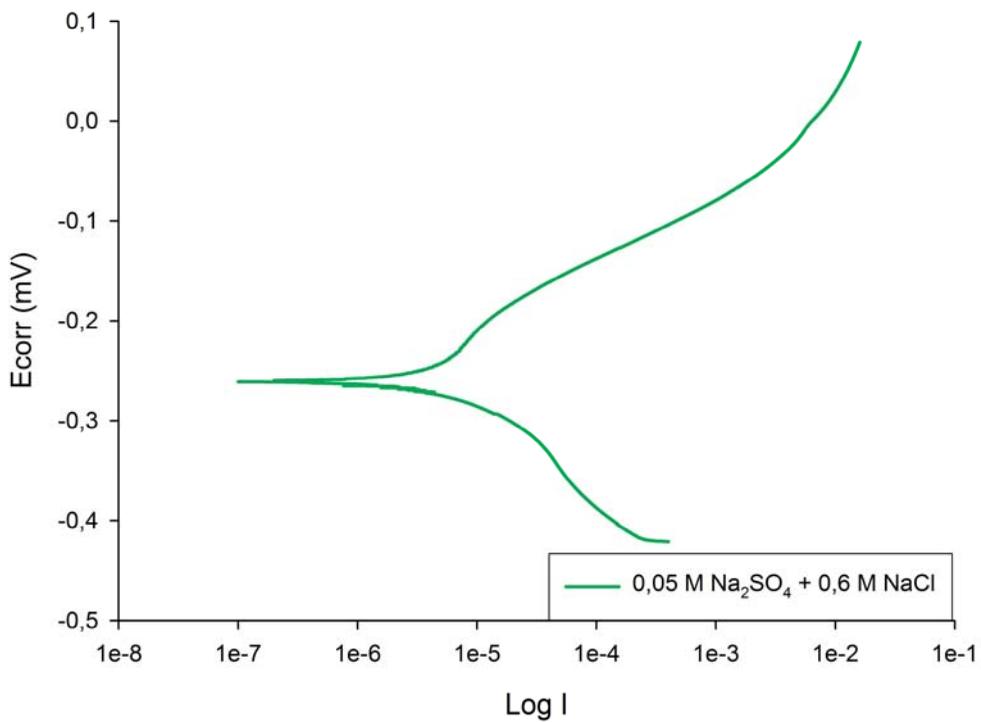
**Figura 4.32.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 M + 0,3 M NaCl.



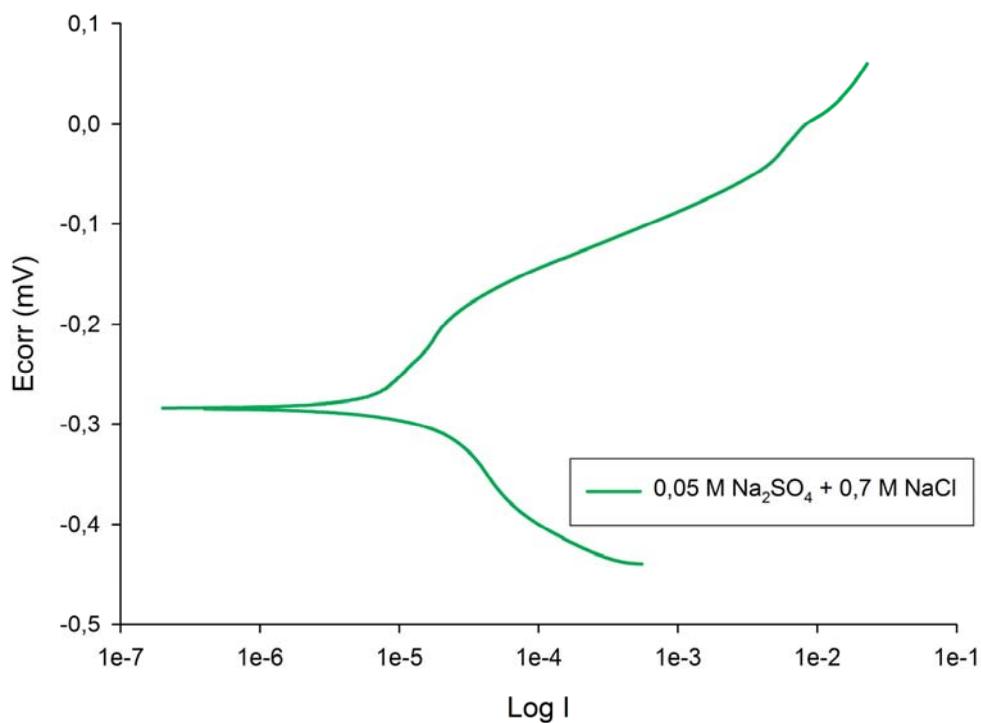
**Figura 4.33.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 M + 0,4 M NaCl.



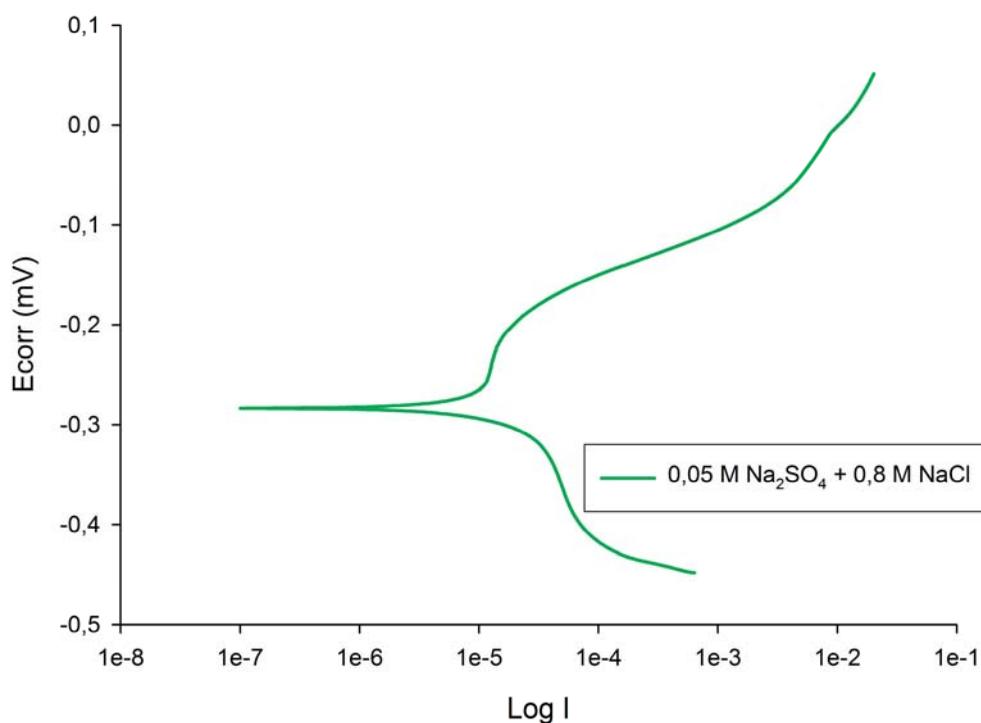
**Figura 4.34.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 M + 0,3 M NaCl.



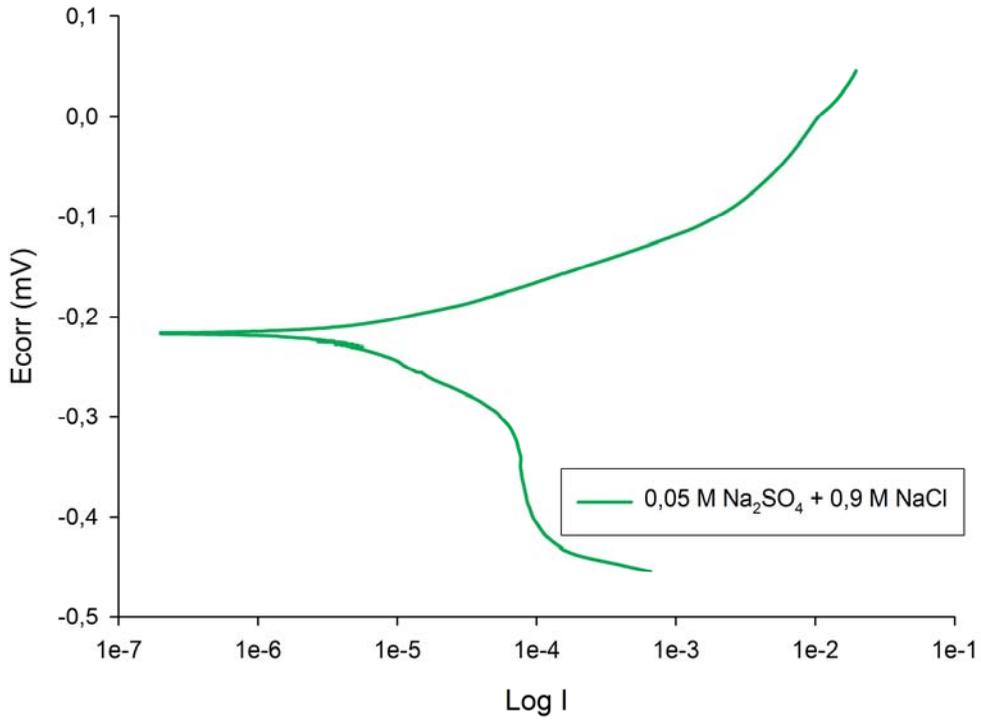
**Figura 4.35.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 M + 0,6 M NaCl.



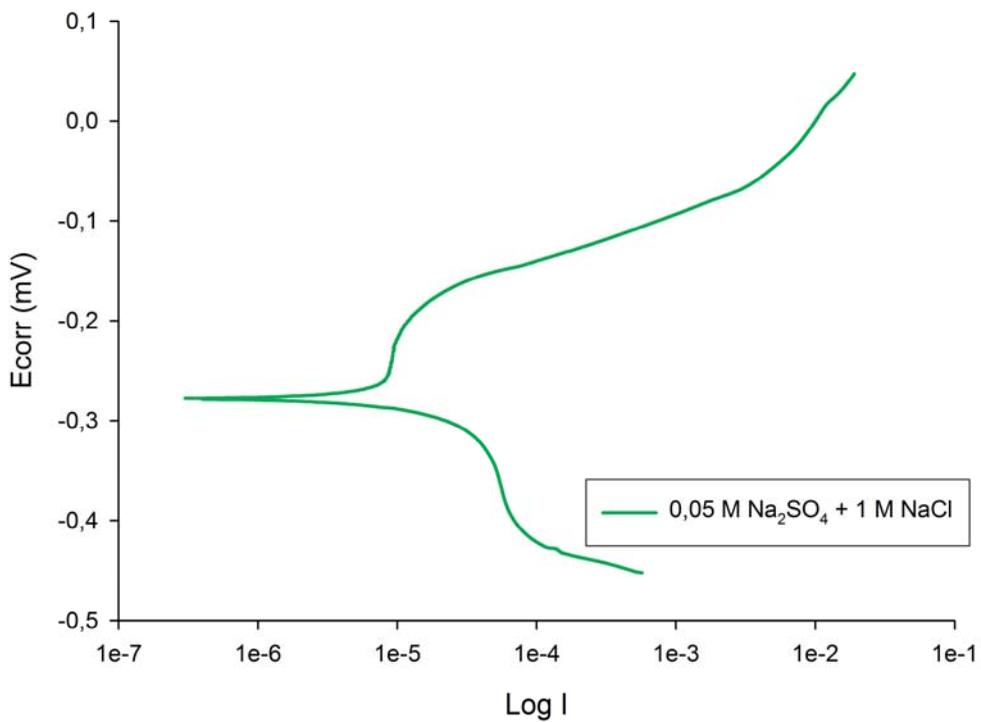
**Figura 4.36.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 M + 0,7 M NaCl.



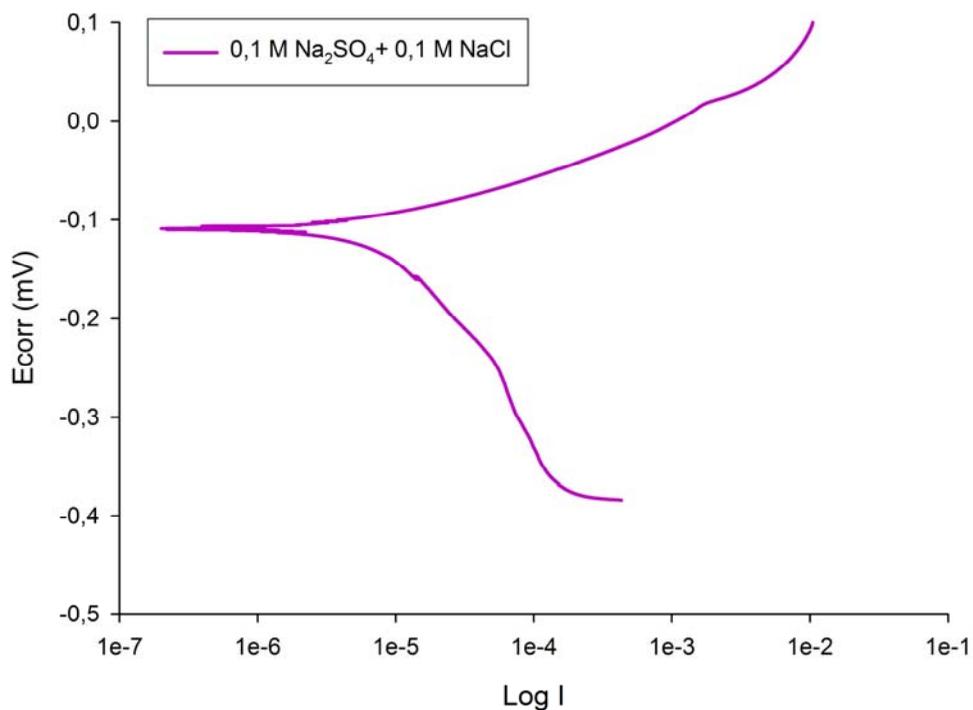
**Figura 4.37.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 M + 0,8 M NaCl.



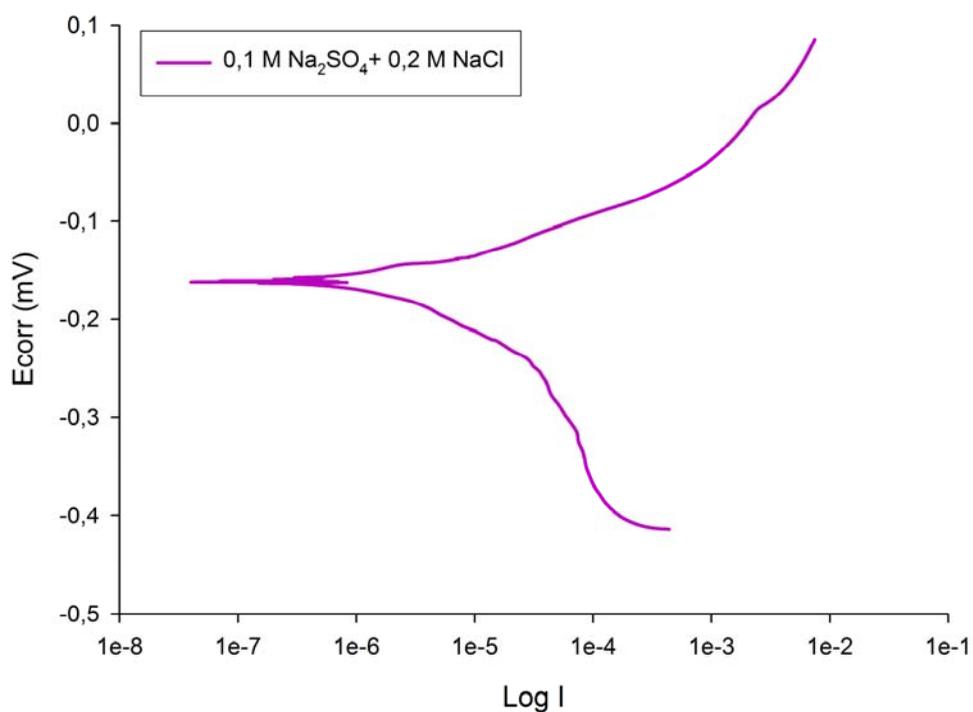
**Figura 4.38.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 M + 0,9 M NaCl.



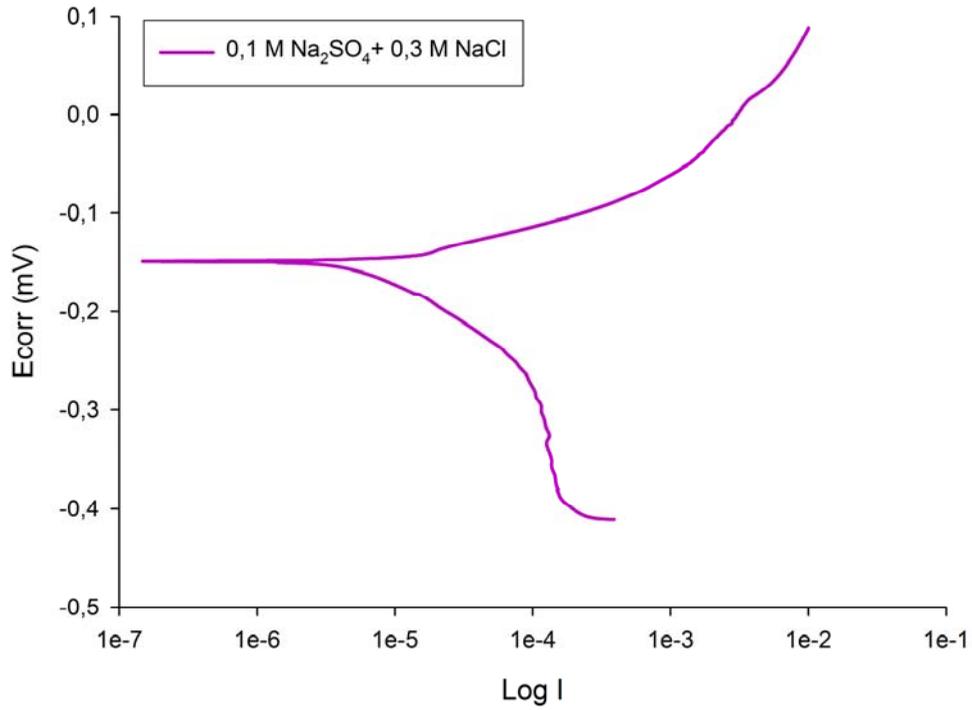
**Figura 4.39.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 M + 1 M NaCl.



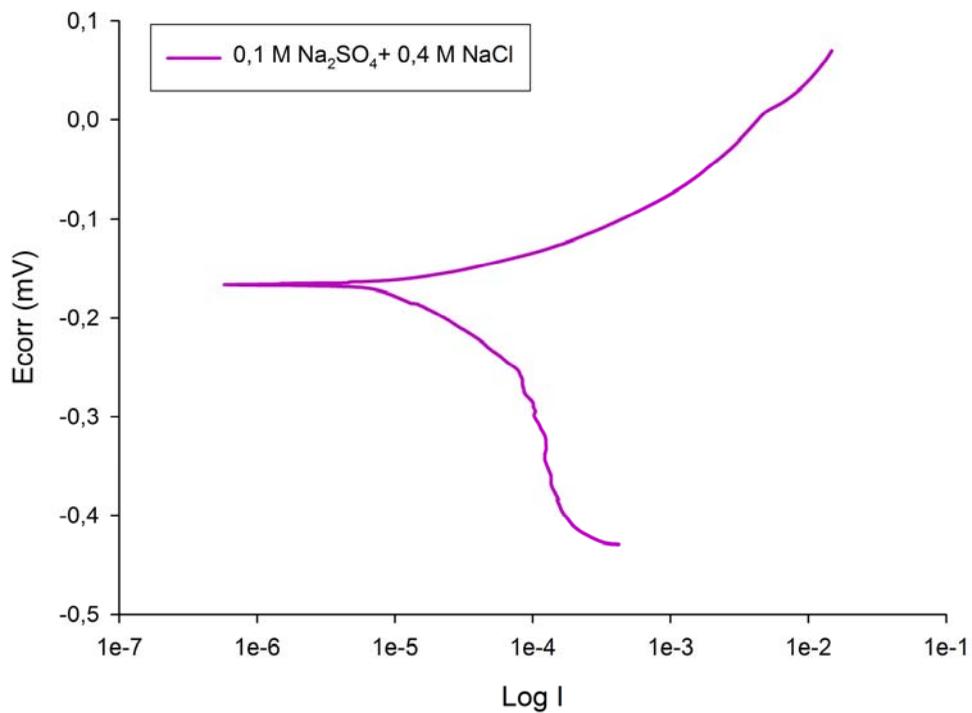
**Figura 4.40.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M + 0,1 M NaCl.



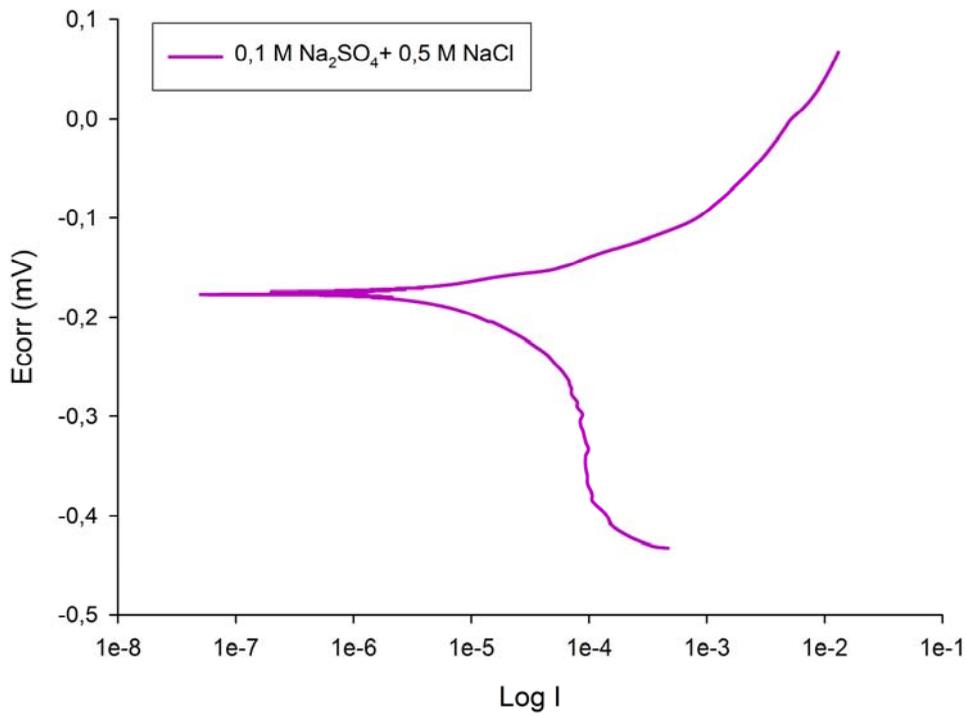
**Figura 4.41.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M + 0,2 M NaCl.



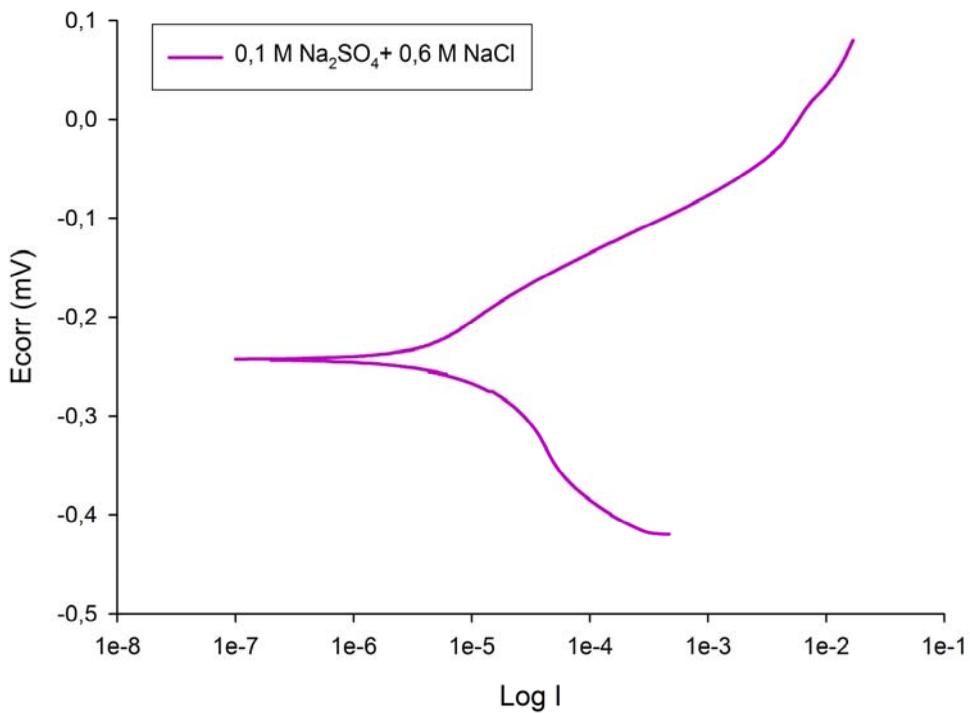
**Figura 4.42.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M + 0,3 M NaCl.



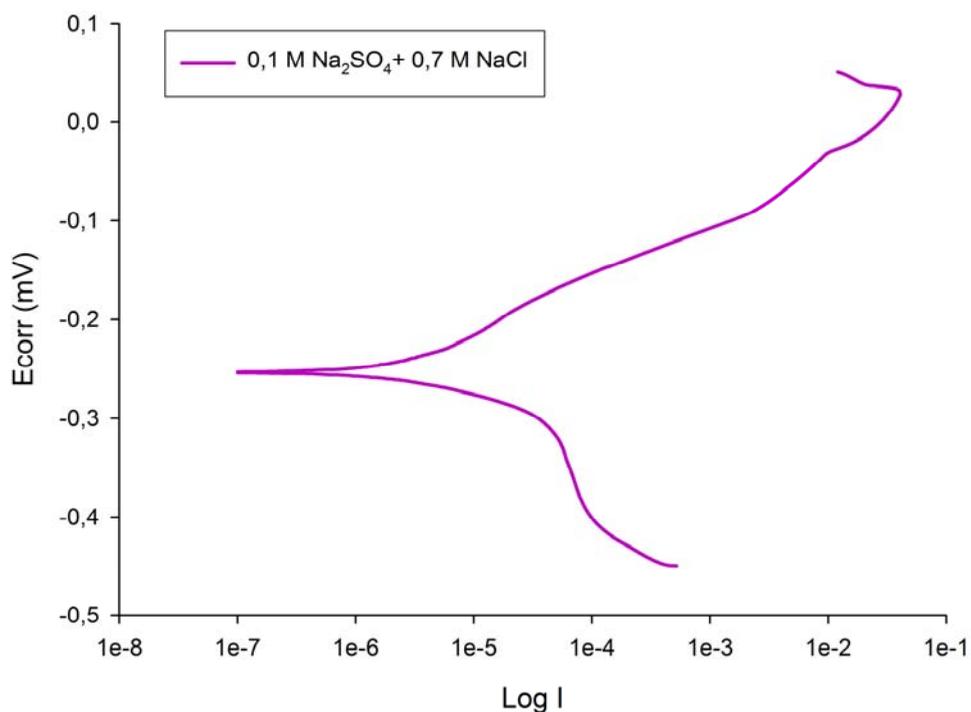
**Figura 4.43.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M + 0,4 M NaCl.



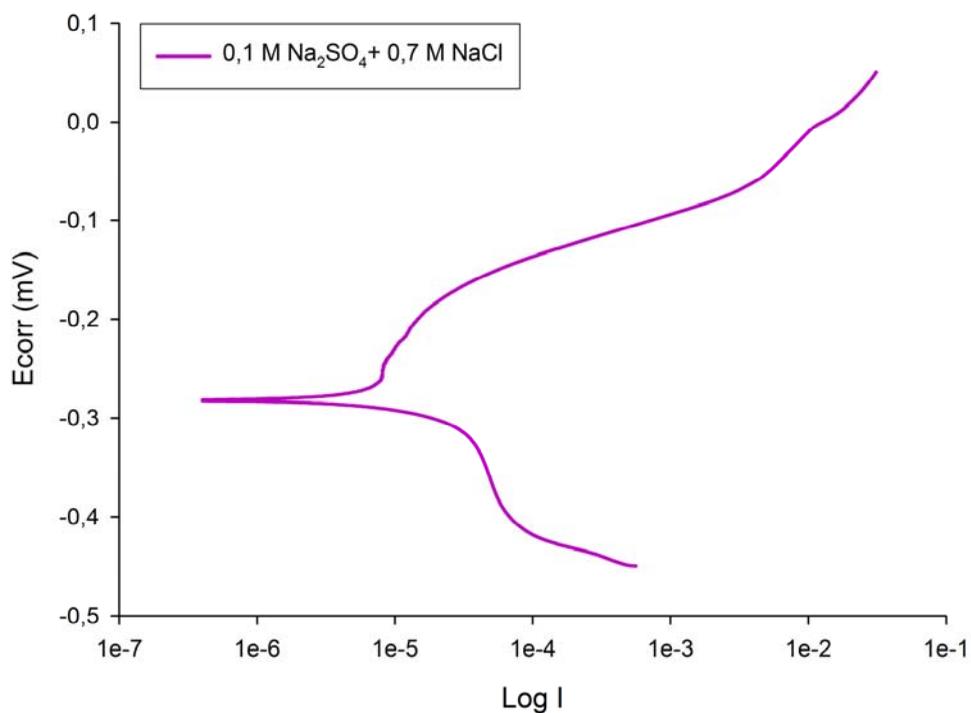
**Figura 4.44.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M + 0,5 M NaCl.



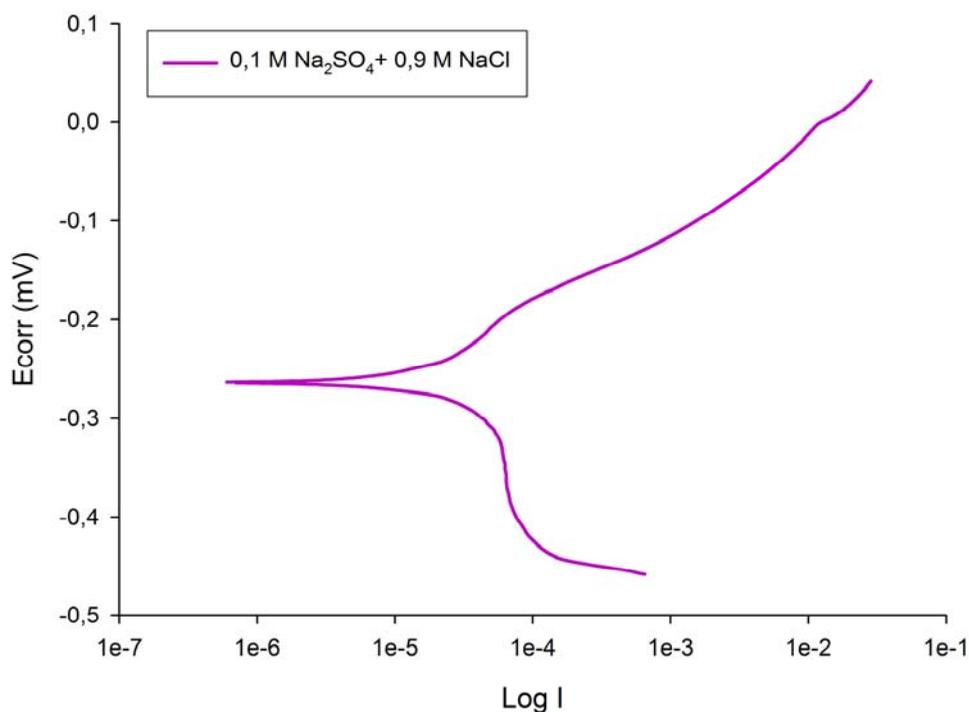
**Figura 4.45.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M + 0,6 M NaCl.



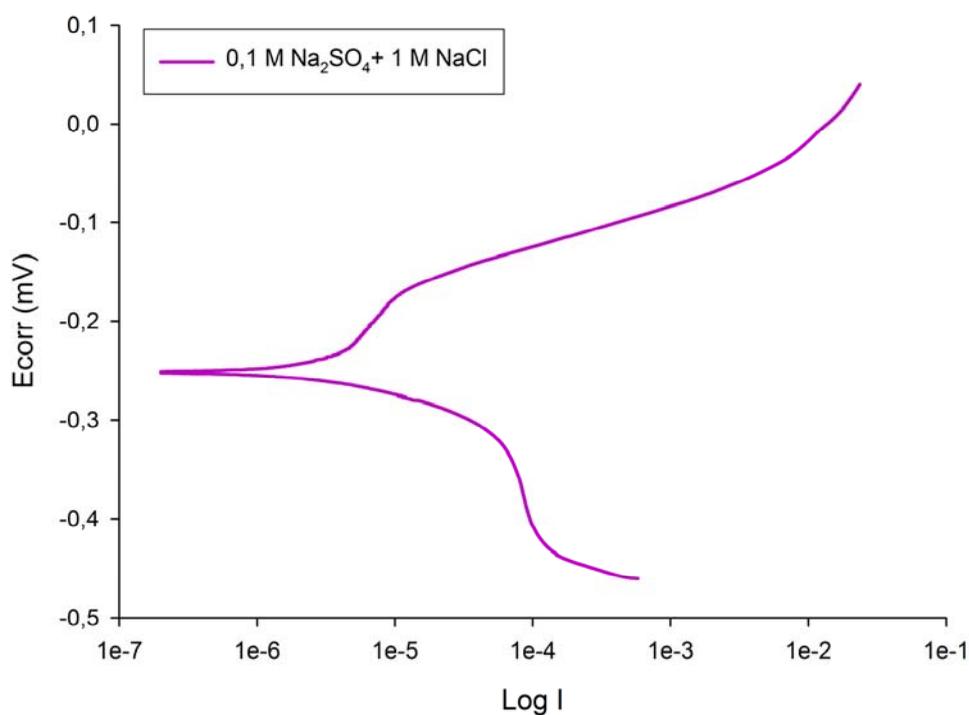
**Figura 4.46.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M + 0,7 M NaCl.



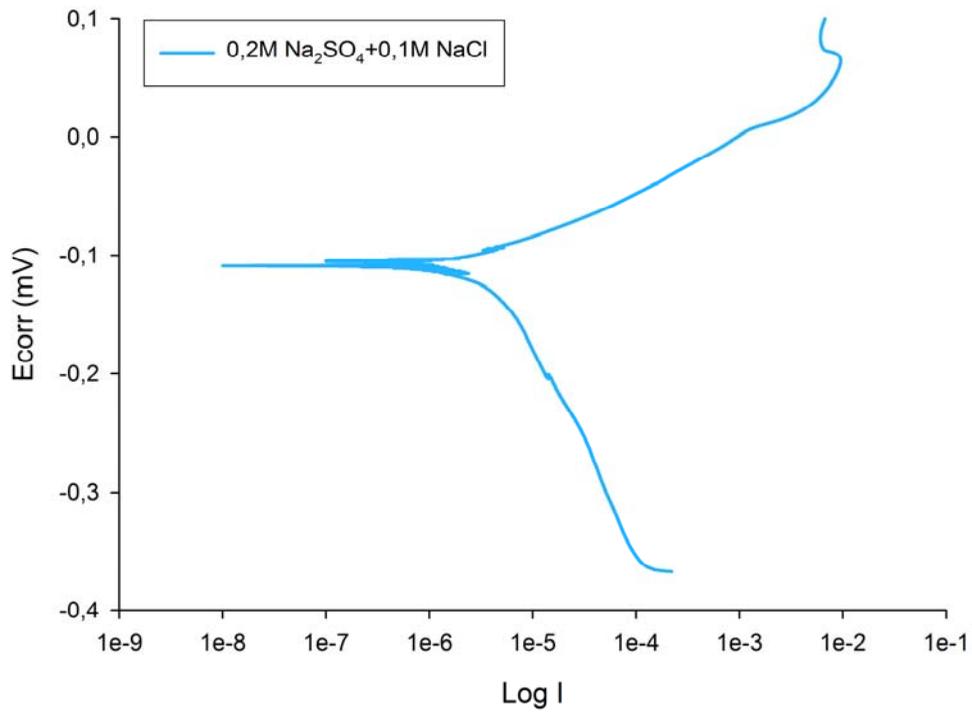
**Figura 4.47.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M + 0,8 M NaCl.



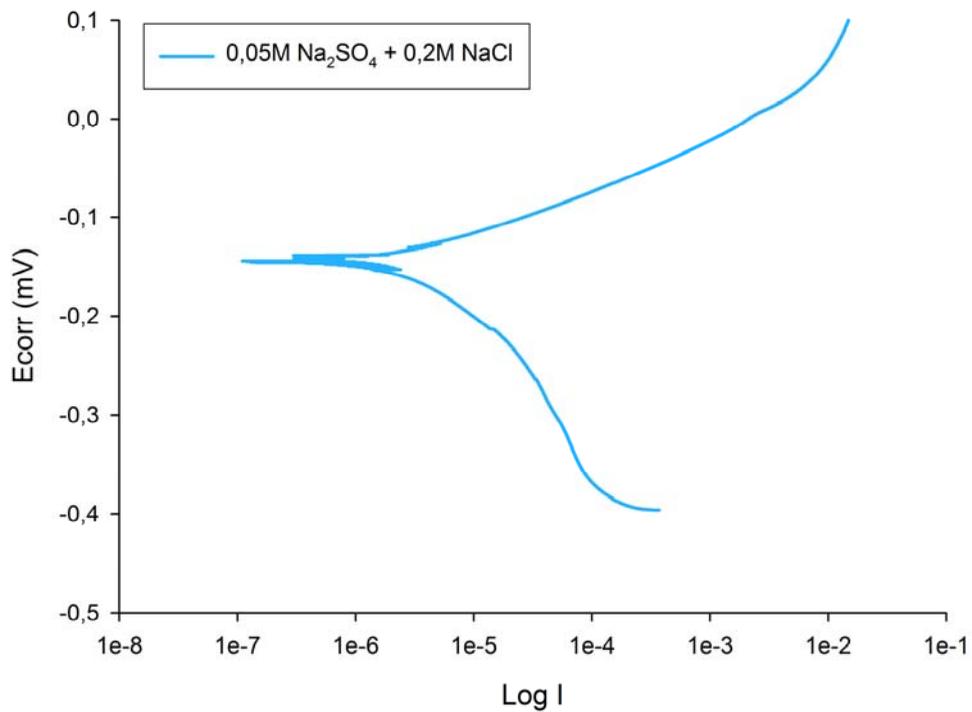
**Figura 4.48.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M + 0,9 M NaCl.



**Figura 4.49.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M + 1 M NaCl.



**Figura 4.50.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M + 0,1 M NaCl.



**Figura 4.51.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M + 0,2 M NaCl.

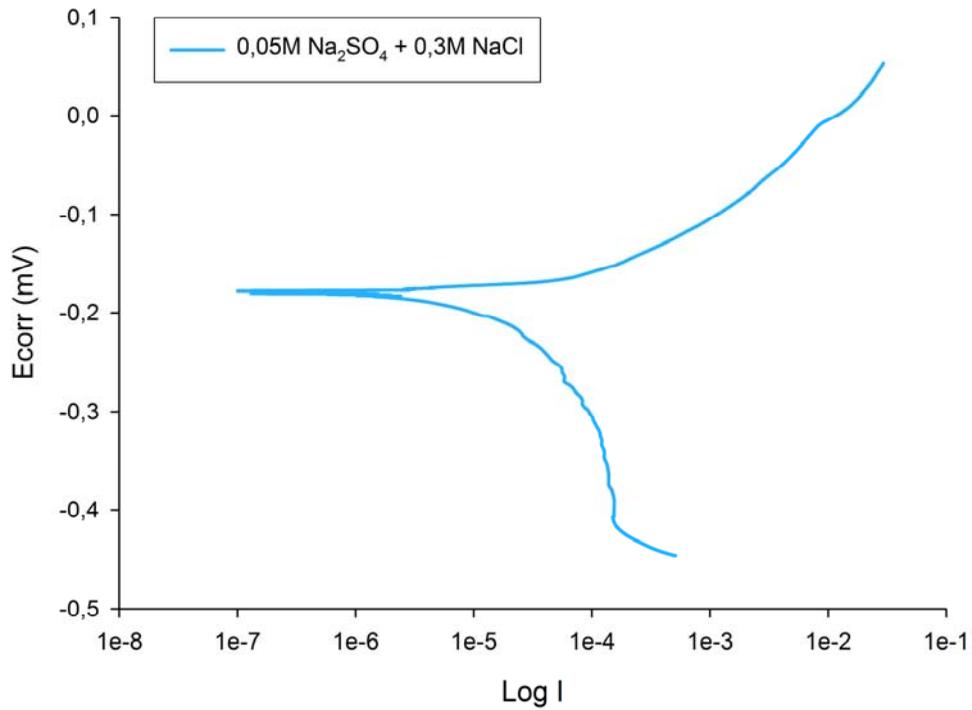


Figura 4.52.- Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M + 0,3 M NaCl.

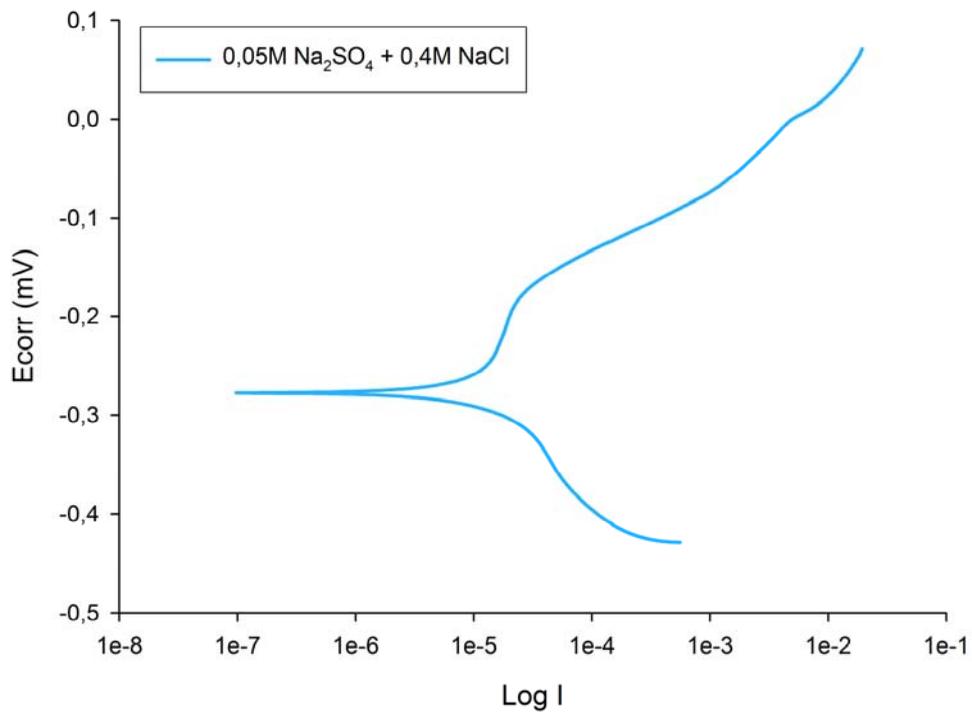


Figura 4.53.- Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M + 0,4 M NaCl.

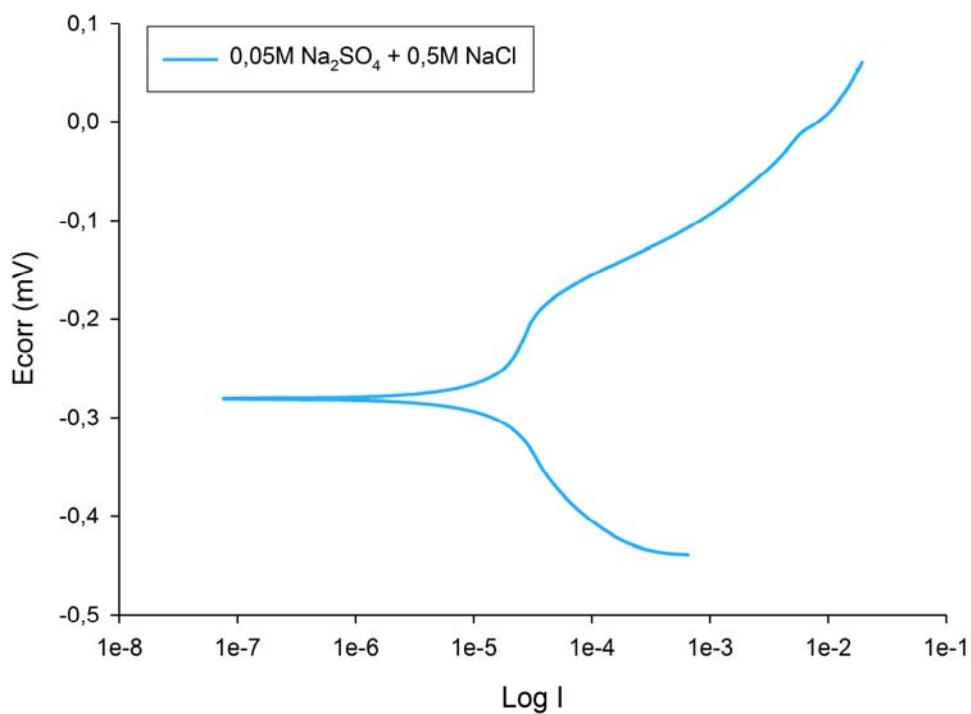


Figura 4.54.- Curva de Tafel del cobre en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,2 M + 0,5 M NaCl.

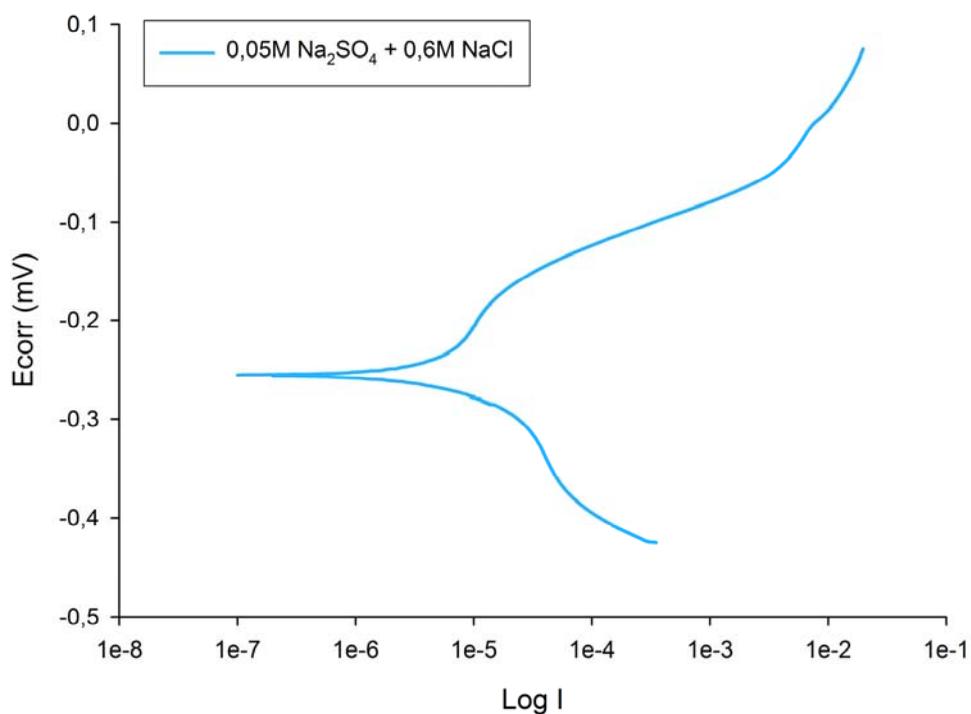
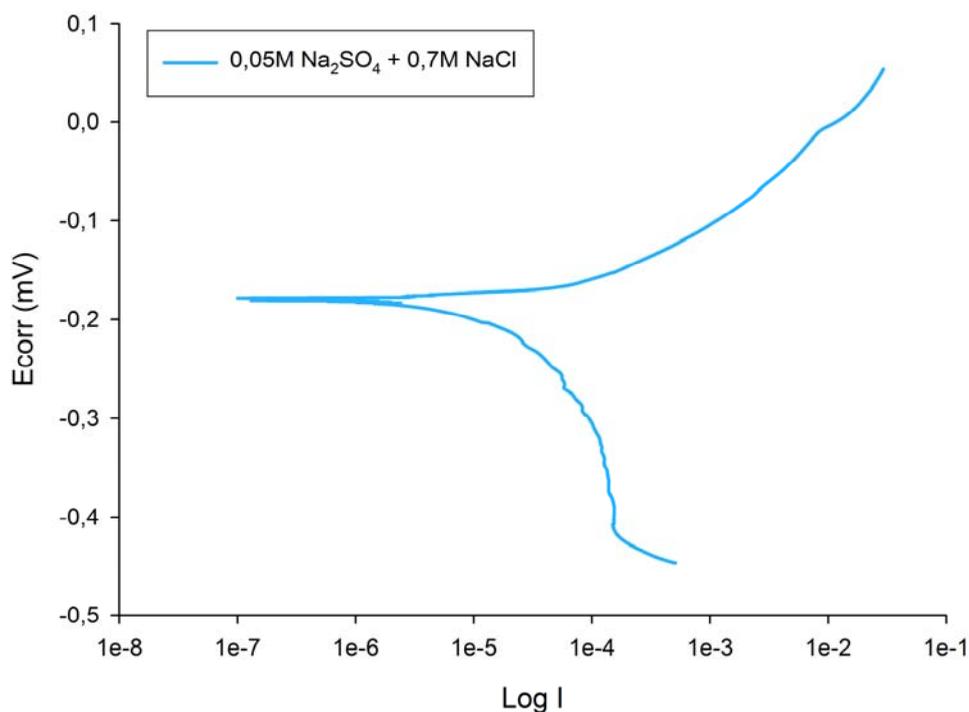
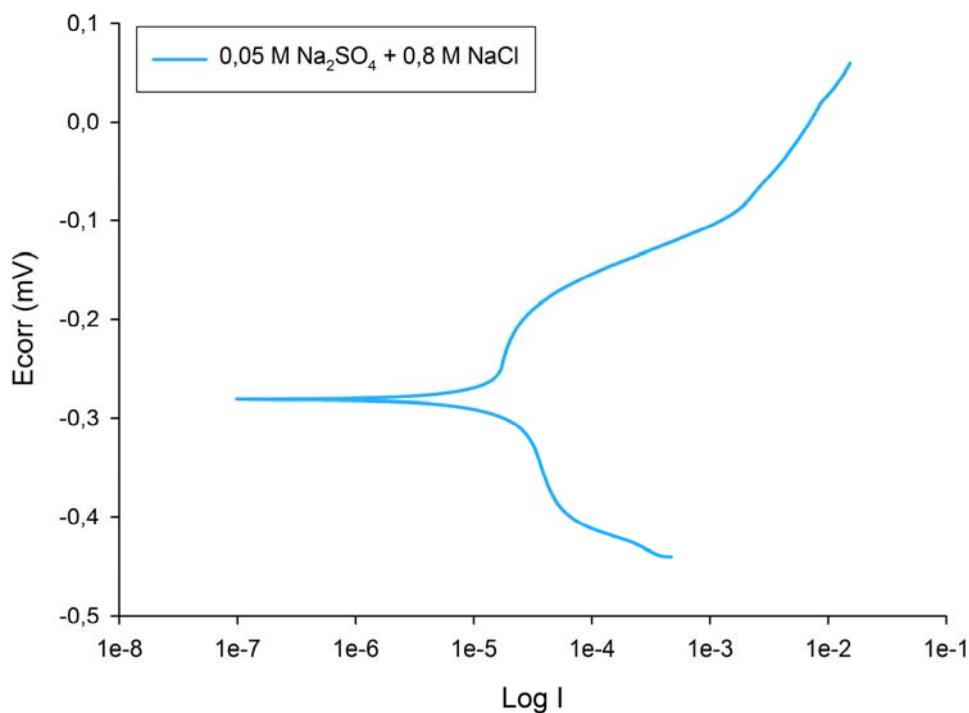


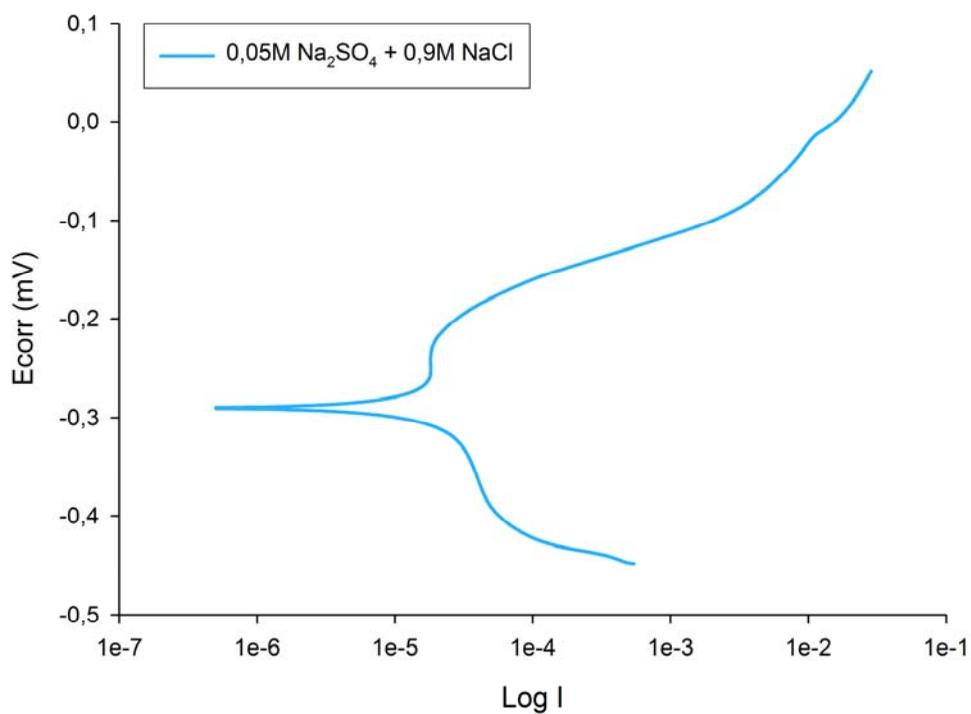
Figura 4.55.- Curva de Tafel del cobre en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,2 M + 0,6 M NaCl.



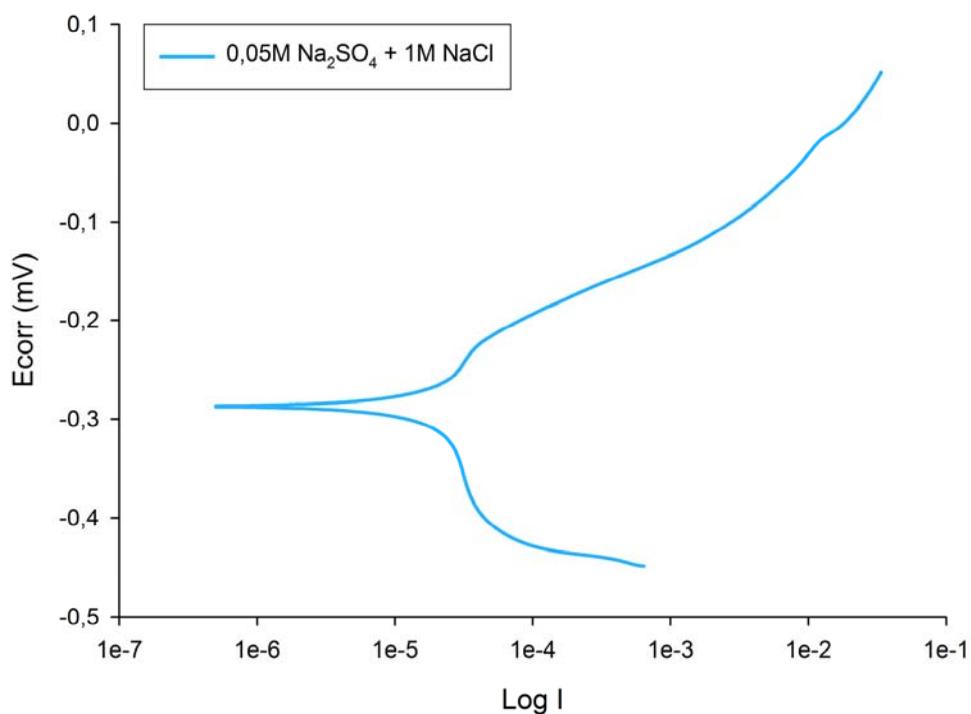
**Figura 4.56.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M + 0,7 M NaCl.



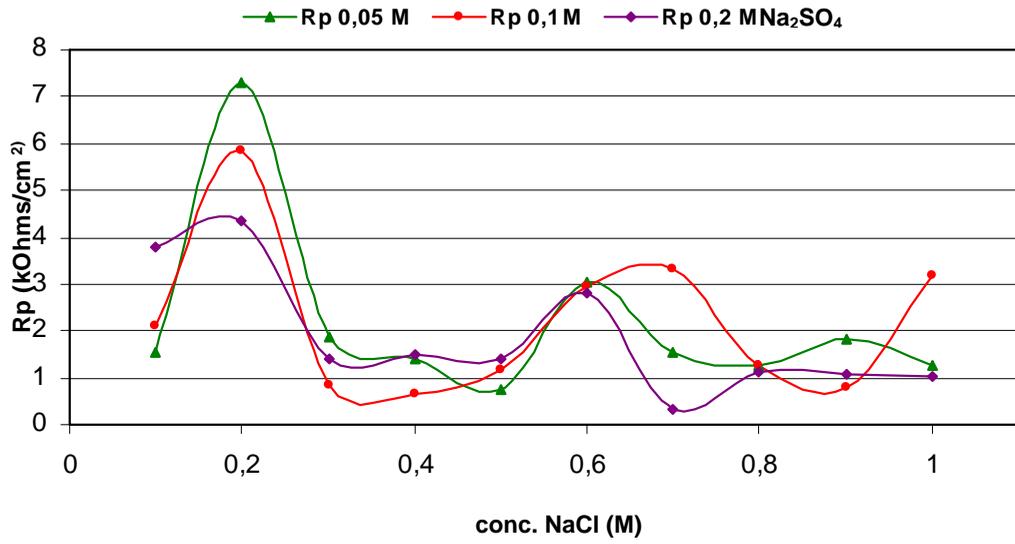
**Figura 4.57.-** Curva de Tafel del cobre en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M + 0,8 M NaCl.



**Figura 4.58.-** Curva de Tafel del cobre en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,2 M + 0,9 M  $\text{NaCl}$ .



**Figura 4.59.-** Curva de Tafel del cobre en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,2 M + 1 M  $\text{NaCl}$ .



**Figura 4.60.-** Variación de la  $R_p$  del cobre en 0.1÷1M NaCl junto a concentración fija de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

# Capítulo 5

## Determinación de las Categorías de Corrosividad

---

### 5.- DETERMINACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE CORROSIVIDAD.

5.1.- Introducción.

5.2.- Alcance de la norma.

5.3.- Símbolos y abreviaturas.

5.4.- Clasificación del tiempo de humectación.

5.5.- Clasificación de las categorías de contaminación.

*5.5.1.- Categorías de SO<sub>2</sub>.*

*5.5.2.- Categorías de cloruros.*

5.6.- Categorías de corrosividad de la atmósfera.

5.7.- Clasificación de la corrosividad basada en de velocidad de corrosión de especímenes estándares.

5.8.- Clasificación de la corrosividad en base a los datos medioambientales.

5.9.- Índices de corrosividad obtenidos.

5.10.- Mapas de corrosividad atmosférica para el cobre en la provincia de Las Palmas.

*5.10.1.- Isla de Fuerteventura.*

*5.10.2.- Isla de Lanzarote.*

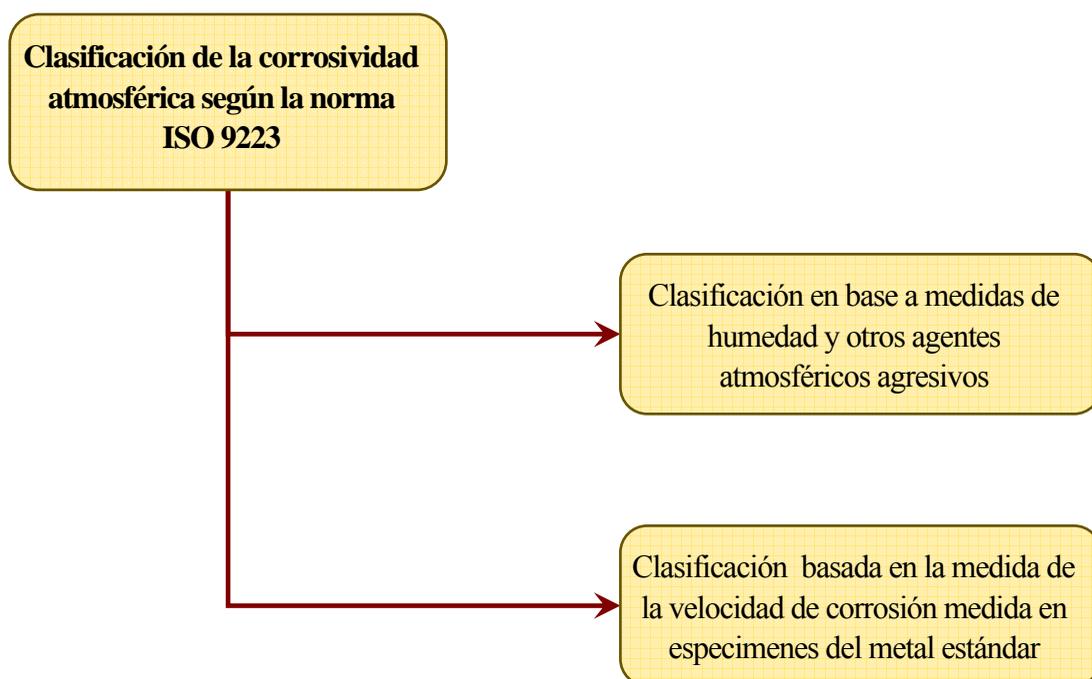
*5.10.3.- Isla de Gran Canaria.*

## 5.- DETERMINACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE CORROSIVIDAD.-

### 5.1.- Introducción.-

La determinación de las categorías de corrosividad se ha realizado según la correspondiente norma internacional ISO 9223:1992(E) "*Corrosión of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres -Classification*" [124].

De acuerdo con esta norma internacional se establecen dos maneras de determinar la categoría de corrosividad de una zona o localidad dada. (figura 5.1):



**Figura 5.1.-** Clasificación de la corrosividad atmosférica según la norma internacional ISO 9223.

Las categorías de corrosividad están definidas en función de los efectos de la

corrosión sobre especímenes de metales estándar de acuerdo con esta norma internacional. Estas categorías de corrosividad pueden ser determinadas en función de la influencia de los factores atmosféricos más significantes sobre la corrosión de los metales y sus aleaciones.

La categoría de corrosividad es una característica técnica que nos provee una base a la hora de la selección de los materiales para su uso en medios atmosféricos y sus medidas de protección, sujetos a las demandas de cada aplicación, y con particular consideración al tiempo de vida.

Esta norma no considera el diseño y modelo de operación del producto, el cuál puede influir en su resistencia a la corrosión, dado que estos efectos son muy específicos y no pueden ser generalizados.

## 5.2.- Alcance de la norma.-

Esta norma internacional especifica los factores atmosféricos de mayor incidencia en la corrosión atmosférica de los metales y sus aleaciones. Estos factores claves son los siguientes:

- Tiempo de humectación, TDH:  $\tau$
- Polución por dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>:  $P$
- Salinidad en el aire:  $S$

Otros tipos de contaminantes pueden ejercer un efecto corrosivo (óxidos de nitrógeno y polvo industrial en zonas industriales o pobladas) o la polución específica operacional y tecnológica de microclimas (cloruros, sulfuro de hidrógeno, ácidos orgánicos y agentes anticongelantes). Estos tipos de polución no han sido utilizados en los criterios de clasificación.

La clasificación dada en esta norma internacional puede ser utilizada directamente para evaluar la corrosividad de la atmósfera sobre metales y sus aleaciones bajo condiciones conocidas de tiempo de humectación, polución por dióxido de azufre y salinidad en el aire,

pero no caracteriza la corrosividad de atmósferas específicas, tales como atmósferas en industrias químicas y metalúrgicas en la cuales la polución y el tiempo de humectación no pueden ser generalizados.

### 5.3.- Símbolos y abreviaturas.-

A continuación se detallan las abreviaturas usadas en las tablas de determinación de las categorías de corrosividad:

- $\tau$   $\Rightarrow$  Tiempo de humectación.
- $P$   $\Rightarrow$  Categoría de polución con compuestos de azufre basada en niveles de  $\text{SO}_2$ .
- $i$   $\Rightarrow$  Categoría de polución basada en la contaminación salina en el aire.
- $C$   $\Rightarrow$  Categoría de corrosividad atmosférica.
- $\theta$   $\Rightarrow$  Temperatura del aire.
- $h/a$   $\Rightarrow$  n° Horas por año.
- $r_{\text{corr}}$   $\Rightarrow$  Velocidad de corrosión para el primer año de exposición atmosférica.
- $r_{\text{av}}$   $\Rightarrow$  Velocidad media de corrosión para los primeros diez años de exposición.
- $n_{\text{in}}$   $\Rightarrow$  Velocidad de corrosión del estado estacionario para largos tiempos de exposición.

La definición del tiempo de humectación (TDH), que se simbolizará como  $\tau$ , es la expresada en esta norma, es decir, el n° de horas al año durante las cuales la humedad relativa es superior al 80%, a temperatura ( $\theta$ ) superior a  $0^\circ\text{C}$ , y viene expresada como horas/año. La norma no especifica ningún procedimiento en concreto para determinar su valor, y apunta que cualquier método puede ser válido. En nuestro caso se ha recurrido a los datos suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología por estación de medida para su cálculo. Respecto a los contaminantes, las tablas que nos suministra la norma los expresa en dos unidades diferentes:  $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$  y en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , tanto para los cloruros como para el  $\text{SO}_2$ .

#### 5.4.- Clasificación del tiempo de humectación.-

La clasificación del tiempo de humectación se muestra en la tabla 5.1. Los valores de esta clasificación están basados en las características generales de las zonas macroclimáticas, para condiciones típicas de las categorías de la localización.

Para tiempos de humectación  $\tau_1$  no se espera condensación. Para  $\tau_2$  la probabilidad de formación de líquido sobre la superficie metálica es baja. Tiempos comprendidos entre  $\tau_4$  y  $\tau_5$  incluyen periodos de condensación y precipitación.

Categoría	Tiempo de humectación		Caso de ejemplo
	h/a	(%)	
$\tau_1$	$\tau \leq 10$	$\tau \leq 0,1$	Microclimas internos con control climático.
$\tau_2$	$10 < \tau \leq 250$	$0,1 < \tau \leq 3$	Microclimas internos sin control climático excepto para espacios internos sin aire acondicionado en climas húmedos.
$\tau_3$	$250 < \tau \leq 2500$	$3 < \tau \leq 30$	Atmósferas externas en climas secos y fríos y parte de los climas templados; cobertizos bien ventilados en climas templados.
$\tau_4$	$2500 < \tau \leq 5500$	$30 < \tau \leq 60$	Atmósferas externas en todos los climas (excepto para los climas secos y fríos); cobertizos ventilados en condiciones de humedad; cobertizos no ventilados en climas templados.
$\tau_5$	$5500 < \tau$	$60 < \tau$	Parte de los climas húmedos; cobertizos no ventilados en condiciones de humedad.

**Tabla 5.1.-** Clasificación del tiempo de humectación.

La norma internacional nos hace una serie de puntualizaciones a tener en cuenta, entre las que cabe destacar las siguientes:

- 1.- Los valores del tiempo de humectación son aproximados y sólo nos sirven a nivel informativo.
- 2.- La columna con los casos no cubre todas las posibilidades debidas a los grados de refugio.
- 3.- Las superficies cubiertas en atmósferas marinas donde se depositan cloruros pueden experimentar un incremento sustancial en los tiempos de humectación, debido a la presencia de sales higroscópicas y deberían ser clasificadas en la categoría  $\tau_5$ .
- 4.- Para los tiempos de humectación  $\tau_1$  y  $\tau_2$  la probabilidad de corrosión es mayor para superficies polvorrientas.

### 5.5.- Clasificación de las categorías de contaminación.-

La contaminación atmosférica se divide en dos categorías: contaminación por dióxido de azufre y por salinidad en el aire. Estos dos tipos de contaminación son representativos para atmósferas rurales, urbanas, industriales y marinas.

#### 5.5.1.- Categorías de $SO_2$ -

La clasificación de la contaminación por dióxido de azufre para atmósferas estándares externas se dan en la tabla 5.2, donde según la concentración de dicho contaminante se le asigna una categoría P:

Velocidad de deposición de $SO_2$ mg/(m <sup>2</sup> ·día)	Concentración de $SO_2$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Categoría
$P_d \leq 10$	$P_c \leq 12$	$P_1$
$10 < P_d \leq 35$	$12 < P_c \leq 40$	$P_2$
$35 < P_d \leq 80$	$40 < P_c \leq 90$	$P_3$
$80 < P_d \leq 200$	$90 < P_c \leq 250$	$P_4$

**Tabla 5.2.-** Clasificación de la contaminación por sustancias que contienen azufre representadas por  $SO_2$ .

Aunque la norma nos indica que esta tabla se ha efectuado acorde con los niveles de SO<sub>2</sub> determinados según la norma internacional ISO 9225 [125], no nos indica nada sobre consideraciones a tener en cuenta en caso de que utilicemos otro procedimiento de determinación de SO<sub>2</sub>. Como ya se verá, en el caso de la determinación de los cloruros sí se especifica que el utilizar otros métodos puede conducir a valores no representativos de concentración de cloruros. Los valores de dióxido de azufre obtenidos por los métodos de deposición ( $P_d$ ) y volumetría ( $P_c$ ) son equivalentes para el propósito de la clasificación. La relación entre las medidas efectuadas con ambos métodos se puede expresar aproximadamente mediante la siguiente expresión:  $P_d = 0,8 \cdot P_c$ . Para los propósitos de esta norma, la velocidad de deposición de dióxido de azufre y la concentración son calculadas a partir de medidas continuas durante al menos un año y se expresan como medio anual. El resultado de medidas de cortos periodos de tiempo puede diferir considerablemente de las de largo periodo. Ambos resultados sólo servirán como guía. Cualquier concentración de dióxido de azufre dentro de la categoría  $P_0$  es considerada la concentración de fondo y es insignificante desde el punto de vista del ataque corrosivo. La contaminación por dióxido de azufre dentro de la categoría  $P_3$  es considerada extrema y es típica de microclimas operacionales más allá del alcance de esta norma.

### **5.5.2.- Categorías de cloruros.-**

La clasificación de la contaminación por cloruros está referida a atmósferas externas, las cuáles son contaminadas por acción de la salinidad en el aire en ambientes marinos, y en función de la concentración de dicho contaminante se le asigna una categoría S. La clasificación se da en la tabla 5.3.

La norma indica que la clasificación de la salinidad del ambiente ha de hacerse de acuerdo con la norma ISO 9225 la cual nos indica que la determinación de los cloruros ha de hacerse en base al método de la candela húmeda. Los resultados obtenidos por la aplicación de otros métodos para la determinación del contenido en sal en la atmósfera no son siempre directamente comparables y convertibles. En nuestro caso hemos seguido esa norma, por lo que no hay problemas de representatividad de los resultados para la asignación de la categoría

de corrosividad. Para los propósitos de la norma, la velocidad de deposición de cloruros se expresa como media anual. Los resultados de las medidas a corto espacio de tiempo son muy variables y dependen fuertemente de los efectos del tiempo. Cualquier velocidad de deposición dentro de la categoría  $S_0$  se toma como la concentración base y es insignificante desde el punto de vista del ataque corrosivo.

Velocidad de deposición de cloruros ( $Cl^-$ ) mg/(m <sup>2</sup> ·día)	Categoría
$S_d \leq 3$	$S_1$
$3 < S_d \leq 60$	$S_2$
$60 \leq S_d \leq 300$	$S_3$
$300 \leq S_d \leq 500$	$S_4$

**Tabla 5.3.-** Clasificación de la contaminación por salinidad en el aire representada por los cloruros.

### 5.6- Categorías de corrosividad de la atmósfera.-

La corrosividad de la atmósfera está dividida en cinco categorías, según se muestra en la tabla 5.4:

Categorías de Corrosividad	
C1	Muy baja
C2	Baja
C3	Media
C4	Alta
C5	Muy alta

**Tabla 5.4.-** Categorías de corrosividad de la atmósfera.

Esta escala es válida tanto para los resultados obtenidos por pérdida de peso como los obtenidos a partir de los datos medioambientales, tal y como se describe a continuación.

**5.7.- Clasificación de la corrosividad basada en medidas de velocidad de corrosión de especímenes estándares.-**

Una de las alternativas para obtener la categoría o índice de corrosividad de un lugar determinado es utilizar los datos de pérdidas de peso de especímenes estándar del metal a estudiar expresados como velocidad de corrosión en  $g/(m^2 \cdot a)$  en  $\mu m/año$ . En la tabla 5.5 se muestran los valores numéricos correspondientes a la velocidad de corrosión durante el primer año para el cobre para cada una de las categorías de corrosividad, aunque en la norma también nos encontramos con los datos correspondientes al cinc, acero al carbono y aluminio. Los valores no pueden ser extrapolados para la predicción a largo tiempo sobre el comportamiento de la corrosión.

Categorías de corrosividad	Velocidad de corrosión de los metales ( $r_{corr}$ )	
	Unidades	cobre
C1	$g/(m^2 \cdot a)$ $\mu m/año$	$r_{corr} \leq 0,9$ $r_{corr} \leq 0,1$
C2	$g/(m^2 \cdot a)$ $\mu m/año$	$0,9 < r_{corr} \leq 5$ $0,1 < r_{corr} \leq 0,6$
C3	$g/(m^2 \cdot a)$ $\mu m/año$	$5 < r_{corr} \leq 12$ $0,6 < r_{corr} \leq 1,3$
C4	$g/(m^2 \cdot a)$ $\mu m/año$	$12 < r_{corr} \leq 25$ $1,3 < r_{corr} \leq 2,8$
C5	$g/(m^2 \cdot a)$ $\mu m/año$	$25 < r_{corr} \leq 50$ $2,8 < r_{corr} \leq 5,6$

**Tabla 5.5.-** Velocidades de corrosión ( $r_{corr}$ ) para el primer año de exposición del cobre para las diferentes categorías de corrosividad.

Las velocidades de corrosión del cobre, expresadas en gramos por metro cuadrado y año [ $g/(m^2 \cdot a)$ ] han sido recalculadas en micrómetros por año ( $\mu m/a$ ), teniendo en cuenta que la densidad del metal en nuestro caso es de  $8,96 g/cm^3$ .

Las velocidades de corrosión que se exceden sobre los valores máximos de la categoría C5 representan medios fuera del alcance de esta norma.

**5.8.- Clasificación de la corrosividad en base a los datos medioambientales.-**

La segunda alternativa propuesta en la norma consiste en tener en cuenta, además de la pérdida de peso, diversos parámetros medioambientales como son el nivel de contaminantes y el tiempo de humectación.

En la tabla 5.6 se establece la relación entre las categorías de corrosividad y los distintos factores anteriormente descritos. En el caso de la categoría del tiempo de humectación  $\tau_1$ , la categoría de corrosividad es siempre 1, excepto en atmósferas internas altamente contaminadas.

Cobre															
	$\tau_1$			$\tau_2$			$\tau_3$			$\tau_4$			$\tau_5$		
	$S_0 - S_1$	$S_2$	$S_3$												
$P_0 - P_1$	1	1	1 ó 2	1	2	3 ó 4	2 ó 3	3 ó 4	4	3	4	5	3 ó 4	5	5
$P_2$	1	1	1 ó 2	1 ó 2	2 ó 3	3 ó 4	3 ó 4	3 ó 4	4 ó 5	4	4	5	4 ó 5	5	5
$P_3$	1 ó 2	1 ó 2	2	2	3	4	4	4 ó 5	5	5	5	5	5	5	5

**Tabla 5.6.-** Categorías de corrosividad estimadas de la atmósfera.

Los índices  $\tau$ , S y P tiene el significado antes descritos. La corrosividad es expresada como la parte numérica del código de categoría de corrosividad (por ejemplo: 1 en lugar de C1).

Como se puede apreciar, esta clasificación es más ambigua que la anterior, debido a

que existen casos en los que no está claramente definida la categoría de corrosividad. Así, por ejemplo, si tenemos una categoría de  $SO_2 P_o$ , una categoría de  $Cl^- S_2$  y una categoría de tiempo de humectación de  $\tau_3$ , la categoría de corrosividad puede ser C3 ó C4, es decir, no se concreta en un solo valor, sino que se da la opción de escoger en función de un análisis detallado del caso en estudio.

Esto es lógico debido a la complicada relación existente entre las variables medioambientales y el proceso corrosivo.

Se ha optado por presentar los mapas correspondientes a las categorías de corrosividad obtenidas a partir de la clasificación basada en medidas de velocidad de corrosión de especímenes estándares. Los datos medioambientales del primer año y de los restantes del estudio se consideran en los modelos matemáticos, y se hace una discusión detallada de los mismos y su relación con el proceso corrosivo. A partir de la clasificación obtenida se han agrupado las estaciones con igual índice de corrosividad para efectuar la modelación matemática.

### 5.9.- Categorías de corrosividad obtenidas.-

Las categorías de corrosividad obtenidas para las distintas estaciones a partir de los datos medioambientales registrados en el primer año del estudio y su clasificación. Se detallan en las tablas 5.7, 5.8 y 5.9:

Estación	Datos de velocidad del 1 <sup>er</sup> año		Categoría de Corrosividad	
	g/(m <sup>2</sup> ·año)	µm/año	Pérdida de peso	Parámetros medioambientales
1	51	6,15	C5	C3 o C4
2	55	6,63	C5	C3
3	84	10,25	C5	C5
4	45	5,45	C5	C3
5	54	6,55	C5	C3
6	36	4,34	C5	C3

**Tabla 5.7.-** Categorías de corrosividad obtenidas para las estaciones de la isla de Fuerteventura.

Estación	Datos de velocidad del 1 <sup>er</sup> año		Categoría de Corrosividad	
	g/(m <sup>2</sup> ·año)	μm/año	Pérdida de peso	Parámetros medioambientales
7	32	3,93	C5	C3
8	50	6,13	C5	C3
9	52	6,38	C5	C3
10	40	4,81	C5	C3
11	50	6,07	C5	C3
12	45	5,50	C5	C3

**Tabla 5.8.-** Categorías de corrosividad obtenidos para las estaciones de corrosión de la isla de Lanzarote.

Estación	Datos de velocidad del 1 <sup>er</sup> año		Categoría de Corrosividad	
	g/(m <sup>2</sup> ·año)	μm/año	Pérdida de peso	Parámetros medioambientales
13	76	9,21	C5	C4
14	15	1,82	C4	C3
15	65	7,88	C5	C3
16	5	0,60	C2	C3
17	26	3,22	C5	C3
18	55	6,63	C5	C3
19	37	4,56	C5	C3
20	21	2,53	C4	C3
21	47	5,69	C5	C3
22	155	18,88	C5	C5
23	33	3,98	C5	C3
24	29	3,54	C5	C3
25	63	7,69	C5	C3
26	2	0,25	C2	C3
27	7	0,85	C3	C3
28	82	10,01	C5	C3
29	36	4,34	C5	C3
30	24	2,94	C5	C3
31	36	4,38	C5	C3
32	18	2,15	C4	C3
33	21	2,57	C4	C3
34	39	4,79	C5	C3
35	4	0,51	C2	C3
36	24	2,91	C5	C3

37	27	3,27	C5	C3
38	72	8,76	C5	C3
39	15	0,70	C4	C4

**Tabla 5.9.-** Categorías de corrosividad obtenidos para las estaciones de corrosión de la isla de Gran Canaria.

### **5.10.- Mapas de corrosividad atmosférica para el cobre en la provincia de Las Palmas.-**

A continuación se muestran los mapas de corrosividad para cada una de las tres principales islas de la provincia de Las Palmas, según los resultados obtenidos al aplicar la norma ISO 9223 a partir de los índices de corrosividad basados en medidas de velocidad de corrosión.

En las leyendas se observa el código de colores utilizado para representar los diferentes niveles de corrosividad establecidos por la norma.

5.10.1.- Isla de Fuerteventura.-

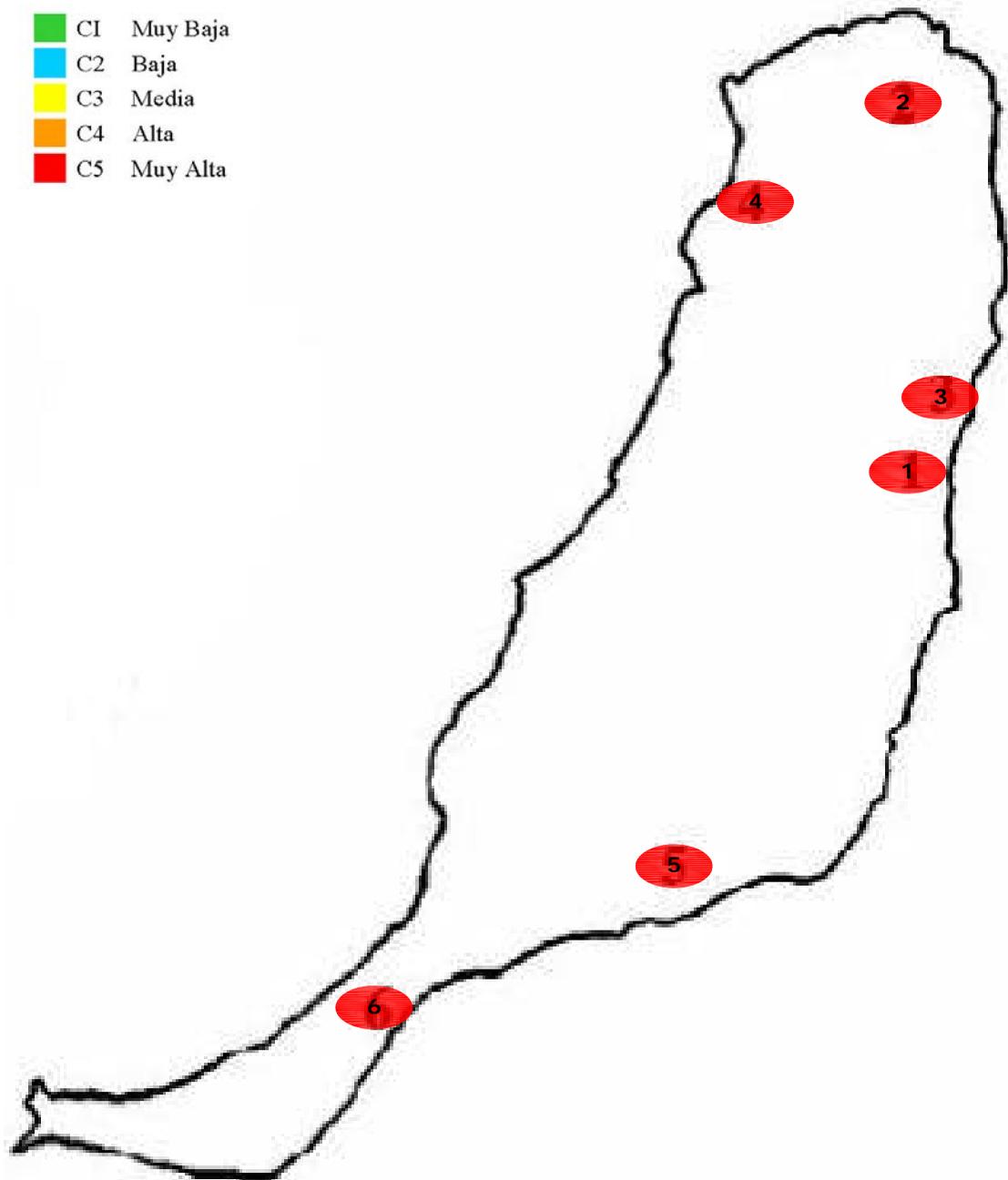


Figura 5.2.- Mapa de corrosividad correspondiente a la isla de Fuerteventura.

5.10.2.- Isla de Lanzarote.-

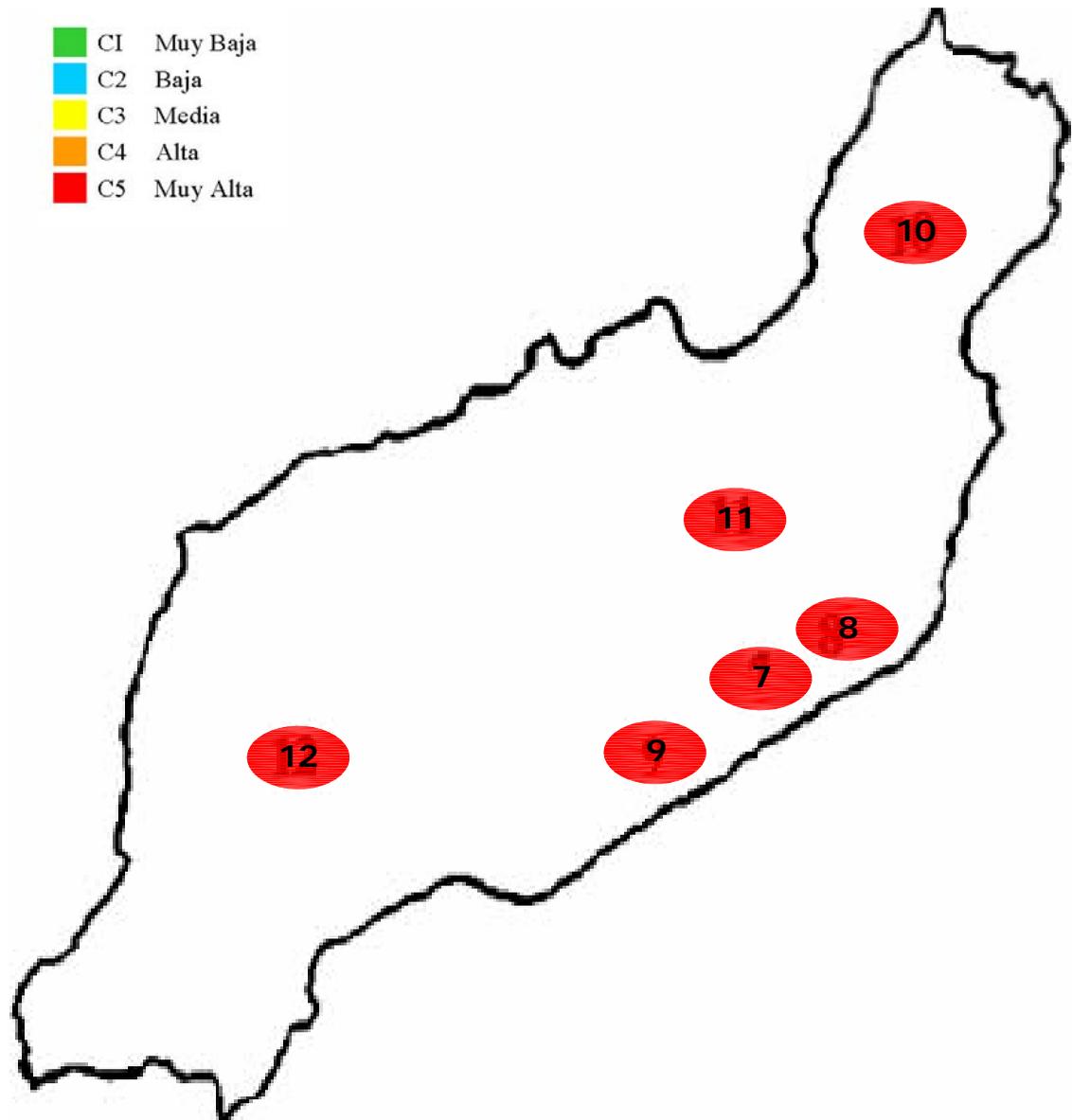


Figura 5.3.- Mapa de corrosividad correspondiente a la isla de Lanzarote.

5.10.3.- Isla de Gran Canaria.-

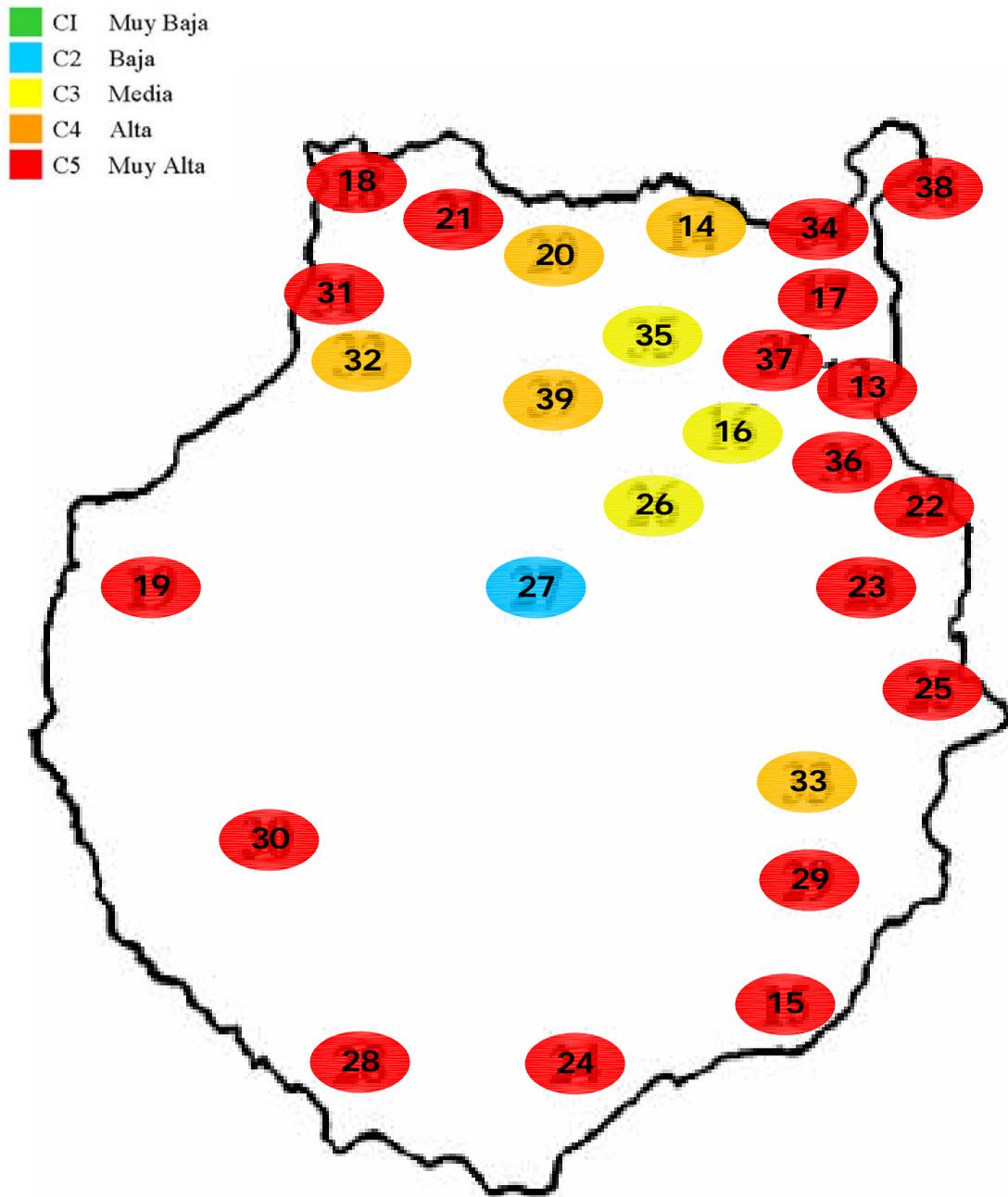


Figura 5.4.- Mapa de corrosividad correspondiente a la isla de Gran Canaria

# Capítulo 6

## Modelación Matemática de la Velocidad de Corrosión del Cobre

---

### 6.- MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL COBRE.

#### 6.1.- Ley Potencial.

##### *6.1.1.- Modelación por categorías de corrosividad.*

#### 6.2.- Modelo propuesto.

##### *6.2.1.- Modelación por categorías de corrosividad.*

#### 6.3.- Análisis de ajuste de los modelos estudiados.

##### *6.3.1.- Ley Potencial.*

##### *6.3.1.1.- Análisis de ajuste por categorías de corrosividad.*

##### *6.3.2.- Modelo propuesto.*

#### 6.4.- Análisis de los residuos.

## 6.- MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL COBRE.-

### 6.1.- Ley potencial.-

Los modelos para predecir el daño por corrosión de los metales en la atmósfera son de gran utilidad. En el plano industrial, sirven para conocer la durabilidad de las estructuras metálicas permitiendo determinar los costes económicos asociados a la degradación de los materiales. En el plano académico, son útiles para conocer el efecto de las variables ambientales y de contaminación en la cinética del proceso corrosivo, etc.

Fue Passano (1969) [126] quien utilizó por primera vez una relación lineal entre la pérdida de peso, experimentada por el metal en su oxidación, y su tiempo de exposición, a través de la relación entre sus logaritmos, para expresar los datos de corrosión atmosférica del acero. Más tarde fueron muchos los investigadores que corroboraron la validez de esta ley para distintos metales. Hoy en día está aceptada como la función estándar desde el punto de vista de predicción del comportamiento de metales ante la corrosión a largo plazo.

Se observa que las curvas de corrosión en función del tiempo siguen una ley potencial del tipo:

$$C = A \cdot t^n \quad (6.1)$$

donde:

C = corrosión al cabo de t años de exposición, expresado en micras,

A = valor de la corrosión al cabo del primer año de exposición,

n = variable que tiene que ver con el metal, la atmósfera y las condiciones de exposición y que, normalmente, es menor que 1 debido al papel protector que pueden jugar los productos de corrosión formados.

Será necesario, entonces, determinar  $n$  y  $A$  para poder predecir la corrosión al cabo de  $t$  años.

Son, sin embargo, numerosas las ecuaciones que se encuentran en la bibliografía para todo tipo de materiales y en diversos medioambientes que, además del tiempo, introducen como variables a considerar la temperatura, la humedad relativa, el tiempo de humectación y, en general, aquellos parámetros de mayor influencia en el proceso corrosivo.

Adicionalmente, existen referencias bibliográficas que relacionan  $n$  con variables medioambientales. Entre ellas, se citan los estudios de Bragard y Bon-narerts, en el año 1982 [127], quienes relacionan en su trabajo, para sustratos de acero estructurales y aceros patinables, el valor de  $n$  con:

- el tiempo durante el cual la humedad relativa excede el 80% (TDH),
- el valor de corrosión al cabo del primer año de exposición,  $A$ .

A la ley potencial se la denomina en la bibliografía especializada como ley doble logarítmica, cuando se expresa en la forma:

$$\log C = \log A + n \cdot \log t \quad (6.2)$$

Inicialmente se han utilizado los datos de corrosión y parámetros medioambientales obtenidos del estudio realizado para corroborar el buen comportamiento de la ley bilogarítmica, para posteriormente considerar otro modelo que pueda ajustarse mejor a la realidad con la que nos encontramos y que tenga en cuenta los factores ambientales que más afectan a la corrosión en el territorio objeto del estudio.

En la bibliografía se recoge una metodología de trabajo que sugiere la validación de los modelos lineales a través del coeficiente de correlación ( $R$ ). Específicamente, en el tema de la validación del modelo doble logarítmico aplicado al proceso corrosivo, los valores del coeficiente de correlación (calculados a partir de los valores promedios de las probetas de cada serie experimental), sugieren la adopción de este modelo para la estimación de la corrosión para largos períodos.

A continuación se muestran en las tablas 6.1, 6.2 y 6.3 los resultados obtenidos de la regresión y los coeficientes de correlación (R) correspondientes a cada estación de medida expresados a través del coeficiente de determinación ( $R^2$ ). En el anexo I se muestran los datos experimentales utilizados para la modelación y en el anexo III los análisis efectuados para todas las estaciones y las gráficas de regresión correspondientes.

Estación	log C = log A + n · log t		R <sup>2</sup>
	log A	n	
1	0,7442	0,5136	0,9326
2	0,8018	0,7567	0,9902
3	0,9845	0,6057	0,9346
4	0,7438	0,619	0,7077
5	0,7746	0,8657	0,9761
6	0,7127	0,5003	0,8221

**Tabla 6.1.-** Resultados de la regresión para la isla de Fuerteventura.

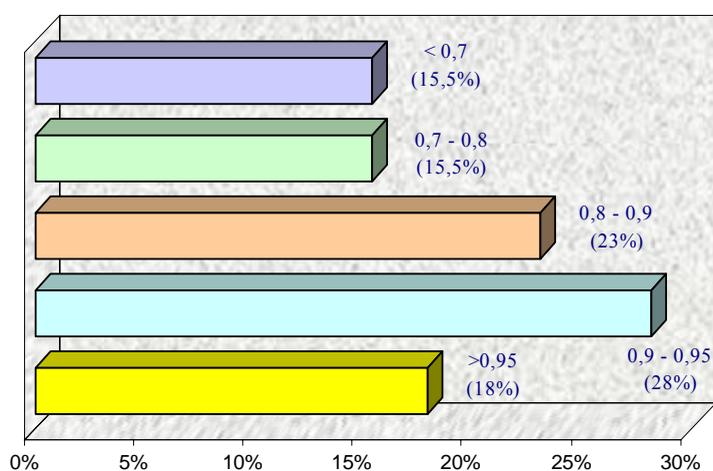
Estación	log C = log A + n · log t		R <sup>2</sup>
	log A	n	
7	0,5099	0,7827	0,4112
8	0,7755	0,8829	0,9536
9	0,8004	0,4944	0,9382
10	0,6781	0,7111	0,8935
11	0,7273	0,7426	0,9710
12	0,7012	0,7954	0,8682

**Tabla 6.2.-** Resultados de la regresión para la isla de Lanzarote.

Estación	log C = log A + n · log t		R <sup>2</sup>
	log A	n	
13	0,9241	0,6933	0,9683
14	0,0701	0,857	0,7964
15	0,8605	0,2941	0,8888
16	0,3393	0,8738	0,8024
17	0,3784	0,9773	0,8942
18	0,7117	0,8364	0,9416
19	0,486	0,767	0,5603
20	0,1955	0,5723	0,7896
21	0,644	0,8264	0,9217
22	1,2419	0,6058	0,9896
23	0,4981	0,7743	0,9387
24	0,441	0,7155	0,8857
25	0,7792	0,4375	0,7231
26	1,0025	1,299	0,8522
27	0,0213	0,1978	0,1763
28	0,9488	0,8822	0,9818
29	0,5395	0,4129	0,9358
30	0,401	0,3047	0,8266
31	0,5524	0,7504	0,9481
32	0,2163	0,3519	0,9214
33	0,2875	0,8212	0,9121
34	0,5265	0,9912	0,9225
35	0,0259	0,4479	0,6469
36	0,2634	0,6598	0,7687
37	0,4067	0,4735	0,5397
38	0,8078	0,5173	0,7938
39	0,0223	0,3033	0,6231

**Tabla 6.3.-** Resultados de la regresión para la isla de Gran Canaria.

De las regresiones lineales realizadas con los datos de cada una de las 39 estaciones se observa que en 18 (un 46% de las estaciones) se obtiene un valor de  $R^2$  superior a 0,9, estando en 7 de ellas por encima de 0,95. Son sólo 9 las estaciones con un índice de regresión entre 0,8 y 0,9, 6 entre 0,7 y 0,8 y las restantes 6 con un  $R^2$  inferior a 0,7, como se puede observar en la figura 6.1. Se deduce, por tanto, que las estaciones, en general, se ajustan en buena medida a la ley bilogarítmica.



**Figura 6.1.-** Distribución de los valores de  $R^2$  obtenidos con la Ley Potencial para cada estación de medida.

A primera vista se observa que existe una concordancia entre la evolución de la corrosión del cobre y el tiempo de exposición, verificándose que la ley bilogarítmica ajusta en buena medida a la hora de intentar correlacionar los datos de pérdida de peso con el tiempo de exposición, lo cual ya ha sido expuesto por otros autores.

### 6.1.1.- Modelación por categorías de corrosividad.-

Al objeto de comprobar el comportamiento estadístico de de la ley bilogarítmica para grupos de estaciones, se optó por agrupar las estaciones en función del índice de corrosividad obtenido según la velocidad de corrosión de especímenes estándar, así como el derivado de los parámetros ambientales. A continuación (tablas 6.4÷6.6) se muestra los resultados

obtenidos al modelar los datos de estos grupos así como los del conjunto de estaciones de la provincia de Las Palmas, observándose que el modelo de la ley bilogarítmica no ofrece buenos índices de regresión en ninguno de los casos.

log C = log A + n · log t					
Categoría (por perd. Peso)			Coefficient	Standard error	t-ratio
C3	constante	log A	-0,47242	0,14715	-3,21056
	Variable	n	0,87933	0,24248	3,62637
R <sup>2</sup> = 0,467 - n° de observaciones = 46					
C4	constante	log A	0,11296	0,05406	2,0897
	Variable	n	0,59863	0,10372	5,77186
R <sup>2</sup> = 0,637 - n° de observaciones = 62					
C5	constante	log A	0,70259	0,02642	26,59207
	Variable	n	0,65663	0,05315	12,3539
R <sup>2</sup> = 0,437 - n° de observaciones = 560					

**Tabla 6.4.-** Valores obtenidos al modelar con la ley bilogarítmica las estaciones agrupadas por categorías de corrosividad atendiendo a su pérdida de peso.

log C = log A + n · log t					
Categoría (por Parámetros)			Coefficient	Standard error	t-ratio
C3	constante	log A	0,51268	0,03737	13,71835
	Variable	n	0,61791	0,07374	8,37974
R <sup>2</sup> = 0,243 - n° de observaciones = 624					
C4	constante	log A	0,82863	0,04656	17,79703
	Variable	n	0,73075	0,10402	7,02502
R <sup>2</sup> = 0,832 - n° de observaciones = 32					
C5	constante	log A	1,11527	0,05192	21,48252
	Variable	n	0,59967	0,09924	6,04257
R <sup>2</sup> = 0,753 - n° de observaciones = 42					

**Tabla 6.5.-** Valores obtenidos al modelar con la ley bilogarítmica las estaciones agrupadas por categorías de corrosividad atendiendo a los parámetros ambientales.

log C = log A + n · log t					
Categoría			Coefficient	Standard error	t-ratio
TODAS	constante	log A	0,56239	0,03585	15,68551
	Variable	n	0,62069	0,07099	8,74318
R <sup>2</sup> = 0,238 - n° de observaciones = 698					

**Tabla 6.6.-** Valores obtenidos al modelar con la ley bilogarítmica el conjunto de las estaciones de la provincia de Las Palmas.

## 6.2.- Modelo propuesto.-

Aunque, en general, los resultados obtenidos aplicando la ley potencial podemos considerarlos como buenos, hay un apreciable conjunto de estaciones donde se observa un bajo índice de regresión. De un análisis minucioso de la bibliografía específica del tema se concluye que cuando tenemos en cuenta las variables medioambientales en la modelación se consiguen modelos mucho más exactos. Esto tiene lógica desde el punto de vista matemático, dado que ha medida que aumentamos el número de variables en una ecuación podemos conseguir mejores ajustes.

En este intento de correlacionar los valores de velocidad de corrosión con los índices de contaminantes se experimentó inicialmente con otros tres modelos matemáticos que incluían dicha incidencia de diferente manera, tal y como se puede observar en su formulación:

$$\ln C = k_1 + k_2 \cdot [\text{SO}_2] + k_3 \cdot [\text{Cl}^-] + k_4 \cdot \ln(\text{TDH}) + k_5 \cdot [\text{SO}_2] \cdot [\text{Cl}^-] + k_6 \cdot \ln(t) + k_7 \cdot [\text{SO}_2] \cdot \ln(t) + k_8 \cdot [\text{Cl}^-] \cdot \ln(t) + k_9 \cdot [\text{SO}_2] \cdot [\text{Cl}^-] \cdot \ln(t) + k_{10} \cdot (\text{TDH}) \cdot \ln(t)$$

$$\ln C = k_1 + k_2 \cdot [\text{SO}_2]^{-1} + k_3 \cdot [\text{Cl}^-]^{-1} + k_4 \cdot \ln[\text{Cl}^-] + k_5 \cdot \ln(\text{TDH}) + k_6 \cdot [\text{SO}_2] \cdot [\text{Cl}^-] \cdot \ln(t)$$

$$\ln C = k_1 + k_2 \cdot \ln[\text{SO}_2] + k_3 \cdot \ln[\text{Cl}^-] + k_4 \cdot [\text{Cl}^-] + k_5 \cdot \ln(\text{TDH}) + k_6 \cdot [\text{SO}_2] \cdot \ln(t) + k_7 \cdot (\text{TDH}) \cdot \ln(t)$$

Los resultados obtenidos de la modelación no arrojaron buenos resultados con lo que se descartó realizar estudios más profundos de validación.

El modelo ensayado en la presente tesis para la descripción matemática del proceso de corrosión del cobre es el siguiente:

$$C = A \cdot t^n \cdot 10^{\left[ b \cdot (Cl^-) + c \cdot (SO_2) + d \cdot (TDH) \right]} \quad (6.3)$$

donde:

C = corrosión al cabo de t años de exposición, expresado en micrómetro/año,

A = valor de la corrosión al cabo del primer año de exposición,

n = variable que tiene que ver con el metal, la atmósfera y las condiciones de exposición y que, normalmente, es menor que 1 debido al papel protector que pueden jugar los productos de corrosión formados.

SO<sub>2</sub> = concentración de dióxido de azufre en mg/(m<sup>2</sup>·día),

Cl<sup>-</sup> = concentración de cloruros en mg/(m<sup>2</sup>·día),

TDH = tiempo de humectación.

No se ha encontrado un modelo exactamente igual en la amplia revisión bibliográfica realizada sobre el estudio de la corrosión de este metal. A la hora de ensayar este modelo se han tenido en cuenta aquellos factores que más influyen en la corrosión atmosférica, y que son la concentración de contaminantes, el tiempo de humectación y el tiempo de exposición. Dada la importancia que ejerce la humedad en los procesos corrosivos hemos considerado que es necesario que en un modelo matemático que recoja la velocidad de corrosión del cobre en función de parámetros medioambientales contenga un término relacionado con la humedad relativa como lo es el tiempo de humectación.

Según Pourbaix, los parámetros A y n de la ecuación potencial se pueden relacionar con el tipo de material y los parámetros medioambientales [128]. En estos dos parámetros ya está recogido el efecto que los productos de corrosión ejercen sobre la velocidad de corrosión.

No obstante, se hace necesario intentar atribuir entre cada uno de estos factores su relativa importancia en el proceso.

Para realizar el ajuste mediante regresión múltiple se ha linealizado la ecuación tomando logaritmos decimales en ambos lados. Si operamos nos queda:

$$\log C = \log A + n \cdot \log t + a \cdot [\text{SO}_2] + b \cdot [\text{Cl}^-] + c \cdot [\text{TDH}] \quad (6.4)$$

En las siguientes tablas (tablas 6.7÷6.9) se muestran los resultados obtenidos para cada estación con el modelo anterior expresado de la siguiente forma:

$$\log C = a + b \cdot \log t + k_1 \cdot [\text{Cl}^-] + k_2 \cdot [\text{SO}_2] + k_3 \cdot [\text{TDH}] \quad (6.5)$$

log C = a + b · log t + k <sub>1</sub> · [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> · [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> · [TDH]									
Estación		a	b	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>	SD
1	coef	25,2718	21,9694	-0,76667	14,2693	-0,00113	0,9829	0,9732	0,0159
	t-ratio	4,9535	4,9602	-4,8213	4,9518	-4,8749			
	Prob t	0,00057	0,0005	0,0007	0,0005	0,0006			
2	coef	1,2356	0,5034	-0,0103	-0,3078	3,496E-05	0,9944	0,9834	0,0434
	t-ratio	4,22967	3,1862	-1,3275	-9,6235	0,0927			
	Prob t	0,00063	0,00151	0,17117	3,83E-08	9,808E-06			
3	coef	0,0107	1,1019	0,0049	0,1277	-2,32E-05	0,9999	0,99971	0,0045
	t-ratio	0,06601	11,9141	12,5334	9,46165	-4,12807			
	Prob t	0,7991	5,14E-09	1,092E-09	5,898E-08	0,0007			
4	coef	-0,3169	3,6988	0,0109	0,5095	-6,21E-04	0,9839	0,95171	0,0669
	t-ratio	-1,3119	6,05005	5,58457	2,68518	-4,73252			
	Prob t	0,21624	8,308E-05	0,00016	0,02121	0,00061			
5	coef	1,7695	1,2602	-0,0115	-0,1233	-0,000107	0,9983	0,99489	0,0257
	t-ratio	6,7945	5,10787	-4,02371	-4,00974	-1,69701			
	Prob t	4,3E-06	0,000105	0,000981	-0,00101	0,10905			
6	coef	-7,7E-05	2,72159	0,016906	0,444752	-0,00015	0,9164	0,9078	0,0159
	t-ratio	-0,0002	3,53037	2,543659	2,923104	-3,22785			
	Prob t	-0,7162	0,005443	0,02917	0,01521	0,009053			

**Tabla 6.7.-** Valores de los parámetros del modelo matemático ensayado, obtenidos para la isla de Fuerteventura.

log C = a + b · log t + k <sub>1</sub> · [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> · [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> · [TDH]									
Estación		a	b	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>	SD
7	coef	-1,34936	0,19497	0,05356	-0,10035	0,000102	0,7202	0,6911	0,0341
	t-ratio	-1,3657	0,9833	1,6694	0,8489	-0,0572			
	Prob t	0,3053	0,4291	0,2369	0,4853	0,9595			
8	coef	0,42088	0,6271	0,00850	-0,0200	1,898E-05	0,9792	0,9653	0,0469
	t-ratio	0,81404	0,88011	0,82113	-0,2031	0,46375			
	Prob t	0,4287	0,3918	0,4236	0,8415	0,6490			
9	coef	1,05403	-0,15734	-0,00499	-0,1908	4,639E-05	0,9661	0,9424	0,0514
	t-ratio	2,71965	-0,09802	-1,08794	-0,14609	0,20149			
	Prob t	0,02157	0,92384	0,30214	0,88674	0,84435			
10	coef	0,41148	1,463023	0,02932	-2,13942	-5,248E-05	0,9590	0,9358	0,0432
	t-ratio	2,32437	1,46593	1,93817	-2,87814	-0,610162			
	Prob t	0,03619	0,16204	0,07045	0,01092	0,550322			
11	coef	0,81064	0,67673	0,003194	-1,02132	1,965E-05	0,9710	0,9568	0,0297
	t-ratio	4,81669	1,11135	0,57201	-3,1069	0,34432			
	Prob t	0,00022	0,28391	0,57578	0,00721	0,73537			
12	coef	0,13701	0,77041	0,01957	-0,07995	3,586E-06	0,9611	0,9595	0,0718
	t-ratio	0,51477	4,12661	2,42195	-0,4938	0,46638			
	Prob t	0,6160	0,00140	0,03220	0,63029	0,64928			

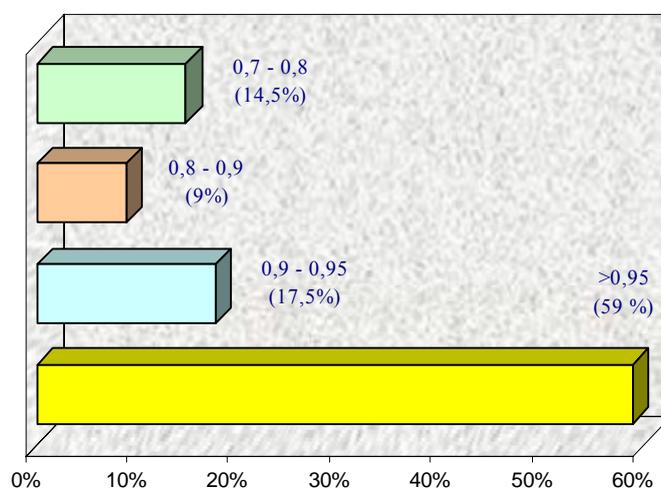
**Tabla 6.8.-** Valores de los parámetros del modelo matemático ensayado, obtenidos para la isla de Lanzarote.

log C = a + b · log t + k <sub>1</sub> · [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> · [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> · [TDH]									
Estación		a	b	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>	SD
13	coef	0,49002	0,62576	0,62576	0,03502	2,519E-06	0,9803	0,9739	0,0391
	t-ratio	2,9635	5,63007	0,00548	1,21858	1,02136			
	Prob t	0,1209	0,00011	0,9957	0,2684	0,32711			
14	coef	-0,02345	0,51178	0,00825	-0,45853	4,118E-05	0,7308	0,4192	0,3314
	t-ratio	-0,03342	1,39494	0,29109	-1,01989	1,269911			
	Prob t	0,97377	0,18334	0,77496	0,32394	0,2234			
15	coef	0,48661	0,46281	0,00113	0,01464	-1,270E-05	0,9471	0,9614	0,0259
	t-ratio	5,31041	7,56218	2,4650	3,2549	-2,0985			
	Prob t	7,03E-05	1,14E-06	0,02539	0,00496	0,0520			
17	coef	-3,91194	6,83878	0,43609	-3,73725	-6,963E-04	0,9874	0,9703	0,0517
	t-ratio	-4,34925	4,25411	4,45105	-4,3256	-3,49193			
	Prob t	0,0007	0,0009	0,0006	0,00082	0,003975			
18	coef	-1,32633	0,89785	0,03924	1,99556	2,019E-06	0,9858	0,95748	0,0742
	t-ratio	-3,4269	9,13223	4,9599	2,4769	0,3320			
	Prob t	0,0045	5,10E-07	0,0002	0,0277	0,7451			
19	coef	0,92662	0,934800	0,02680	-6,3776	1,036E-05	0,7118	0,6794	0,2560
	t-ratio	0,58026	1,84091	0,5686	-1,3801	0,2539			
	Prob t	0,56982	0,08425	0,57464	0,18653	0,80277			

20	coef	0,19473	0,64799	0,06785	-12,4457	3,152E-06	0,9088	0,8940	0,0864
	t-ratio	0,64180	3,73428	3,11285	-3,3319	0,44742			
	Prob t	0,56982	0,08425	0,57464	0,18653	0,80277			
21	coef	0,54321	0,76163	0,00858	-0,5758	8,819E-06	0,9789	0,9464	0,0555
	t-ratio	1,9955	6,72171	2,5611	-3,7097	1,86284			
	Prob t	0,00013	4,91E-06	0,0209	0,0019	0,0809			
22	coef	1,23843	0,71850	0,00015	-0,0079	-2,133E-06	0,9896	0,9682	0,0279
	t-ratio	22,6771	12,7552	0,7045	-0,4744	-2,2691			
	Prob t	1,36E-13	8,45E-10	0,4912	0,6415	0,0374			
23	coef	-0,13312	1,03044	0,02652	-0,0176	-1,137E-05	0,9750	0,9603	0,0557
	t-ratio	-0,5012	7,7772	4,25775	-0,5940	-2,1457			
	Prob t	0,6234	1,21E-06	0,00068	0,5613	0,0486			
24	coef	-0,74269	0,57706	0,01299	0,27895	1,481E-06	0,9613	0,9537	0,0560
	t-ratio	-2,1203	1,7722	1,61267	2,0853	0,6441			
	Prob t	0,0537	0,0997	0,1308	0,0573	0,5307			
25	coef	5,9727	-4,44327	-0,0663	-0,3378	7,093E-05	0,8285	0,8112	0,0632
	t-ratio	2,5555	-1,98116	-2,2602	-2,1114	1,92423			
	Prob t	0,02859	0,07572	0,04734	0,0608	0,08322			
26	coef	-10,9144	1,13611	0,16632	61,8200	-5,095E-05	0,9857	0,9723	0,1062
	t-ratio	-7,4985	3,81443	5,4381	7,0741	-4,6139			
	Prob t	6,93E-05	0,0051	0,0006	0,0001	0,0017			
28	coef	-0,61187	1,04225	0,04559	1,60985	-9,563E-06	0,9924	0,9983	0,0368
	t-ratio	-1,7271	15,3618	4,3637	3,4956	-1,78542			
	Prob t	0,1033	5,34E-11	0,00048	0,0029	0,0931			
30	coef	0,12586	0,5893	0,01263	-0,7466	-1,272E-05	0,8266	0,8130	0,0745
	t-ratio	0,3705	5,2086	3,6081	-0,6466	-1,9116			
	Prob t	0,71613	0,0001	0,00258	0,52764	0,0752			
31	coef	0,53437	0,80995	0,03934	-2,3208	6,699E-06	0,9481	0,9212	0,0839
	t-ratio	3,0725	4,9699	2,9990	-2,6902	0,3725			
	Prob t	0,00728	0,0001	0,0084	0,01609	0,71439			
32	coef	1,28909	-0,04996	-0,02184	-7,9629	1,975E-05	0,9214	0,8963	0,0596
	t-ratio	5,0875	-0,5653	-4,41034	-3,6037	4,39389			
	Prob t	0,0001	0,5797	0,0004	0,00238	0,00045			
33	coef	-0,25061	0,1234	-0,00024	0,36078	6,991E-05	0,9615	0,9148	0,0689
	t-ratio	-0,91134	0,27631	-0,03849	2,54403	1,6815			
	Prob t	0,38005	0,7870	0,9699	0,0257	0,11848			
34	coef	0,28986	0,81251	0,01188	0,02411	2,093E-05	0,9310	0,8592	0,1687
	t-ratio	0,4029	4,49386	0,3045	0,0814	0,4933			
	Prob t	0,7259	0,0003	0,7895	0,9424	0,6706			
36	coef	0,55613	-0,3708	-0,01239	0,00067	4,391E-05	0,8120	0,7691	0,1271
	t-ratio	0,5918	-0,2165	-1,0991	0,0105	0,6252			
	Prob t	0,5649	0,8322	0,2932	0,9917	0,5434			
37	coef	-1,2670	1,56458	0,05836	0,30419	-4,406E-05	0,7719	0,770	0,1566
	t-ratio	-1,5770	3,6889	2,5540	1,0482	-2,4595			
	Prob t	-2,3980	5,3328	3,4706	1,9289	-3,6033			
38	coef	0,63578	0,47552	-0,02636	0,09426	5,202E-06	0,7428	0,6845	0,1424
	t-ratio	1,6290	1,3447	-1,2627	2,1044	0,6251			
	Prob t	0,1259	0,2001	0,2268	0,0538	0,5419			

**Tabla 6.9.-** Valores de los parámetros del modelo matemático ensayado, obtenidos para la isla de Gran Canaria.

De los resultados obtenidos de la regresión lineal realizada de manera independiente para cada una de las 39 estaciones, y que se resume en la figura 6.2, observamos que para 30 de ellas (un 77 %) el coeficiente de determinación  $R^2$  es superior a 0,9, estando en 20 de las 30 por encima de 0,95. Obtenemos un valor entre 0,8 y 0,9 para 3 estaciones y sólo 6 tiene un valor inferior a 0,8. Observamos, por tanto, un modelo que reproduce mucho mejor que la ley potencial el comportamiento del proceso corrosivo en cada estación.



**Figura 6.2.-** Distribución de los valores de  $R^2$  obtenidos con el modelo matemático propuesto, para cada estación de medida.

### 6.2.2.- Modelación por categorías de corrosividad.-

Al realizar el mismo proceso de modelación para los agrupamientos de las estaciones con una misma categoría de corrosividad encontramos que con el modelo propuesto obtenemos un mejor ajuste que con la ley bilogarítmica, resultando valores de  $R^2$  mayores para cada una de las categorías  $C_3$ ,  $C_4$  y  $C_5$ , tanto por pérdida de peso como según parámetros ambientales. Estos resultados se muestran a continuación en las tablas 6.10 y 6.11.

El análisis del conjunto de las estaciones de la provincia de Las Palmas usando este modelo (tabla 6.12) no aporta mejora significativa en los índices de regresión.

log C = a + b · log t + k <sub>1</sub> · [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> · [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> · [TDH]									
Categoría (perd. peso)		a	b	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>	SD
C3 46 obs	coef	0,73159	0,37784	-0,11412	2,07561	8,724E-06	0,58231	0,44308	0,3978
	t-ratio	0,8564	0,7071	-1,5961	1,7250	0,4871			
	Prob t	0,4085	0,4929	0,1364	0,1101	0,6349			
C4 62 obs	coef	0,28102	0,76035	-0,00162	-0,31979	-1,43E-05	0,69899	0,62373	0,1850
	t-ratio	1,4648	5,39511	-0,174261	-2,58836	-1,74986			
	Prob t	0,6720	<0.0001	0,86227	0,01221	0,08552			
C5 560 obs	coef	0,6517	0,62899	0,000877	-0,0076	2,539E-06	0,63221	0,52257	0,2680
	t-ratio	22,8362	18,8759	11,60287	-2,49554	1,067813			
	Prob t	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0,012865	0,28606			

**Tabla 6.10.-** Valores obtenidos del análisis con el modelo propuesto del comportamiento del cobre en las estaciones de medida, agrupadas por categorías según pérdida de peso.

log C = a + b · log t + k <sub>1</sub> · [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> · [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> · [TDH]									
Categoría (parámetros)		a	b	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>	SD
C3 624 obs	coef	0,33548	0,78535	0,00524	-6E-05	-8,49E-06	0,34881	0,33675	0,4029
	t-ratio	6,0795	14,4684	8,8956	-0,05388	-4,57920			
	Prob t	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0,9943	5,644E-06			
C4 32 obs	coef	0,67767	0,34829	-0,00067	0,0286	1,051E-05	0,98825	0,98153	0,0413
	t-ratio	24,9261	3,7060	-0,9596	3,2242	4,0048			
	Prob t	<0.0001	0,0075	0,3691	0,0145	0,0051			
C5 42 obs	coef	1,02366	0,70095	0,000765	-0,0361	-6,67E-07	0,94735	0,92394	0,0783
	t-ratio	10,1706	21,88316	2,60885	-0,9104	-7,88993			
	Prob t	<0.0001	<0.0001	0,01303	0,3863	<0.0001			

**Tabla 6.11.-** Valores obtenidos del análisis con el modelo propuesto del comportamiento del cobre en las estaciones de medida, agrupadas por categorías según parámetros ambientales.

log C = a + b · log t + k <sub>1</sub> · [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> · [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> · [TDH]				
Variable	Coefficient	Standard Error	t-ratio	Prob t
a	0,33548	0,05518	6,07958	8,673E-73
b	0,78535	0,11144	7,0472	2,581E-39
k <sub>1</sub>	0,00524	0,00107	8,77968	1,272 E-17
k <sub>2</sub>	-5,61772·10 <sup>-5</sup>	0,00793	3,24798	0,001218
k <sub>3</sub>	-8,49086·10 <sup>-6</sup>	-5.98641·10 <sup>-6</sup>	-3,71770	0,000217
R <sup>2</sup> = 0.347 - n° de observaciones = 698				

**Tabla 6.12.-** Valores obtenidos al modelar el comportamiento del cobre en el conjunto de las estaciones de la provincia de Las Palmas con el modelo propuesto.

### 6.3.- Análisis de ajuste de los modelos estudiados.-

Cómo se sabe, el coeficiente de correlación, R, es:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

donde los  $x_i$  son los valores de la variable independiente, los  $y_i$  son los de la variable dependiente y  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  son los promedios respectivos. Geométricamente, esto es igual al coseno del ángulo que forman los vectores:

$$u = (x_1 - \bar{x}, x_2 - \bar{x}, \dots, x_n - \bar{x}),$$

$$v = (y_1 - \bar{y}, y_2 - \bar{y}, \dots, y_n - \bar{y}).$$

Si todos los puntos están perfectamente alineados, estos dos vectores son colineales y, en ese caso, R, sería  $\pm 1$  [129]. Por continuidad de las funciones involucradas, si los puntos están "casi" alineados, el valor absoluto de R será próximo a la unidad. Esto proporciona un

criterio geométrico que, combinado con la idea de continuidad, permitiría establecer un criterio analítico de la cercanía de los puntos al modelo propuesto, pero no aportaría ningún criterio estadístico. En efecto, este método no proporciona un intervalo de confianza, ni tampoco un test de hipótesis, que permita comprobar el ajuste o no de un modelo. Para ello hemos utilizado el test de falta de ajuste (test de LOF) [130].

Intuitivamente, dicho test compara las dispersiones propias de los datos (para esto es necesario disponer de réplicas verdaderas) con la dispersión de los datos promediados con respecto a los valores que el modelo predice. Formalmente, la primera de estas dos dispersiones se determina con lo que se llama el Cuadrado Medio de Error Puro ( $CM_{pe}$ ), mientras que la segunda dispersión se calcula con el Cuadrado Medio de Falta de Ajuste ( $CM_{LOF}$ ). El cociente de los dos cuadrados medios mencionados proporciona un estadístico  $F_{LOF}$  que se compara contra un valor crítico que se obtiene de la tabla F de Fisher [131].

De todo lo anterior surge claramente que el empleo de los valores promedios no permite estimar el error puro, pero más allá de la dificultad técnica hay un hecho conceptual y es que no podemos decir que un modelo ajusta o no sin comparar su eventual falta de ajuste contra los errores propios del método. Por ejemplo, si el error puro fuera muy grande, prácticamente cualquier modelo ajustaría independientemente del valor del coeficiente de correlación.

El análisis de las distribuciones residuales resulta fundamental al momento de validar el modelo estudiado cuando se utiliza el test de LOF. Prácticamente todos los tests y métodos estadísticos parten de ciertas hipótesis sobre los residuos. En general, estos deben ser independientes e idénticamente distribuidos, con distribución normal, de media cero y varianza  $\sigma^2$ . Por todo lo anterior, resulta imprescindible, en la medida que el tamaño muestral lo permita, verificar la idoneidad del método seleccionado. Esto, a su vez, implica comprobar normalidad, constatar que no se produzcan rachas (es decir, incumplimiento de la hipótesis de independencia o falta de aleatoriedad en el proceso) y estudiar eventuales desviaciones en la posición (media no nula) y en la dispersión (varianzas no homogéneas) [132].

La no-homogeneidad de las varianzas resulta un problema más grave que la situación correspondiente a un valor de la media diferente de cero. Esto, se debe a que el análisis de varianza trabaja, esencialmente, con estimaciones de las dispersiones y la posición en sí, no es relevante.

En cuanto a los problemas de falta de normalidad, éstos pueden ser de distinto tipo: asimetría en la distribución, descentrado, valores inusitados o varias de estas situaciones, simultáneamente. En general, las pruebas de hipótesis basadas en cocientes de cuadrados medios (como la prueba F se utiliza en el test de LOF), son bastante robustas frente a estos inconvenientes, obviamente, a excepción de los valores inusitados (*outliers*), que deben ser estudiados individualmente para detectar posibles errores sistemáticos. Usualmente, las desviaciones de la normalidad hacen que, tanto el nivel de significación verdadero como la potencia, difieran ligeramente de los valores que se especifican, siendo generalmente, la potencia menor.

En referencia a los valores inusitados cabe recordar que, entre la media menos dos desvíos estándar y la media más dos desvíos estándar, deberían encontrarse, aproximadamente, el 95 % de los residuos y, si se amplía a más/menos tres desvíos estándar, prácticamente, todos los residuos deberían estar incluidos. Por lo tanto, cualquier residuo que no pertenezca al mencionado intervalo, deberá ser considerado como un outlier y analizarse separadamente.

Teniendo en cuenta que los estudios de cinética se realizaron empleando tres réplicas por cada serie experimental, no tendría sentido realizar una comprobación de normalidad en cada serie de, sólo, tres datos. En lugar de esto, se analizó la normalidad del total de los residuos (veintiuna observaciones para la mayoría de las estaciones).

Por otra parte, desviaciones moderadas de la normalidad no tienen mucha importancia en las pruebas basadas en el análisis de varianza. Como señalan algunos autores, el análisis de varianza es robusto ante la suposición de normalidad dado que la prueba F se ve muy poco afectada.

Por el mismo motivo (el pequeño número de réplicas), no se comprobó la hipótesis de homogeneidad de varianzas. Cabe destacar que, la falta de homogeneidad de varianzas, si las mismas no siguen un patrón definido, tampoco sería un problema grave. En cambio, una varianza que aumenta o disminuye progresivamente constituye un problema potencial serio.

Dado que sólo se cuenta con tres réplicas, cantidad que resulta insuficiente para la aplicación de tests estadísticos (identificación de rachas, correlación de rangos, homogeneidad de varianzas, etc.) se opta por una inspección gráfica de los residuos. Según lo anterior, se concentrará la atención en los dos aspectos fundamentales:

- Existencia de rachas en los residuos: eventual indicio de que la suposición de independencia de los mismos ha sido violada.
- Residuos inusitados (outliers).

Sobre la posibilidad de que no se verifiquen las hipótesis de normalidad de residuos, cabe señalar que, si bien existen otras técnicas de contraste no paramétricas, la aplicabilidad de las mismas estaría limitada por la poca cantidad de datos experimentales disponibles, ya que la mayoría de las pruebas no paramétricas [133] se basan en resultados asintóticos (como el Teorema del Límite Central), por lo que requieren un elevado tamaño de la muestra para llevarlos a cabo correctamente.

### **6.3.1.- Ley Potencial.-**

Aplicamos el Test de LOF con los datos obtenidos en la estaciones para el modelo matemático de la ley potencial (tabla 6.13), observándose que, en ninguna de las estaciones, la relación entre los cuadrados medios del error puro y el de falta de ajuste con el modelo ( $F_{LOF}$ ) es inferior al valor crítico de F, para un nivel de confianza del 95%, con lo que podemos rechazar la hipótesis nula, esto es, que el modelo matemático ajusta con los datos experimentales de la estación.

Cabe destacar que para un nivel de confianza de 0.01 (inferior al recomendado para la obtención de resultados estadísticamente asumibles) en dos estaciones se obtuvo un valor de  $F_{LOF}$  inferior al crítico. Se trata de las estaciones 22 y 25. En el anexo III se muestra el análisis estadístico completo de cada estación.

Estación	$CM_{pe}$	$CM_{LOF}$	$F$	Valor crítico de $F$
1	0,000415261	0,014737544	35,4898018	4,747225336
2	0,000495334	0,137609542	277,811568	4,413873405
3	0,000347064	0,078780841	226,992457	4,413873405
4	0,000528667	0,254181386	480,796343	4,667192714
5	0,001257198	0,038913233	30,9523426	4,413873405
6	0,002101704	0,028465726	13,5441166	4,747225336
7	0,017832008	0,236364039	13,2550432	4,747225336
8	0,000353144	0,111920195	316,924755	4,413873405
9	0,00077693	0,007676509	9,88057109	4,747225336
10	0,002815571	0,152286341	54,0872043	4,413873405
11	0,002868139	0,165206076	57,6004328	4,451321691
12	0,001125307	5,240386535	4656,84898	4,451321691
13	0,00142952	0,021852871	15,2868572	4,543077123
14	0,002693247	0,810129778	300,800387	4,493998418
15	0,000733136	0,02331686	31,8042969	4,413873405
16	0,003967854	0,352084911	88,7343472	5,117355008
17	0,001230809	0,200268196	162,712681	4,543077123
18	0,000515206	0,126010477	244,582778	4,543077123
19	0,002261084	1,559820393	689,855164	4,413873405
20	0,001285344	0,050828652	258,122271	4,413873405
21	0,000433421	0,17641488	407,028622	4,413873405
22	0,000653528	0,005229443	8,00186093	4,413873405
23	0,00195237	0,084773894	43,4210256	4,451321691
24	0,002076335	0,089864237	43,2802177	4,543077123
25	0,003331486	0,02457173	7,375607	4,747225336
26	0,009029369	1,073960357	118,940805	4,964602701
27	0,047633253	0,0636059	1,33532555	4,747225336
28	0,001138934	0,030251163	26,5609557	4,413873405
29	0,000930297	0,045877146	49,3145172	5,117355008
30	0,004565953	0,091248027	19,9844426	4,451321691
31	0,001634862	0,190885816	116,759597	4,413873405

32	0,001187153	0,090699451	76,4007833	4,413873405
33	0,001906881	0,103699035	54,3814854	4,600109908
34	0,004770453	0,201530342	42,2455387	4,413873405
35	0,121076988	2,17397781	17,9553344	5,591447848
36	0,011088501	0,089502823	15,8557885	4,600109908
37	0,021767948	0,046433112	29,3986432	4,413873405
38	0,021206901	0,014885104	32,3539721	4,493998418
39	0,018529487	0,02718812	1,46728943	5,987377584

**Tabla 6.13.-** Valores obtenidos del Test de LOF para cada estación utilizando como modelo matemático la ley potencial, con un nivel de confianza de 0,05.

### 6.3.1.1.- Análisis de ajuste por categorías de corrosividad.-

Se ha realizado el test de LOF para el conjunto de estaciones agrupadas bajo una misma categoría de corrosividad y para la totalidad de estaciones utilizando la ecuación de la ley potencial, encontrándose, como era previsible, un valor de F muy superior al crítico a partir del cual rechazamos la hipótesis nula, esto es, que el modelo ajusta a los datos obtenidos. En la tabla 6.14 se muestran los valores obtenidos por categorías y en la tabla 6.15 los correspondientes a la totalidad de las estaciones y en el anexo III los resúmenes de estos análisis.

Categoría (pérdida peso)	n° muestras	$CM_{pe}$	$CM_{LOF}$	F	Valor crítico de F
C4	62	0,007221644	2,282138944	316,013756	4,003982435
C5	560	0,003644115	33,82508784	9282,1119	3,858207445
Categoría (param. atm)	n° muestras	$CM_{pe}$	$CM_{LOF}$	F	Valor crítico de F
C3	624	0,005187476	104,190587	20085,02446	3,856476294
C4	34	0,000911239	1,158878442	1271,76082	4,182964162
C5	42	0,000461812	0,843262876	1825,988402	4,091278482

**Tabla 6.14.-** Valores obtenidos del Test de LOF para el conjunto de estaciones agrupadas por categorías de corrosividad, utilizando como modelo matemático la ley potencial y con un nivel de confianza de 0,05.

	$n^{\circ}$ muestras	$CM_{pe}$	$CM_{LOF}$	$F$	Valor crítico de $F$
TODAS	700	0,015076716	131,4892177	8721,343382	3,854873335

**Tabla 6.15.-** Valores obtenidos del Test de LOF para el conjunto de estaciones la provincia de Las Palmas, utilizando como modelo matemático la ley potencial y con un nivel de confianza de 0,05.

### 6.3.2.- Modelo propuesto.-

Debido al insuficiente número de réplicas en relación al número de variables, no es posible aplicar el test de falta de ajuste al modelo propuesto. Ello hace imposible realizar el cálculo de grados de libertad correspondientes a la división de los residuos de la regresión en los debidos al error puro y los correspondientes a la falta de ajuste del modelo, y consecuentemente, el cálculo del estadístico  $F_{LOF}$ .

### 6.4.- Análisis de residuos.-

De la inspección de los residuos, cuyas gráficas se recogen en el anexo III (C) hay que destacar que se observa el principio de aleatoriedad en la evolución de los mismos. De la misma manera cumplen con la condición de que prácticamente todos están comprendidos dentro del intervalo limitado por más/menos tres desvíos estándar.

# Capítulo 7

## Discusión de los Resultados

---

### 7.- DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

7.1.- Discusión de los resultados del estudio de corrosión atmosférica.

7.2.- Discusión de los resultados de la modelación matemática.

7.3.- Discusión de los resultados de la difracción de rayos X.

7.4.- Discusión de los resultados de los estudios electroquímicos.

## 7.- DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.-

### 7.1.- Discusión de los resultados de corrosión atmosférica.-

El cobre sufre un aumento considerable en su velocidad de corrosión al entrar en contacto con atmósferas conteniendo cloruros y SO<sub>2</sub>, siendo el cloruro un factor más influyente en cuanto al aumento cuantitativo de la velocidad. De forma general se observa que la pérdida de peso aumenta con el tiempo de exposición, mientras que la velocidad de corrosión disminuye, debido al efecto protector de la pátina que se forma sobre la placa de cobre. Por otra parte se ha constatado el tipo de corrosión generalizada producida en las probetas utilizadas para el estudio, descartado en estos ambientes posibles procesos de corrosión por picadura que distorsionen los niveles de pérdidas de peso observados.

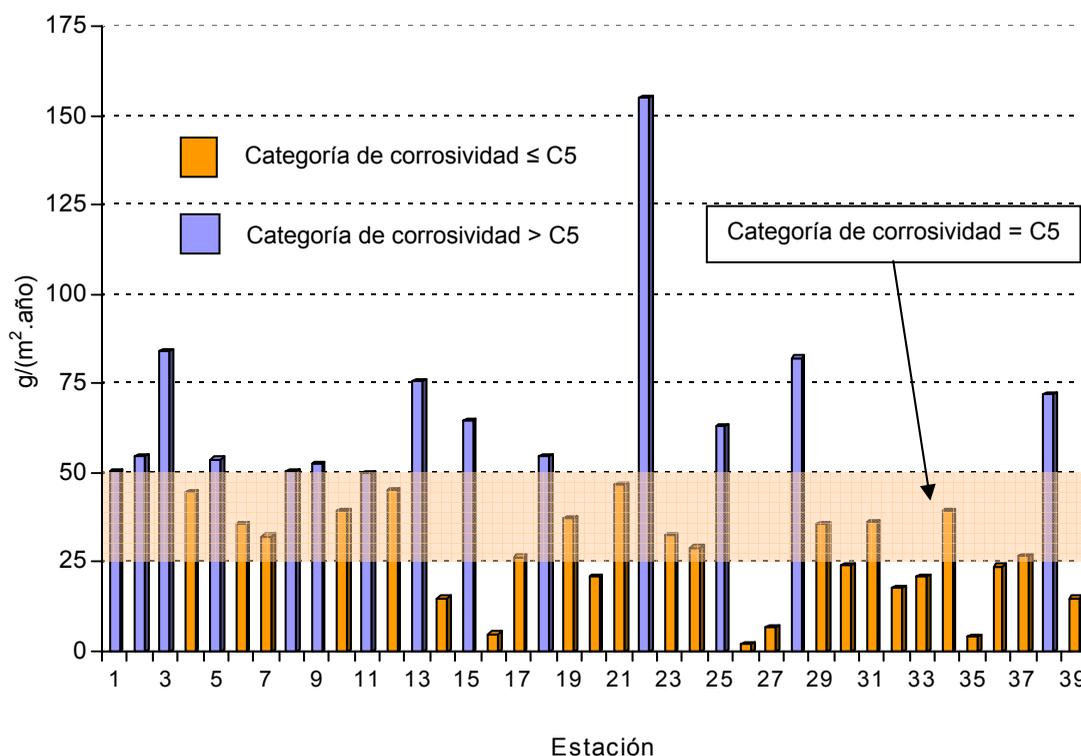
Se encuentra que para la isla de Fuerteventura y la isla de Lanzarote, las categorías de corrosividad obtenidas por pérdida de peso son en todos los casos C5, es decir, obtenemos la máxima categoría para todas las estaciones de dos islas. Si observamos el intervalo correspondiente a la categoría C5 para el cobre, según se recoge en la norma ISO 9223, este intervalo es  $25 < r_{\text{corr}} \leq 50 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{año})$ , ( $3,04 < r_{\text{corr}} \leq 6,08 \mu/\text{año}$ ).

En la isla de Fuerteventura, en cuatro de las seis estaciones se superó la barrera de  $50 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{año})$ , llegando incluso casi a duplicarse, como es el caso de la estación 3 ( $84 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{año})$ ). En la isla de Lanzarote se registraron en 3 estaciones valores iguales o superiores a  $50 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{año})$ , concretamente en las estaciones 8, 9 y 11, mientras que en la estación 7 se registraron valores de  $32 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{año})$ , (Figuras 8 y 9).

De un análisis de los resultados obtenidos en las estaciones de la isla Gran Canaria se desprende que 18 de las 27 estaciones presentan una categoría de corrosividad C5, 5

presentan una categoría de corrosividad C4, una sola estación (estación de Tejeda) categoría C3 y con categoría de corrosividad C2 tres estaciones 16 (Sta. Brígida), 26 (San Mateo) y 35 (Teror).

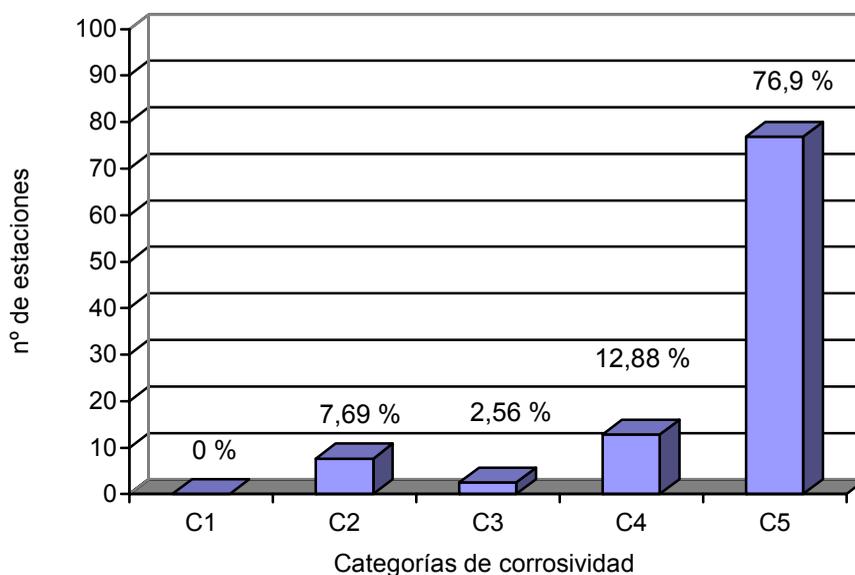
En la figura 7.1 se muestra la distribución de categorías de corrosividad por pérdida en el primer año de exposición para cada una de las 39 estaciones de trabajo.



**Figura 7.1.-** Distribución de categorías según velocidad de corrosión en el primer año de exposición.

En resumen, y según se muestra en la figura 7.2, el 76,9% de las estaciones presenta categoría de corrosión C5, mientras que el 43,3% supera el límite superior impuesto en la norma. Esto pone de manifiesto que la norma no contempla casi la mitad de los casos encontrados en la provincia de Las Palmas, ya que más del 43% de los mismos superan el límite superior, con un caso excepcional, correspondiente a la estación 22 (Taliarte, Gran Canaria), donde la velocidad de corrosión triplica el valor

máximo, con una velocidad de corrosión de 155 g/ (m<sup>2</sup>·año). Este hecho pone de manifiesto que la norma ISO 9223 no recoge estos casos en su clasificación de categorías de corrosividad. Si bien es cierto que las atmósferas predominantes en la mayoría de las estaciones ubicadas en Gran Canaria son marinas, no todas poseen el mismo grado de severidad, ya que los niveles de cloruros fluctúan de unos casos a otros. Esto pone de manifiesto que han de intervenir otros factores que influyen notablemente en la velocidad de corrosión y que no son contemplados por la norma.



**Figura 7.2.-** Porcentaje de estaciones por categorías.

## 7.2.- Discusión de los resultados de la modelación matemática.-

De la modelación independiente de cada estación se observa que 28 de las 39 estaciones (un 71,8% de las estaciones) se ajusta a la ley bilogarítmica ( $r^2 > 0,8$ ), presentando 22 de ellas un índice de regresión superior a 0,9, y más concretamente 7 presentan un índice de regresión superior a 0,95. Se deduce, por tanto, que las estaciones en general se ajustan en buena medida a la ley bilogarítmica. De hecho, sólo 7 estaciones presentan un índice de regresión comprendido entre 0,8 y 0,9, 6 estaciones se sitúan entre 0,7 y 0,8, situándose 4 estaciones por debajo de 0,7. A primera vista se observa que existe una concordancia entre la evolución de la corrosión del cobre y el tiempo de

exposición, verificándose que la ley bilogarítmica se ajusta muy bien a la hora de intentar correlacionar los datos de pérdida de peso con el tiempo de exposición.

En cuanto a la modelación con la ecuación 2 para cada estación, cuyos resultados se detallan en las tablas 6.7, 6.8 y 6.9, observamos que un 89,74 % de las estaciones se ajusta a la ecuación propuesta ( $r^2 > 0,8$ ), presentando 32 de de la 39 un índice de regresión superior a 0,9, y más concretamente 20 presentan un índice de regresión superior a 0,98. Se consigue, por tanto, un modelo al que se ajusta de forma bastante buena el comportamiento del proceso corrosivo en cada estación.

Del resto de estaciones sólo una tiene un valor de  $r^2$  inferior a 0,8 (0,72), mientras que las tres restantes carecen de datos suficientes para realizar la regresión.

A la hora de estudiar el comportamiento estadístico para las estaciones con una misma categoría de corrosividad encontramos que con el modelo propuesto obtenemos un mejor ajuste que con la ley bilogarítmica, resultando valores de  $r^2$  mayores para las categorías C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub>, tanto por pérdida de peso como según parámetros ambientales (tablas 6.4, 6.5, 6.10 y 6.11).

Analizando el conjunto de las estaciones usando la ley potencial se obtiene un  $r^2$  de 0,238 mientras que con el modelo propuesto obtenemos un valor de 0,346 que, aunque mejora, está bastante alejado de la unidad debido al elevado número de estaciones, de observaciones y diversidad de condiciones ambientales debidas a la orografía de las islas.

Sí destaca el hecho de que para las categorías de corrosividad que engloban a la mayoría de estaciones de medida, esto es, C<sub>3</sub> y C<sub>5</sub> según parámetros ambientales y pérdida de peso, respectivamente, el coeficiente relacionado con la variable imputable al índice de cloruros sea el más significativo, con un nivel de confianza prácticamente del 100%, lo cual está en concordancia con la bibliografía en cuanto al papel predominante de los cloruros en la corrosión atmosférica de los metales.

### 7.3.- Discusión de los resultados de la Difracción de Rayos X.-

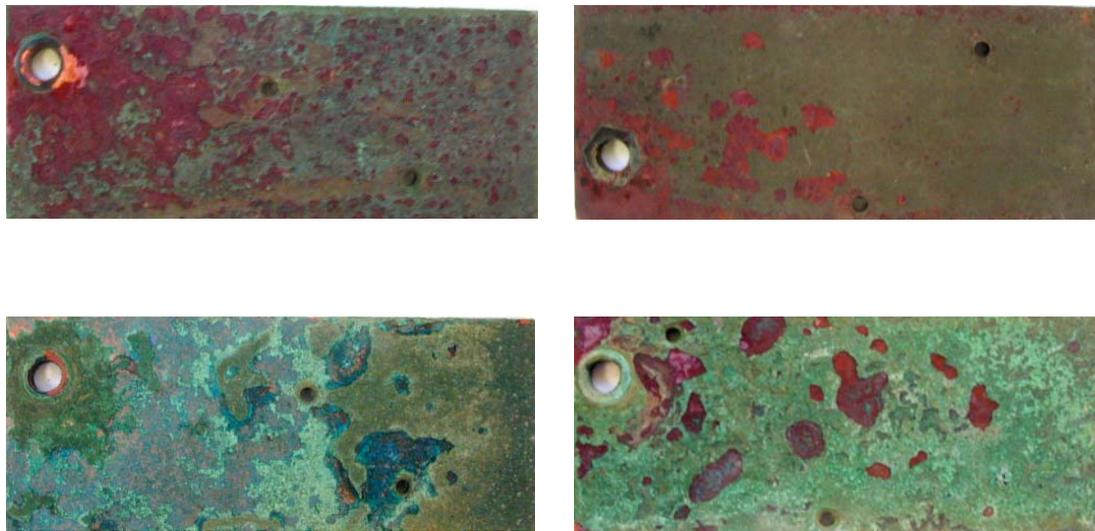
El cobre es un material que combina buena resistencia a la corrosión, excelente maleabilidad, alta conducción térmica y eléctrica, y atractivas propiedades mecánicas a baja, normal y moderadamente elevadas temperaturas. Cuando se expone el cobre a la atmósfera, se producen una serie de reacciones que originan la producción de productos de corrosión de distinta naturaleza en función del tipo de ambiente al que estén sometidos y de la agresividad del mismo. El mayor producto de corrosión formado son las denominadas pátinas de color verde-parduzco.

Las pátinas han sido estudiadas ampliamente desde hace más de 200 años así como el proceso corrosivo que sufre el cobre al ser expuesto a la atmósfera. Aún así, hoy en día existe un desconocimiento sobre la estructura de las mismas y el efecto que ejerce la exposición atmosférica en su formación.

De la tabla resumen de los productos de corrosión analizados en 22 estaciones durante dos años de exposición se observa claramente que los productos de corrosión mayoritarios son la Atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) y la Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), presente en casi todas las estaciones analizadas durante los dos años de exposición. Sólo se observa la formación de Brochantita ( $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ ) en las estaciones 24 y 37.

Cuando el cobre limpio es expuesto a la atmósfera por primera vez presenta un color rosa-salmón característico, que al poco de ser expuesto pasa a obtener el característico color ocre del cobre debido a la formación de una delgada capa de óxido. A medida que aumenta el periodo de exposición, este color ocre se va tornando marrón hasta llegar a adoptar un color negruzco a medida que aumenta el grosor de la capa de productos de corrosión. Estos cambios de color son debidos al óxido de cobre (cuprita), que se corresponde con la fórmula  $\text{Cu}_2\text{O}$ , donde el cobre presenta un estado de oxidación +1. A continuación se forma una capa de color verde en la parte externa de la capa de productos de corrosión debido a la interacción de la cuprita con los

contaminantes atmosféricos, pasando el estado de oxidación del cobre a +2. Esta capa externa verdosa es la denominada pátina, y se forma predominantemente en zonas urbanas. A medida que el ambiente presenta mayor grado de contaminación por SO<sub>2</sub>, más rápida es la formación de la pátina.



**Figura 7.3.-** Probetas de cobre expuestas a diferentes períodos.

La estructura de estas pátinas es muy heterogénea, presentando generalmente cavidades capaces de absorber grandes cantidades de agua.

A partir de los análisis de DRX efectuados en nuestras muestras de cobre se determina que el mayor componente externo de la pátina es la atacamita ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ), propia de ambientes marinos. Esta capa está presente ya desde el primer año de exposición en casi todas las estaciones a excepción de aquellas estaciones de mayor carácter rural, como son las estaciones 10 (Ayuntamiento de Haría), 11 (Teguise) y 35 (Ayuntamiento de Teror). En todos los casos, la capa más interna está compuesta por cuprita.

Sólo en las estaciones 24 y 37 se observa la formación de Brochantita

( $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ ) en la cara más externa, junto con la formación de atacamita y una capa de cuprita en las capas más inferiores.

De un análisis detallado de los difractogramas, se observa que en el caso de la estación 1 los picos correspondientes a la cuprita son los de mayor intensidad (Triángulo con el vértice superior hacia arriba). Se observan pequeños picos que pueden ser asociados a la atacamita pero en muy poca medida. Se observa como la intensidad de los picos correspondientes a la cuprita aumentan de intensidad al pasar del primer al segundo año de exposición. En todos los casos se observan los picos correspondientes al cobre del metal base (cuadrado verde).

#### **7.4.- Discusión de los resultados de los estudios electroquímicos.-**

Intentar reproducir las relaciones entre los factores que afectan al proceso corrosivo en laboratorio es un trabajo complejo. Mediante técnicas electroquímicas se ha podido determinar la influencia relativa de los contaminantes más frecuentes en nuestra atmósfera, como los iones cloruros y sulfato y luego establecer una relación entre estos resultados y los obtenidos por el método gravimétrico. Se ha pretendido pues determinar el efecto relativo de los agentes agresivos sobre las probetas de cobre y relacionar estos resultados cualitativamente con los obtenidos mediante técnicas clásicas. El método más reciente de evaluar la velocidad de corrosión es el método de la resistencia de polarización, conocido también con el nombre de sus autores, Stern y Geary [113].

Es necesario previamente hacer un estudio del cobre y su termodinámica para poder interpretar los resultados de este tipo de ensayos. A este respecto, la química física, a través de los diagramas de Pourbaix, proporciona criterios para conocer la evaluación espontánea de un metal en una disolución acuosa a un pH determinado.

Las reacciones que ocurren, y las correspondientes ecuaciones de Nerst, son las

siguientes:

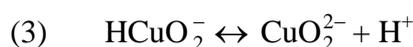
1.- Estabilidad relativa de las sustancias disueltas.



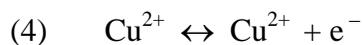
$$(1') \quad \log \frac{(\text{HCuO}_2^-)}{\text{Cu}^{2+}} = -27,72 + 3 \text{ pH}$$



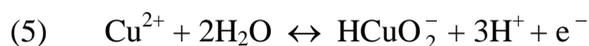
$$(2') \quad \log \frac{(\text{CuO}_2^{2-})}{(\text{Cu}^{2+})} = -39,88 + 4 \text{ pH}$$



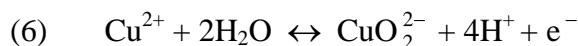
$$(3') \quad \log \frac{(\text{CuO}_2^{2-})}{(\text{HCu}_2^-)} = -13,15 + \text{pH}$$



$$(4') \quad E_0 = 0,153 + 0,0591 \log \frac{\text{Cu}^{2+}}{\text{Cu}^+}$$

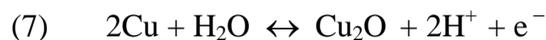


$$(5') \quad E_0 = 1,733 - 0,1773 \text{ pH} + 0,0591 \log \frac{\text{HCuO}_2^-}{\text{Cu}^+}$$

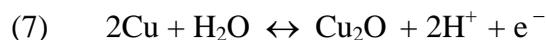


$$(6') \quad E_0 = 2,510 - 0,2364 \text{ pH} + 0,0591 \log \frac{\text{CuO}_2^{2-}}{\text{Cu}^+}$$

2.- Límites de estabilidad relativa del cobre y sus óxidos.



$$(7') \quad E_0 = 0,471 - 0,0591 \cdot \text{pH}$$



$$(7') \quad E_0 = 0,471 - 0,0591 \cdot \text{pH}$$



$$(8') \quad E_0 = 0,570 - 0,0591 \cdot \text{pH} \text{ (a)}$$

$$(8') \quad E_0 = 0,609 - 0,0591 \cdot \text{pH} \text{ (b)}$$



$$(9') \quad E_0 = 0,669 - 0,0591 \cdot \text{pH} \text{ (a)}$$

$$(9') \quad E_0 = 0,747 - 0,0591 \cdot \text{pH} \text{ (b)}$$

3.- Equilibrios entre una sustancia sólida y otra disuelta.



$$(10') \quad \log (\text{Cu}^+) \leftrightarrow - 0,84 - \text{pH}$$



$$(11') \quad \log (\text{Cu}^{2+}) = 7,89 - 2 \text{pH} \text{ (a)}$$

$$(11') \quad \log (\text{Cu}^{2+}) = 9,21 - 2 \text{pH} \text{ (b)}$$

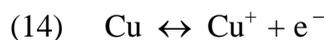


$$(12') \quad \log (\text{HCuO}_2^-) = - 18,83 + \text{pH} \text{ (a)}$$



$$(13') \quad \log (\text{CuO}_2^{2-}) = - 31,98 + 2 \text{pH} \text{ (a)}$$

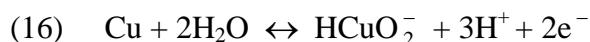
$$(13') \quad \log (\text{CuO}_2^{2-}) = - 30,67 + 2 \text{pH} \text{ (b)}$$



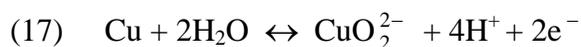
$$(14') \quad E_0 = 0,520 + 0,0591 \cdot \log (\text{Cu}^+)$$



$$(15') \quad E_0 = 0,337 + 0,0591 \cdot \log (\text{Cu}^{2+})$$



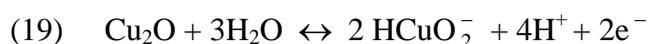
$$(16') \quad E_0 = 1,127 + 0,0886 \text{ pH} + 0,0295 (\text{HCuO}_2^-)$$



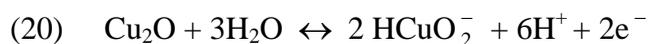
$$(17') \quad E_0 = 1,127 - 0,0886 \text{ pH} + 0,0295 (\text{CuO}_2^{2-})$$



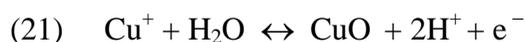
$$(18') \quad E_0 = 0,203 + 0,0591 \text{ pH} + 0,0591 (\text{Cu}^{2+})$$



$$(19') \quad E_0 = 1,783 - 0,1182 \text{ pH} + 0,0591 (\text{HCuO}_2^-)$$

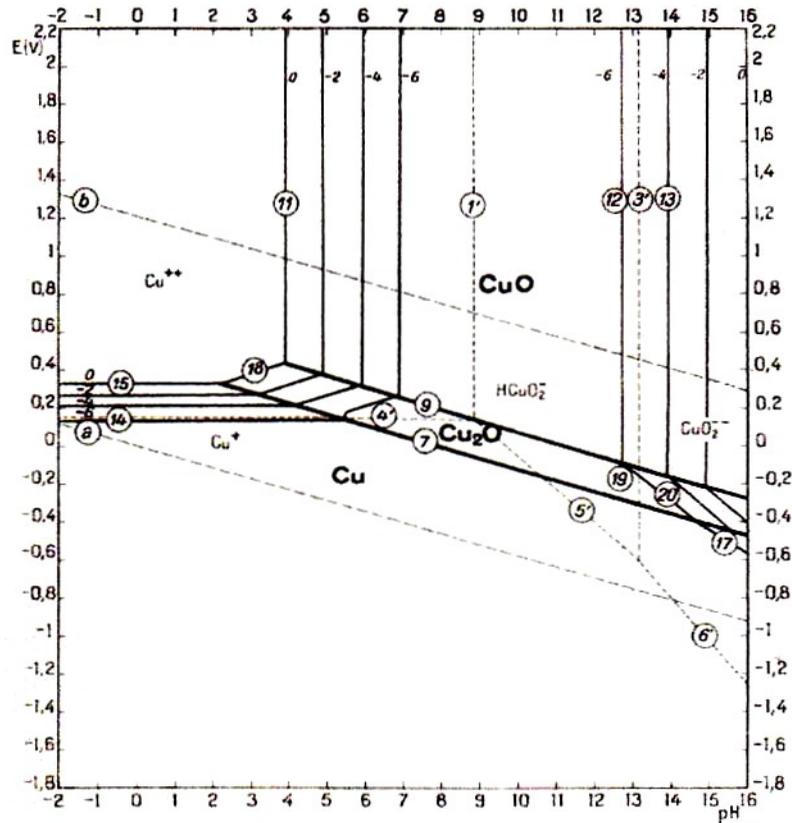


$$(20') \quad E_0 = 2,560 - 0,1773 \text{ pH} + 0,0591 (\text{CuO}_2^{2-})$$



$$(21') \quad E_0 = 0,620 - 0,1182 \text{ pH} - 0,0591 (\text{Cu}^+)$$

El diagrama de Pourbaix correspondiente se muestra en la figura 7.4. En él se pueden apreciar las distintas zonas de inmunidad, pasivación y corrosión del cobre en contacto con el agua contando con la presencia de cobre y sus óxidos. No se considera la presencia de hidróxido de cobre. De un análisis detallado del diagrama se deduce que el cobre es un metal relativamente noble. En presencia de disoluciones ácidas o fuertemente alcalinas el cobre se corroe a menos que no haya presencia de sustancias oxidantes. En disoluciones neutras o débilmente básicas el cobre se pasiva formándose sobre el mismo una capa de óxido de cobre.



**Figura 7.4.-** Diagrama de Pourbaix para el sistema cobre – agua, considerando como únicas sustancias sólidas Cu, CuO y Cu<sub>2</sub>O.

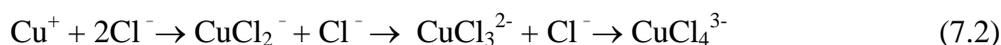
Raramente se usa el cobre puro como material resistente a la corrosión en ambientes marinos. Sus aleaciones, tales como las de cobre-níquel, bronce-aluminio y bronce-aluminio-níquel se usan de forma amplia en aplicaciones marinas. De estudios previos efectuados con la finalidad de determinar el efecto que ejerce el ion cloruro en la corrosión del cobre, se ha determinado que ejerce una fuerte influencia en el mecanismo corrosivo del cobre.

Según Berukshtis y Klard (1966), el cobre y el aluminio serían metales más sensibles a la presencia del ion cloruro que el acero dulce. Estos autores encuentran que, en una atmósfera marina, la corrosión del cobre se multiplica por 3,7 veces y por 1,2 la del acero respecto a una atmósfera rural del interior.

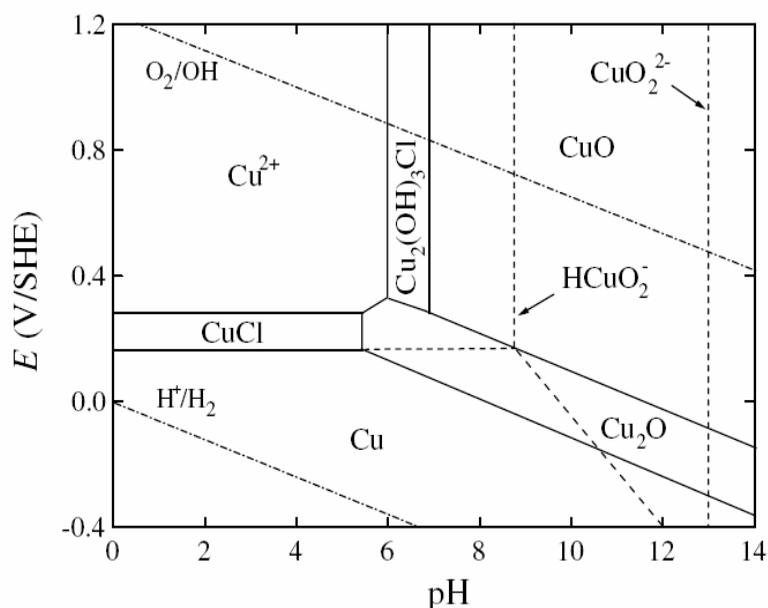
Los primeros estudios electroquímicos llevados a cabo sobre el cobre fueron realizados por Bengough et al [134, 135], los cuáles estudiaron la corrosión del cobre en agua de mar determinando que el principal producto de corrosión formado es el cloruro de cobre, CuCl, formado por la reacción:



Como mecanismo de reacción se propuso que este cloruro de cobre, que es bastante soluble en disoluciones salinas neutras, reacciona para dar lugar al óxido de cobre (cuprita), el cuál es el principal constituyente de las capas de productos de corrosión a mayor escala. La cuprita evoluciona a hidróxido de cobre, atacamita o malaquita en presencia de agua de mar. Los mecanismos de reacción serían los siguientes:



A raíz de la ecuación anterior se observa que la estabilidad de la cuprita es inversamente dependiente de la concentración de iones cloruro. Si analizamos el diagrama de Pourbaix para el cobre en agua de mar (figura 7.5), se observa que para condiciones normales y con disolución neutra, la forma más estable es la cuprita.



**Figura 7.5.-** Diagrama de Pourbaix para el cobre en agua de mar

El efecto que ejercen los iones cloruro y sulfato en la corrosión del cobre ha sido poco estudiado desde el punto de vista electroquímico en cuanto a su relación con la corrosión atmosférica.

En cuanto a la evolución del potencial de corrosión  $E_{corr}$  en ensayo a circuito abierto se observa un comportamiento muy estable del cobre, con un tiempo límite de estabilización del potencial de 1800 segundos. De los resultados expuestos se puede observar que no existe una variación lineal del potencial de corrosión a medida que aumentamos la concentración del agente agresivo, sea  $NaCl$  o  $Na_2SO_4$ . El mismo comportamiento ha sido observado en las variables  $R_p$  e  $I_{corr}$ , donde el perfil obtenido no es uniforme. Si tenemos en cuenta que todas las probetas han sido sometidas a un mismo periodo de inmersión inicial se descarta el hecho de que estas oscilaciones puedan ser debidas a la formación de una capa de productos de corrosión más o menos compacta.

En las figuras 7.6, 7.7, 7.8, se observa que todas las gráficas Tafel presentan el mismo perfil para la disolución de iones cloruro, sulfato y mezcla de los dos agentes

agresivos. En la figura 7.9 se observa que polarizando el metal con barridos de potencial próximos a 500 mV [123] por encima del potencial de corrosión no se observan incrementos de la densidad de corriente que pudieran asociarse a fenómenos de corrosión por picadura, a pesar de usar concentraciones de NaCl muy superiores a las dadas en el medio natural estudiado.

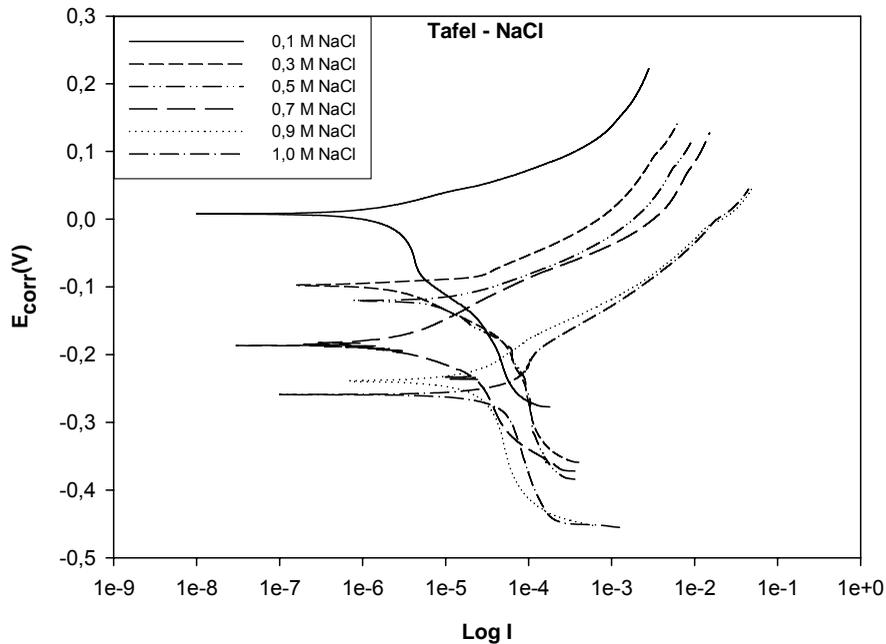


Figura 7.6.- Diagrama Tafel en NaCl.

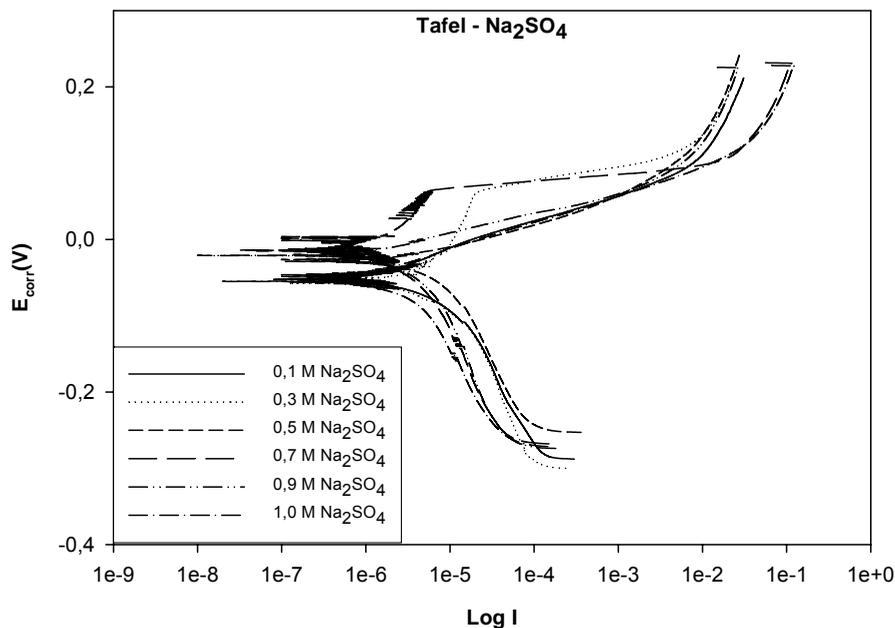


Figura 7.7.- Diagrama Tafel en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

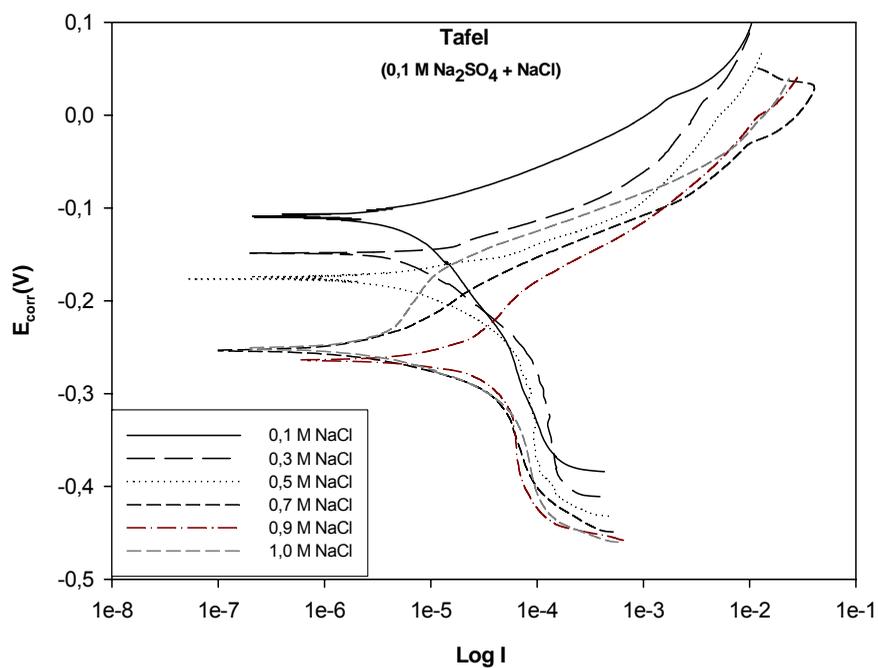


Figura 7.8.- Diagrama Tafel en NaCl + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

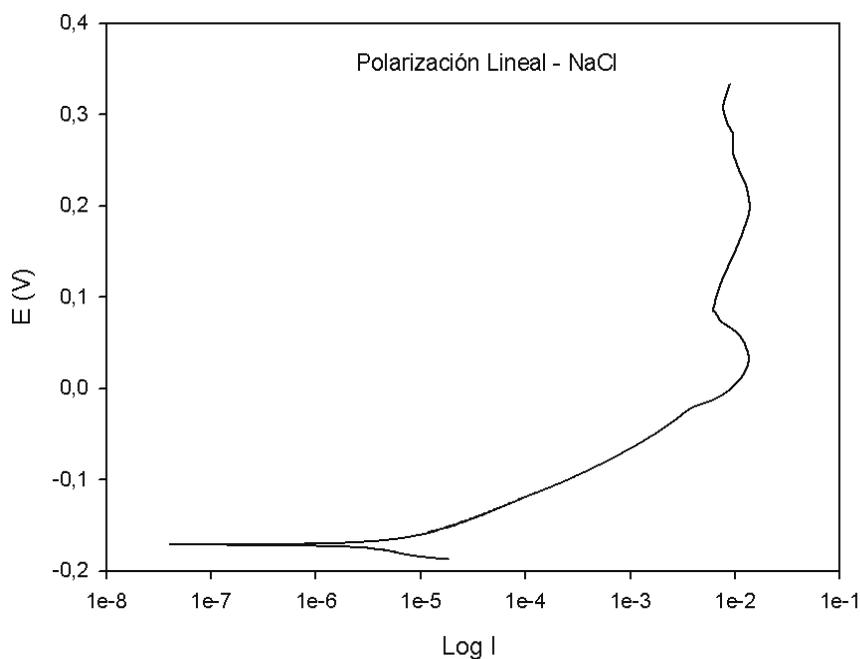
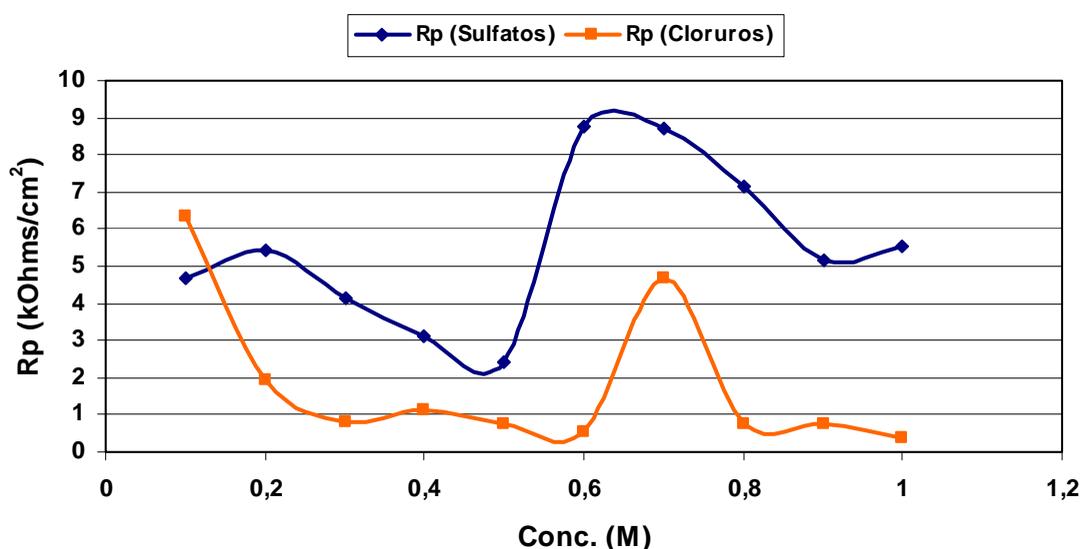


Figura 7.9.- Polarización lineal en NaCl 0,4 M.

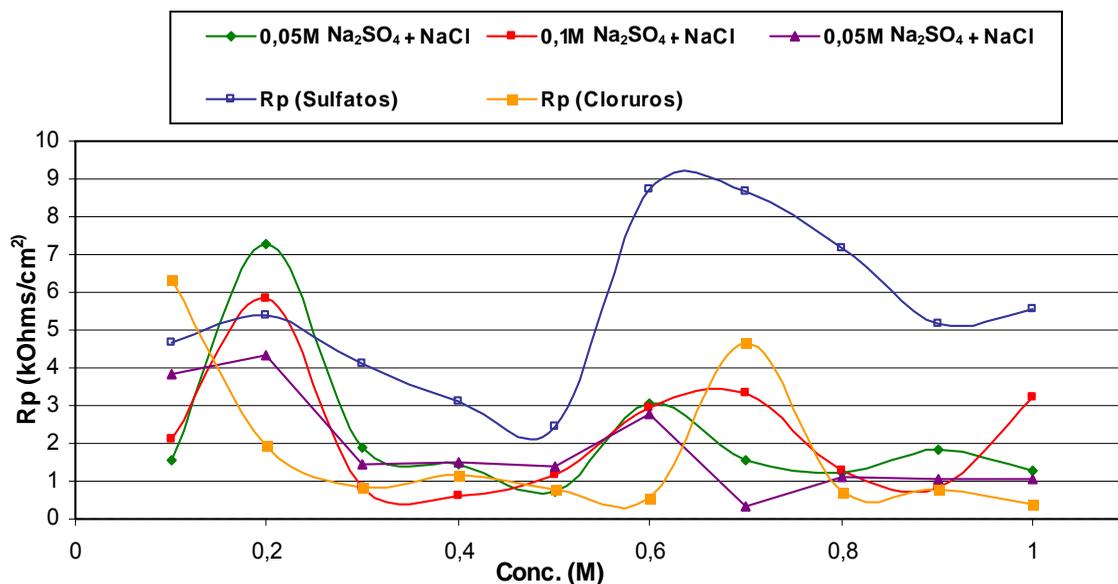
En la figura 7.10 se establece una comparativa entre la evolución de la  $R_p$  en cloruros y sulfatos. Se observa que la resistencia la corrosión va descendiendo a medida que aumenta la concentración tanto de iones cloruro como sulfatos, alcanzando su valor máximo de la  $R_p$  a una concentración de 0.6 M de iones sulfato y de 0,7 M iones cloruro respectivamente. Una concentración de 0.6 M se corresponde con agua de mar de 35g/l. En esta zona tiene lugar la reacción donde se forma  $Cu_2O$  que precipita, impidiendo de forma momentánea el proceso corrosivo sobre la superficie metálica, pero a medida que la concentración de contaminantes aumenta se va disolviendo dando lugar a compuestos más solubles que favorecen el proceso corrosivo.

En todo los casos, la intensidad de corrosión obtenida para iones cloruro es superior a la obtenida para iones sulfatos, proceso relacionado con la formación de atacamita que es un producto de corrosión 100 veces mas soluble que el sulfato de cobre [136].



**Figura 7.10.-** Variación de la  $R_p$  con la concentración de cloruros y sulfatos.

En el caso de mezcla de contaminantes se observa un efecto sinérgico en cuanto al aumento de la  $R_p$  al adicionarle pequeñas concentraciones de sulfatos a la disolución de cloruros, como se puede observar en la figura 7.11.



**Figura 7.11.-** Variación de la  $R_p$  en disolución de NaCl frente a concentración fija de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  vs variación de la  $R_p$  con la concentración de NaCl y  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

La variación en la evolución del perfil de la  $R_p$  en los tres casos examinados sigue la misma tendencia que en el caso de las disoluciones de cloruro y sulfato por separado. Los valores de  $I_{\text{corr}}$  se asemejan más a los obtenidos para el caso de los iones cloruro por separado, lo cual nos indica que el ión sulfato ejerce una pequeña influencia en el proceso corrosivo. Se observa en la figura 7.10 que para concentraciones bajas de NaCl, el valor de  $R_p$  observado es inferior al valor observado por sulfato sólo. A partir de la concentración de 0,5 M el valor de  $R_p$  es superior al valor del cloruro sólo, pero mucho menor que el valor obtenido por el sulfato sólo.

Esto nos lleva a determinar que el ión cloruro afecta a la estructura de los productos de corrosión en mayor medida que lo hace el ión sulfato.

# *Capítulo 8*

## Conclusiones

---

## **8.- CONCLUSIONES.-**

1.- El cobre presenta unas velocidades de corrosión elevadas en la provincia de Las Palmas, con valores superiores al límite superior establecido para la categoría C5 en la norma ISO 9223. El 76,9% de las estaciones presentan una categoría de corrosividad C5. Esto es debido a los elevados niveles registrados de iones cloruros y a la humedad reinante en las distintas estaciones. La concentración de SO<sub>2</sub> no se presenta como un factor decisivo para explicar las elevadas velocidades de corrosión registradas. Este proceso aumenta en las islas más occidentales por la presencia de polvo y arenisca los cuáles actúan a modo de granalla sobre la superficie metálica al ser arrastrados por el viento.

2.- El principal contaminante de las islas Canarias es el ión cloruro y también representa la variable mas significativa del análisis estadístico, bien sea de forma inversa, logarítmica o lineal.

3.- Resulta importante concluir que el modelo bi-logarítmico no describe matemáticamente el fenómeno de corrosión, al menos en las atmósferas aquí analizadas. Según los resultados del los test de falta de ajuste efectuados, solamente podríamos inicialmente aceptar este modelo matemático para la estación nº 27 (Tejeda). La regresión lineal de los datos de esta estación dio como resultado un valor del coeficiente de determinación R<sup>2</sup> de 0,1763, con el que inicialmente invalidaríamos el modelo. La explicación se encuentra en la gran dispersión de los datos en la mayoría de los puntos.

4.- La gran variedad registrada en los niveles de agentes agresivos hace que una ecuación donde sólo se correlacionan las velocidades de corrosión con el tiempo de exposición sea menos representativa, según el criterio de los coeficientes de correlación, que el modelo matemático propuesto, donde se incluye la aportación al proceso de dichos agentes y para el que encontramos un notable mejora, atendiendo a dicho criterio. No obstante, si bien del análisis de los residuos advertimos mayor aproximación de los datos observados a los predichos por el modelo, no podemos realizar la comprobación estadística del ajuste de este modelo por insuficiente número de réplicas, lo que conlleva

la imposibilidad de calcular la división de dichos residuos en los debidos a las dispersiones propias de los datos y los debidos a la dispersión de los datos promediados con respecto a los valores que el modelo predice.

5.- De los estudios electroquímicos realizados concluimos que a concentraciones iguales de agentes agresivos, el ión cloruro provoca intensidades mayores de corrosión que el ión sulfato, lo que se traduce en una mayor velocidad de corrosión.

6.- En presencia conjunta de iones cloruro y sulfato, se registran intensidades de corrosión muy similares a las encontradas con el ión cloruro por separado.

7.- A bajas concentraciones de iones cloruro y sulfato de manera conjunta, se produce un efecto sinérgico en la reducción de la velocidad de corrosión del cobre, poniéndose de manifiesto el aumento de la  $R_p$ .

8.- Los productos de corrosión mayoritarios en la provincia de Las Palmas son la atacamita y la cuprita, presentes en la casi totalidad de las estaciones analizadas tanto en el primer como en el segundo año de exposición. Sólo se detecta la presencia de de Brochantita ( $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ ) en las estaciones 24 (San Agustín) y 37 (Tafira) en su primer año de exposición. No se detecta la presencia de ningún otro compuesto de corrosión del cobre (antlerita ( $\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2$ ) y posnjakita ( $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ni ningún compuesto de corrosión con presencia de nitratos ni carbonatos. La presencia externa de los productos de corrosión se corresponde con la típica pátina de color verde y cuprita de color parduzco.

# *Capítulo 9*

## **Bibliografía**

---

1. Enrique Otero Huerta, “*Corrosión y Degradación de Metales*”, (1997), pag. 23.
2. “*Atmospheric Corrosion*”, Ed. W.YH. Aila. Rfeynolds Metals Company, Richmond, Virginia, (1982), pag. 432.
3. John P. Broomfield, “*Economic Effects of metallic corrosion in the USA. a 1995 update*”, CORROS-L Archive Request, Internet.
4. S. Feliu; “*Coste Social de la Corrosión*” en “*Corrosión y Tratamiento del Agua*”, ATECYR, Ed. Index, Madrid, (1980), pag. 13.
5. S. Feliu, “*Los ensayos electroquímicos: su problemática y tendencia*”s, Rev. Iberoam. Corr. Y Prot., XIV, N° extraordinario (1983).
6. S. Feliu, M. Morcillo, “*Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera*”, Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I.C., Madrid, (1982), pag. 1.
7. M. Pourbaix, “*Lecciones de Corrosión Electroquímica*”, Ed. Instituto Español de Corrosión y Protección, (1987), pag. 1.
8. “*11<sup>th</sup> International Corrosion Congreso*”, Associazione Italiana di Metallurgia, Florencia, Italia, (1990), pag. 1149.
9. M. Pourbaix, “*Lecciones de Corrosión Electroquímica*”, Ed. Instituto Español de Corrosión y Protección, (1987), pag. 1-3.
10. K.R. Trethewey and J. Chamberlain, “*Corrosion for students of Science and Engineering*”, Ed. Longman Scinetific & Technical, Essex, england, (1988), pag. 6.
11. M. Pourbaix, “*Lecciones de Corrosión Electroquímica*”, Ed. Instituto Español de Corrosión y Protección, (1987), pag. 2.
12. S. Feliu, “*Curso de Corrosión y Protección*”, Volumen 1: Corrosión, Madrid,

- (1981), pag. 1.
13. J. Mertel, "*Peculiaridades de la corrosión atmosférica del acero de bajo contenido de carbono en la Ciudad de La Habana y sus implicaciones técnico-económicas*". Resumen trabajo de candidatura, CIQ, (1985).
  14. "*11<sup>th</sup> International Corrosion Congreso*", Associazione Italiana di Metallurgia, Florencia, Italia, (1990), pag. 1149.
  15. J.M.Costa, "*Ensayos de corrosión atmosférica por métodos electroquímicos*", Pinturas y Acabados, (1981), pag. 21.
  16. M. Morcillo, S. Feliu, "*Mapas de España de Corrosividad Atmosférica*", CYTED, Madrid, (1993), pag. 1.
  17. Gil, S. y Francisco, W., "*Corrosión atmosférica del acero al carbono en clima tropical húmedo*", Pinturas y acabados industriales, (1982), pag. 85.
  18. N.D. Tomashov, "*Theory of Corrosion and Protection of Metals*", Macmillan Co, New York, (1966), pag 79.
  19. S. Feliu, M. Morcillo, "*Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera*", Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I.C., Madrid, (1982), pag. 1.
  20. IV Congreso Español de Corrosión y Protección. Ed. Garsi, S.A., Londres, pag. 188.
  21. Morcillo, M. "*Mapa iberoamericano de corrosividad atmosférica (MICAT). Primeros resultados*", Revista iberoamericana de corrosión y protección, (1992), pag. 79.
  22. "*Atmospheric Corrosion*", Ed. W.YH. Aila. Rfeynolds Metals Company, Richmond, Virginia, (1982), pag. 217.
  23. S. Feliu, "*Curso de Corrosión y Protección*", Volumen I: Corrosión, Madrid, (1981), pag. 77.

24. “*Atmospheric Corrosion*”, Ed. W.YH. Aila. Rfeynolds Metals Company, Richmond, Virginia, (1982), pag. 431.
25. M. Morcillo, S. Feliu, “*Mapas de España de Corrosividad Atmosférica*”, CYTED, Madrid, (1993), pag. 2.
26. T.R. Newman, “*Corrosion Source Book*”, Ed. American Society for metals, Metals, Park, Ohio, (1984), pag. 15.
27. M. Pourbaix, “*Lecciones de Corrosión Electroquímica*”, Ed. Instituto Español de Corrosión y Protección, (1987), pag. 1.
28. Álvarez Ros, C. N. y Martínez Álvarez. C., “*Contaminación atmosférica y corrosión*”, Química e Industria, (1992), pag. 431.
29. Morcillo, M. “*Mapa iberoamericano de corrosividad atmosférica (MICAT). Primeros resultados*”, Revista iberoamericana de corrosión y protección, (1992), pag. 37.
30. M. Morcillo, S. Feliu, “*Mapas de España de Corrosividad Atmosférica*”, CYTED, Madrid, (1993), pags. 2-3.
31. Álvarez Ros, C. N. y Martínez Álvarez. C., “*Contaminación atmosférica y corrosión*”, Química e Industria, (1992), pag. 431.
32. M. Morcillo, S. Feliu, “*Mapas de España de Corrosividad Atmosférica*”, CYTED, Madrid, (1993), pag. 12.
33. M. Morcillo, S. Feliu, “*Mapas de España de Corrosividad Atmosférica*”, CYTED, Madrid, (1993), pag. 3.
34. M. Morcillo, S. Feliu, “*Mapas de España de Corrosividad Atmosférica*”, CYTED, Madrid, (1993), pags. 26-27.
35. Álvarez Ros, C. N. y Martínez Álvarez. C., “*Contaminación atmosférica y corrosión*”, Química e Industria, (1992), pag. 431.

36. M. Morcillo, S. Feliu, "*Mapas de España de Corrosividad Atmosférica*", CYTED, Madrid, (1993), pag. 3.
37. "*Atmospheric Corrosion*", Ed. W.YH. Aila. Rfeynolds Metals Company, Richmond, Virginia, (1982) pag. 217.
38. S. Feliu, "*Curso de Corrosión y Protección*", Volumen 1: Corrosión, Madrid, (1981), pag. 78.
39. "*Progress in the understanding and prevention of corrosion*", Ed. J.M. Costa, Universidad de Barcelona, Volumen 1, (1993), pag. 2.
40. "*Corrosion Mechanisms*", Ed. Florian Mansfeld, University Of Southern California, Los Angeles, California, (1987), pag. 243.
41. M. Morcillo, S. Feliu, "*Mapas de España de Corrosividad Atmosférica*", CYTED, Madrid, (1993), pag. 3.
42. Morcillo, M., "*Mapa iberoamericano de corrosividad atmosférica (MICAT). Primeros resultados*", Revista iberoamericana de corrosión y protección, (1992), pag. 81.
43. "*Atmospheric Corrosion*", Ed. W.YH. Aila. Rfeynolds Metals Company, Richmond, Virginia, (1982) pags. 206-208.
44. Gil, S. y Francisco, W., "*Corrosión atmosférica del acero al carbono en clima tropical húmedo*", Pinturas y acabados industriales, (1982), pag. 85.
45. "*Atmospheric Corrosion*", Ed. W.YH. Aila. Rfeynolds Metals Company, Richmond, Virginia, (1982) pag. 433.
46. S. Feliu, M. Morcillo, "*Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera*", Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I. C., Madrid, (1982), pag. 8.
47. S. Feliu, M. Morcilló, "*Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera*", Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I.C., Madrid, (1982), pag. 8.

48. M. Morcillo, S. Feliu, “*Mapas de España de Corrosividad Atmosférica*”, CYTED, Madrid, (1993), pag. 26-27.
49. M. Benaire y F.L. Lipfert, “*Atmospheric Environmental*”, (1993), pag.20.
50. S. Feliu, M. Morcillo, “*Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera*”, Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I.C., Madrid, (1982), pag. 12.
51. “*Atmospheric Corrosion*”, Ed. W.YH. Aila. Rfeynolds Metals Company, Richmond, Virginia, (1982) pag. 85.
52. “*Atmospheric Corrosion*”, Ed. W.YH. Aila. Rfeynolds Metals Company, Richmond, Virginia, (1982) pag. 434.
53. T.R. Newman, “*Corrosion Source Book*”, Ed. American Society for metals, Metals, Park, Ohio, (1984), pag. 16.
54. “*Atmospheric Corrosion*”, Ed. W.YH. Aila. Rfeynolds Metals Company, Richmond, Virginia, (1982) pags. 433-434, 452.
55. S. Feliu, M. Morcillo, “*Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera*”, Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I.C., Madrid, (1982), pags. 64-65.
56. S. Feliu, M. Morcillo, “*Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera*”, Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I.C., Madrid, (1982), pag. 65.
57. “*Atmospheric Corrosion*”, Ed. W.YH. Aila. Rfeynolds Metals Company, Richmond, Virginia, (1982) pag. 434.
58. S. Feliu, “*Curso de Corrosión y Protección*”, Volumen 1: Corrosión, Madrid, (1981), pag. 78.
59. S. Feliu, M. Morcillo, “*Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera*”, Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I.C., Madrid, (1982), pags. 49-50.

60. "Progress in the understanding and prevention of corrosion ", Ed. J.M. Costa, Universidad de Barcelona, Volumen 1, (1993), pag. 2.
61. M. Morcillo, S. Feliu, "Mapas de España de Corrosividad Atmosférica", CYTED, Madrid, (1993), pag. 3-6.
62. "Corrosion Mechanisms", Ed. Florian Mansfeld, University Of Southern California, Los Angeles, California, (1987), pag. 243.
63. "Atmospheric Corrosion", Ed. W.Y.H. Aila. Rfeynolds Metals Company, Richmond, Virginia, (1982) pag. 433.
64. "Atmospheric Corrosion", Ed. W.Y.H. Aila. Rfeynolds Metals Company, Richmond, Virginia, (1982) pag. 433.
65. S. Feliu, M. Morcillo, "Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera", Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I.C., Madrid, (1982), pag. 49.
66. J. C. Hudson y J. F. Stanners, "Appl.Chem.", Vol. 3, (1953), pag. 186.
67. S. Feliu, M. Morcillo, "Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera", Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I.C., Madrid, (1982), pag. 49.
68. S. Haagenrud y B. Ottar, "Proceedings of the Seventh Scandinavian Corrosion Congress", Trondheim, Noruega, (1975), pag. 102.
69. S. Feliu, "Curso de Corrosión y Protección", Volumen 1: Corrosión, Madrid, (1981), pag. 78.
70. S. Feliu, M. Morcillo, "Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera", Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I.C., Madrid, (1982), pag. 50.
71. S. Feliu, "Curso de Corrosión y Protección", Volumen 1: Corrosión, Madrid, (1981), pag. 78.

72. K. Barton, E. Beranez y G. V. Akimov, "*Werkstoffe und Corrosion*", n° 6, (1959), pag. 337.
73. T. Sydberger y N. G. Vannerberg, "*Corrosion Science*", Vol. 12, (1972), pag. 775.
74. González, J.A. y Bastidas, J.M. "*Corrosión atmosférica del Al, Cu, Fe y Zn, (II parte) Análisis del comportamiento en atmósferas controladas a partir de datos gravimétricos*", Revista iberoamericana de corrosión y protección, (1982), pags. 19-21.
75. "*Corrosion Mechanisms*", Ed. Florian Mansfeld, University Of Southern California, Los Angeles, California, (1987), pags. 236-237.
76. S. Feliu, M. Morcillo, "*Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera*", Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I.C., Madrid, (1982), pag. 52-53.
77. S. Feliu, M. Morcillo, "*Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera*", Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I.C., Madrid, (1982), pag. 52.
78. "*Atmospheric Corrosion*", Ed. W.Y.H. Aila. Reynolds Metals Company, Richmond, Virginia, (1982) pag. 415.
79. A. R. Meethan, "*Atmospheric Pollution, Its Origin and prevention*", Pergamon Press, Nueva York, (1956).
80. H. R. Ambler y A. A. J. Blain, "*J Appli. Chem*", (1955), pag. 437.
81. B. Sanyal , G. K. Singhanía y J. N. Nanda, "*Proceeding Third International Congresson Metallic Corrosion*", Moscú, (1969), pag. 542.
82. S. Feliu, "*Curso de Corrosión y Protección*", Volumen 1: Corrosión, Madrid, (1981), pag. 79.
83. J.E. González González, J.J. Santana Rguez., F.J. Santana Hdez., "*Mapa de Corrosión de Canarias – Provincia de Las Palmas, tomo VIII. Corrosión Atmosférica del*

*Aluminio*”, 1999.

84. S. Feliu, M. Morcillo, “*Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera*”, Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I.C., Madrid, (1982), pag. 72-73.
85. W.H.J. Vermon and L. Whitby, *J. Inst. Metals*, 42 (1929) pag. 181.
86. E. Mattsson y R. Holm, *ASTMSTP*, 435 (1968) pag. 18.
87. Y. Aoyama, *werkst. u. Korr.*, 12 (1961) pag. 148.
88. D.H.Thompson, A.W. Tracy y J.R. Freeman Jr., *ASTMSTP*, 175 (1956) pag. 77.
89. I.R. Scholes y W.R. Jacob, *Int. Symp. on Copper & its alloys*, Amsterdam (1970).
90. M. Fontana y N. S. Greene, “*Corrosion Engineering*”, Ed. Mc Graw Hill, (1978), pag. 21.
91. “*11<sup>th</sup> International Corrosion Congreso*”, Associazione Italiana di Metallurgia, Florencia, Italia, (1990), pag. 1150-1151.
92. M. Morcillo, S. Feliu, “*Mapas de España de Corrosividad Atmosférica*”, CYTED, Madrid, (1993), pag. 27-30.
93. S. Feliu, M. Morcillo, “*Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera*”, Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I.C., Madrid, (1982), pag. 78-80.
94. S. Feliu, M. Morcillo, “*Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera*”, Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I.C., Madrid, (1982), pag. 78-80.
95. S. Feliu, M. Morcillo, “*Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera*”, Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I.C., Madrid, (1982), pag. 79.
96. ISO 9225:1992(E); “*Corrosion of Metals and Alloys-Corrosivity of Atmospheres-Measurement of Pollution*”, First edition, (1992).

97. "Corrosion Mechanisms", Ed. Florian Mansfeld, University Of Southern California, Los Angeles, California, (1987), pag. 241.
98. T.R. Newman, "Corrosion Source Book", Ed. American Society for metals, Metals, Park, Ohio, (1984), pag. 17.
99. "Progress in the understanding and prevention of corrosion", Ed. J.M. Costa, Universidad de Barcelona, Volumen 1, (1993), pag. 68-70.
100. "Atmospheric Corrosion", Ed. W.YH. Aila. Rfeynolds Metals Company, Richmond, Virginia, (1982), pag. 107-121.
101. Chojnacka-Kalinowska G., Zak T., "Powloki Ochronne, zes. 2 ", (1980).
102. "Atmospheric Corrosion", Ed. W.YH. Aila. Rfeynolds Metals Company, Richmond, Virginia, (1982), pag. 218.
103. S. Feliu, M. Morcillo, "Corrosión y Protección de los metales en la atmósfera", Ed. Bellaterra, S.A., C.S.I.C., Madrid, (1982), pag. 18.
104. L. Espada, A. Sánchez, P. Merino y G. Pena, "Corrosión atmosférica en ambientes marinos del cobre y del acero con bajo contenido de carbono", Revista Metal, Madrid, (1989), pag. 313.
105. J.E. González González, J.J. Santana Rguez., F.J. Santana Hdez., "Mapa de Corrosión de Canarias – Provincia de Las Palmas, tomo VII. Corrosión Atmosférica del Cobre", 1999.
106. J.E. González González, J.J. Santana Rguez., F.J. Santana Hdez., "Mapa de Corrosión de Canarias – Provincia de Las Palmas, tomo II. Estudio de los Parámetros Medioambientales", 1999.
107. J.A. González Fernández, "Control de la Corrosión. Estudio y medida por técnicas electroquímicas", Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, Madrid, (1989), pags. 3-5.

108. J.A. González Fernández, "*Control de la Corrosión. Estudio y medida por técnicas electroquímicas*", Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, Madrid, (1989), pags. 14.
109. A.J. Bard y L. R. Faulkner, "*Electrochemical Methods. Fundamentals and Applications*". De. John Wiley & Sons. Cap. 3. N.Y., (1980) pag. 91.
110. R. Matos y R. Hing, "*Aspectos Fundamentales de la Química Física*". Tomo II. Cap. 19. Ed. Pueblo y Educación. Cuba, (1986) pag. 232-258.
111. J. M. Costa, "*Fundamentos de Electrónica*". Cap. 4, Ed. Alhambra, España.
112. M. Pourbaix, "*Lecciones de Corrosión Electroquímica*", Ed. Instituto Español de Corrosión y Protección, (1987), pag. 1.
113. M Stern y A.L.Geary J Electrochem. Soc. 104 (1957) pag.56.
114. ASTM G 50-76: "*Conducting atmospheric corrosion test on metals*", (1976).
115. ASTM G1-90: "*Standard Practice for Preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens*", (1990).
116. ASTM D 2010-85: "*Standard Method for Evaluation of total Sulfation Activity in the Atmosphere by the Lead Dioxide Candle*", (1985).
117. ASTM D 2010-85: "*Standard Method for Evaluation of total Sulfation Activity in the Atmosphere by the Lead Dioxide Candle*", (1985).
118. ISO 9225:1992(E); "*Corrosion of Metals and Alloys-Corrosivity of Atmospheres-Measurement of Pollution*", First edition, (1992).
119. ASTM G1-90: "*Standard Practice for Preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens*", (1990).

120. J.A. González, J. M. Bastidas y S. Feliu, "*Corrosión atmosférica del Al, Cu, Fe y Zn: (III Parte). Posibilidades de las técnicas electroquímicas para estimar la velocidad de corrosión instantánea en atmósferas controladas*", Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), Madrid, 13, (1982), pag. 20.
121. J.A. González, J. M. Bastidas y S. Feliu, "*Corrosión atmosférica del Al, Cu, Fe y Zn: (III Parte). Posibilidades de las técnicas electroquímicas para estimar la velocidad de corrosión instantánea en atmósferas controladas*", Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), Madrid, 13, (1982), pag. 21.
122. J.A. González, J. M. Bastidas y S. Feliu, "*Corrosión atmosférica del Al, Cu, Fe y Zn: (III Parte). Posibilidades de las técnicas electroquímicas para estimar la velocidad de corrosión instantánea en atmósferas controladas*", Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), Madrid, 13, (1982), pag. 21.
123. T. Notoya, V. Otieno-Alego y D.P. Schweinsberg, "*The corrosion and Polarization Behaviour of Copper in Domestic Water in the presence of Ca, Mg, and Na-Salts of Phytic Acid*", Corrosion Science, Vol.37(1994).
124. ISO 9223:1992(E); "*Corrosion of Metals and Alloys-Corrosivity of Atmospheres-Clasification*", (1992).
125. ISO 9225:1992(E); "*Corrosion of Metals and Alloys-Corrosivity of Atmospheres-Measurement of Pollution*", First edition, (1992).
126. R. F. Passano, "*Proc. Symposium on the outdoor weathering of metals and metallic coatings*", Filadelfia, (1934).
127. A. braoarí y H. bonnarens, "*Atmospheric corrosión of metáis*", ASTM STP 767, S.W Dean, E. Rhea (Eds.), ASTM, Philadelphia, 1982, pags. 339-358.
128. M. Pourbaix, "*Atmospheric Corrosion*", Ed. W. H. Ailor, Wiley-Interscience, (1982), pag. 107-121.

129. V. Martínez Luaces, “*Estadística Aplicada a la Ingeniería Ambiental*”<sup>1</sup>, IMFIA-Fac. de Ingeniería, Montevideo, Uruguay, 1999, Cap. 9.
130. V. Díaz, V. Martínez-Luaces y G. Guineo-Cobs, “*Corrosión atmosférica: validación de modelos empleando técnicas estadísticas*”. *Revista Metal*, Madrid 39 (2003), pag. 244.
131. E. Pearson y O. Hartley, “*Biométrica Tables for Statisticians 2*”, 1972, pag.178.
132. D.C. Montoomery, “*Diseño y Análisis de Experimentos*”, Grupo Editorial Iberoamericana S.A de C.V, México D.F., 1996, pags. 85-98.
133. W. Mendenhall, D. Wackerly y R. Scheaffer, *Estadística Matemática con Aplicaciones*, Grupo Ed. Iberoamericana S.A, C.V, México D.F., 1.994, pag. 772.
134. G.D. Bengough, R.M. Jones, R. Pirret, “*Journal of the Institute of Metals 23*” (1920) pags. 65–158.
135. G.D. Bengough, R. May, “*Journal of the Institute of Metals 32*” (1924) 81–269.
136. X. M. Zhu y Y.S. Zhang, “*Investigation of the Electrochemical Corrosion Behavior and Passive Film for Fe-Mg, Fe-Mn-Al and Fe-Mn-Al-Cr Alloys in Aqueous Solutions*”, *Corrosion Science*, Vol.54 (1998).

# ANEXOS

---

## ANEXO I

DATOS PARA EL ESTUDIO. ....	195
-----------------------------	-----

## ANEXO II

A.- PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA QUÍMICA DE LAS PROBETAS DE COBRE. ....	236
B.- ANÁLISIS DE CLORUROS. ....	237
C.- ANÁLISIS DE SO <sub>2</sub> . ....	241

## ANEXO III

A.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON EL MODELO BILOGARÍTMICO. ....	247
B.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS CON EL MODELO PROPUESTO. .	293
C.- RESIDUOS DE LOS DOS MODELOS MATEMÁTICOS. ....	339

## ANEXO IV

DIFRACTOGRAMAS DE LAS ESTACIONES ANALIZADAS. ....	379
---	-----

# ANEXO I

---

## DATOS PARA EL ESTUDIO

**ESTACIÓN Nº 1 - PUERTO DEL ROSARIO**

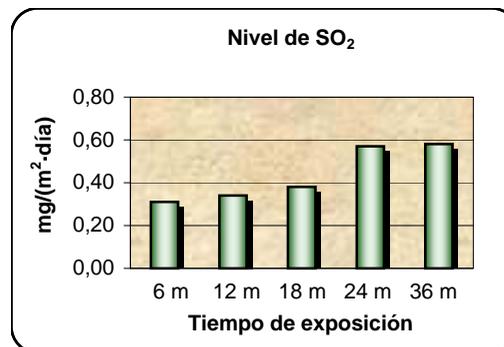
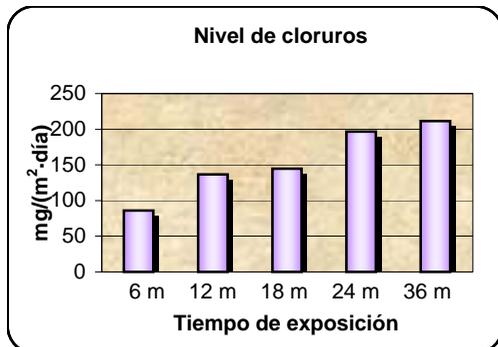
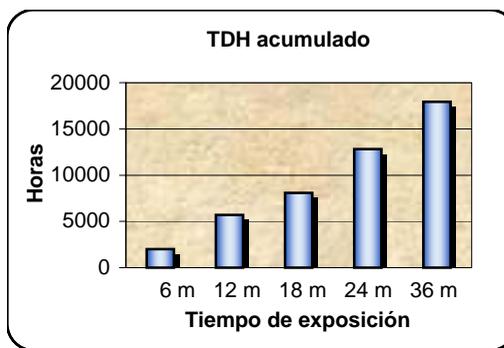
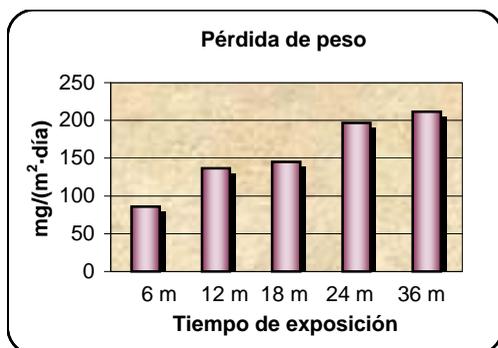
**Emplazamiento:** Azotea del Ayto. de Puerto del Rosario

**Longitud:** 28° 30' 00"

**Latitud:** 13° 51' 06"

**Altura:** 23 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	3,872729808	87,21599732	27,20	0,31	2000
6 m	3,8203668	86,03675368	27,20	0,31	2000
6 m	3,766577351	84,82538583	27,20	0,31	2000
12 m	5,692917551	128,2076226	29,61	0,34	5713
12 m	6,012512592	135,4050781	29,61	0,34	5713
12 m	6,487799957	146,10881	29,61	0,34	5713
18 m	6,611271641	148,88946	32,32	0,38	8082,5
18 m	6,461665227	145,5202416	32,32	0,38	8082,5
18 m	6,233474514	140,3812617	32,32	0,38	8082,5
24 m	8,499409368	191,4113562	32,37	0,57	12821,5
24 m	8,670294688	195,2597872	32,37	0,57	12821,5
24 m	9,050176471	203,8149331	32,37	0,57	12822
36 m	9,260222824	208,5452921	29,87	0,58	17913
36 m	10,2300864	230,3871512	29,87	0,58	17913
36 m	8,685998682	195,6134498	29,87	0,58	17913
72 m					
72 m					
72 m					
96 m					
96 m					
96 m					



## ESTACIÓN Nº 2 - CORRALEJO

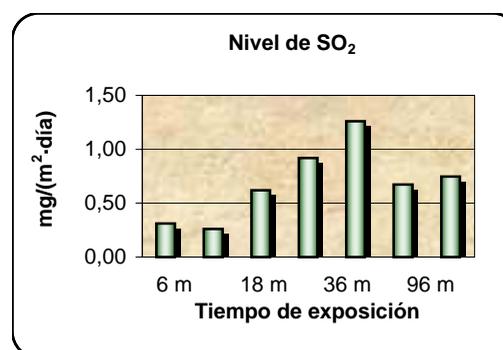
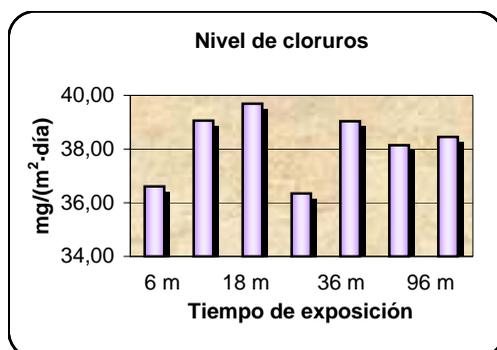
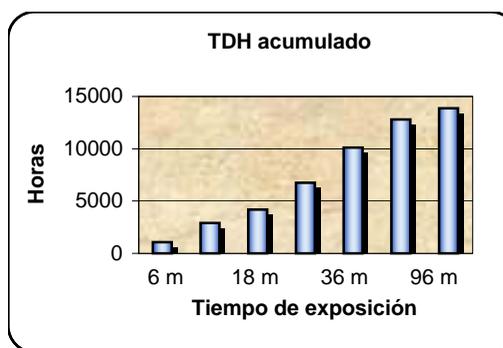
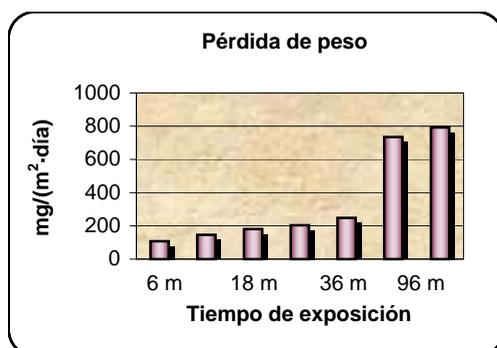
**Emplazamiento:** Subestación de Unelo-Endesa en Corralejo

**Longitud:** 28° 42' 13"

**Latitud:** 13° 54' 02"

**Altura:** 50 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	4,506885661	101,4975346	36,61	0,31	1081
6 m	4,877058759	109,8340356	36,61	0,31	1081
6 m	4,952077055	111,5234887	36,61	0,31	1081
12 m	6,428877856	144,781852	39,06	0,26	2901
12 m	6,75655566	152,1613357	39,06	0,26	2901
12 m	6,270605272	141,2174667	39,06	0,26	2901
18 m	8,170412135	184,0021582	39,69	0,62	4181
18 m	7,448024075	167,7335833	39,69	0,62	4181
18 m	8,425516696	189,7472527	39,69	0,62	4181
24 m	9,079381506	204,4726465	36,35	0,92	6741
24 m	8,835994169	198,9914303	36,35	0,92	6741
24 m	9,265079675	208,654671	36,35	0,92	6741
36 m	9,81451219	221,0281923	39,03	1,26	10114
36 m	11,58120622	260,8151099	39,03	1,26	10114
36 m	11,54354019	259,9668504	39,03	1,26	10114
72 m	34,77178707	783,0796978	38,15	0,67	12811
72 m	30,04873727	676,7140283	38,15	0,67	12811
72 m	33,15008432	746,5580634	38,15	0,67	12811
96 m	34,48995327	776,7326462	38,46	0,75	13861
96 m	34,97537767	787,6646698	38,46	0,75	13861
96 m	35,96224588	809,8894825	38,46	0,75	13861



### ESTACIÓN Nº 3 - CENTRAL TÉRMICA LAS SALINAS

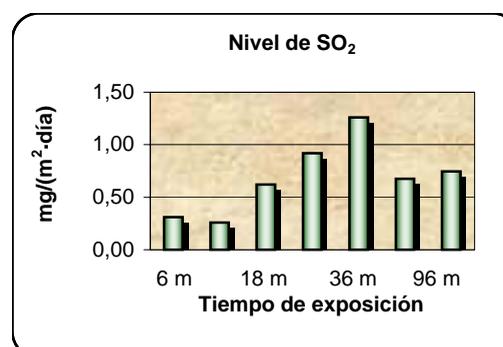
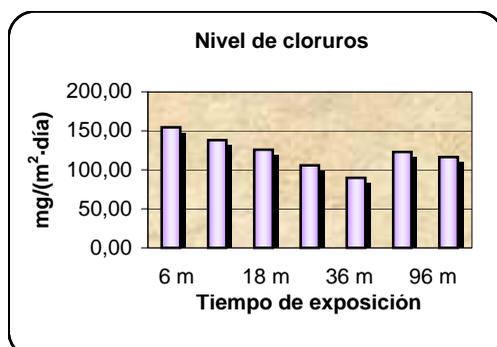
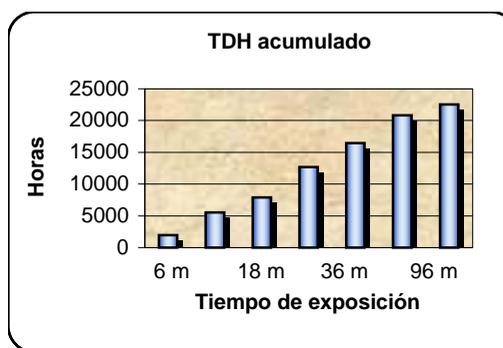
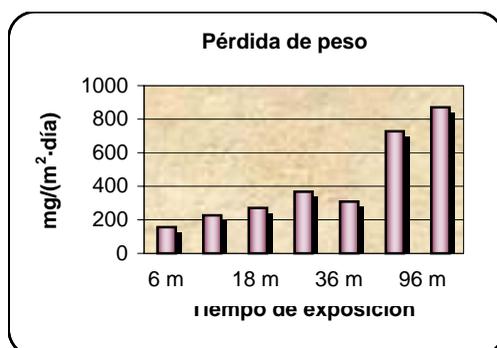
**Emplazamiento:** Azotea del grupo VI de la C.T: de Las Salinas

**Longitud:** 28° 32' 01"

**Latitud:** 13° 50' 22"

**Altura:** 38 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	7,29843839	164,3648317	154,59	3,29	1940
6 m	6,676090931	150,3492259	154,59	3,29	1940
6 m	6,853273185	154,3394673	154,59	3,29	1940
12 m	10,20289488	229,7747832	138,13	3,50	5543
12 m	9,765821241	219,9316455	138,13	3,50	5543
12 m	10,28020768	231,5159098	138,13	3,50	5543
18 m	12,34269544	277,9642644	125,84	3,40	7913
18 m	12,36067805	278,3692427	125,84	3,40	7913
18 m	11,35670934	255,7593172	125,84	3,40	7913
24 m	15,95001635	359,203108	105,76	4,93	12652
24 m	16,76525958	377,5628322	105,76	4,93	12652
24 m	16,2628513	366,2483225	105,76	4,93	12652
36 m	14,9707229	337,1488828	89,66	4,16	16453
36 m	13,53612521	304,8409567	89,66	4,16	16453
36 m	12,66252415	285,1669822	89,66	4,16	16453
72 m	31,41963592	707,5874171	122,80	3,86	20840
72 m	32,0298057	721,3287749	122,80	3,86	20840
72 m	33,43511017	752,9770017	122,80	3,86	20840
96 m	36,50298071	822,0671272	116,44	3,97	22549
96 m	40,22960663	905,9927849	116,44	3,97	22549
96 m	39,33970686	885,9517545	116,44	3,97	22549



## ESTACIÓN Nº 4 - EL COTILLO

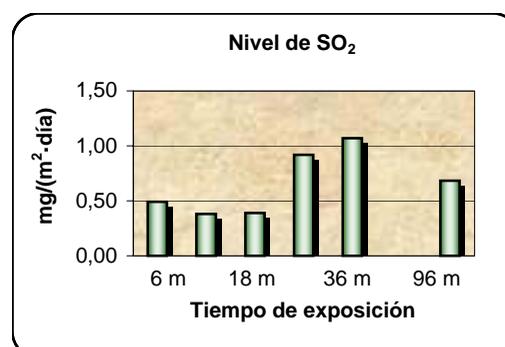
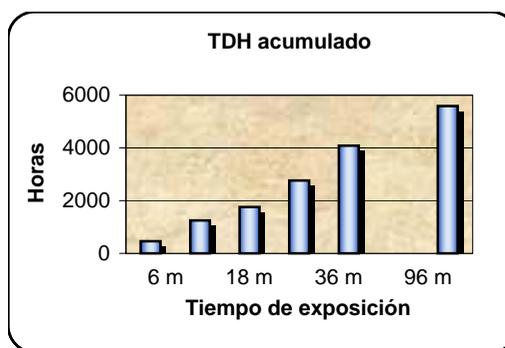
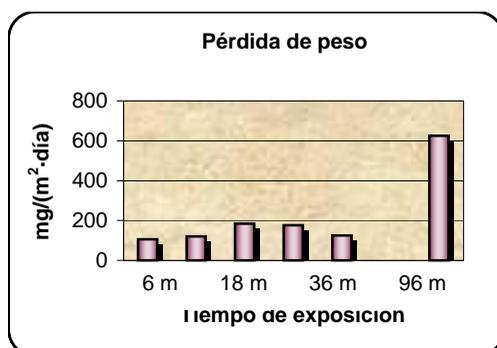
**Emplazamiento:** Azotea del Centro Cultural del Cotillo

**Longitud:** 28° 40' 54"

**Latitud:** 14° 00' 45"

**Altura:** 35 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m/año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	4,717177068	106,2334123	184,97	0,49	464
6 m	4,717177068	106,2334123	184,97	0,49	464
6 m	4,654901641	104,8309356	184,97	0,49	464
12 m	4,816688574	108,474466	158,69	0,38	1245
12 m	5,690437948	128,1517806	158,69	0,38	1245
12 m	5,480804562	123,4307219	158,69	0,38	1245
18 m	8,519719218	191,8687451	128,04	0,39	1753
18 m	7,745137284	174,4247356	128,04	0,39	1753
18 m	8,271931851	186,2884378	128,04	0,39	1753
24 m	7,602192652	171,2055441	119,53	0,92	2768
24 m	7,853592902	176,8672155	119,53	0,92	2768
24 m	7,95819453	179,2229015	119,53	0,92	2768
36 m					
36 m	5,119384036	115,2913336	114,31	1,07	4080
36 m	5,931464293	133,579826	114,31	1,07	4080
72 m					
72 m					
72 m					
96 m	26,50844469	596,9846996	132,34	0,68	5592
96 m	29,0892383	655,1055859	132,34	0,68	5592
96 m					



## ESTACIÓN Nº 5 - GRAN TARAJAL

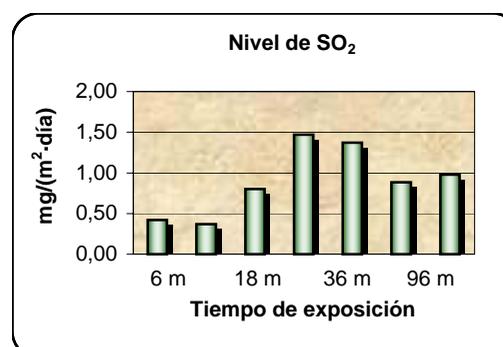
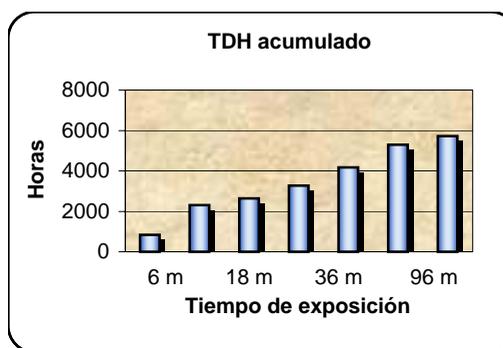
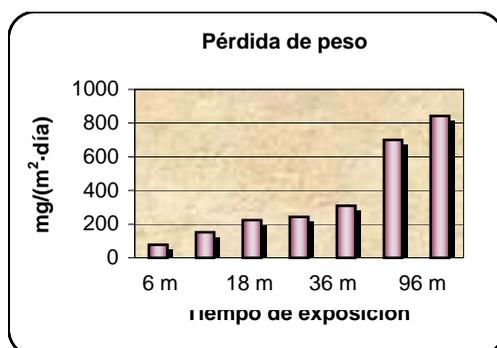
**Emplazamiento:** Azotea de la Tenencia de Alcaldía en Gran Tarajal

**Longitud:** 28° 12' 49"

**Latitud:** 14° 01' 13"

**Altura:** 10 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	3,265568506	73,54239211	71,38	0,42	833
6 m	3,553001592	80,01554271	71,38	0,42	833
6 m	3,66328836	82,49926115	71,38	0,42	833
12 m	6,837867623	153,9925256	59,50	0,37	2315
12 m	6,826439022	153,7351473	59,50	0,37	2315
12 m	6,574800559	148,0681112	59,50	0,37	2315
18 m	10,52758758	237,0870408	56,87	0,80	2635
18 m	8,697367958	195,8694921	56,87	0,80	2635
18 m	10,53666196	237,2914008	56,87	0,80	2635
24 m	10,86198663	244,6178907	55,78	1,47	3274
24 m	10,81784702	243,6238425	55,78	1,47	3274
24 m	10,7142713	241,2912606	55,78	1,47	3274
36 m	14,6270714	329,4096629	57,48	1,37	4181
36 m	10,71440663	241,2943082	57,48	1,37	4181
36 m	15,82357427	356,355563	57,48	1,37	4181
72 m	30,9850221	697,7996758	60,20	0,89	5296
72 m	30,41804946	685,0311412	60,20	0,89	5296
72 m	31,76464182	715,357139	60,20	0,89	5296
96 m	37,17887231	837,2885765	57,97	0,98	5730
96 m	38,55149737	868,2008449	57,97	0,98	5730
96 m	36,61394142	824,5660233	57,97	0,98	5730



## ESTACIÓN Nº 6 - COSTA CALMA

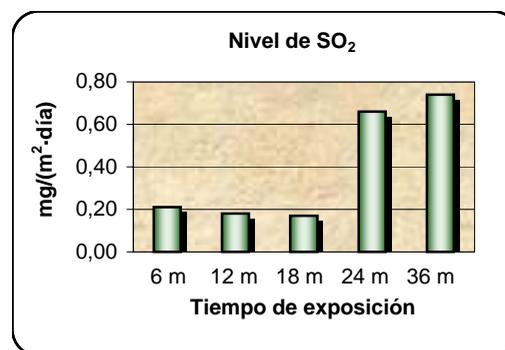
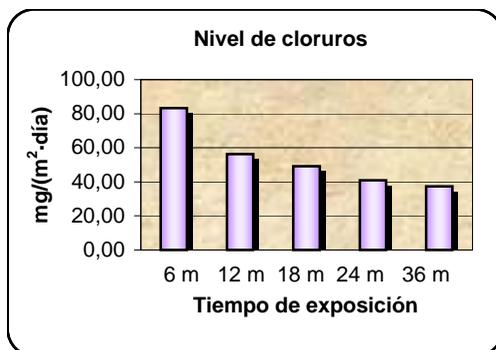
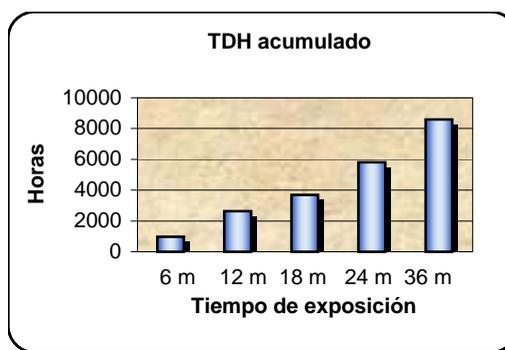
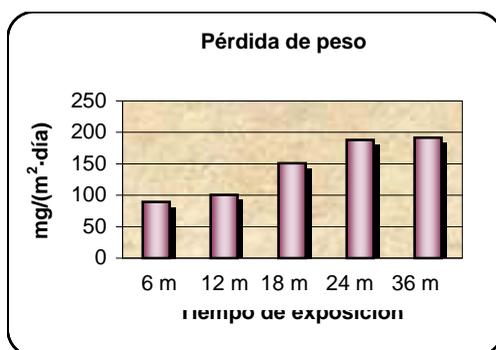
**Emplazamiento:** Subestación de Unelo-Endesa en Costa Calma

**Longitud:** 28° 09' 42"

**Latitud:** 14° 13' 55"

**Altura:** 100 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	3,996686046	90,00755972	83,21	0,21	979
6 m	4,156320036	93,60260465	83,21	0,21	979
6 m	3,732869799	84,06627328	83,21	0,21	979
12 m	4,294953909	96,72471543	56,36	0,18	2628
12 m	4,726692987	106,447716	56,36	0,18	2628
12 m	4,401601287	99,12647281	56,36	0,18	2628
18 m	7,081955952	159,4895286	49,24	0,17	3686
18 m	6,762812	152,3022319	49,24	0,17	3686
18 m	6,288229176	141,6143667	49,24	0,17	3686
24 m	8,592423067	193,5060757	40,94	0,66	5801
24 m	8,143305496	183,3917019	40,94	0,66	5801
24 m	8,312713484	187,2068626	40,94	0,66	5801
36 m	7,403359746	166,7277181	37,32	0,74	8598
36 m	7,14179902	160,8372273	37,32	0,74	8598
36 m	10,98641382	247,4200592	37,32	0,74	8598
72 m					
72 m					
72 m					
96 m					
96 m					
96 m					



## ESTACIÓN Nº 7 - ARRECIFE

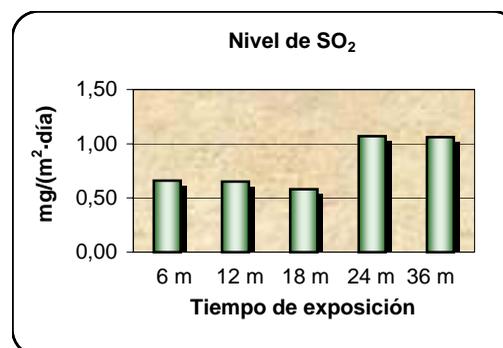
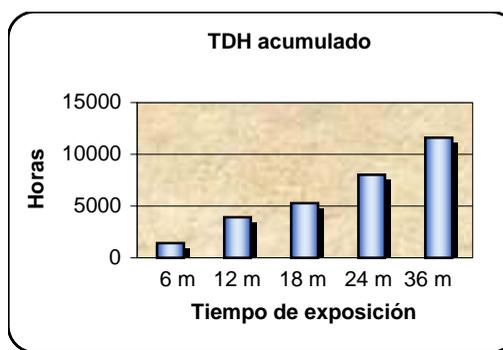
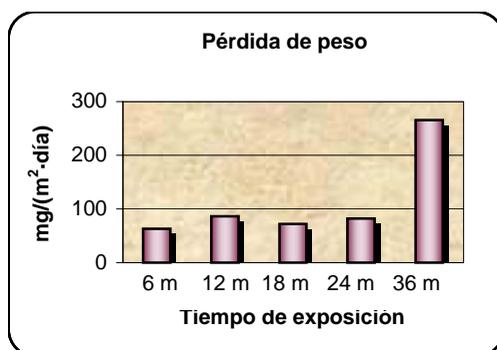
**Emplazamiento:** Azotea del Cabildo Insular de Lanzarote

**Longitud:** 28° 57' 57"

**Latitud:** 13° 32' 00"

**Altura:** 25 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m/año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	3,021178054	68,03858521	36,09	0,66	1433
6 m	2,643371597	59,5301768	36,09	0,66	1433
6 m	2,735081076	61,5955245	36,09	0,66	1433
12 m	3,764941543	84,78854653	33,14	0,65	3926
12 m	3,49154706	78,63155297	33,14	0,65	3926
12 m	4,241738268	95,52627003	33,14	0,65	3926
18 m	3,200250894	72,07140369	28,60	0,58	5289
18 m	2,875885736	64,7665226	28,60	0,58	5289
18 m	3,485301665	78,49090325	28,60	0,58	5289
24 m	3,557977151	80,12759502	25,22	1,07	8014
24 m	3,522303224	79,32419863	25,22	1,07	8014
24 m	3,880590864	87,39303262	25,22	1,07	8014
36 m	6,547337749	147,4496337	25,58	1,06	11610
36 m	22,68539782	510,8875894	25,58	1,06	11610
36 m	6,167237137	138,8895596	25,58	1,06	11610
72 m					
72 m					
72 m					
96 m					
96 m					
96 m					



## ESTACIÓN Nº 8 - CENTRAL TÉRMICA PUNTA GRANDE

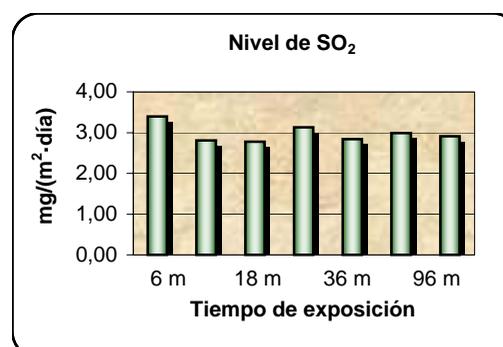
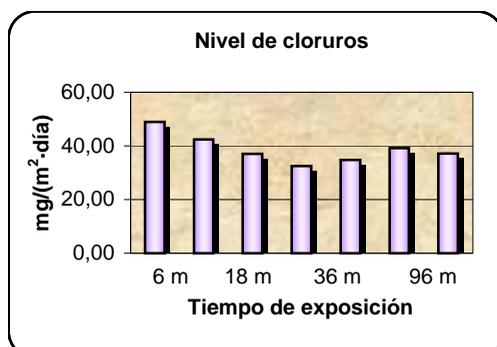
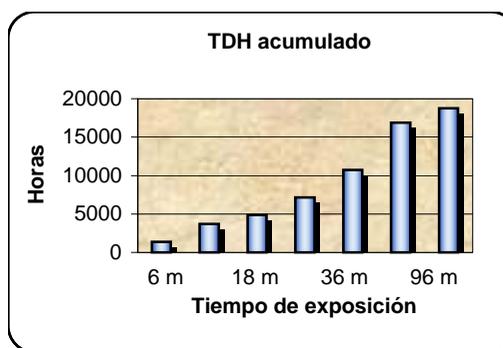
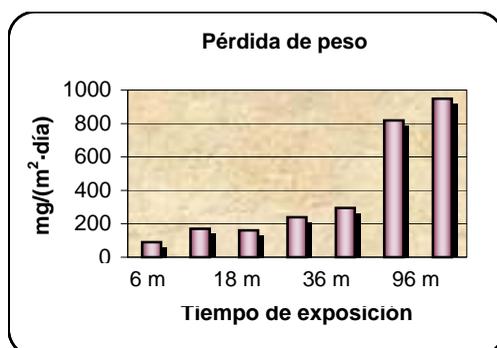
**Emplazamiento:** Azotea de las oficinas de la C.T. de Punta Grande

**Longitud:** 28° 59' 20"

**Latitud:** 13° 30' 00"

**Altura:** 25 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	4,025948871	90,66657457	48,97	3,40	1384
6 m	4,112038026	92,60534951	48,97	3,40	1384
6 m	3,899541145	87,81980332	48,97	3,40	1384
12 m	7,543356832	169,8805292	42,35	2,81	3714
12 m	7,704660722	173,5131812	42,35	2,81	3714
12 m	7,306508672	164,5465789	42,35	2,81	3714
18 m	7,134705003	160,6774661	37,04	2,78	4855
18 m	7,082910759	159,5110313	37,04	2,78	4855
18 m	7,283405539	164,0262836	37,04	2,78	4855
24 m	10,37531147	233,6576995	32,54	3,13	7137
24 m	11,06794738	249,2562397	32,54	3,13	7137
24 m	10,34575421	232,9920538	32,54	3,13	7137
36 m	11,40638578	256,8780578	34,76	2,84	10742
36 m	14,05061229	316,4274878	34,76	2,84	10742
36 m	13,72464523	309,086531	34,76	2,84	10742
72 m	36,65036291	825,386255	39,13	2,99	16894
72 m	36,97376783	832,6695111	39,13	2,99	16894
72 m	35,44027095	798,1343212	39,13	2,99	16894
96 m	42,8122719	964,1558221	37,16	2,91	18739
96 m	41,80284537	941,4229834	37,16	2,91	18739
96 m	41,67885613	938,6306777	37,16	2,91	18739



## ESTACIÓN Nº 9 - AEROPUERTO DE LANZAROTE

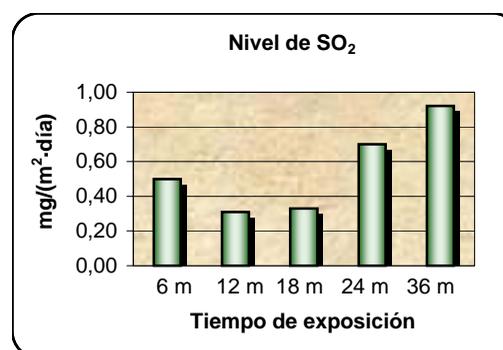
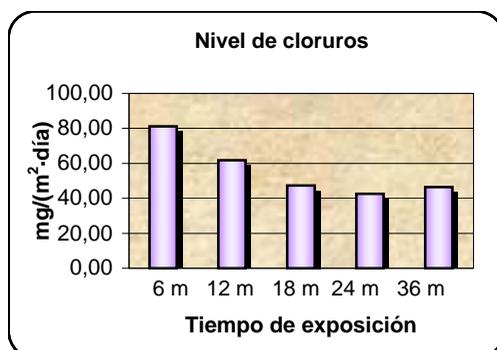
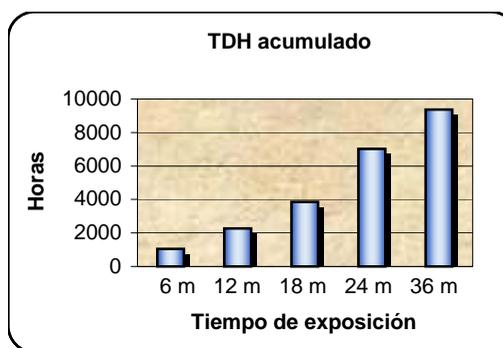
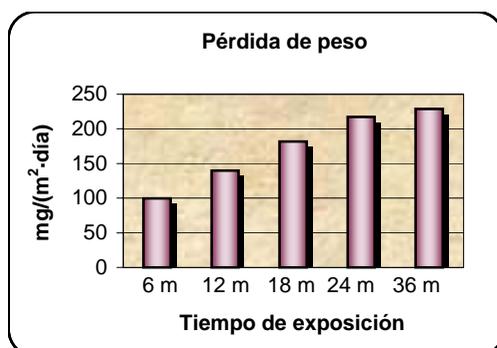
**Emplazamiento:** Azotea de la antigua terminal de salidas

**Longitud:** 28° 56' 51"

**Latitud:** 13° 35' 58"

**Altura:** 15 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	4,424332845	99,63839995	81,21	0,50	1042
6 m	4,46546554	100,5647308	81,21	0,50	1042
6 m	4,390737326	98,88181046	81,21	0,50	1042
12 m	5,92761903	133,4932286	61,87	0,31	2265
12 m	6,28158413	141,4647166	61,87	0,31	2265
12 m	6,412963946	144,423462	61,87	0,31	2265
18 m	8,302295804	186,9722507	47,38	0,33	3850
18 m	8,843089094	199,1512119	47,38	0,33	3850
18 m	7,053947951	158,858773	47,38	0,33	3850
24 m	9,745461376	219,4731302	42,51	0,70	7019
24 m	9,502424621	213,9998093	42,51	0,70	7019
24 m	9,709853048	218,6712111	42,51	0,70	7019
36 m	9,769716627	220,0193717	46,38	0,92	9376
36 m	11,28439708	254,1308054	46,38	0,92	9376
36 m	9,411067043	211,9423866	46,38	0,92	9376
72 m					
72 m					
72 m					
96 m					
96 m					
96 m					



## ESTACIÓN Nº 10 - HARÍA

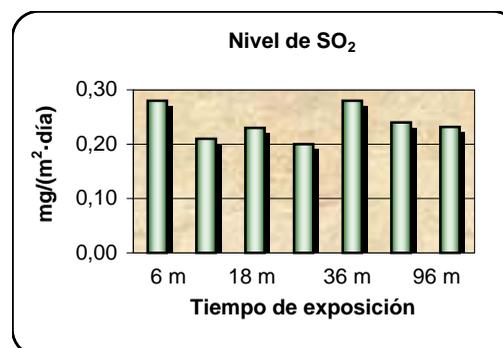
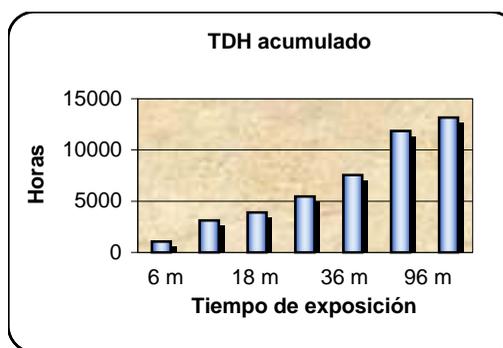
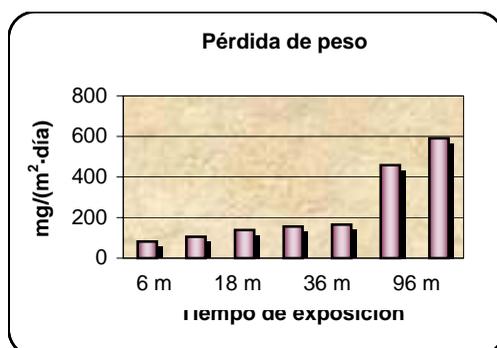
**Emplazamiento:** Azotea Ayuntamiento de Haría

**Longitud:** 29° 08' 51"

**Latitud:** 13° 30' 02"

**Altura:** 278 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$		Cloruros	SO <sub>2</sub>	TDH
	( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	(horas/año)
6 m	3,619325291	81,50918876	40,70	0,28	1074
6 m	3,743910123	84,31490743	40,70	0,28	1074
6 m	3,570187609	80,40258121	40,70	0,28	1074
12 m	4,589613648	103,3606142	32,45	0,21	3109
12 m	4,733235127	106,5950486	32,45	0,21	3109
12 m	4,672742787	105,232728	32,45	0,21	3109
18 m	5,716081054	128,7292774	26,77	0,23	3896
18 m	5,513984624	124,1779551	26,77	0,23	3896
18 m	7,32000697	164,8505679	26,77	0,23	3896
24 m	6,884967705	155,0532453	22,58	0,20	5469
24 m	6,772126191	152,5119926	22,58	0,20	5469
24 m	7,185076795	161,8118665	22,58	0,20	5469
36 m	6,916218754	155,7570361	26,07	0,28	7538
36 m	5,19696755	117,0385569	26,07	0,28	7538
36 m	9,945116641	223,9694761	26,07	0,28	7538
72 m	19,60111526	441,4278559	29,71	0,24	11854
72 m	19,81769863	446,3054322	29,71	0,24	11854
72 m	21,56569473	485,6712622	29,71	0,24	11854
96 m	25,99188923	585,3515875	27,52	0,23	13149
96 m	26,69665949	601,2234	27,52	0,23	13149
96 m	25,94191341	584,2261048	27,52	0,23	13149



## ESTACIÓN Nº 11 - TEGUISE

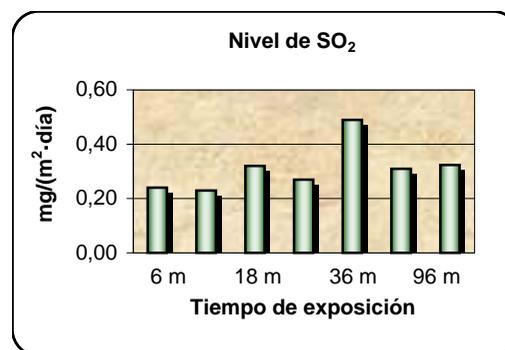
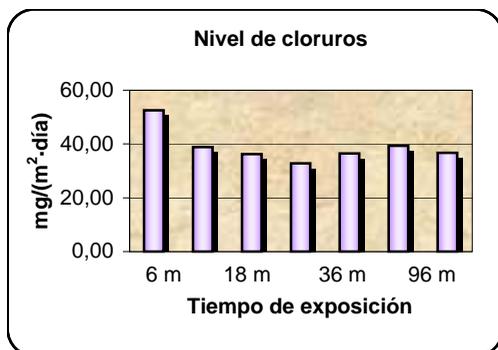
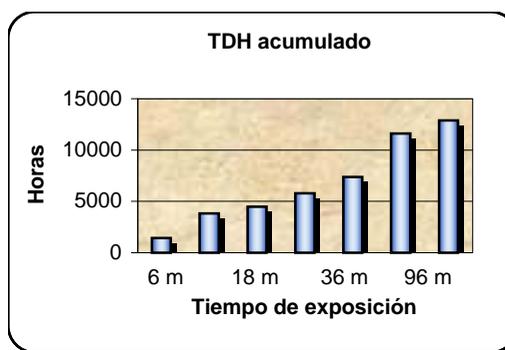
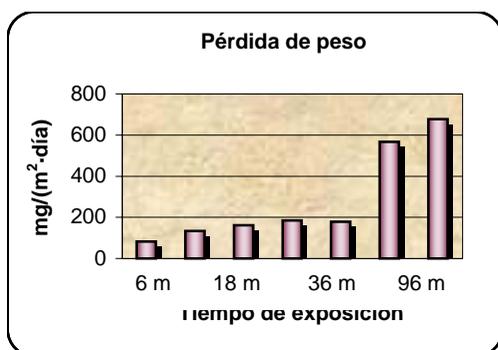
**Emplazamiento:** Azotea del almacén municipal de Tegui se

**Longitud:** 29° 03' 40"

**Latitud:** 13° 33' 21"

**Altura:** 280 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$		Cloruros	SO <sub>2</sub>	TDH
	( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	(horas/año)
6 m	3,539336202	79,70779062	52,55	0,24	1422
6 m	3,31746281	74,71108026	52,55	0,24	1422
6 m	4,043994522	91,07297252	52,55	0,24	1422
12 m	5,967209706	134,3848323	38,83	0,23	3816
12 m	5,903610388	132,9525408	38,83	0,23	3816
12 m	5,851906275	131,7881358	38,83	0,23	3816
18 m	6,433602837	144,8882612	36,20	0,32	4478
18 m	8,55448081	192,6515952	36,20	0,32	4478
18 m	6,456564135	145,4053622	36,20	0,32	4478
24 m	7,901029337	177,93551	32,79	0,27	5801
24 m	8,520135229	191,8781139	32,79	0,27	5801
36 m	10,54231704	237,4187564	36,49	0,49	7385
36 m	5,99684563	135,0522495	36,49	0,49	7385
36 m	7,357468475	165,6942216	36,49	0,49	7385
72 m	23,02884854	518,6222877	39,37	0,31	11614
72 m	25,89832484	583,2444663	39,37	0,31	11614
72 m	26,50637121	596,9380038	39,37	0,31	11614
96 m	31,55445603	710,62364	36,74	0,32	12882
96 m	28,12820837	633,4626653	36,74	0,32	12882
96 m	30,62122456	689,6067559	36,74	0,32	12882



## ESTACIÓN Nº 12 - YAIZA

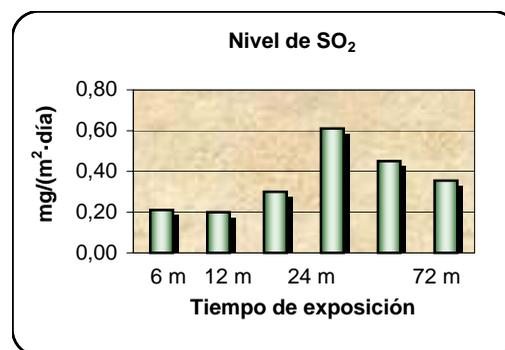
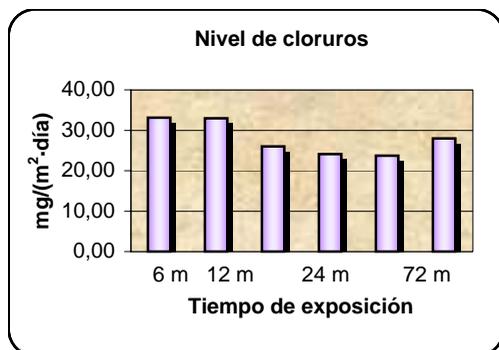
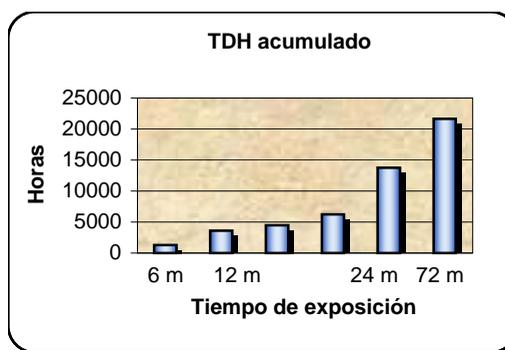
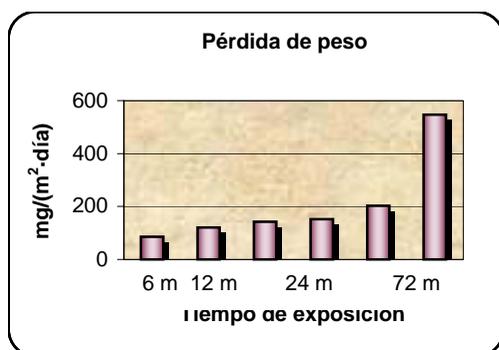
**Emplazamiento:** Azotea del grupo VI de la C.T: de Las Salinas

**Longitud:** 28° 57' 08"

**Latitud:** 13° 45' 55"

**Altura:** 180 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	4,013515745	90,38657376	33,15	0,21	1265
6 m	3,907052777	87,98896939	33,15	0,21	1265
6 m	3,51241212	79,10144555	33,15	0,21	1265
12 m	4,931827519	111,0674581	32,99	0,20	3614
12 m	5,769338587	129,9286663	32,99	0,20	3614
12 m	5,443224364	122,5843953	32,99	0,20	3614
18 m	6,251367519	140,7842219	26,04	0,30	4480
18 m	6,342445541	142,8353489	26,04	0,30	4480
18 m	6,42447914	144,6827905	26,04	0,30	4480
24 m	6,405779849	144,2616722	24,13	0,61	6212
24 m	6,875341418	154,836456	24,13	0,61	6212
24 m	6,969077109	156,9474352	24,13	0,61	6212
36 m	9,407275474	211,8569983	23,70	0,45	13751
36 m	10,39748203	234,1569926	23,70	0,45	13751
36 m	7,182905785	161,7629741	23,70	0,45	13751
72 m	23,71166011	533,9995783	28,00	0,35	21626
72 m	24,86503203	559,974146	28,00	0,35	21626
72 m					
96 m					
96 m					
96 m					



## ESTACIÓN Nº 13 - CENTRAL TÉRMICA DE JINÁMAR

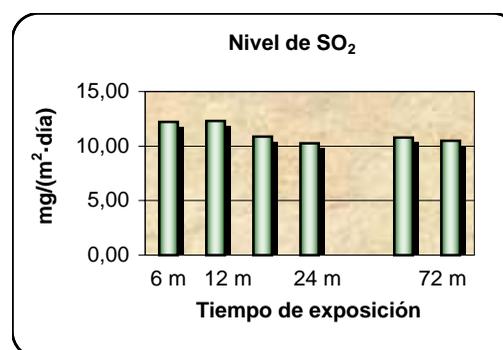
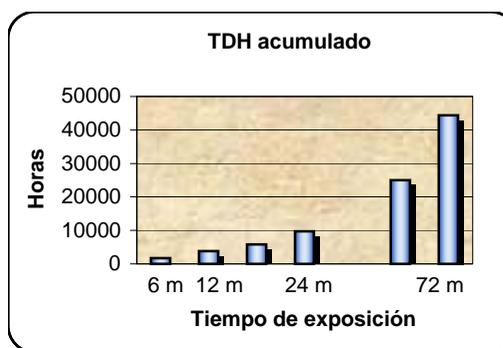
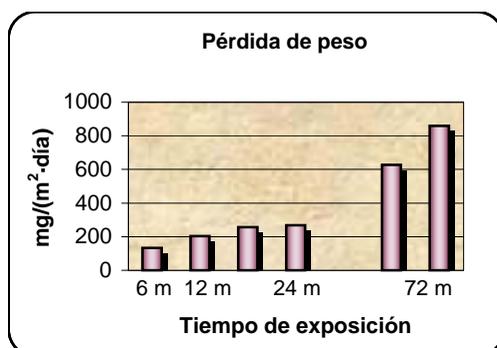
**Emplazamiento:** Azotea de las oficinas de la C.T. de Jinámar

**Longitud:** 28° 02' 35"

**Latitud:** 15° 23' 43"

**Altura:** 30 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	4,655448843	104,8432589	227,30	12,23	1689
6 m	6,560289593	147,7413163	227,30	12,23	1689
6 m	6,390418965	143,9157367	227,30	12,23	1689
12 m	9,076019101	204,3969233	168,94	12,30	3824
12 m	8,436691281	189,9989105	168,94	12,30	3824
12 m	9,670077685	217,7754481	168,94	12,30	3824
18 m	11,1886685	251,9749454	147,25	10,86	5779
18 m	11,55160081	260,1483798	147,25	10,86	5779
18 m	11,53321195	259,7342526	147,25	10,86	5779
24 m	11,04864877	248,8216244	105,88	10,24	9689
24 m	11,82012338	266,1956552	105,88	10,24	9689
24 m	12,80172922	288,3019568	105,88	10,24	9689
36 m					
36 m					
36 m					
72 m					
72 m	29,1021219	655,3957316	149,07	10,79	24955
72 m	26,69495453	601,1850034	149,07	10,79	24955
96 m	35,39253833	797,0593563	133,43	10,50	44392
96 m	36,99403151	833,1258602	133,43	10,50	44392
96 m	42,09252235	947,9466678	133,43	10,50	44392



## ESTACIÓN Nº 14 - ARUCAS

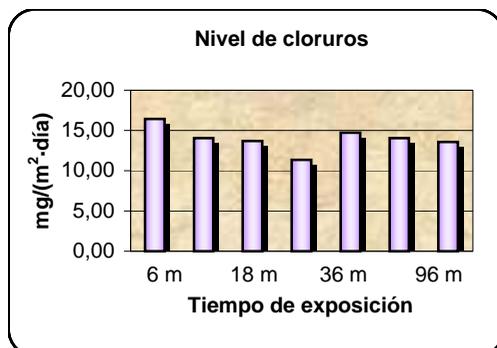
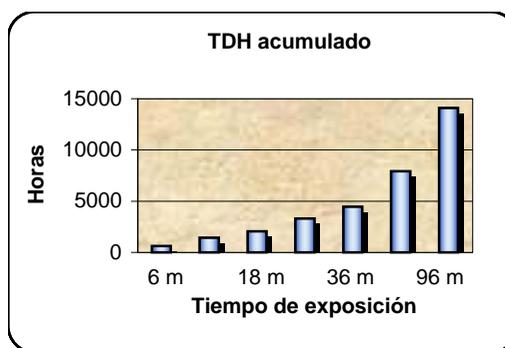
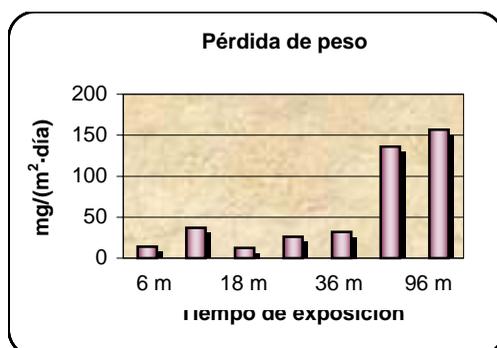
**Emplazamiento:** Azotea del Ayuntamiento de Arucas

**Longitud:** 28° 07' 14"

**Latitud:** 15° 30' 36"

**Altura:** 250 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$		Cloruros	SO <sub>2</sub>	TDH
	( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	(horas/año)
6 m	0,583906514	13,14989465	16,42	0,64	623
6 m	0,665026118	14,97675257	16,42	0,64	623
6 m	0,632169934	14,23681332	16,42	0,64	623
12 m	1,610737754	36,27469682	14,05	0,49	1425
12 m	1,557244662	35,07000307	14,05	0,49	1425
12 m	1,776393044	40,00534471	14,05	0,49	1425
18 m	0,670882278	15,10863651	13,68	0,55	2056
18 m	0,460688857	10,37496548	13,68	0,55	2056
18 m	0,542092292	12,20821546	13,68	0,55	2056
24 m	1,092046543	24,59348653	11,34	0,91	3318
24 m	1,328809818	29,92552522	11,34	0,91	3318
24 m	1,048578547	23,61456344	11,34	0,91	3318
36 m					
36 m	1,390233271	31,30881504	14,73	0,86	4444
36 m	1,44975039	32,64917317	14,73	0,86	4444
72 m	5,262622226	118,5171362	14,04	0,69	7921
72 m	7,719804943	173,8542374	14,04	0,69	7921
72 m	5,156255123	116,1216907	14,04	0,69	7921
96 m	6,944206783	156,3873418	13,57	0,70	14090
96 m	7,282747534	164,011465	13,57	0,70	14090
96 m	6,659975369	149,9862946	13,57	0,70	14090



**ESTACIÓN Nº 15 - C.T. DE BARRANCO DE TIRAJANA**

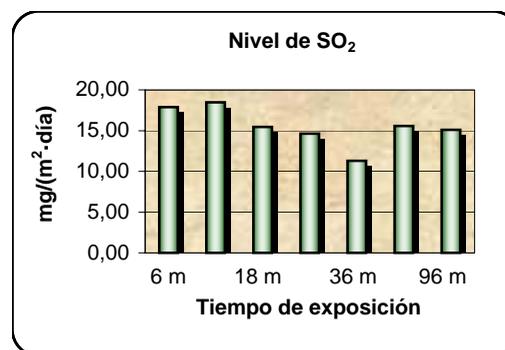
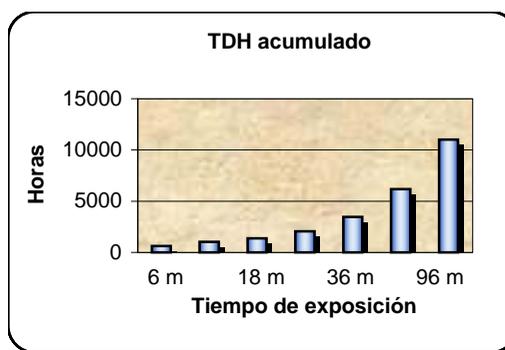
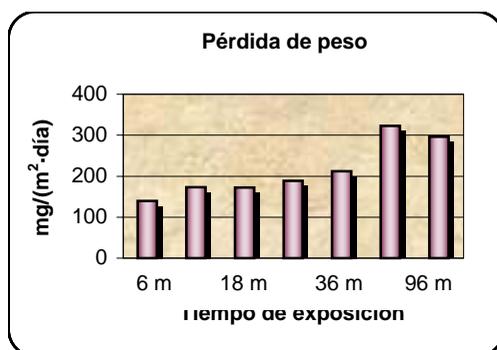
**Emplazamiento:** Azotea del laboratorio de la CT de Barranco de Tirajana

**Longitud:** 27° 48' 16"

**Latitud:** 15° 25' 33"

**Altura:** 30 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	6,337997136	142,7351684	154,47	17,90	613
6 m	5,91711419	133,2566538	154,47	17,90	613
6 m	6,341033738	142,8035543	154,47	17,90	613
12 m	7,879407296	177,4485698	133,04	18,47	1021
12 m	7,764364487	174,8577427	133,04	18,47	1021
12 m	7,40924212	166,8601924	133,04	18,47	1021
18 m	7,121288721	160,3753241	115,39	15,47	1366
18 m	8,575395664	193,1226092	115,39	15,47	1366
18 m	7,243255563	163,1220842	115,39	15,47	1366
24 m	8,020084242	180,6166917	79,69	14,63	2055
24 m	8,179102398	184,1978677	79,69	14,63	2055
24 m	8,913701541	200,7414429	79,69	14,63	2055
36 m	10,50971106	236,6844518	123,00	11,29	3469
36 m	9,467613956	213,215854	123,00	11,29	3469
36 m	8,252826747	185,8581804	123,00	11,29	3469
72 m	15,36516401	346,0319127	121,12	15,55	6184
72 m	13,90406041	313,1270592	121,12	15,55	6184
72 m	13,72932559	309,1919352	121,12	15,55	6184
96 m	13,05384955	293,9798446	114,45	15,08	11000
96 m	13,07795596	294,5227341	114,45	15,08	11000
96 m	13,34837585	300,6127383	114,45	15,08	11000



**ESTACIÓN Nº 16 - SANTA BRÍGIDA**

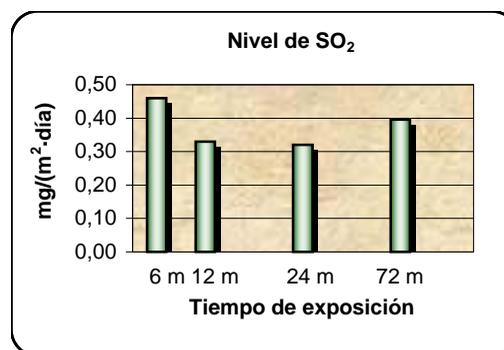
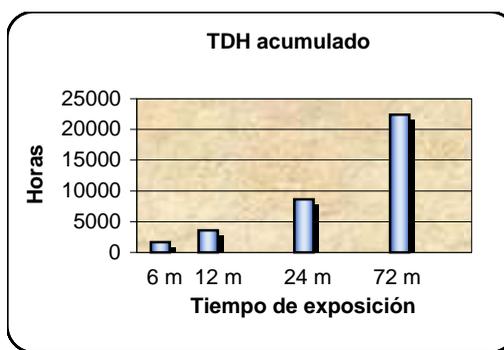
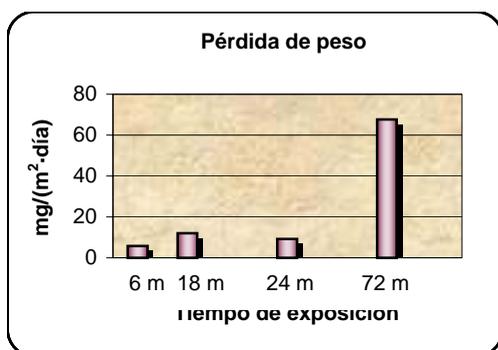
**Emplazamiento:** Azotea del Ayuntamiento de Santa Brígida

**Longitud:** 28° 02' 02"

**Latitud:** 15° 19' 13"

**Altura:** 520 m.

Tiempo de exposición	V <sub>corr</sub>		Cloruros	SO <sub>2</sub>	TDH
	(µm/año)	(mg/(m <sup>2</sup> ·día))			
6 m	0,282050475	6,351931236	18,97	0,46	1652
6 m	0,206703578	4,655077845	18,97	0,46	1652
6 m	0,287080268	6,465204929	18,97	0,46	1652
12 m	0,541462571	12,1940338	19,42	0,33	3604
12 m	0,509598442	11,47643615	19,42	0,33	3604
12 m	0,561793039	12,65188706	19,42	0,33	3604
18 m					
18 m					
18 m					
24 m	0,422969175	9,525497587	16,42	0,32	8647
24 m	0,422189983	9,507949765	16,42	0,32	8647
24 m	0,390494506	8,794150249	16,42	0,32	8647
36 m					
36 m					
36 m					
72 m	2,254581622	50,77441352	18,26	0,40	22402
72 m	3,506404667	78,96615442	18,26	0,40	22402
72 m	3,25915699	73,39800124	18,26	0,40	22402
96 m					
96 m					
96 m					



**ESTACIÓN Nº 17 - CABILDO DE GRAN CANARIA**

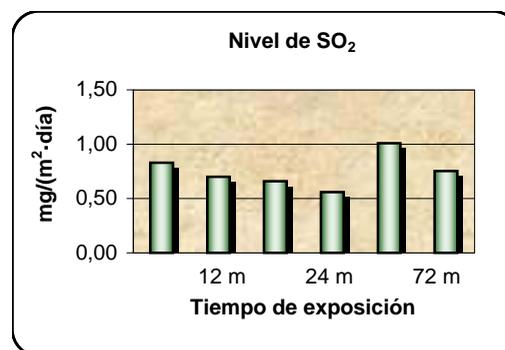
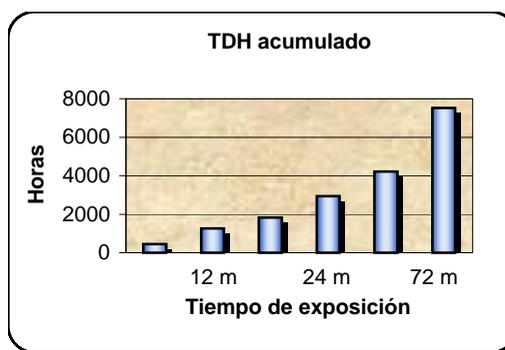
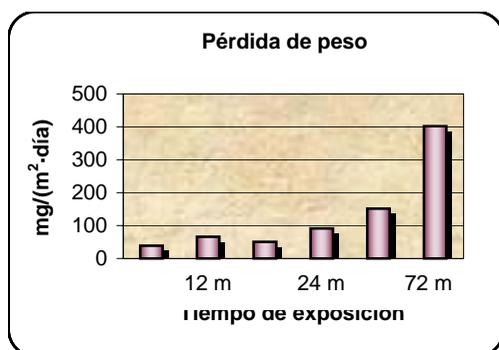
**Emplazamiento:** Azotea del Centro Insular de Cultura

**Longitud:** 28° 06' 16"

**Latitud:** 15° 24' 20"

**Altura:** 40 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	1,625210284	36,60062612	20,65	0,83	440
6 m	1,775439806	39,98387727	20,65	0,83	440
6 m	1,813967809	40,851549	20,65	0,83	440
12 m	2,425301654	54,61912219	18,90	0,70	1257
12 m	3,011263521	67,8153045	18,90	0,70	1257
12 m	3,305688236	74,44591042	18,90	0,70	1257
18 m	2,17479466	48,97756742	15,95	0,66	1819
18 m	2,285864321	51,47891704	15,95	0,66	1819
18 m	2,301457367	51,83008099	15,95	0,66	1819
24 m	4,079618777	91,87525027	15,43	0,56	2942
24 m	4,313252058	97,13679977	15,43	0,56	2942
24 m	3,774397521	85,00150034	15,43	0,56	2942
36 m	7,451603813	167,8142009	19,04	1,01	4221
36 m	5,875232359	132,313452	19,04	1,01	4221
36 m	6,903086897	155,4612994	19,04	1,01	4221
72 m	17,80492857	400,9767476	17,99	0,75	7523
72 m	18,10011542	407,6245172	17,99	0,75	7523
72 m	17,68915999	398,3695758	17,99	0,75	7523
96 m					
96 m					
96 m					



**ESTACIÓN Nº 18 - SARDINA DEL NORTE**

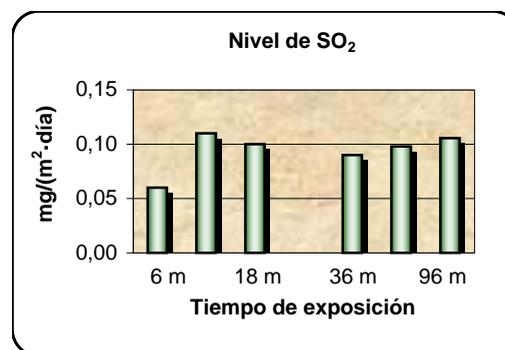
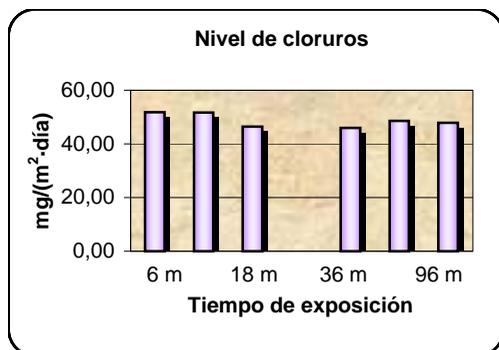
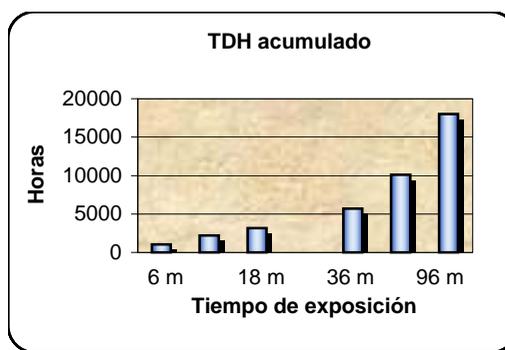
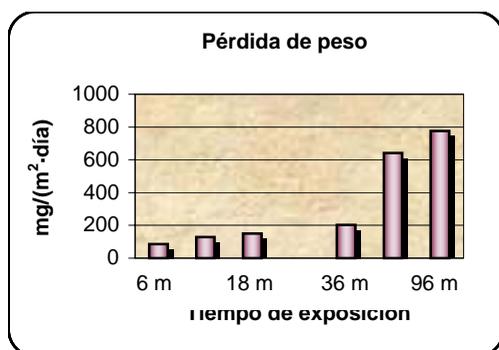
**Emplazamiento:** Azotea del colegio público de Sardina del Norte

**Longitud:** 28° 09' 10"

**Latitud:** 15° 41' 10"

**Altura:** 50 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$		Cloruros	SO <sub>2</sub>	TDH
	( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	(horas/año)
6 m	3,806674694	85,72839995	51,74	0,06	1033
6 m	3,950771301	88,9735345	51,74	0,06	1033
6 m	3,670818949	82,66885414	51,74	0,06	1033
12 m	5,952320103	134,0495103	51,64	0,11	2213
12 m	5,630140985	126,79386	51,64	0,11	2213
12 m	5,638321565	126,9780911	51,64	0,11	2213
18 m	6,789954289	152,9134911	46,48	0,10	3179
18 m	6,870800053	154,734182	46,48	0,10	3179
18 m	6,295686531	141,7823104	46,48	0,10	3179
24 m					
24 m					
24 m					
36 m	8,827618771	198,8028118	45,99	0,09	5678
36 m	8,033002118	180,9076093	45,99	0,09	5678
36 m	10,16427638	228,9050736	45,99	0,09	5678
72 m	28,03352215	631,3302796	48,53	0,10	10120
72 m	27,98799521	630,304988	48,53	0,10	10120
72 m	29,32908059	660,5069656	48,53	0,10	10120
96 m	34,0474215	766,7665882	47,88	0,11	18003
96 m	33,60137022	756,721269	47,88	0,11	18003
96 m	35,8298251	806,907294	47,88	0,11	18003



**ESTACIÓN Nº 19 - SAN NICOLÁS DE TOLENTINO**

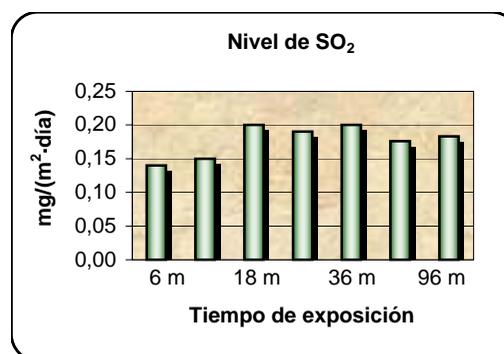
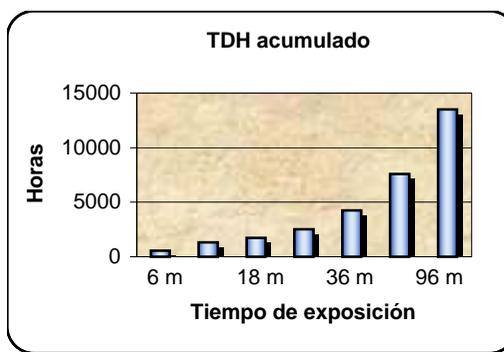
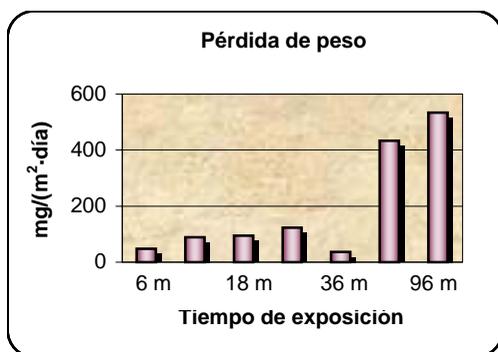
**Emplazamiento:** Azotea del Ayto. de S. Nicolas de Tolentino

**Longitud:** 27° 59' 10"

**Latitud:** 15° 46' 40"

**Altura:** 70 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	2,01584769	45,39799456	24,69	0,14	552
6 m	2,110149462	47,52172213	24,69	0,14	552
6 m	2,209494624	49,75902961	24,69	0,14	552
12 m	3,896089345	87,74206689	23,88	0,15	1324
12 m	3,965057396	89,2952652	23,88	0,15	1324
12 m	3,934676575	88,61107247	23,88	0,15	1324
18 m	4,268400583	96,12671997	22,44	0,20	1723
18 m	4,307981492	97,01810374	22,44	0,20	1723
18 m	4,083107988	91,95382922	22,44	0,20	1723
24 m	5,280520343	118,9202116	18,49	0,19	2521
24 m	5,474091798	123,2795468	18,49	0,19	2521
24 m	5,698320168	128,3292926	18,49	0,19	2521
36 m	1,408438989	31,71881778	19,94	0,20	4261
36 m	1,228259066	27,66106718	19,94	0,20	4261
36 m	2,256331471	50,81382108	19,94	0,20	4261
72 m	19,60297137	441,4696567	21,89	0,18	7594
72 m	19,12929251	430,8021492	21,89	0,18	7594
72 m	18,97952688	427,4293452	21,89	0,18	7594
96 m	24,70419134	556,3519255	21,33	0,18	13510
96 m	23,27041702	524,0625423	21,33	0,18	13510
96 m	23,07941177	519,7609993	21,33	0,18	13510



## ESTACIÓN Nº 20 - MOYA

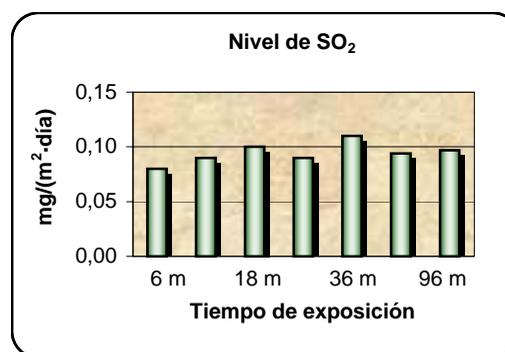
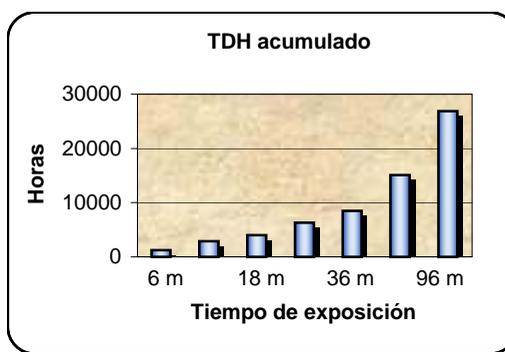
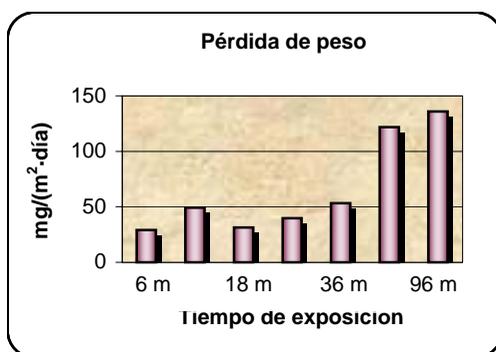
**Emplazamiento:** Azotea del Ayuntamiento de Moya

**Longitud:** 28° 06' 40"

**Latitud:** 15° 34' 17"

**Altura:** 485 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$		Cloruros	SO <sub>2</sub>	TDH
	( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	(horas/año)
6 m	1,373463181	30,93114341	16,65	0,08	1226
6 m	1,256022752	28,28632062	16,65	0,08	1226
6 m	1,259241113	28,35879987	16,65	0,08	1226
12 m	2,275094318	51,23637066	16,93	0,09	2900
12 m	2,195855768	49,45187511	16,93	0,09	2900
12 m	2,07589885	46,75037958	16,93	0,09	2900
18 m	1,513180586	34,07765593	16,59	0,10	4036
18 m	1,506941886	33,937157	16,59	0,10	4036
18 m	1,173064953	26,41806552	16,59	0,10	4036
24 m	1,807334662	40,7021669	14,13	0,09	6307
24 m	1,571770153	35,3971251	14,13	0,09	6307
24 m	1,91994922	43,23830845	14,13	0,09	6307
36 m	2,420729078	54,51614526	18,23	0,11	8474
36 m	2,405059294	54,16325314	18,23	0,11	8474
36 m	2,256331471	50,81382108	18,23	0,11	8474
72 m	5,606606078	126,263841	16,51	0,09	15104
72 m	5,470324491	123,194705	16,51	0,09	15104
72 m	5,165028758	116,3192778	16,51	0,09	15104
96 m	6,264806642	141,0868783	16,48	0,10	26868
96 m	6,392821805	143,96985	16,48	0,10	26868
96 m	5,430773418	122,3039931	16,48	0,10	26868



**ESTACIÓN Nº 21 - SANTA MARÍA DE GUÍA**

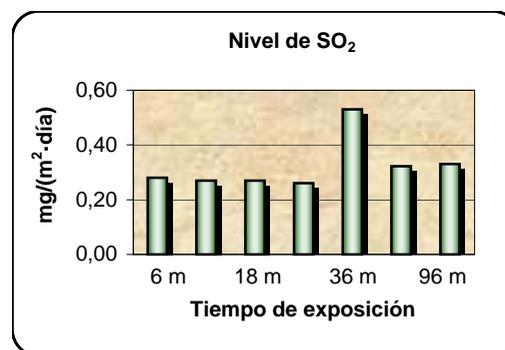
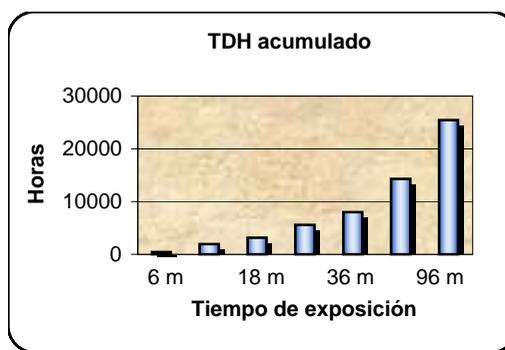
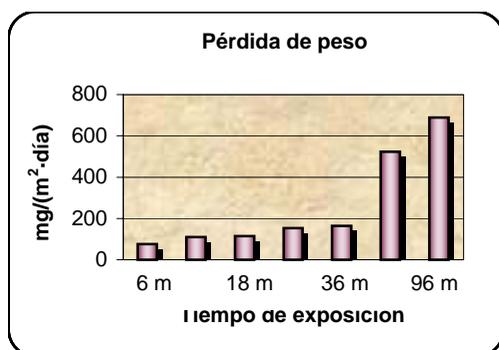
**Emplazamiento:** Azotea del Instituto Canario de Ciencias Marinas

**Longitud:** 28° 08' 27"

**Latitud:** 15° 37' 12"

**Altura:** 185 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	3,431002951	77,26806646	38,32	0,28	398
6 m	3,128855349	70,4635369	38,32	0,28	398
6 m	3,600657906	81,088789	38,32	0,28	398
12 m	4,568691381	102,8894333	28,58	0,27	1936
12 m	5,081405158	114,4360285	28,58	0,27	1936
12 m	5,085016229	114,5173518	28,58	0,27	1936
18 m	5,025415897	113,1751197	25,81	0,27	3149
18 m	5,193482463	116,9600708	25,81	0,27	3149
18 m	5,100652273	114,8694841	25,81	0,27	3149
24 m	6,791842341	152,9560111	22,17	0,26	5575
24 m	6,925082416	155,9566506	22,17	0,26	5575
24 m	6,591955018	148,454439	22,17	0,26	5575
36 m	6,782784718	152,7520284	23,30	0,53	8021
36 m	7,442737606	167,6145291	23,30	0,53	8021
36 m	7,702442531	173,4632263	23,30	0,53	8021
72 m	25,42531197	572,5919572	27,64	0,32	14296
72 m	22,11549881	498,0531513	27,64	0,32	14296
72 m	22,07239955	497,0825323	27,64	0,32	14296
96 m	30,61523882	689,4719538	25,50	0,33	25432
96 m	30,54100719	687,8002168	25,50	0,33	25432
96 m	30,61450523	689,455433	25,50	0,33	25432



## ESTACIÓN Nº 22 - TALIARTE

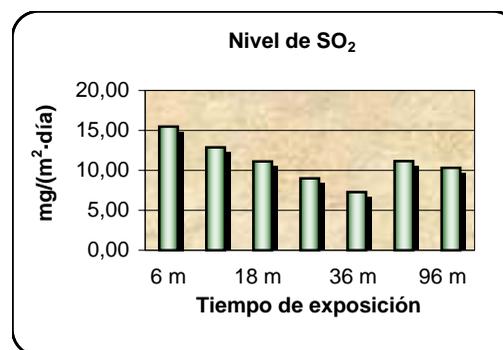
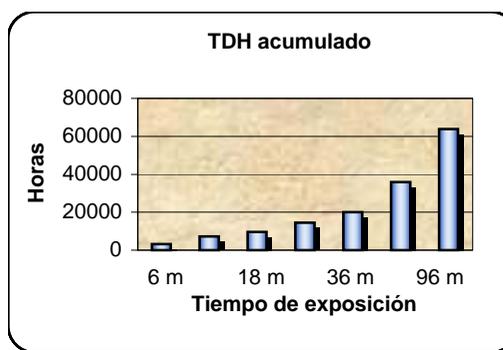
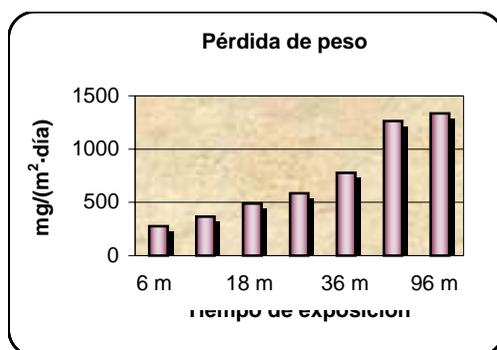
**Emplazamiento:** Azotea del Instituto Canario de Ciencias Marinas

**Longitud:** 27° 59' 27"

**Latitud:** 15° 21' 34"

**Altura:** 20 m.

Tiempo de exposición	V <sub>corr</sub>		Cloruros	SO <sub>2</sub>	TDH
	(µm/año)	(mg/(m <sup>2</sup> -día))			
6 m	11,80188682	265,7849579	1152,46	15,49	3188
6 m	12,42603957	279,8412198	1152,46	15,49	3188
6 m	12,57502496	283,1964525	1152,46	15,49	3188
12 m	16,45367574	370,5457934	933,75	12,90	7215
12 m	16,17155914	364,1923729	933,75	12,90	7215
12 m	16,26186742	366,2261649	933,75	12,90	7215
18 m	23,10174095	520,2638646	729,44	11,14	9623
18 m	20,74873635	467,2729117	729,44	11,14	9623
18 m	21,30605899	479,8241231	729,44	11,14	9623
24 m	26,67604789	600,7592154	548,36	9,02	14440
24 m	26,04314425	586,5058788	548,36	9,02	14440
24 m	25,19311211	567,3626892	548,36	9,02	14440
36 m	31,45558754	708,3970674	498,81	7,30	20126
36 m	32,82550829	739,2484333	498,81	7,30	20126
36 m	39,25482945	884,0402687	498,81	7,30	20126
72 m	58,16793661	1309,973805	772,56	11,17	35872
72 m	56,05053349	1262,288727	772,56	11,17	35872
72 m	53,89196126	1213,676497	772,56	11,17	35872
96 m	66,51334566	1497,91699	696,58	10,31	63813
96 m	55,33971416	1246,280686	696,58	10,31	63813
96 m	55,84709474	1257,707175	696,58	10,31	63813



## ESTACIÓN Nº 23 - TELDE

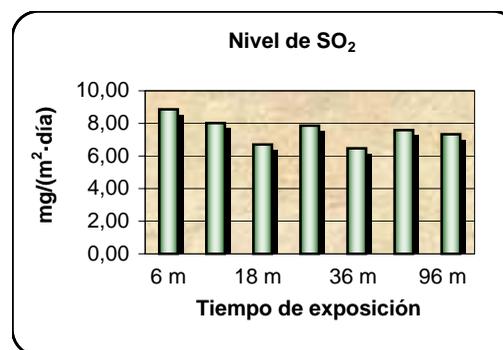
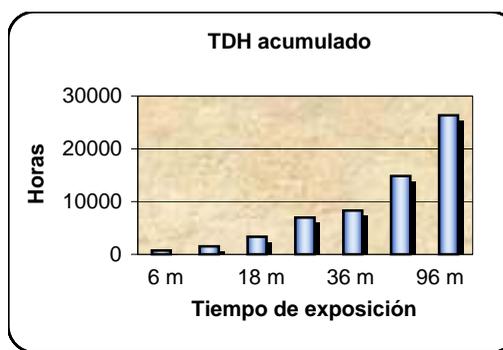
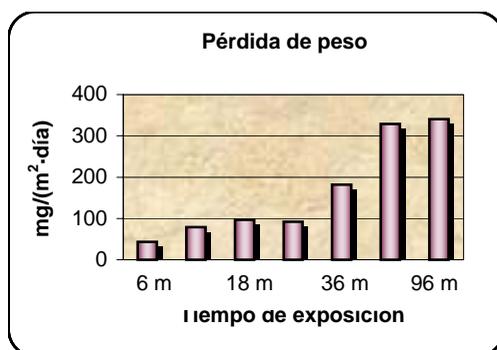
**Emplazamiento:** Azotea del Colegio Público 'Plácido Fleitas'

**Longitud:** 28° 00' 00"

**Latitud:** 15° 24' 20"

**Altura:** 200 m.

Tiempo de exposición	V <sub>corr</sub>		Cloruros	SO <sub>2</sub>	TDH
	(µm/año)	(mg/(m <sup>2</sup> -día))			
6 m	1,658391831	37,34789274	30,73	8,87	711
6 m	2,046830388	46,09574188	30,73	8,87	711
6 m	2,025099898	45,60635935	30,73	8,87	711
12 m	3,510995121	79,06953396	30,53	8,01	1515
12 m	3,503000251	78,88948511	30,53	8,01	1515
12 m	3,520676537	79,28756475	30,53	8,01	1515
18 m	3,966350095	89,32437748	27,70	6,70	3336
18 m	4,63286622	104,3346858	27,70	6,70	3336
18 m	4,254778724	95,81994824	27,70	6,70	3336
24 m	3,849463947	86,69203738	23,14	7,86	6977
24 m	4,360618994	98,20352913	23,14	7,86	6977
24 m	4,066263868	91,5744904	23,14	7,86	6977
36 m	7,417924273	167,0557192	26,91	6,48	8324
36 m	8,354530369	188,1486017	26,91	6,48	8324
36 m	8,472262953	190,800004	26,91	6,48	8324
72 m					
72 m	15,27641655	344,0332714	27,80	7,58	14836
72 m	13,91193927	313,3044953	27,80	7,58	14836
96 m	15,91091799	358,3225915	27,22	7,33	26393
96 m	11,38567418	256,4116212	27,22	7,33	26393
96 m	18,02654961	405,9677747	27,22	7,33	26393



## ESTACIÓN Nº 24 - SAN AGUSTÍN

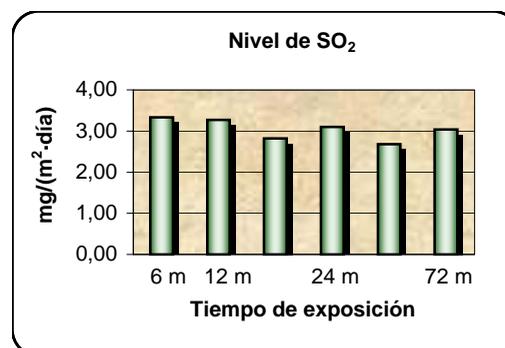
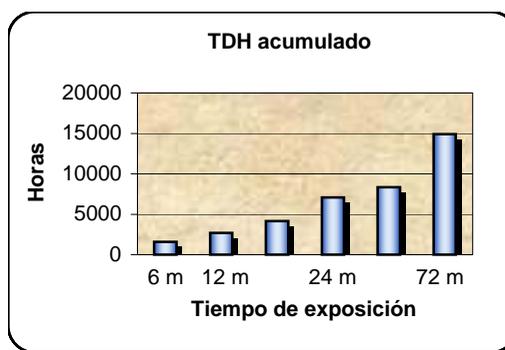
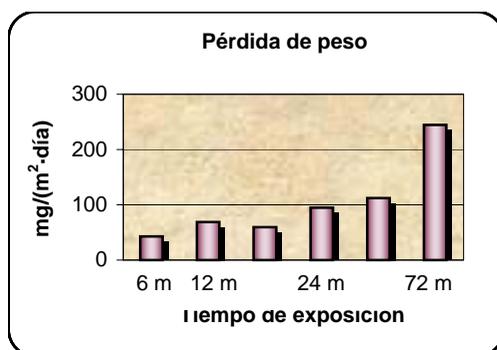
**Emplazamiento:** Azotea de la planta desaladora de Elmasa

**Longitud:** 27° 46' 21"

**Latitud:** 15° 31' 50"

**Altura:** 40 m.

Tiempo de exposición	V <sub>corr</sub> (µm/año)	Cloruros (mg/(m <sup>2</sup> -día))	SO <sub>2</sub> (mg/(m <sup>2</sup> -día))	TDH (horas/año)	
6 m	1,62668461	36,63382876	17,39	3,33	1597
6 m	2,130858506	47,98810115	17,39	3,33	1597
6 m	1,971795802	44,40592191	17,39	3,33	1597
12 m	3,469878977	78,14357586	22,15	3,27	2675
12 m	2,6163078	58,92068525	22,15	3,27	2675
12 m	3,112005184	70,08406196	22,15	3,27	2675
18 m	2,608622808	58,74761503	19,75	2,82	4140
18 m	2,664139639	59,99788448	19,75	2,82	4140
18 m	2,666368687	60,04808386	19,75	2,82	4140
24 m	4,247403314	95,65384998	16,40	3,10	7070
24 m	4,042233973	91,033324	16,40	3,10	7070
24 m	4,37120655	98,44196668	16,40	3,10	7070
36 m	5,049221867	113,7112431	19,29	2,68	8359
36 m	5,043748456	113,5879789	19,29	2,68	8359
36 m	4,825641911	108,6761	19,29	2,68	8359
72 m	11,2076598	252,4026398	19,00	3,04	14899
72 m	12,76637549	287,5057713	19,00	3,04	14899
72 m	8,598108096	193,6341056	19,00	3,04	14899
96 m					
96 m					
96 m					



**ESTACIÓN Nº 25 - AEROPUERTO DE GANDO**

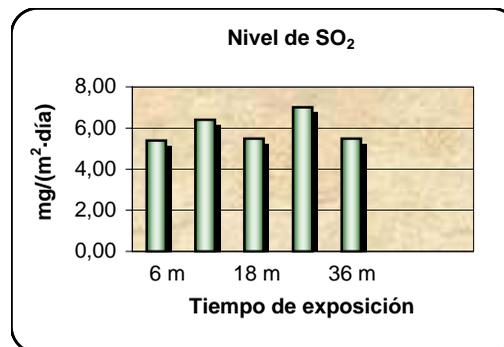
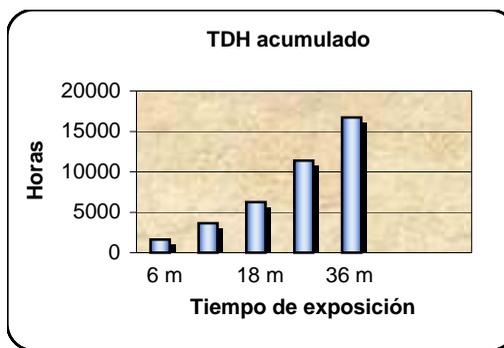
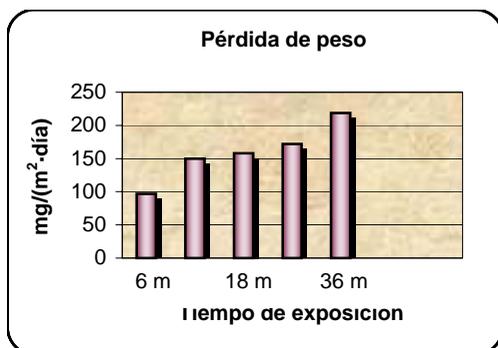
**Emplazamiento:** Azotea de la terminal de llegadas

**Longitud:** 27° 55' 54"

**Latitud:** 15° 22' 30"

**Altura:** 50 m.

Tiempo de exposición	V <sub>corr</sub>		Cloruros (mg/(m <sup>2</sup> -día))	SO <sub>2</sub> (mg/(m <sup>2</sup> -día))	TDH (horas/año)
	(µm/año)	(mg/(m <sup>2</sup> -día))			
6 m	4,111620057	92,59593663	69,71	5,39	1636
6 m	5,002206044	112,652421	69,71	5,39	1636
6 m	3,802694937	85,63877366	69,71	5,39	1636
12 m	6,644761104	149,643661	53,16	6,40	3651
12 m	7,095393864	159,7921577	53,16	6,40	3651
12 m	6,229755812	140,2975145	53,16	6,40	3651
18 m	6,349713442	142,999026	45,45	5,49	6230
18 m	7,906191538	178,0517656	45,45	5,49	6230
18 m	6,81114952	153,3908193	45,45	5,49	6230
24 m	7,533803496	169,6653828	33,74	7,01	11388
24 m	7,786979455	175,3670442	33,74	7,01	11388
24 m	7,58732887	170,8708036	33,74	7,01	11388
36 m	7,14987029	161,0189967	33,67	5,49	16715
36 m	9,980895613	224,7752382	33,67	5,49	16715
36 m	12,00338728	270,3228586	33,67	5,49	16715
72 m					
72 m					
72 m					
96 m					
96 m					
96 m					



**ESTACIÓN Nº 26 - SAN MATEO**

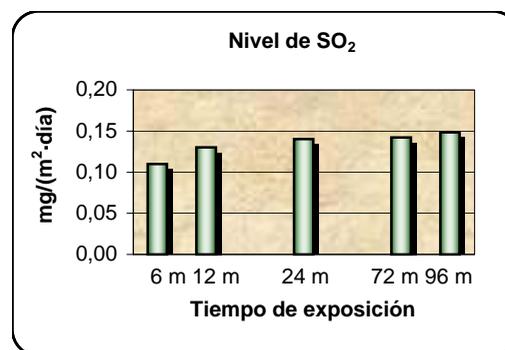
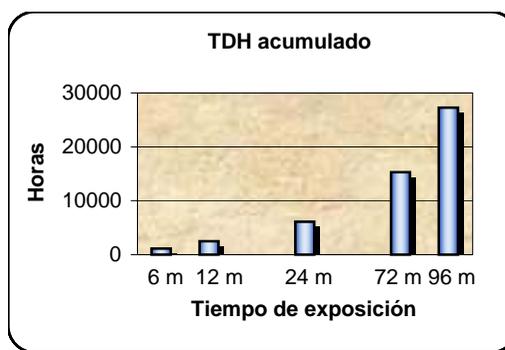
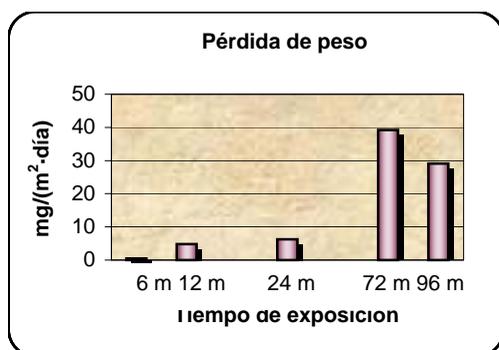
**Emplazamiento:** Azotea del antiguo Colegio Público San Mateo

**Longitud:** 28° 00' 48"

**Latitud:** 15° 31' 00"

**Altura:** 850 m.

Tiempo de exposición	V <sub>corr</sub>		Cloruros	SO <sub>2</sub>	TDH
	(µm/año)	(mg/(m <sup>2</sup> -día))			
6 m	0,014034607	0,316067044	16,69	0,11	1120
6 m	0,027923864	0,628860713	16,69	0,11	1120
6 m	0,027803883	0,626158687	16,69	0,11	1120
12 m	0,262129006	5,903288838	14,42	0,13	2510
12 m	0,165284412	3,722295521	14,42	0,13	2510
12 m					
18 m					
18 m					
18 m					
24 m	0,276290771	6,222219552	10,07	0,14	6118
24 m	0,321648371	7,243697569	10,07	0,14	6118
24 m	0,231917748	5,22291477	10,07	0,14	6118
36 m					
36 m					
36 m					
72 m	1,799655044	40,5292177	13,53	0,14	15317
72 m	1,678237479	37,7948276	13,53	0,14	15317
72 m					
96 m	1,271763395	28,64080851	12,90	0,15	27247
96 m	1,345350209	30,29802389	12,90	0,15	27247
96 m	1,253033118	28,21899241	12,90	0,15	27247



## ESTACIÓN Nº 27 - TEJEDA

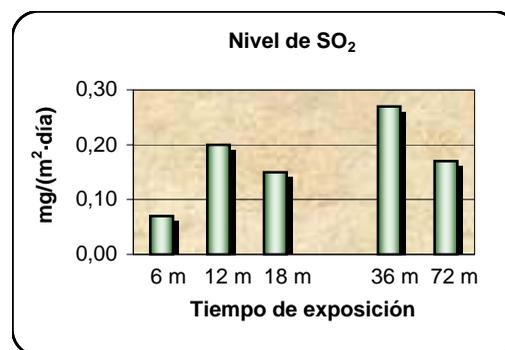
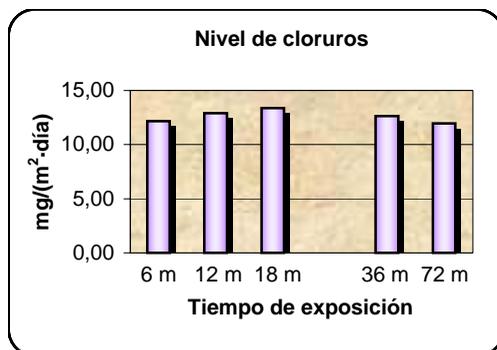
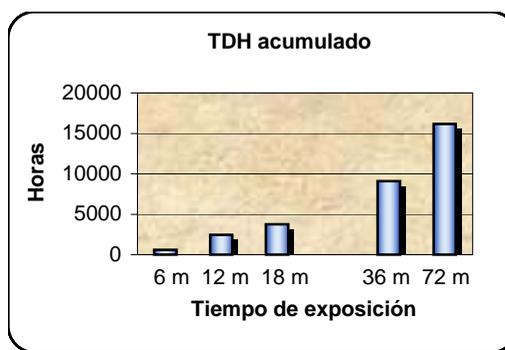
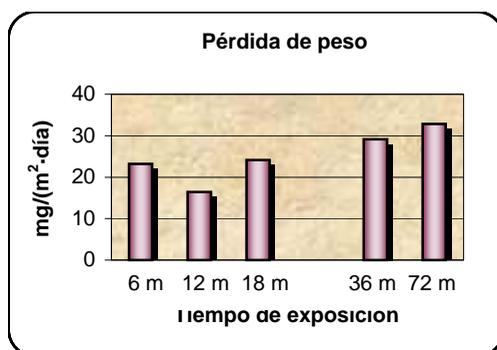
**Emplazamiento:** Azotea del Ayuntamiento de Tejeda

**Longitud:** 28° 00' 00"

**Latitud:** 15° 36' 25"

**Altura:** 1060 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$		Cloruros	SO <sub>2</sub>	TDH
	( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	(horas/año)
6 m	1,291361683	29,0821727	12,18	0,07	601
6 m	0,456771418	10,28674263	12,18	0,07	601
6 m	1,345716629	30,30627587	12,18	0,07	601
12 m	0,650876626	14,65809826	12,90	0,20	2441
12 m	0,8088749	18,21630598	12,90	0,20	2441
12 m	0,72302678	16,28295926	12,90	0,20	2441
18 m	2,332819704	52,53637799	13,39	0,15	3772
18 m	0,472473301	10,64035763	13,39	0,15	3772
18 m	0,410237965	9,238783764	13,39	0,15	3772
24 m					
24 m					
24 m					
36 m	0,807986137	18,19629054	12,64	0,27	9079
36 m	1,680091583	37,83658306	12,64	0,27	9079
36 m	1,396883963	31,45859227	12,64	0,27	9079
72 m	1,401078499	31,55305551	11,96	0,17	16182
72 m	1,817662016	40,93474458	11,96	0,17	16182
72 m	1,154720925	26,00494797	11,96	0,17	16182
96 m					
96 m					
96 m					



## ESTACIÓN Nº 28 - ARGUINEGUÍN

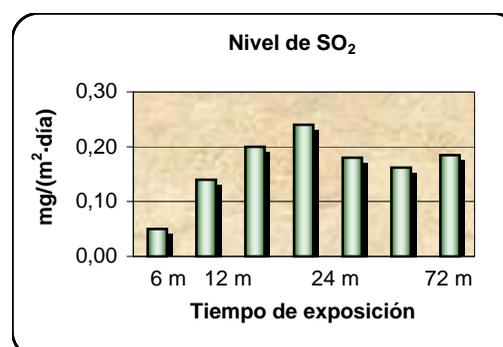
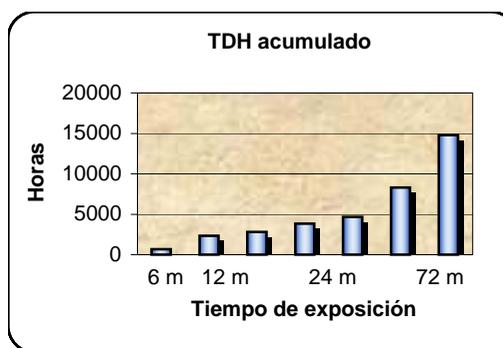
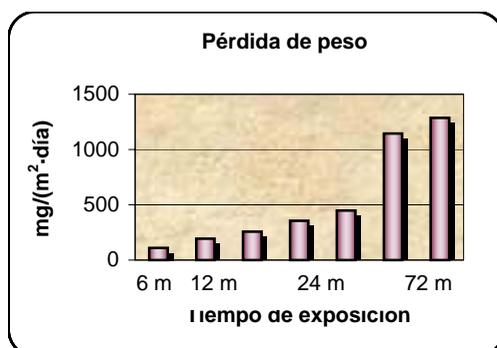
**Emplazamiento:** Azotea de las oficinas municipales

**Longitud:** 27° 45' 16"

**Latitud:** 15° 40' 15"

**Altura:** 30 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	5,169126312	116,4115569	33,77	0,05	661
6 m	4,628065401	104,2265688	33,77	0,05	661
6 m	4,684429641	105,4959223	33,77	0,05	661
12 m	7,998242926	180,1248133	30,91	0,14	2315
12 m	9,317543079	209,8361757	30,91	0,14	2315
12 m	8,360618546	188,2857108	30,91	0,14	2315
18 m	12,46730758	280,7705981	26,25	0,20	2819
18 m	9,472058579	213,3159494	26,25	0,20	2819
18 m	12,45700164	280,5385028	26,25	0,20	2819
24 m	15,39335214	346,6667249	25,61	0,24	3827
24 m	15,87974572	357,6205749	25,61	0,24	3827
24 m	16,11785441	362,9829129	25,61	0,24	3827
36 m	16,97995727	382,3979419	25,92	0,18	4664
36 m	21,37192194	481,3073928	25,92	0,18	4664
36 m	21,38427478	481,5855855	25,92	0,18	4664
72 m	52,64514987	1185,597622	28,49	0,16	8313
72 m	49,18516652	1107,676901	28,49	0,16	8313
72 m	50,55250792	1138,470178	28,49	0,16	8313
96 m	57,23369155	1288,934095	27,44	0,18	14788
96 m	57,1272183	1286,536259	27,44	0,18	14788
96 m	56,98082615	1283,239427	27,44	0,18	14788



## ESTACIÓN Nº 29 - SANTA LUCÍA

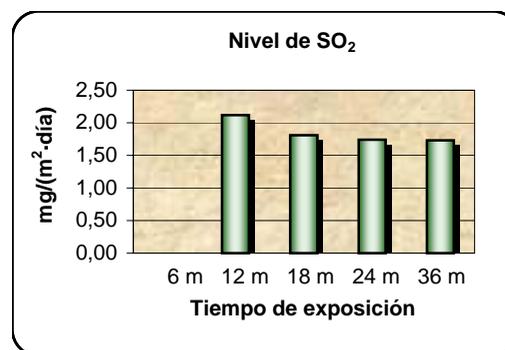
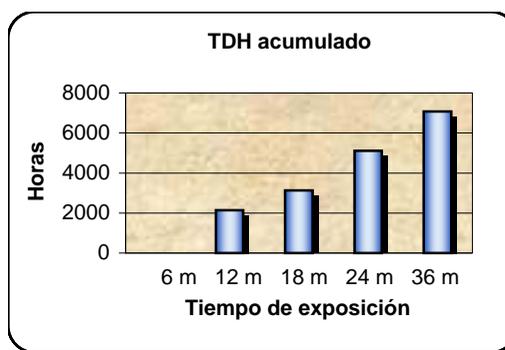
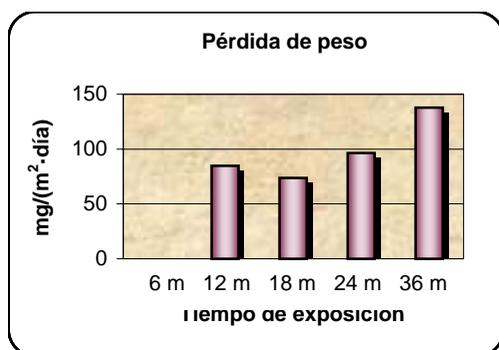
**Emplazamiento:** Azotea del almacén municipal en Vecindario

**Longitud:** 27° 51' 00"

**Latitud:** 15° 27' 32"

**Altura:** 100 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$		Cloruros	SO <sub>2</sub>	TDH
	( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	(horas/año)
6 m					
6 m					
6 m					
12 m	3,647031226	82,13314158	28,82	2,12	2132
12 m	3,724929602	83,8874557	28,82	2,12	2132
12 m	3,903470965	87,90830501	28,82	2,12	2132
18 m	3,426964586	77,17712026	25,54	1,81	3127
18 m	3,490944343	78,61797945	25,54	1,81	3127
18 m	2,899011537	65,28732831	25,54	1,81	3127
24 m	4,274977624	96,27483856	21,20	1,74	5116
24 m	4,285973846	96,5224795	21,20	1,74	5116
24 m	4,271362265	96,19341868	21,20	1,74	5116
36 m	5,986221738	134,8129937	23,58	1,73	7072
36 m	5,563038822	125,2826825	23,58	1,73	7072
36 m	6,81143481	153,3972442	23,58	1,73	7072
72 m					
72 m					
72 m					
96 m					
96 m					
96 m					



## ESTACIÓN Nº 30 - MOGÁN

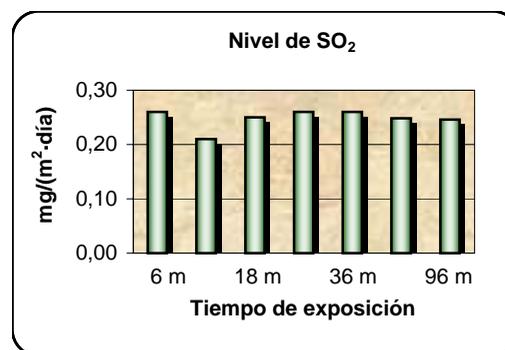
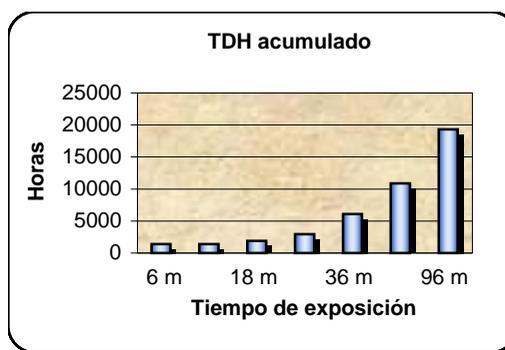
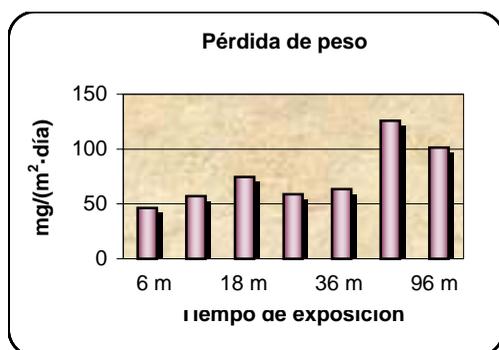
**Emplazamiento:** Azotea del Colegio Público de Mogán

**Longitud:** 27° 53' 10"

**Latitud:** 15° 43' 09"

**Altura:** 280 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	1,776125262	39,99931412	44,40	0,26	1391
6 m	2,118781451	47,71611925	44,40	0,26	1391
6 m	2,292182058	51,62119594	44,40	0,26	1391
12 m	2,741739289	61,74547111	38,65	0,21	1391
12 m					
12 m	2,330788377	52,49063139	38,65	0,21	1391
18 m	2,51740107	56,69325149	41,87	0,25	1911
18 m	3,49600663	78,73198493	41,87	0,25	1911
18 m	3,922830816	88,34429947	41,87	0,25	1911
24 m	2,447751991	55,12471606	27,74	0,26	2950
24 m	2,925037612	65,87344978	27,74	0,26	2950
24 m	2,473620182	55,7072819	27,74	0,26	2950
36 m	2,435088326	54,83952339	25,55	0,26	6090
36 m	3,749099257	84,43176956	25,55	0,26	6090
36 m	2,287076123	51,50620748	25,55	0,26	6090
72 m	4,545264389	102,3618446	35,64	0,25	10854
72 m	6,716593307	151,2613616	35,64	0,25	10854
72 m	5,507634198	124,03494	35,64	0,25	10854
96 m	4,189283737	94,34496525	33,89	0,25	19308
96 m	4,33668797	97,66458934	33,89	0,25	19308
96 m	4,991725437	112,416392	33,89	0,25	19308



## ESTACIÓN Nº 31 - AGAETE

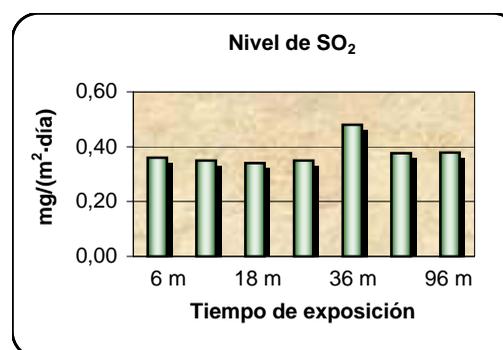
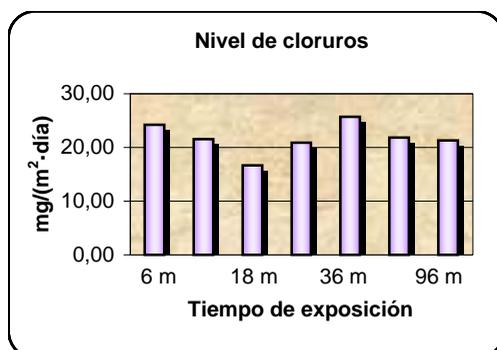
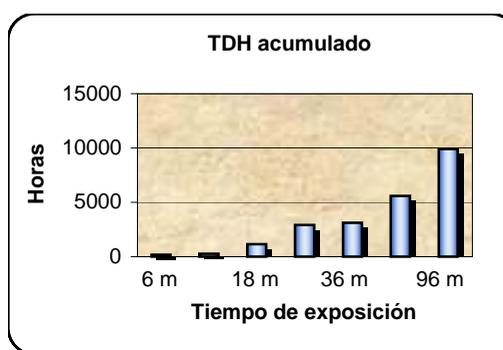
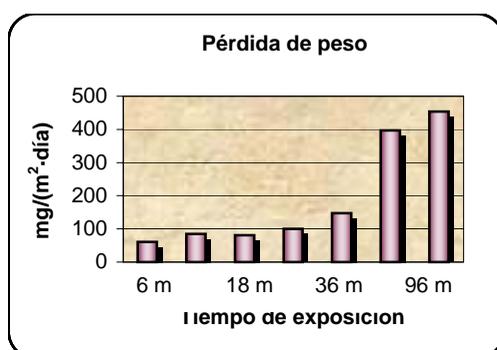
**Emplazamiento:** Azotea del Ayuntamiento de la Villa de Agaete

**Longitud:** 28° 06' 24"

**Latitud:** 15° 42' 05"

**Altura:** 50 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$		Cloruros	SO <sub>2</sub>	TDH
	( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	(horas/año)
6 m	2,702040819	60,85143982	24,25	0,36	182
6 m	2,705883368	60,93797613	24,25	0,36	182
6 m	2,687668262	60,52776195	24,25	0,36	182
12 m	3,507485483	78,99049499	21,56	0,35	274
12 m	3,745488497	84,35045328	21,56	0,35	274
12 m	4,099053413	92,31292892	21,56	0,35	274
18 m	3,695677531	83,22868302	16,66	0,34	1152
18 m	3,505314926	78,94161285	16,66	0,34	1152
18 m	3,580455761	80,63382562	16,66	0,34	1152
24 m	4,476200687	100,8064922	20,91	0,35	2908
24 m	4,53806464	102,1997023	20,91	0,35	2908
24 m	4,352245024	98,01494273	20,91	0,35	2908
36 m	5,853704707	131,8286375	25,74	0,48	3129
36 m	7,532279965	169,6310721	25,74	0,48	3129
36 m	6,276570839	141,3518145	25,74	0,48	3129
72 m	19,78439898	445,5555058	21,82	0,38	5577
72 m	13,29251023	299,354614	21,82	0,38	5577
72 m	19,80847749	446,097767	21,82	0,38	5577
96 m	20,73191178	466,8940132	21,34	0,38	9921
96 m	20,1272484	453,2766627	21,34	0,38	9921
96 m	19,53604776	439,9625003	21,34	0,38	9921



**ESTACIÓN Nº 32 - VALLE DE AGAETE**

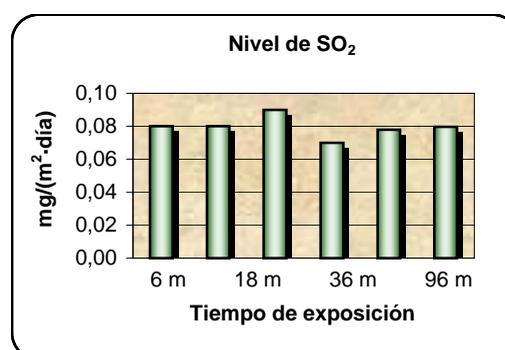
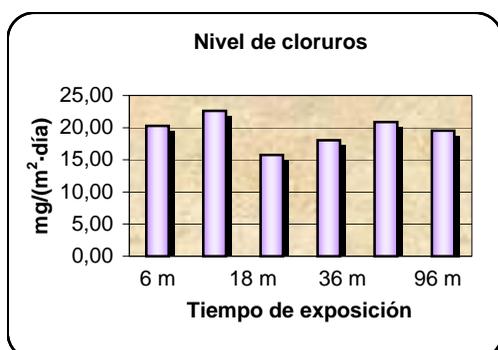
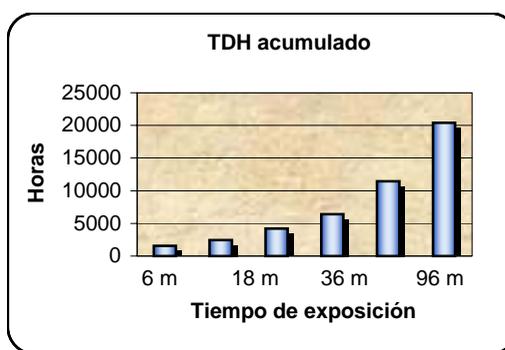
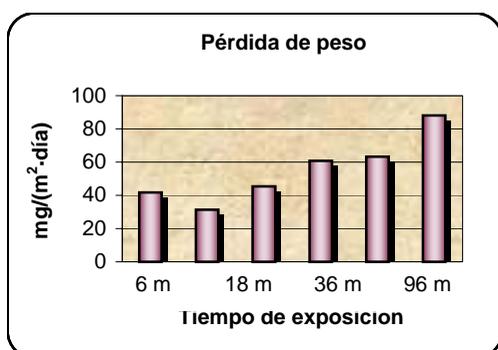
**Emplazamiento:** Azotea del Colegio Público 'Maestra M<sup>a</sup> Betancor'

**Longitud:** 28° 05' 19"

**Latitud:** 15° 39' 38"

**Altura:** 255 m.

Tiempo de exposición	V <sub>corr</sub>		Cloruros (mg/(m <sup>2</sup> -día))	SO <sub>2</sub> (mg/(m <sup>2</sup> -día))	TDH (horas/año)
	(µm/año)	(mg/(m <sup>2</sup> -día))			
6 m	1,475370906	33,22616122	27,70	0,07	896
6 m	1,38474109	31,1851281	27,70	0,07	896
12 m	1,927093273	43,39919646	20,27	0,08	1574
12 m	2,023099982	45,56132015	20,27	0,08	1574
12 m	1,614376087	36,35663406	20,27	0,08	1574
18 m	1,302246543	29,3273057	22,60	0,08	2452
18 m	1,282368726	28,87964638	22,60	0,08	2452
18 m	1,585534406	35,70710362	22,60	0,08	2452
24 m	2,016089008	45,40342917	15,76	0,09	4208
24 m	1,955438634	44,03754951	15,76	0,09	4208
24 m	2,079074403	46,82189477	15,76	0,09	4208
36 m	2,822524611	63,56480084	18,05	0,07	6427
36 m	2,818482753	63,47377598	18,05	0,07	6427
36 m	2,465883138	55,53303944	18,05	0,07	6427
72 m	2,47491918	55,73653605	20,88	0,08	11455
72 m	3,082448158	69,41842152	20,88	0,08	11455
72 m	2,881391824	64,89052271	20,88	0,08	11455
96 m	4,229088352	95,24138699	19,51	0,08	20378
96 m	3,589977772	80,84826653	19,51	0,08	20378
96 m	3,909162416	88,03647961	19,51	0,08	20378



## ESTACIÓN Nº 33 - AGÜIMES

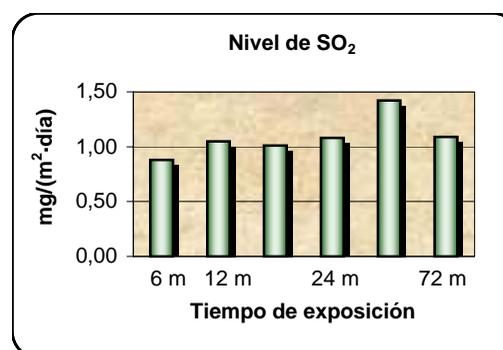
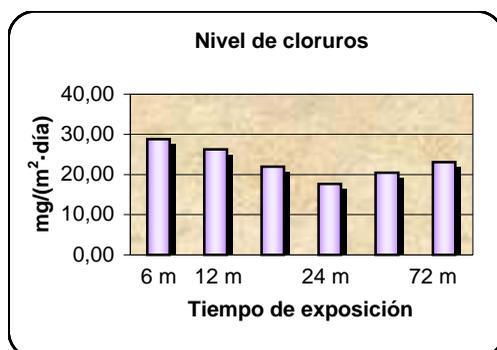
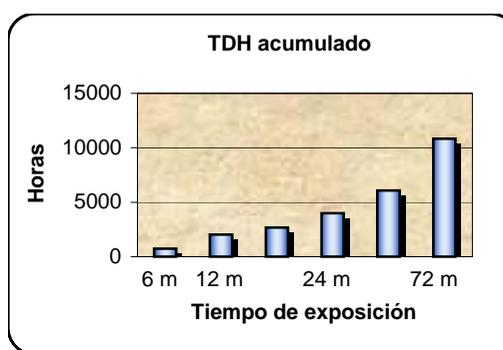
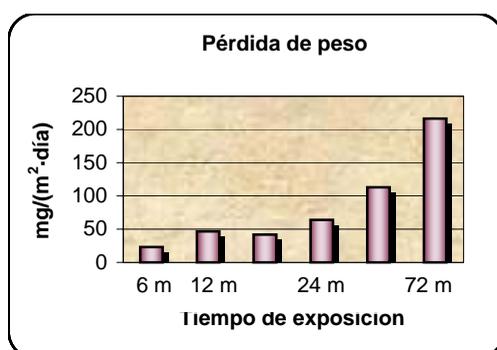
**Emplazamiento:** Azotea del Ayuntamiento de Agüimes

**Longitud:** 27° 54' 24"

**Latitud:** 15° 26' 01"

**Altura:** 290 m.

Tiempo de exposición	V <sub>corr</sub>		Cloruros	SO <sub>2</sub>	TDH
	(µm/año)	(mg/(m <sup>2</sup> ·día))			
6 m	0,98068266	22,08551087	28,78	0,88	733
6 m	1,052627648	23,70575141	28,78	0,88	733
6 m	1,037173299	23,357711	28,78	0,88	733
12 m	2,076453695	46,76287499	26,24	1,05	2031
12 m	2,242221278	50,49605179	26,24	1,05	2031
12 m	1,919794703	43,23482866	26,24	1,05	2031
18 m	1,990929196	44,83681641	21,94	1,01	2681
18 m	1,786381676	40,23029417	21,94	1,01	2681
18 m	1,805961637	40,67124563	21,94	1,01	2681
24 m	2,941393339	66,24178972	17,69	1,08	3981
24 m	2,694145927	60,67364251	17,69	1,08	3981
24 m	2,878650252	64,82878102	17,69	1,08	3981
36 m	5,492228448	123,6879941	20,47	1,42	6071
36 m	4,04121889	91,01046377	20,47	1,42	6071
36 m	5,519805597	124,3090466	20,47	1,42	6071
72 m					
72 m	8,084747206	182,0729371	23,02	1,09	10821
72 m	11,14762688	251,0506656	23,02	1,09	10821
96 m					
96 m					
96 m					



## ESTACIÓN Nº 34 - LAS TORRES

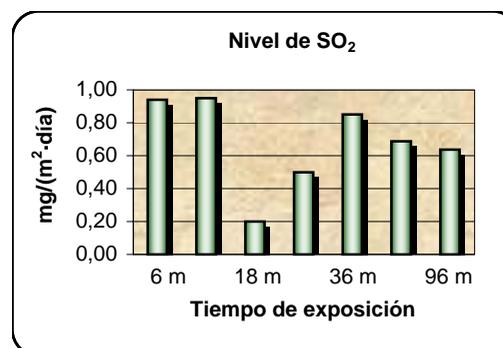
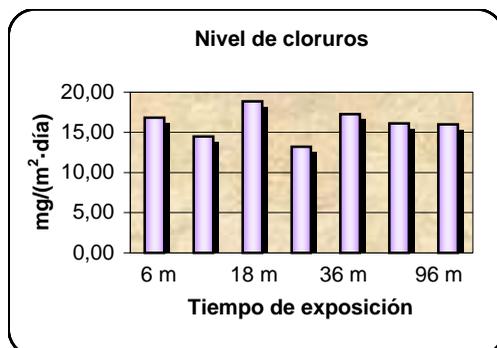
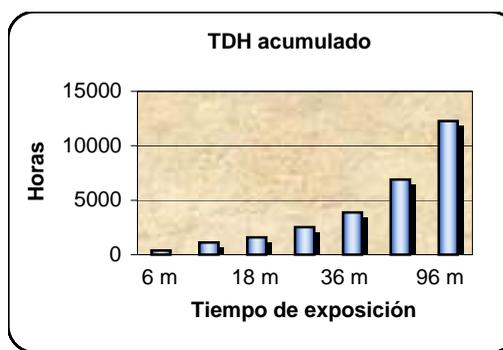
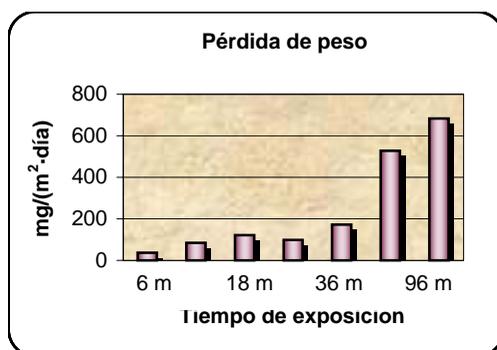
**Emplazamiento:** Azotea de Iscanarias, en Las Torres

**Longitud:** 28° 07' 30"

**Latitud:** 15° 26' 47"

**Altura:** 150 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	1,832394255	41,26652268	16,81	0,94	388
6 m	1,543087892	34,75118486	16,81	0,94	388
6 m	1,452495082	32,71098514	16,81	0,94	388
12 m	3,379173382	76,10083617	14,47	0,95	1107
12 m	4,415642529	99,44268928	14,47	0,95	1107
12 m	3,546091987	79,85993462	14,47	0,95	1107
18 m	5,62333938	126,6406841	18,86	0,20	1584
18 m	6,507409006	146,5504165	18,86	0,20	1584
18 m	4,077313901	91,82334319	18,86	0,20	1584
24 m	5,160409463	116,2152487	13,20	0,50	2537
24 m	3,997369429	90,02294988	13,20	0,50	2537
24 m	4,009131394	90,28783578	13,20	0,50	2537
36 m	9,362739477	210,8540233	17,24	0,85	3873
36 m	6,847383587	154,2068304	17,24	0,85	3873
36 m	6,682292195	150,4888818	17,24	0,85	3873
72 m	18,90059868	425,6518387	16,12	0,69	6902
72 m	24,63023763	554,6864475	16,12	0,69	6902
72 m	26,75249147	602,4807669	16,12	0,69	6902
96 m	33,67135374	758,2973362	15,98	0,64	12278
96 m	23,32603608	525,3151139	15,98	0,64	12278
96 m	33,90014218	763,4497774	15,98	0,64	12278



## ESTACIÓN Nº 35 - TEROR

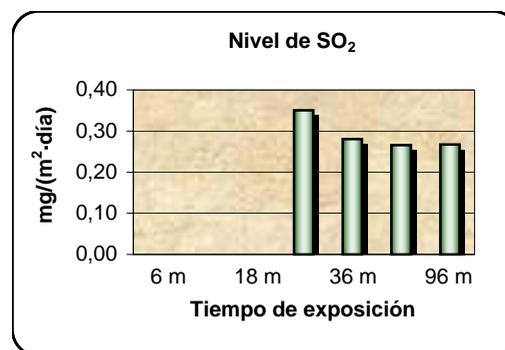
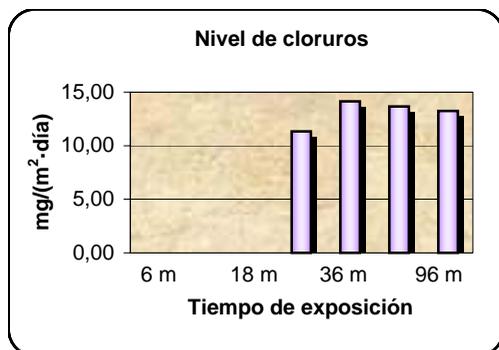
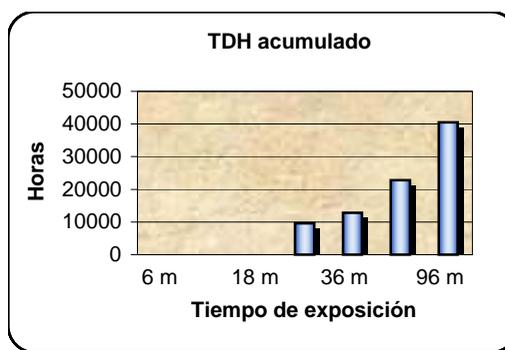
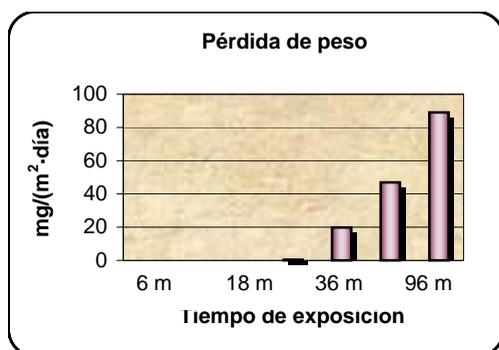
**Emplazamiento:** Azotea del Ayuntamiento de Teror

**Longitud:** 28° 03' 40"

**Latitud:** 15° 32' 08"

**Altura:** 600 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$		Cloruros	SO <sub>2</sub>	TDH
	( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	(horas/año)
6 m					
6 m					
6 m					
12 m					
12 m					
12 m					
18 m					
18 m					
18 m					
24 m	0,008174058	0,184084259	11,33	0,35	9570
24 m					
24 m	0,032948906	0,742027425	11,33	0,35	9570
36 m	0,396536033	8,930208744	14,13	0,28	12787
36 m	1,492441203	33,61059367	14,13	0,28	12787
36 m	0,75667378	17,04070815	14,13	0,28	12787
72 m	2,732013486	61,52644069	13,66	0,27	22791
72 m					
72 m	1,432471197	32,26003627	13,66	0,27	22791
96 m	1,286461392	28,97181546	13,25	0,27	40543
96 m	9,141910498	205,8808337	13,25	0,27	40543
96 m	1,427282678	32,14318798	13,25	0,27	40543



### ESTACIÓN Nº 36 - JINÁMAR

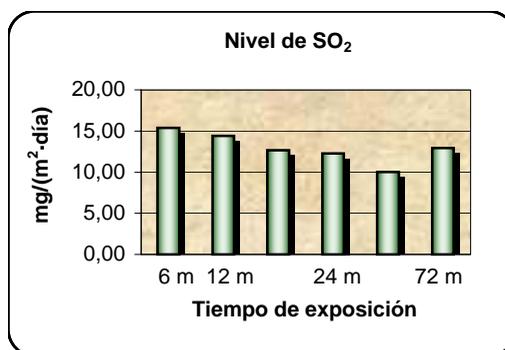
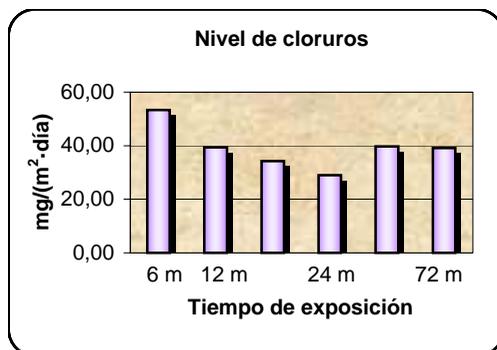
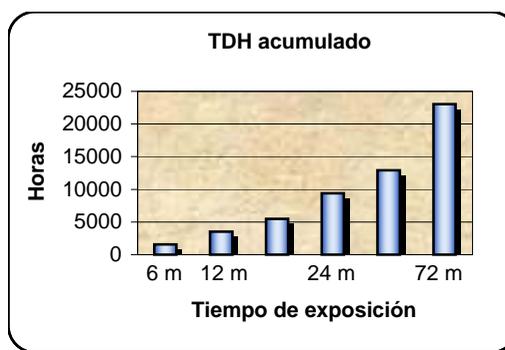
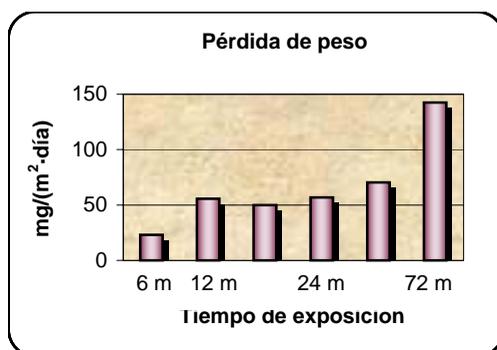
**Emplazamiento:** Azotea del Centro Cívico del Polígono de Jinámar

**Longitud:** 28° 01' 54"

**Latitud:** 15° 22' 20"

**Altura:** 100 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m/año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	0,906915543	20,42423498	53,36	15,38	1563
6 m	0,989049498	22,27393665	53,36	15,38	1563
6 m	1,159726881	26,11768482	53,36	15,38	1563
12 m	3,046669403	68,61266437	39,32	14,40	3537
12 m	2,097242194	47,23104338	39,32	14,40	3537
12 m	2,267288858	51,06058744	39,32	14,40	3537
18 m	1,474670177	33,21038044	34,28	12,65	5492
18 m	1,548352936	34,86975652	34,28	12,65	5492
18 m	3,634283604	81,84605815	34,28	12,65	5492
24 m	2,396521491	53,97097713	29,01	12,27	9402
24 m	2,641197259	59,4812095	29,01	12,27	9402
24 m					
36 m	3,018951989	67,98845301	39,78	10,02	12919
36 m	3,460052261	77,92227283	39,78	10,02	12919
36 m	2,914189224	65,62913813	39,78	10,02	12919
72 m	6,214662077	139,9575953	39,15	12,94	23026
72 m	6,202005978	139,672573	39,15	12,94	23026
72 m	6,572453855	148,0152622	39,15	12,94	23026
96 m					
96 m					
96 m					



### ESTACIÓN Nº 37 - TAFIRA

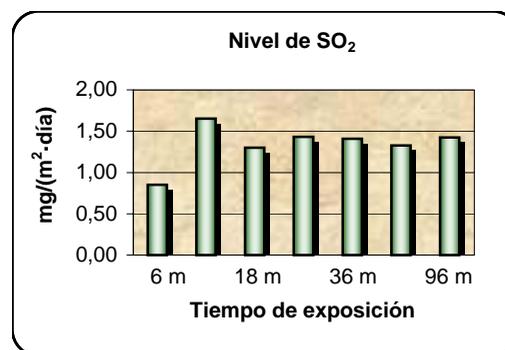
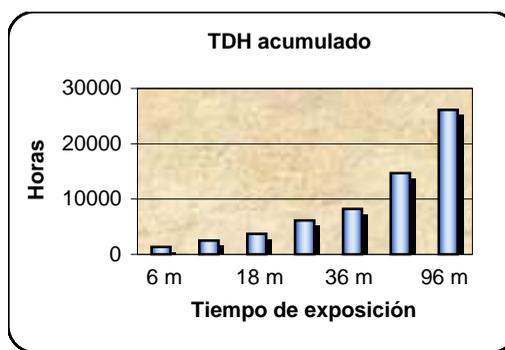
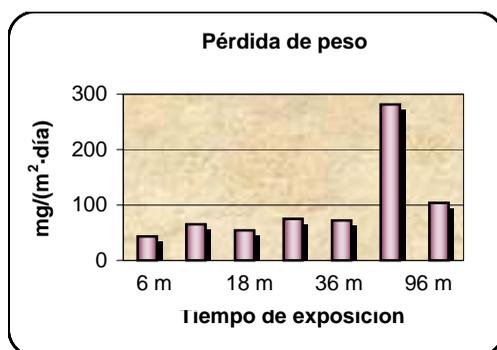
**Emplazamiento:** Azotea del Edificio. Departamental de Ingenierías

**Longitud:** 28° 04' 29"

**Latitud:** 15° 26' 28"

**Altura:** 350 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$		Cloruros	SO <sub>2</sub>	TDH
	( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	(horas/año)
6 m	3,856799029	86,85722745	30,82	0,85	1310
6 m	1,053873691	23,73381298	30,82	0,85	1310
6 m	0,872162847	19,64158522	30,82	0,85	1310
12 m	2,893611062	65,16570665	24,30	1,65	2481
12 m	2,987078397	67,27064226	24,30	1,65	2481
12 m	2,839641498	63,95028249	24,30	1,65	2481
18 m	2,154699065	48,5250036	21,79	1,30	3701
18 m	2,355452982	53,04609182	21,79	1,30	3701
18 m	2,716148799	61,16915925	21,79	1,30	3701
24 m	3,221941089	72,55987877	17,95	1,43	6141
24 m	3,271942656	73,68594145	17,95	1,43	6141
24 m	3,499142	78,80259518	17,95	1,43	6141
36 m	3,361896046	75,71174109	18,22	1,41	8236
36 m	3,780474711	85,13836199	18,22	1,41	8236
36 m	2,50131721	56,33103415	18,22	1,41	8236
72 m	10,33196472	232,6815068	22,62	1,33	14680
72 m	12,81628835	288,6298363	22,62	1,33	14680
72 m	14,36148448	323,4284998	22,62	1,33	14680
96 m	3,83064978	86,26833202	20,98	1,42	26114
96 m	3,978669989	89,60182825	20,98	1,42	26114
96 m	6,033912715	135,8870206	20,98	1,42	26114



## ESTACIÓN Nº 38 - MUELLE DE LA LUZ

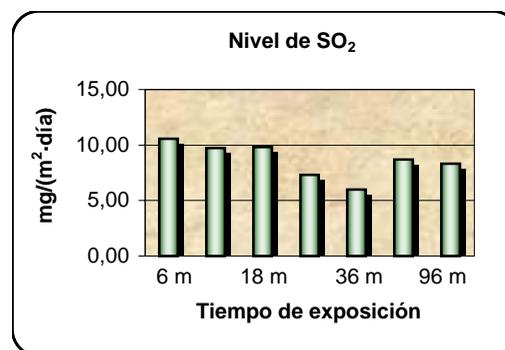
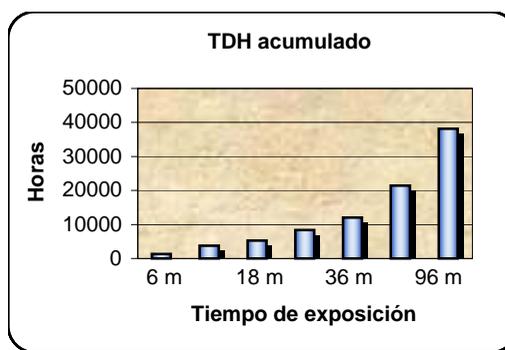
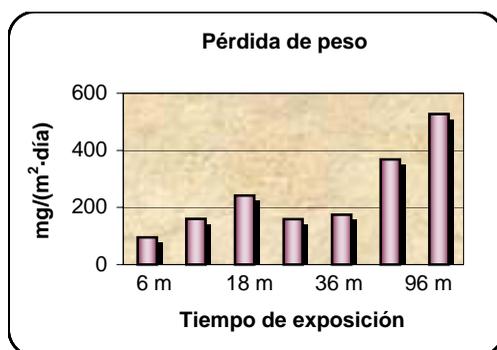
**Emplazamiento:** Azotea del Fedex

**Longitud:** 28° 08' 59"

**Latitud:** 15° 24' 10"

**Altura:** 15 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m	4,710481135	106,0826162	40,71	10,58	1303
6 m	3,551597307	79,98391744	40,71	10,58	1303
6 m	4,385786885	98,77032383	40,71	10,58	1303
12 m	7,035914518	158,4526503	34,44	9,72	3723
12 m	7,899477467	177,900561	34,44	9,72	3723
12 m	6,448018	145,2128985	34,44	9,72	3723
18 m	6,14364129	138,3581682	32,72	9,82	5286
18 m	5,434789803	122,3944443	32,72	9,82	5286
18 m	20,55893184	462,9984101	32,72	9,82	5286
24 m	6,776709277	152,6152062	26,98	7,31	8411
24 m	6,829085492	153,7947472	26,98	7,31	8411
24 m	7,613721823	171,4651874	26,98	7,31	8411
36 m	9,168435136	206,4781831	28,44	6,00	12024
36 m	7,146795987	160,9497617	28,44	6,00	12024
36 m	6,969353633	156,9536626	28,44	6,00	12024
72 m	18,31506953	412,4654015	32,66	8,69	21430
72 m	14,43300405	325,0391597	32,66	8,69	21430
72 m					
96 m	17,76974322	400,1843542	31,05	8,31	38122
96 m					
96 m	29,07215945	654,7209607	31,05	8,31	38122



## ESTACIÓN Nº 39 - VALLESECO

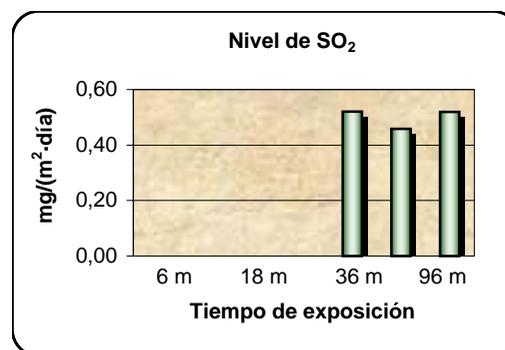
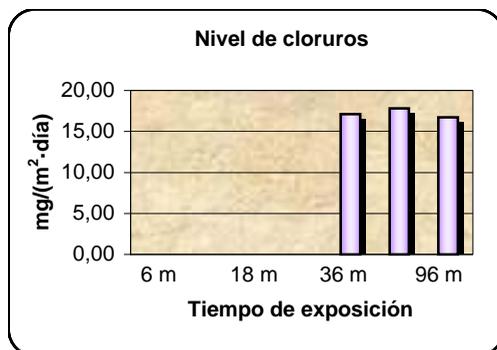
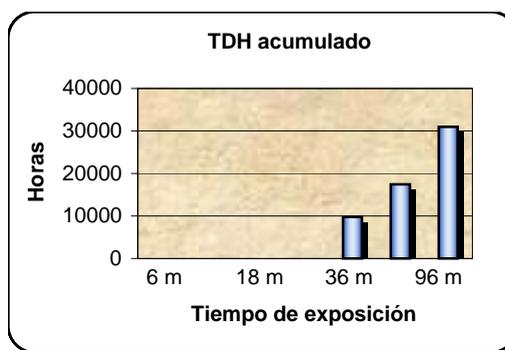
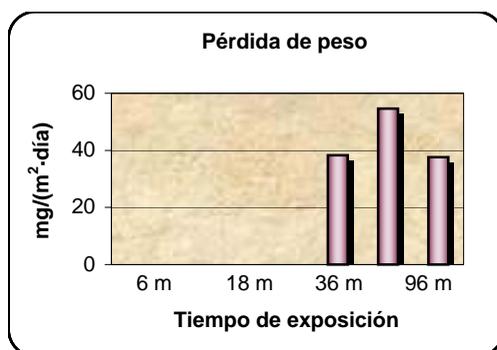
**Emplazamiento:** Azotea del Centro de Formación y Servicios

**Longitud:** 28° 01' 59"

**Latitud:** 15° 34' 44"

**Altura:** 980 m.

Tiempo de exposición	$V_{corr}$ ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	$V_{corr}$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	Cloruros ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ )	TDH (horas/año)
6 m					
6 m					
6 m					
12 m					
12 m					
12 m					
18 m					
18 m					
18 m					
24 m					
24 m					
24 m					
36 m	1,460888213	32,90000305	17,11	0,52	9776
36 m	1,954110642	44,0076424	17,11	0,52	9776
36 m	1,689227574	38,04233057	17,11	0,52	9776
72 m	1,426388001	32,12303936	17,81	0,46	17423
72 m	1,921053819	43,26318464	17,81	0,46	17423
72 m	3,935780611	88,63593596	17,81	0,46	17423
96 m	1,61908529	36,4626879	16,72	0,52	30995
96 m	1,739224397	39,16828642	16,72	0,52	30995
96 m	1,651380312	37,1899895	16,72	0,52	30995



## ANEXO II

---

### A.- PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA QUÍMICA DE LAS PROBETAS DE COBRE.

#### B.- ANÁLISIS DE CLORUROS.

B.1.- Exposición de la candela.

B.2.- Procedimiento.

B.3.- Análisis del cloruro.

*B.3.1.- Principios.*

*B.3.2.- Reactivos.*

*B.3.3.- Procedimiento de análisis.*

*B.3.4.- Evaluación de los resultados.*

#### C.- ANÁLISIS DE SO<sub>2</sub>.

C.1.- Preparación de la pasta.

C.2.- Tratamiento de los tubos.

C.3.- Determinación de la concentración de sulfatos.

C.4.- Preparación de la muestra.

C.5.- Preparación de las curvas de calibración.

C.6.- Reactivos y disoluciones a utilizar.

C.7.- Evaluación de los resultados.

## **A.- PROCEDIMIENTO PARA LIMPIAR LAS PROBETAS DE COBRE**

La limpieza de las probetas se llevó a cabo de acuerdo con la norma ASTM G1-90: "Preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens". El procedimiento llevado a cabo es el siguiente:

1.- Se limpian todas las probetas con agua y jabón, raspando con un cepillo para eliminar restos de polvo, grasa, etc.

2.- Se seca y se efectúa la limpieza química descrita a continuación. Para el cobre la disolución está compuesta por:

500 ml HCl

Agua destilada hasta 1000 ml

3.- Se vuelven a sumergir las probetas en agua y se raspan con un cepillo.

4.- Se pasa por agua destilada caliente.

5.- Se lava con acetona.

6.- Se ponen en la estufa un mínimo de dos horas.

7.- Se colocan en los desecadores hasta que se enfríen y se pesan.

8.- Se repite el proceso de limpieza hasta que se observe un peso constante.

## **B.- ANÁLISIS DE CLORUROS.-**

La determinación de la cantidad de cloruro depositado por el método de la candela húmeda se realiza según indicaciones de la norma ISO 9225:1992(E) "Corrosion of Metals and Alloys - Corrosivity of Atmospheres - Measurement of Pollution".

La candela húmeda está formada por una mecha insertada dentro de una botella. La mecha tiene un tubo central de unos 25 mm de diámetro, de un material inerte (tubo de vidrio) sobre el cuál es enrollada una doble capa de una banda de gasa quirúrgica. La superficie de la mecha expuesta a la atmósfera es de unos 100 cm<sup>2</sup>, la cuál corresponde a una longitud de unos 120 mm. En el fondo del tubo central se enrolla la gasa de forma que haga de tapón, dejando un extremo largo de la misma libre, que será introducido dentro de la botella en contacto con la disolución.

La botella contiene 200 ml de una solución al 15% de glycerol-agua a la que se le añade ácido octanoico para prevenir la formación de hongos así como el *Aspergillus Niger*. La disolución se prepara mezclando los 200 ml. de glicerol  $\text{CHOH}(\text{CH}_2\text{OH})_2$  con agua destilada hasta un volumen de 1000 ml. a la que se le añade 20 gotas de ácido octanoico  $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$ .

### **B.1.- Exposición de la candela.-**

La candela húmeda se coloca bajo techo en la estación. El techo es de un material inerte y opaco. El tope de la mecha de la candela está colocado a unos 200 mm de distancia del techo y relativamente centrada. La distancia mínima de la botella con el nivel del suelo es de un metro. La candela debe tener una de las caras libres en dirección hacia el mar u otra fuente de cloruros.

### **B.2.- Procedimiento.-**

Los pasos a seguir para la preparación de la candela húmeda son los siguientes:

- a) La longitud de la mecha expuesta se ajusta al valor deseado.
- b) Sacar la mecha de botella, lavar la gasa, los terminales libres y la botella con agua destilada.
- c) Poner 200 ml de la disolución glicerol-agua en la botella.
- d) Introducir la mecha en la botella.
- e) Poner la candela en la boca de la botella.
- f) La solución de glicerol-agua se cambia mensualmente de la siguiente manera:
- g) Sacar el tapón de la botella.
- h) Lavar hacia el interior de la botella la mecha con un mínimo de 200 ml. de agua destilada, introduciendo el líquido de lavado por los agujeros hechos en el tapón.
- i) Sacar la mecha y lavarla con agua destilada.
- j) Colocar la mecha dentro de la botella que contiene una solución fresca de glicerol-agua, asegurándose de que los terminales de la gasa están dentro de la disolución.
- k) Ajustar la mecha firmemente en la boca de la botella asegurándose de que no quedan rendijas. Marcar la botella perfectamente con los datos de lugar de localización, fecha de retirada y tiempo de exposición.

### **B.3.- Análisis del cloruro.-**

Seguidamente se describe el método de análisis seguido para la determinación de la concentración de cloruros, aunque se puede utilizar cualquier otro tipo de análisis.

#### ***B.3.1.- Principios..-***

La cantidad de cloruro en una muestra se determina por valoración mercurométrica en presencia de la mezcla difenilcarbazona / azul de bromofenol como indicador. El punto

final de la valoración se indica por la formación de un complejo azul violeta de mercurio difenil-carbazona en un intervalo de pH entre 2.3 y 2.8.

### ***B.3.2- Reactivos.-***

Todos los reactivos son de grado analítico, y el agua destilada está libre de iones cloruros.

Etanol 95% (calidad analítica).

Disolución de la mezcla indicadora: disolver 0.5 g. de difenil-carbazona y 0,5 g. de azul de bromofenol en 75 ml. de etanol al 95% y diluirlo hasta 100 ml. con etanol. Colocar el matraz aforado en el refrigerador.

Ácido Nítrico 0,05 M (calidad analítica).

Hidróxido sódico 0,25 M (calidad analítica).

Disolución estándar de cloruro 0,025 M.

Disolución estándar de nitrato de mercurio 0,0125 M.

### ***B.3.3.- Procedimiento de análisis.-***

La muestra de cloruro que debemos conocer, no debe tener más de 20 mg de cloruro. Pero si la muestra tiene menos de 2,5 mg de cloruro, es preferible usar una disolución de nitrato de mercurio 0,00705 M en una microbureta. En este caso es preferible hacer una valoración en blanco en 50 ml. de agua. Si la muestra tiene menos de 0,1 mg de cloruro por litro se recomienda evaporar hasta 50 ml.

Se añaden 5 o 10 gotas de la mezcla indicadora. Si el color azul-violeta o el rojo apareciera, se añaden unas gotas de ácido nítrico 0,05 M hasta que el color cambie a

amarillo y luego se añade un exceso de 1 ml. de ácido nítrico 0,05 M. Si por el contrario inmediatamente después de añadir el indicador la solución se colorea de amarillo o naranja, añadimos unas gotas de hidróxido sódico 0,25 M y aparecerá la coloración azul-violeta. A continuación proseguimos con la acidificación descrita anteriormente. La valoración se termina cuando cambia el color amarillo a azul utilizando como agente valorante la disolución de nitrato de mercurio.

#### ***B.3.4.- Evaluación de los resultados.***

La cantidad de cloruro depositado se expresa en mg. cloruro/(m<sup>2</sup>·día), calculándose de la siguiente manera:

$$\text{Cantidad de cloruro depositado} = \frac{m}{a \cdot t}$$

donde:

m = Contenido total de cloruro (mg.).

t = Tiempo de exposición (días).

a = Área de la gasa expuesta (m.).

Al utilizar el método de valoración mercurimétrica, los resultados se expresan:

$$\text{Cantidad de cloruro depositado} = \frac{2 \cdot (A - B) \cdot M \cdot 35.5 \cdot V_T}{V_a \cdot a \cdot t}$$

donde:

A = Volumen de mercurio usado en la valoración de la muestra (ml).

B = Volumen de mercurio usado en la valoración del blanco (ml).

M = Concentración de la disolución final de mercurio (moles por litro).

VT = Volumen total de la muestra de cloruro (ml).

Va = Volumen tomado de la muestra de cloruro (ml).

a = Área expuesta de gasa (m<sup>2</sup>).

t = tiempo de exposición (días).

### **C.- ANÁLISIS DE SO<sub>2</sub>-**

La determinación de SO<sub>2</sub> en la atmósfera se hace según la norma internacional ASTM D 2010 - 85 "Standard Method for Evaluation of Total Sulfation Activity in the Atmosphere by the Lead Dioxide Candle".

#### **C.1.- Preparación de la pasta.-**

A continuación se detallará el procedimiento para la preparar la pasta que contiene el dióxido de plomo.

Se han de dispersar 0,5 g de goma de tragacanto en polvo en 5 ml de etanol al 95% y añadir cuidadosamente 30 ml de agua caliente, mientras se agita. Se calienta la mezcla suavemente en una placa calefactora hasta que se obtenga un gel claro y uniforme (no sobrecalentar la goma). Añadir 80 g de dióxido de plomo en pequeñas porciones con agitación continua para hacer una pasta libre de grumos, asegurando la dispersión adecuada del dióxido de plomo.

Este proceso suministrará la suficiente pasta para diez tubos. Aunque la norma indica no exceder de 8 g de PbO<sub>2</sub> por tubo, en nuestro caso no excedemos de 2 g de PbO<sub>2</sub> por tubo debido a los bajos niveles de SO<sub>2</sub> observados. Aún con la concentración de SO<sub>2</sub>

más elevada se tiene que con esta cantidad el captador no se verá saturado.

Se lava en agua hirviendo la tela (franela blanca) y se pone a secar en desecador con una atmósfera libre de SO<sub>2</sub>. Luego se corta la tela en trozos de 100 cm<sup>2</sup> y se cose alrededor del tubo con hilo de nylon o algodón. La pasta se aplica sobre la tela con un pincel de 25 mm de ancho. Cuando se hacen grandes cantidades de pasta, hay que tomar la precaución de mantener el PbO<sub>2</sub> disperso en la pasta y evitar un excesivo calentamiento de la mezcla. La viscosidad de la pasta se controlará usando un baño de agua. Una vez preparados los tubos se ponen a secar dentro de un desecador. Con cada lote de tubos preparados se guarda un blanco.

### **C.2.- Tratamiento de los tubos.-**

Una vez retirados los tubos de las estaciones se procede a separar la tela impregnada del cilindro usando una espátula o cuchillo, si fuera necesario. Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1.- Medir el área de la candela.
- 2.- Retirar la tela, introducirla en un erlenmeyer de 250 ml y añadir 60 ml de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (83,3 g/l). Dejar los paños inmersos durante tres horas, agitando de vez en cuando. Cubrir los erlenmeyers y colocarlos sobre un baño de arena durante unos 30 min. sin dejar que llegue a hervir, para evitar una excesiva pérdida de agua.
- 3.- Lavar la tela con de agua destilada, añadiendo ésta poco a poco y filtrar.
- 4.- Ajustar el pH del filtrado entre 3 y 4, añadiendo HCl ó NaOH, según sea necesario (pHmetro).
- 5.- Calentar durante 1 hora o más (generalmente el intervalo oscila entre 2 y 3 horas) hasta que no se observe el desprendimiento de burbujas.
- 6.- Filtrar a vacío con un filtro Whatman 1 (55 mm de diámetro) y enrasar la disolución en un matraz de 500 ml.

### **C.3.- Determinación de la concentración de sulfatos.-**

La determinación de la concentración de sulfatos la realizaremos con ayuda de un espectrofotómetro. Aunque la norma indica que dicha determinación debe hacerse mediante análisis gravimétrico, en nuestro caso emplearemos un espectrofotómetro, dado que el margen de concentraciones de  $\text{SO}_2$  es muy bajo.

### **C.4.- Preparación de la muestra.-**

Se toman 100 ml de muestra en un erlenmeyer de 250 ml. Añadimos 5 ml de reactivo acondicionante para  $\text{SO}_4^{2-}$ , agitamos durante 50 s. y hacemos una medida (medida sin cloruro de bario). Luego agregamos 1 ml de  $\text{BaCl}_2$  en el erlenmeyer y agitamos durante 60 s.. Dejamos la disolución en reposo hasta completar un tiempo total de 4 min. y volvemos a agitar los últimos 15 s. antes de medir. Una vez completada la agitación llenamos la celdilla del equipo con la disolución y medimos.

### **C.5.- Preparación de la curva de calibración.-**

La curva se prepara siempre antes de cada tanda de medidas (una misma curva nos servirá para un día de medidas). Los pasos a seguir son los siguientes:

Preparamos un patrón de  $\text{SO}_4^{2-}$  de 100 ppm. Para ello tomamos sulfato sódico anhidro del desecador, con un peso molecular de 142,04 g/mol, y una pureza del 99,46% (calidad analítica). El sulfato de sodio es un patrón primario. Pesamos 0,03718 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y lo diluimos en un matraz aforado de 250 ml.

Una vez preparado el patrón de 100 ppm preparamos patrones de 2, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 ppm a partir de éste.

A continuación pipeteamos 1 ml de cloruro de bario y lo vertemos dentro de los matraces de 50 ml y enrasamos con agua destilada.

Realizamos la curva de calibrado en el espectrofotómetro.

### **C.6.- Reactivos y disoluciones a utilizar.**

Todo los reactivos que se vayan a utilizar han de ser de grado analítico (alta pureza). Los reactivos y disoluciones ha utilizar son:

Agua destilada.

Cloruro de bario ( $\text{BaCl}_2$  , 50 g/l).

Etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  al 95%).

Goma de tragacanto en polvo.

Ácido clorhídrico concentrado ( $\text{HCl}$  sp gr 1,19)

Ácido clorhídrico 2N.

Dióxido de plomo ( $\text{PbO}_2$ ) en polvo.

Carbonato sódico ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 83,3 g/l).

Reactivo condicionante de sulfatos: mezclar los siguientes reactivos:

- 30 ml de  $\text{HCl}$  (sp gr 1,19),
- 300 ml de agua destilada,
- 100 ml de etanol al 95% o isopropanol,
- 75 g de  $\text{ClNa}$ ,
- 50 ml de glicerina.

Solución patrón de 100 ppm de  $\text{SO}_4^{2-}$ .

### **C.7.- Evaluación de los resultados.**

La cantidad de sulfato es calculada en términos del SO<sub>2</sub> capturado por la probeta. La masa de sulfato obtenida por el análisis de la probeta es transformada a masa neta de sulfato restando el valor del blanco de cada tanda en cuestión.

La cantidad de SO<sub>2</sub> depositada se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{(S - S_{\text{blanco}}) \cdot 16.6}{a \cdot t \cdot 1000}$$

donde:

S = contenido de sulfato en la placa en µg.

S<sub>blanco</sub> = contenido de sulfato en el blanco en µg.

a = área de la probeta en m<sup>2</sup>.

t = tiempo de exposición en días.

## ANEXO III

---

A.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON EL MODELO BILOGARÍTMICO.

B.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS CON EL MODELO PROPUESTO.

C.- RESIDUOS DE LOS DOS MODELOS MATEMÁTICOS.

A.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON EL MODELO BILOGARÍTMICO.

**ESTACIÓN 1**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,605541673
Log A	0,984232219

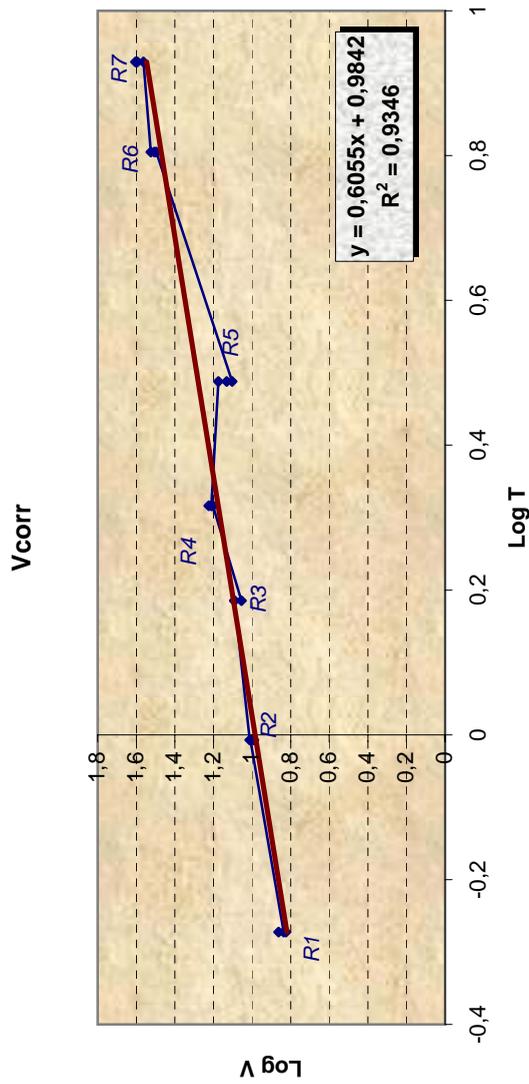
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,96675155
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,934608559
R <sup>2</sup> ajustado	0,931166904
Error típico	0,066896616
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	1,215264313	1,215264313	271,5579039	1,04124E-12	
Residuos	19	0,085027987	0,004475157			
Lack Of Fit	1	0,078780841	0,078780841	226,9924575	4,413873405	6,98746E-13
Pure Error	18	0,006247146	0,000347064			
Total	20	1,3002923				

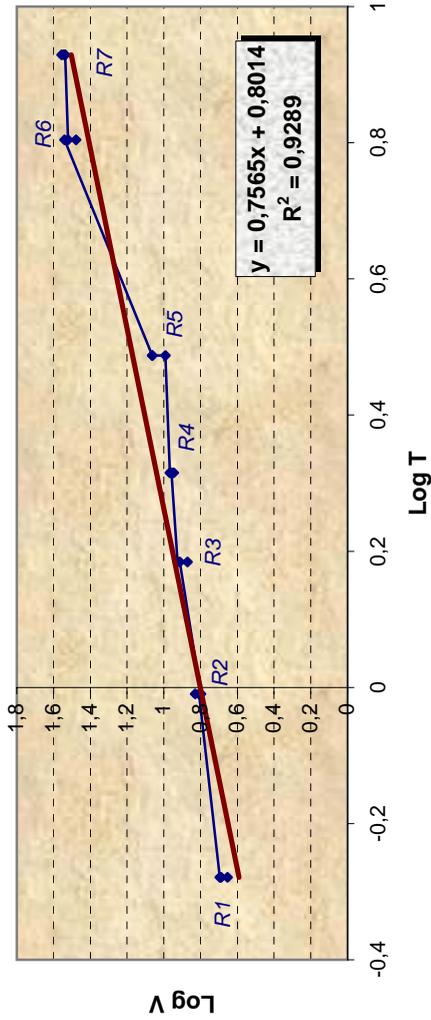
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,984232219	0,019435302	50,641468	9,78108E-22	0,943553664	1,024910773
Log T	0,605541673	0,036746232	16,47901405	1,04124E-12	0,528630926	0,68245242



**ESTACIÓN 2**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,756535665
Log A	0,801374193

<b>Resumen</b>	
<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,963777121
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,928866339
R <sup>2</sup> ajustado	0,925122463
Error típico	0,087817261
Observaciones	21



<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Valor crítico de F</b>	<b>Sup.&gt;F</b>
Regresión	1	1,91333688	1,91333688	248,102801	2,32283E-12	
Residuos	19	0,146525555	0,007711871			
Lack Of Fit	1	0,137609542	0,137609542	277,8115676	4,413873405	1,73062E-13
Pure Error	18	0,008916014	0,000495334			
Total	20	2,059862435				

	<b>Coefficientes</b>	<b>Error típico</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Inferior 95%</b>	<b>Superior 95%</b>
Intercepción	0,801374193	0,025409009	31,53897928	7,12125E-18	0,748192511	0,854555876
Log T	0,756535665	0,048030109	15,75127935	2,32283E-12	0,65600746	0,85706387

**ESTACIÓN 3**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,605541673
Log A	0,984232219

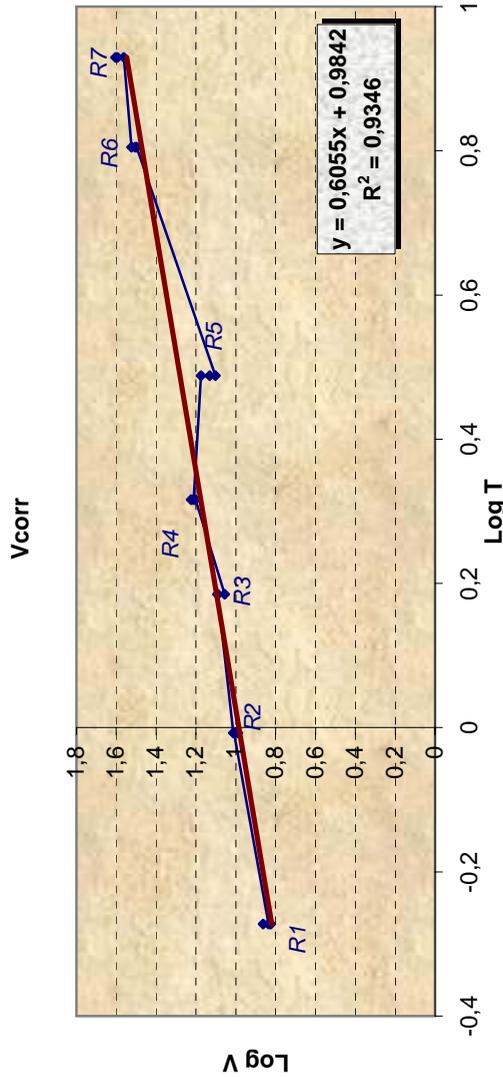
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,96675155
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,934608559
R <sup>2</sup> ajustado	0,931166904
Error típico	0,066896616
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	1,215264313	1,215264313	271,5579039	1,04124E-12	
Residuos	19	0,085027987	0,004475157			
Lack Of Fit	1	0,078780841	0,078780841	226,9924575	4,413873405	6,98746E-13
Pure Error	18	0,006247146	0,000347064			
Total	20	1,3002923				

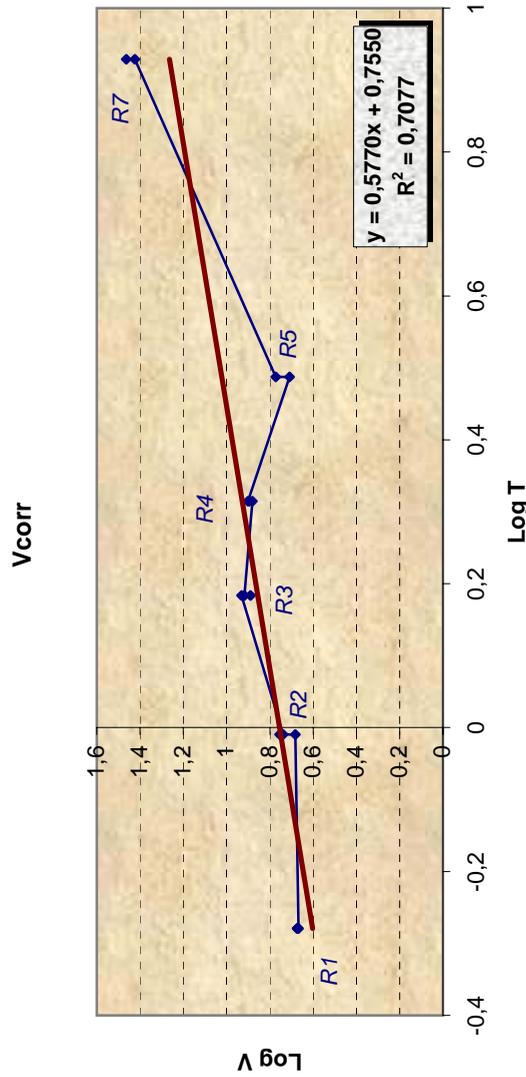
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,984232219	0,019435302	50,641468	9,78108E-22	0,943553664	1,024910773
Log T	0,605541673	0,036746232	16,47901405	1,04124E-12	0,528630926	0,68245242



**ESTACIÓN 4**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,577015555
Log A	0,755012765

<b>Resumen</b>	
<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,841280861
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,707753487
R <sup>2</sup> ajustado	0,686878737
Error típico	0,135930745
Observaciones	16



<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Valor crítico de F</b>	<b>Sup.&gt;F</b>
Regresión	1	0,626463992	0,626463992	33,90476326	4,4238E-05	
Residuos	14	0,258680346	0,018477168			
Lack Of Fit	1	0,254181386	0,254181386	480,796343	4,667192714	3,85445E-15
Pure Error	13	0,006872677	0,000528667			
Total	15	0,885144338				

	<b>Coefficientes</b>	<b>Error típico</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Inferior 95%</b>	<b>Superior 95%</b>
Intercepción	0,755012765	0,039208082	19,25655967	5,45864E-12	0,671442717	0,838582812
Log T	0,577015555	0,086656883	6,658623501	7,62737E-06	0,392310783	0,761720327

**ESTACIÓN 5**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,872283622
Log A	0,769621595

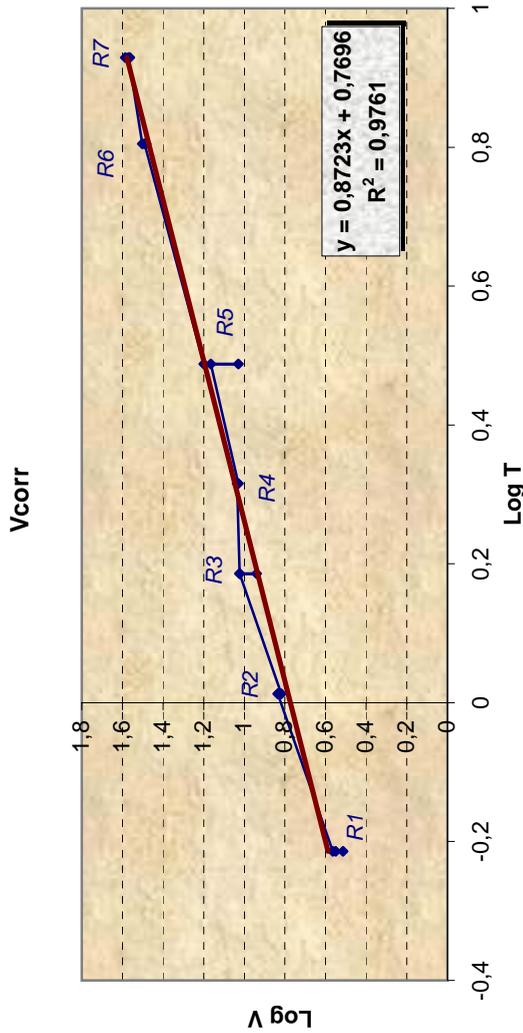
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,987995692
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,976135487
R <sup>2</sup> ajustado	0,97487946
Error típico	0,0566913046
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	2,517298972	2,517298972	777,1612391	7,0834E-17	
Residuos	19	0,061542802	0,003239095			
Lack Of Fit	1	0,038913233	0,038913233	30,9523426	4,413873405	4,29982E-07
Pure Error	18	0,022629570	0,001257198			
Total	20	2,578841774				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,769621595	0,016550606	46,50111204	4,88463E-21	0,734980778	0,804262412
Log T	0,872283622	0,031289754	27,87761179	7,0834E-17	0,806793414	0,937773383



**ESTACIÓN 6**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,492262894
Log A	0,711903033

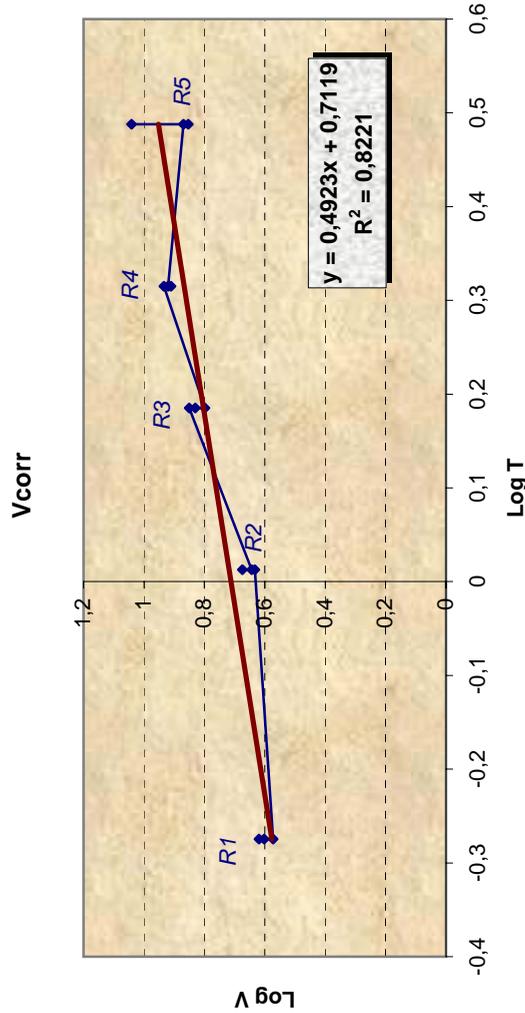
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,906729338
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,822158093
R <sup>2</sup> ajustado	0,808477946
Error típico	0,064262787
Observaciones	15

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	0,248189667	0,248189667	60,0986312	3,14985E-06	
Residuos	13	0,053686176	0,004129706			
Lack Of Fit	1	0,028465726	0,028465726	13,54411656	4,747225336	6,04514E-05
Pure Error	12	0,025220450	0,002101704			
Total	14	0,301875843				

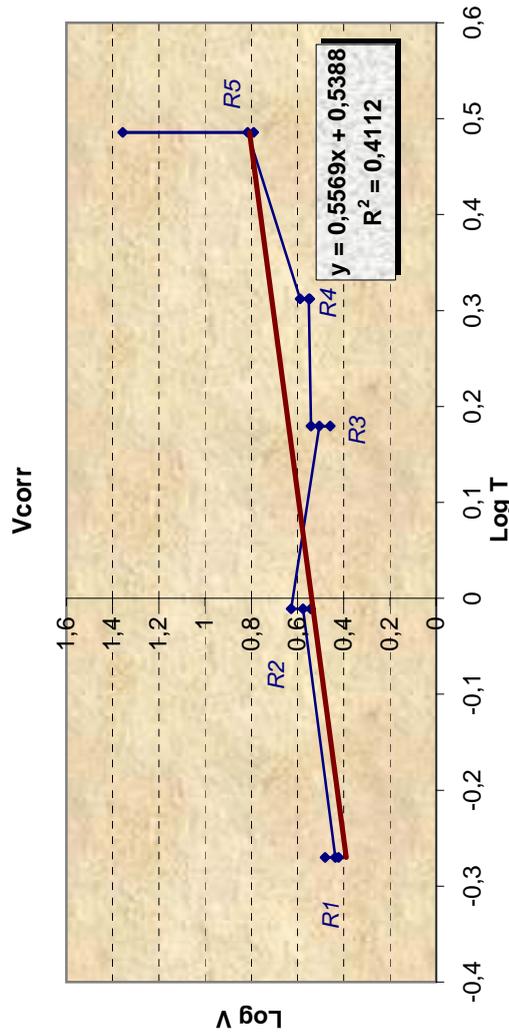
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,711903033	0,018984017	37,50012707	1,23193E-14	0,670890559	0,752915507
Log T	0,492262894	0,063498696	7,752330694	3,14985E-06	0,3550823	0,629443487



**ESTACIÓN 7**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,55395332
Log A	0,538853747

<b>Resumen</b>	
<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,641256907
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,411210421
R <sup>2</sup> ajustado	0,365918915
Error típico	0,186124056
Observaciones	15



<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Valor crítico de F</b>	<b>Sup.&gt;F</b>
Regresión	1	0,31452297	0,31452297	9,079195111	0,009982811	
Residuos	13	0,450348137	0,034642164			
Lack Of Fit	1	0,236364039	0,236364039	13,25504324	4,747225336	6,81692E-05
Pure Error	12	0,213984098	0,017832008			
Total	14	0,764871107				
<b>Coefficientes</b>		<b>Error típico</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Inferior 95%</b>	<b>Superior 95%</b>
Intercepción	0,538853747	0,054458508	9,894757719	2,03396E-07	0,421203292	0,656504201
Log T	0,55395332	0,183844015	3,013170276	0,009982811	0,156782474	0,951124167

**ESTACIÓN 8**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,851148845
Log A	0,800370851

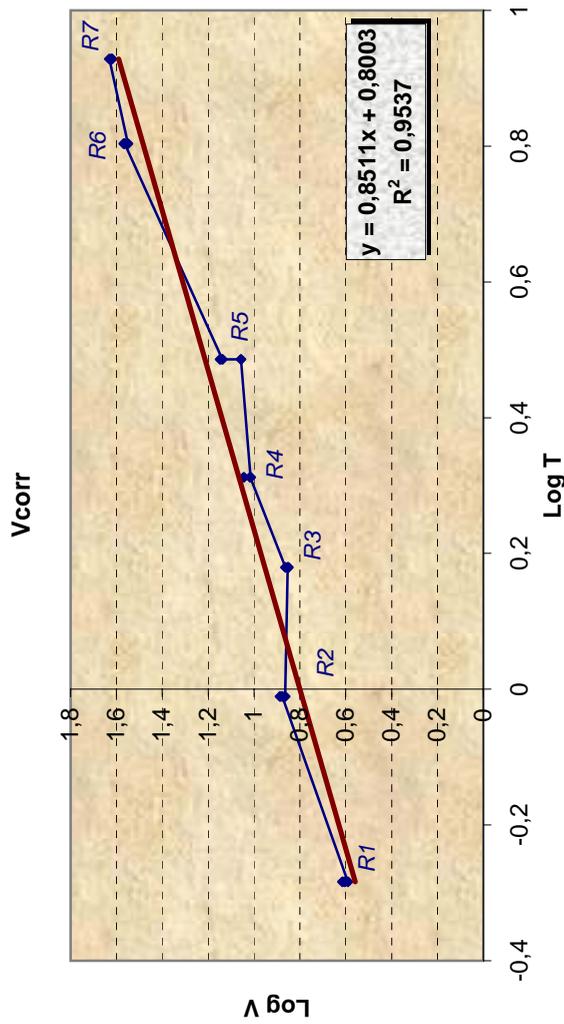
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,976569851
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,953688673
R <sup>2</sup> ajustado	0,951251235
Error típico	0,078899267
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	2,43567278	2,43567278	391,2668021	3,89204E-14	
Residuos	19	0,118276794	0,006225094			
Lack Of Fit	1	0,111920195	0,111920195	316,9247545	4,413873405	6,95357E-14
Pure Error	18	0,006356599	0,000353144			
Total	20	2,553949574				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,800370851	0,022734923	35,20446753	9,11736E-19	0,752786111	0,847955591
Log T	0,851148845	0,043029769	19,78046516	3,89204E-14	0,761086504	0,941211186



**ESTACIÓN 9**

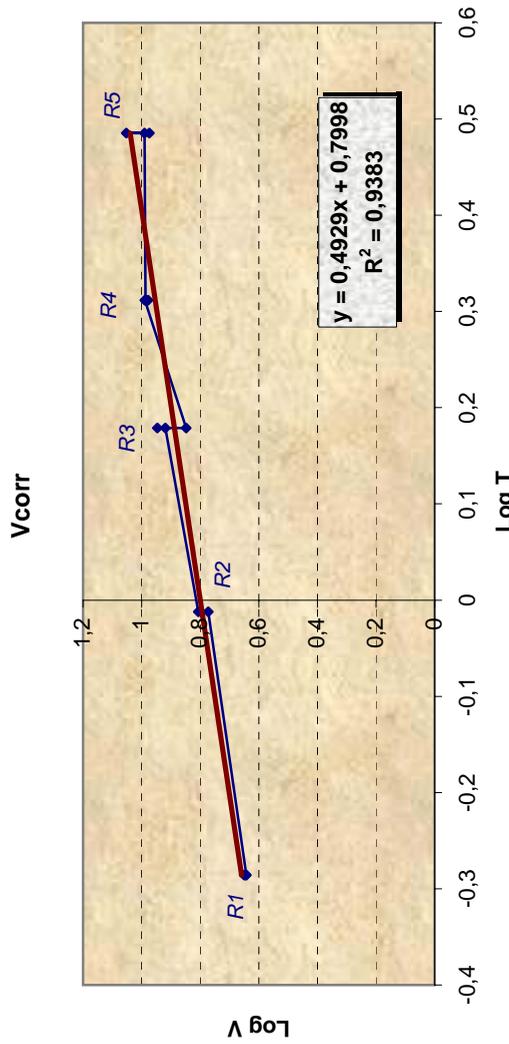
<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,492939749
Log A	0,799852527

**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,968655418
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,938293319
R <sup>2</sup> ajustado	0,933546651
Error típico	0,036161674
Observaciones	15

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Valor crítico de F</b>	<b>Sup.&gt;F</b>
Regresión	1	0,258491838	0,258491838	197,6741085	3,06005E-09	
Residuos	13	0,016999666	0,001307667			
Lack Of Fit	1	0,007676509	0,007676509	9,880571087	4,747225336	0,000330346
Pure Error	12	0,009323157	0,00077693			
Total	14	0,275491504				

	<b>Coefficientes</b>	<b>Error típico</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Inferior 95%</b>	<b>Superior 95%</b>
Intercepción	0,799852527	0,01047743	76,34052945	1,24615E-18	0,777217416	0,822487638
Log T	0,492939749	0,035060568	14,05966246	3,06005E-09	0,417195997	0,5686835



**ESTACIÓN 10**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,709594595
Log A	0,675859333

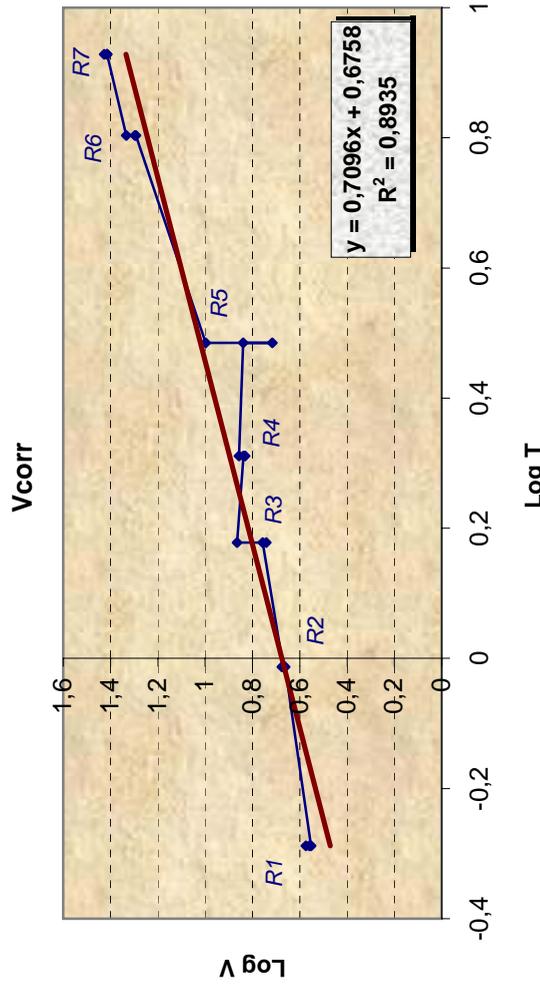
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,945280955
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,893556083
R <sup>2</sup> ajustado	0,887953772
Error típico	0,103355954
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	1,703827287	1,703827287	159,497753	1,08769E-10	
Residuos	19	0,202966611	0,010682453			
Lack Of Fit	1	0,152286341	0,152286341	54,0872043	4,413873405	1,16648E-08
Pure Error	18	0,050680270	0,002815571			
Total	20	1,906793898				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,675859333	0,029682757	22,76942603	2,97773E-15	0,613732609	0,737986057
Log T	0,709594595	0,056186634	12,62924198	1,08769E-10	0,591994619	0,827194571



**ESTACIÓN 11**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,741458976
Log A	0,727054308

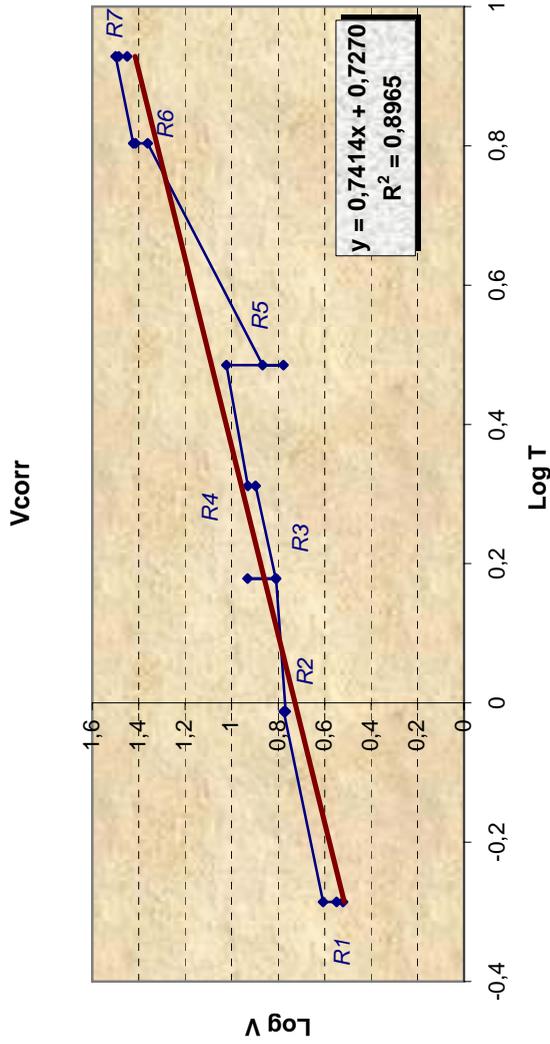
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,946846147
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,896517627
R <sup>2</sup> ajustado	0,890768606
Error típico	0,109027124
Observaciones	20

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	1,853677022	1,853677022	155,9426667	2,65044E-10	
Residuos	18	0,213964447	0,011868914			
Lack Of Fit	1	0,165206076	0,165206076	57,6004328	4,451321691	7,69842E-09
Pure Error	17	0,048758371	0,002868139			
Total	19	2,067641469				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,727054308	0,031876355	22,80857712	9,85475E-15	0,660084571	0,794024045
Log T	0,741458976	0,05937514	12,48770062	2,65044E-10	0,616716435	0,866201517



**ESTACIÓN 12**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,649053021
Log A	0,709155361

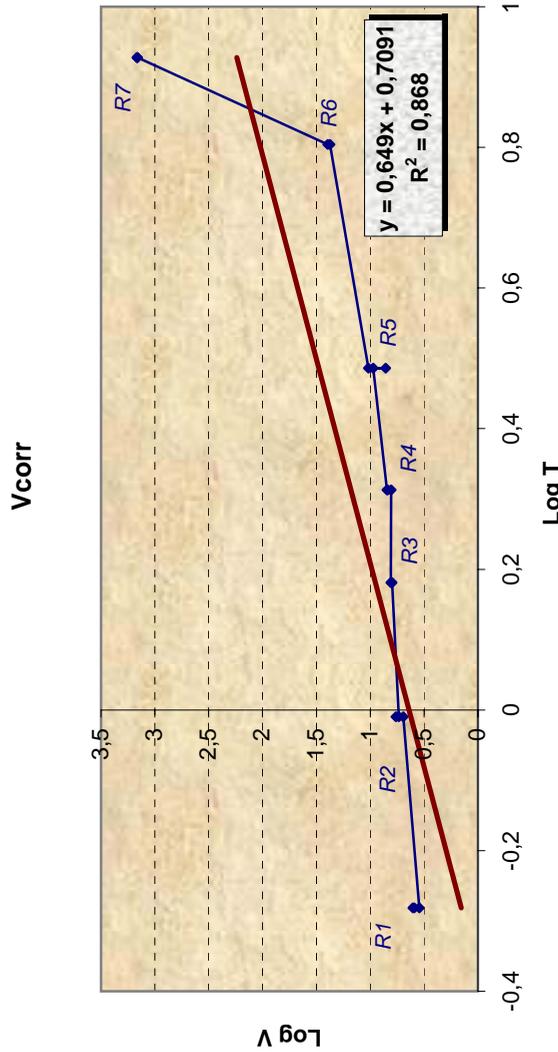
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,931794003
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,868240063
R <sup>2</sup> ajustado	0,859456067
Error típico	0,088472079
Observaciones	17

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	0,773677852	0,773677852	98,84340616	5,39403E-08	
Residuos	15	0,11740963	0,007827309			
Lack Of Fit	1	0,098299719	0,098299719	72,0147792	4,600109908	1,74202E-09
Pure Error	14	0,019109912	0,001364994			
Total	16	0,891087483				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,709155361	0,025684071	27,61070697	2,82778E-14	0,654411059	0,763899662
Log T	0,649053021	0,065283935	9,94200212	5,39403E-08	0,509903608	0,788202435



**ESTACIÓN 13**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,655004732
Log A	0,935756291

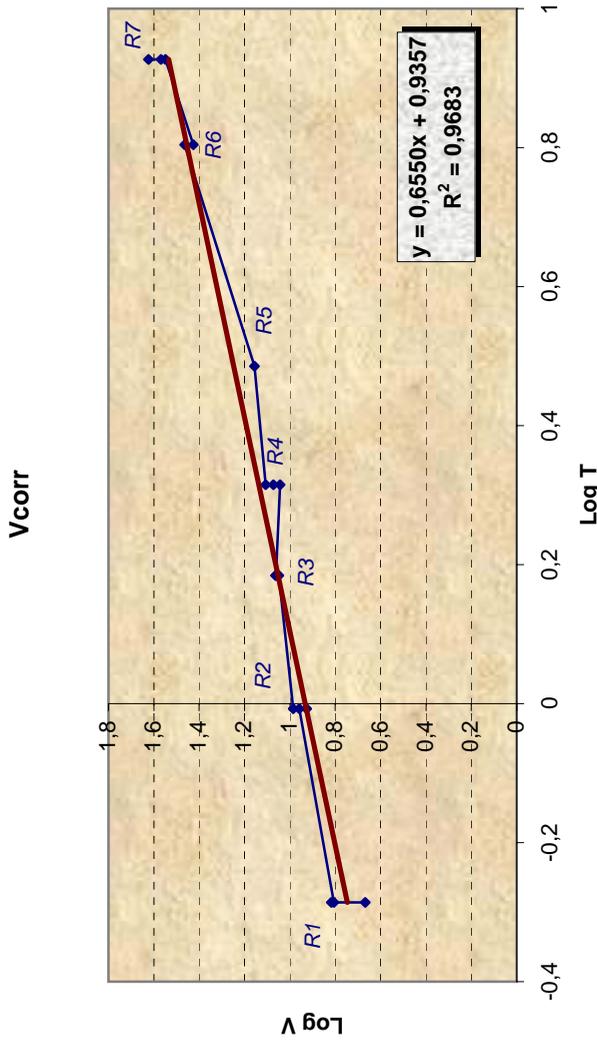
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,984047521
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,968349524
R <sup>2</sup> ajustado	0,966239492
Error típico	0,053311731
Observaciones	17

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	1,304333736	1,304333736	458,9265162	1,16323E-12	
Residuos	15	0,042632111	0,002842141			
Lack Of Fit	1	0,021189307	0,021189307	13,83449258	4,600109908	5,36689E-05
Pure Error	14	0,021442803	0,001531629			
Total	17	1,346965846				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,935756291	0,015757919	59,38323897	3,23128E-19	0,902169081	0,969343501
Log T	0,655004732	0,03057545	21,42257025	1,16323E-12	0,589834703	0,720174761



**ESTACIÓN 14**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,862560523
Log A	-0,065178368

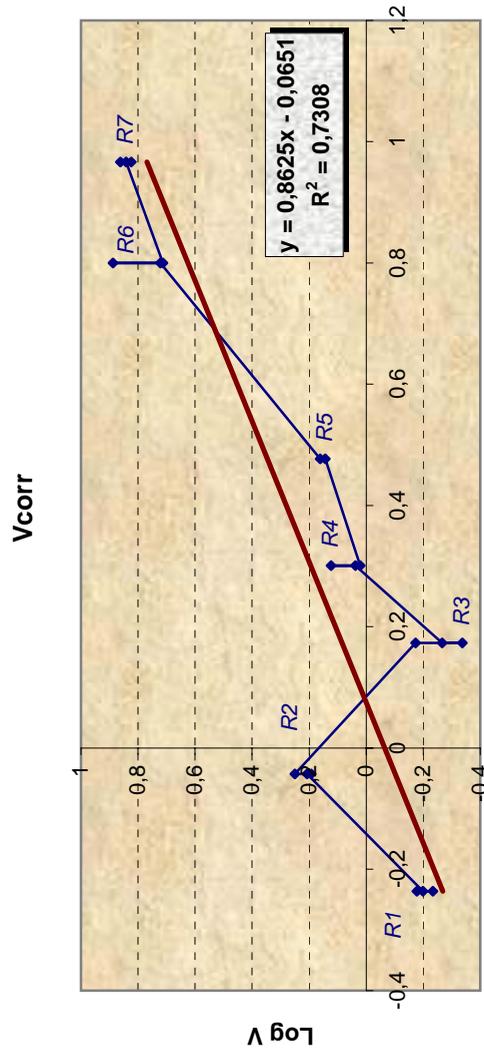
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,854873189
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,730808169
R <sup>2</sup> ajustado	0,715853067
Error típico	0,226606269
Observaciones	20

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	2,509330487	2,509330487	48,8668137	1,58211E-06	
Residuos	18	0,924307221	0,051350401			
Lack Of Fit	1	0,805640026	0,805640026	317,8291803	4,451321691	6,81765E-14
Pure Error	17	0,043091954	0,002534821			
Total	19	3,433637707				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-0,065178368	0,065950726	-0,98828854	0,336110893	-0,203735702	0,073378967
Log T	0,862560523	0,123390739	6,99048022	1,58211E-06	0,603326199	1,121794846



**ESTACIÓN 15**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,294029667
Log A	0,859762818

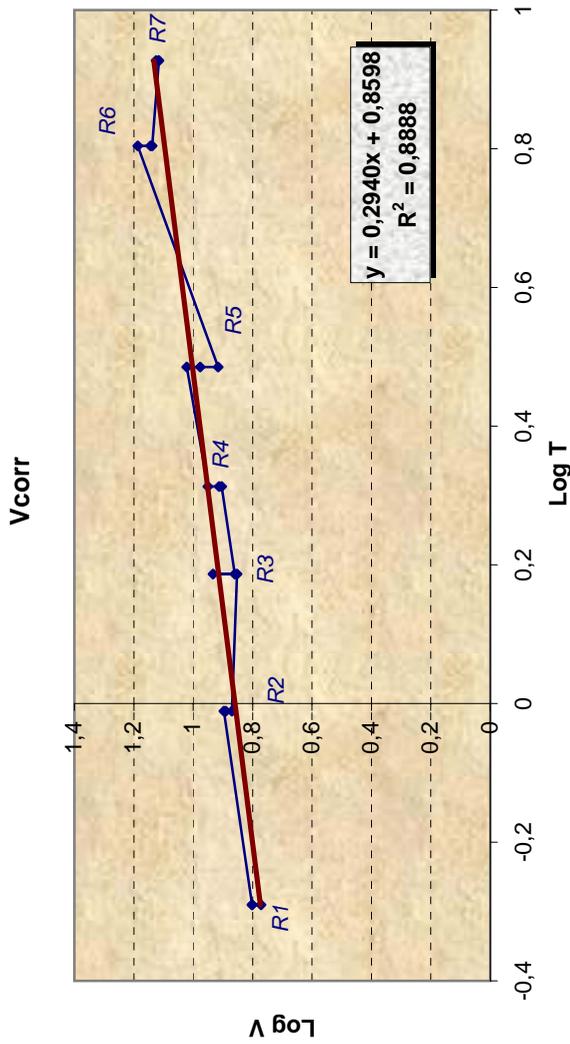
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,942775808
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,888826223
R <sup>2</sup> ajustado	0,882974972
Error típico	0,043837799
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	0,291921161	0,291921161	151,9036121	1,64783E-10	
Residuos	19	0,036513299	0,001921753			
Lack Of Fit	1	0,02331686	0,02331686	31,80429685	4,413873405	3,62177E-07
Pure Error	18	0,013196439	0,000733136			
Total	20	0,328434461				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,859762818	0,012618268	68,13635836	3,58726E-24	0,83335248	0,886173156
Log T	0,294029667	0,02385652	12,32491834	1,64783E-10	0,244097396	0,343961938



**ESTACIÓN 16**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,914146463
Log A	-0,379813238

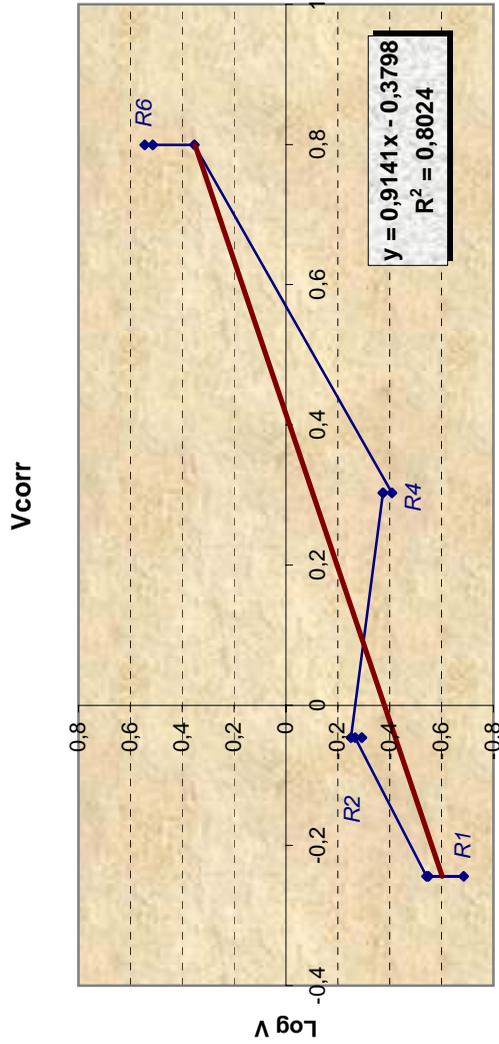
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,895769201
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,802402462
R <sup>2</sup> ajustado	0,782642708
Error típico	0,196925264
Observaciones	12

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	1,574757165	1,574757165	40,60791789	8,11434E-05	
Residuos	10	0,387795594	0,038779559			
Lack Of Fit	1	0,352084911	0,352084911	88,73434723	5,117355008	4,28442E-10
Pure Error	9	0,035710684	0,003967854			
Total	11	1,962552759				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-0,379813238	0,063868748	-5,946777546	0,000141853	-0,522121677	-0,237504799
Log T	0,914146463	0,14345326	6,37243422	8,11434E-05	0,594512682	1,233780244



**ESTACIÓN 17**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,97847905
Log A	0,37690405

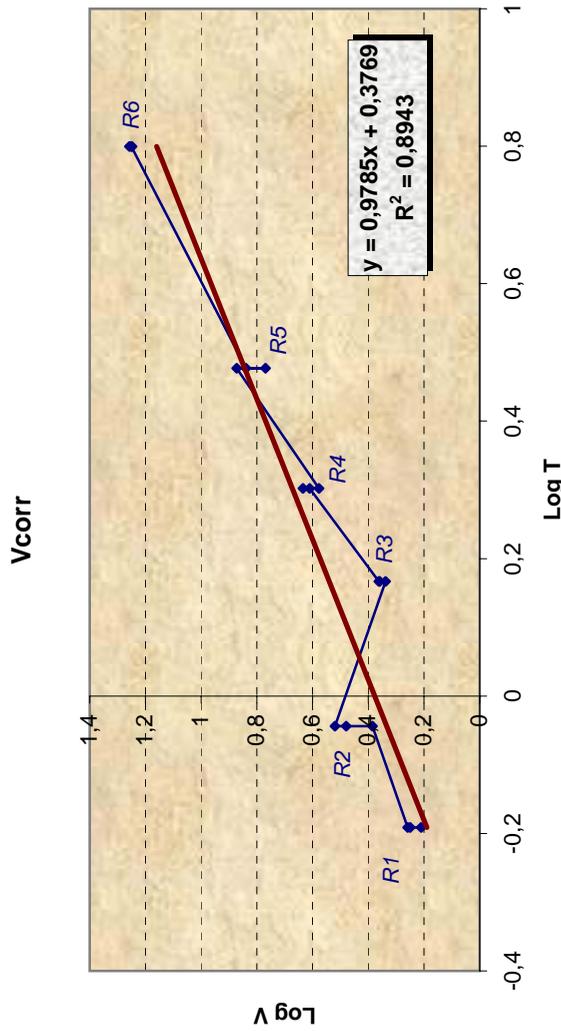
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,945673926
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,894299174
R <sup>2</sup> ajustado	0,887692872
Error típico	0,116921536
Observaciones	18

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	1,850603802	1,850603802	135,3706234	3,21494E-09	
Residuos	16	0,218730328	0,013670645			
Lack Of Fit	1	0,200268196	0,200268196	162,7126811	4,543077123	6,90429E-12
Pure Error	15	0,018462132	0,001230809			
Total	17	2,06933413				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,37690405	0,034753426	10,8450906	8,7833E-09	0,303230079	0,45057802
Log T	0,97847905	0,084098707	11,6348882	3,21494E-09	0,800197758	1,156760343



**ESTACIÓN 18**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,831659289
Log A	0,726414445

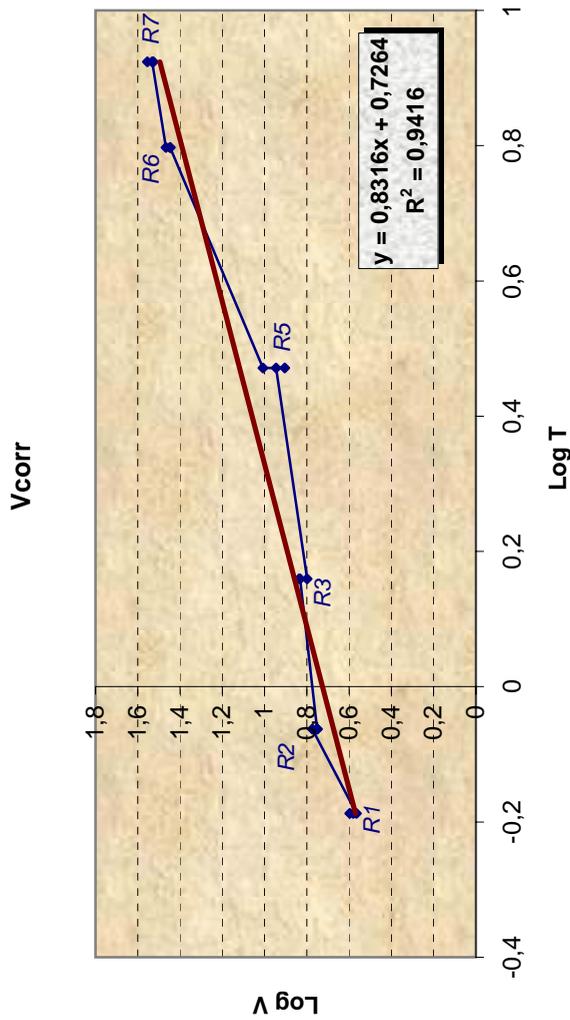
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,970366737
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,941611604
R <sup>2</sup> ajustado	0,937962329
Error típico	0,091425709
Observaciones	18

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	2,156760447	2,156760447	258,0270494	2,72452E-11	
Residuos	16	0,133738564	0,00835866			
Lack Of Fit	1	0,126010477	0,126010477	244,582778	4,543077123	4,17429E-13
Pure Error	15	0,007728088	0,000515206			
Total	17	2,290499011				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,726414445	0,028164035	25,79227188	1,83752E-14	0,666709358	0,786119531
Log T	0,831659289	0,051774132	16,06322039	2,72452E-11	0,721903034	0,941415545



**ESTACIÓN 19**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,765165612
Log A	0,484245363

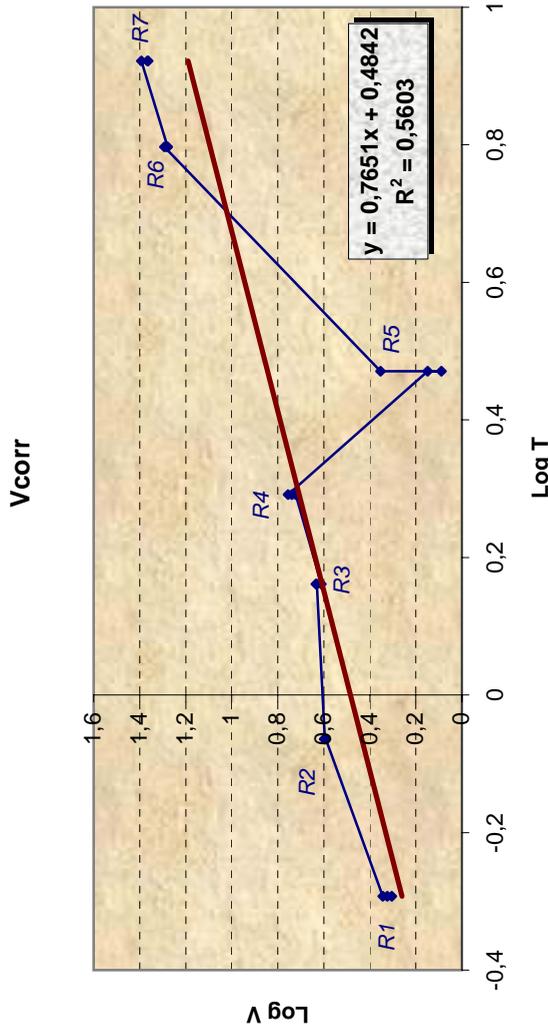
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,748556551
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,56033691
R <sup>2</sup> ajustado	0,537196747
Error típico	0,290237643
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	2,039812751	2,039812751	24,21490804	9,48911E-05	
Residuos	19	1,600519903	0,08423789			
Lack Of Fit	1	1,559820393	1,559820393	689,8551641	4,413873405	3,1241E-16
Pure Error	18	0,040699510	0,002261084			
Total	20	3,640332654				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,484245363	0,081172306	5,965647488	9,65919E-06	0,314349775	0,654140952
Log T	0,765165612	0,155494142	4,920864562	9,48911E-05	0,439712634	1,090618591



**ESTACIÓN 20**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,572449716
Log A	0,194527053

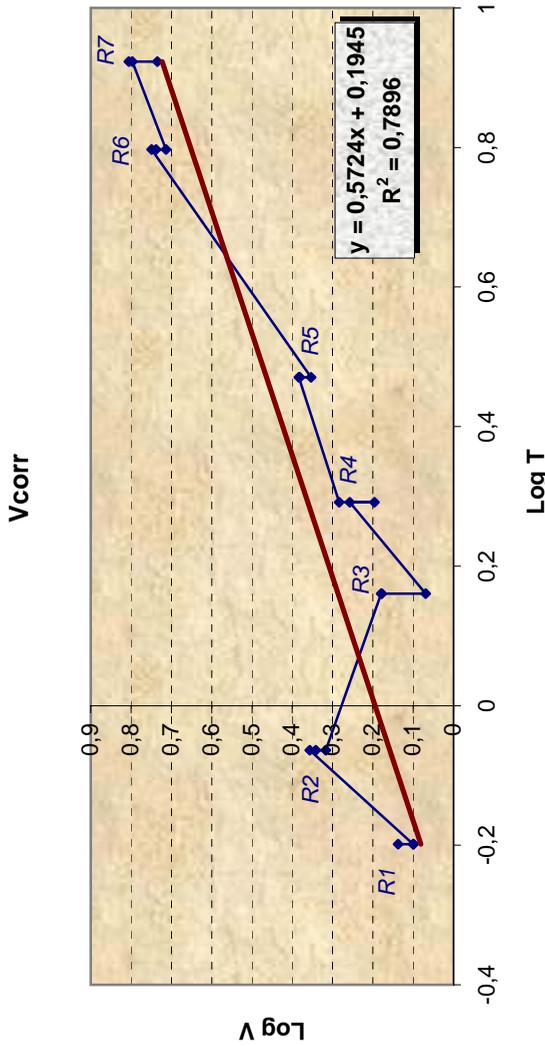
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,88862942
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,789662245
R <sup>2</sup> ajustado	0,778591837
Error típico	0,120534514
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	1,036335999	1,036335999	71,33090623	7,42138E-08	
Residuos	19	0,276042813	0,014528569			
Lack Of Fit	1	0,258047992	0,258047992	258,1222714	4,413873405	2,87693E-13
Pure Error	18	0,017994820	0,000999712			
Total	20	1,312378812				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,194527053	0,034970592	5,562589633	2,29909E-05	0,121332762	0,267721343
Log T	0,572449716	0,067779518	8,44576262	7,42138E-08	0,430585556	0,714313876



**ESTACIÓN 21**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,826539751
Log A	0,643504668

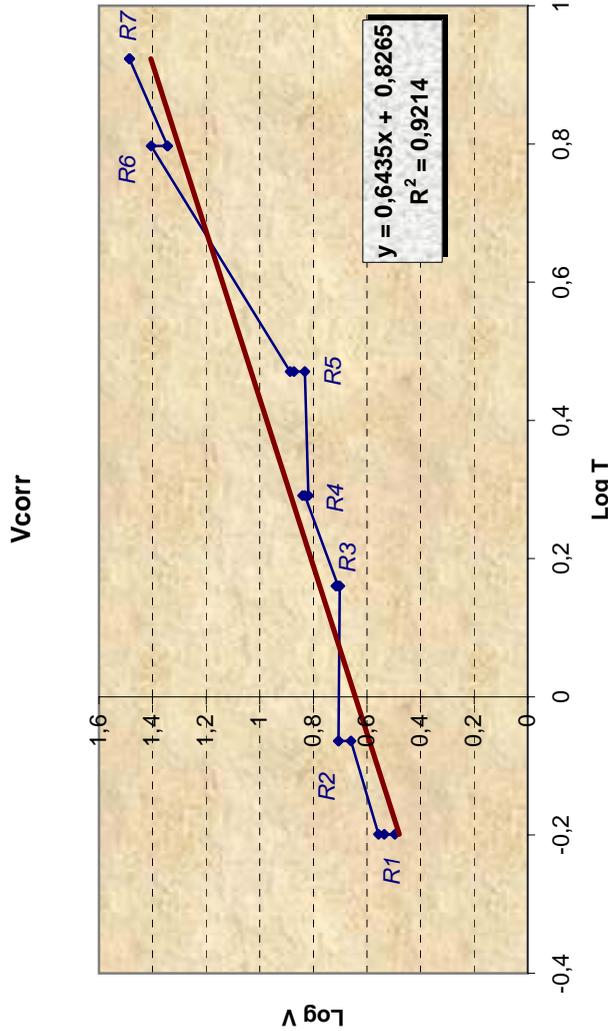
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,959913134
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,921433226
R <sup>2</sup> ajustado	0,917298132
Error típico	0,098466255
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	2,160495603	2,160495603	222,8325068	5,99297E-12	
Residuos	19	0,184216464	0,009695603			
Lack Of Fit	1	0,17641488	0,17641488	407,0286223	4,413873405	1,22611E-14
Pure Error	18	0,007801584	0,000433421			
Total	20	2,344712066				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,643504668	0,028567944	22,52541069	3,62884E-15	0,583711274	0,703298061
Log T	0,826539751	0,055369993	14,92757538	5,99297E-12	0,710649023	0,942430479



**ESTACIÓN 22**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,604765807
Log A	1,241564984

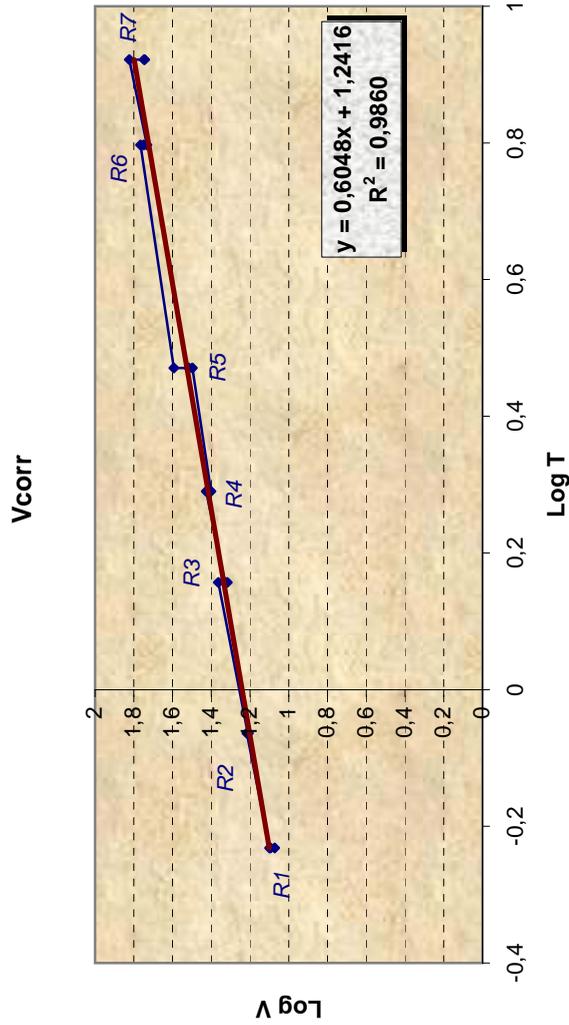
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,992972503
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,985994393
R <sup>2</sup> ajustado	0,985257255
Error típico	0,029905953
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	1,196303554	1,196303554	1337,599491	4,46159E-19	
Residuos	19	0,016992955	0,000894366			
Lack Of Fit	1	0,005229443	0,005229443	8,001860932	4,413873405	0,00095238
Pure Error	18	0,011763511	0,000653528			
Total	20	1,213296509				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	1,241564984	0,008553629	145,1506745	2,12279E-30	1,223662033	1,259467935
Log T	0,604765807	0,016535761	36,57320728	4,46159E-19	0,570156062	0,639375552



**ESTACIÓN 23**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,762669769
Log A	0,497481363

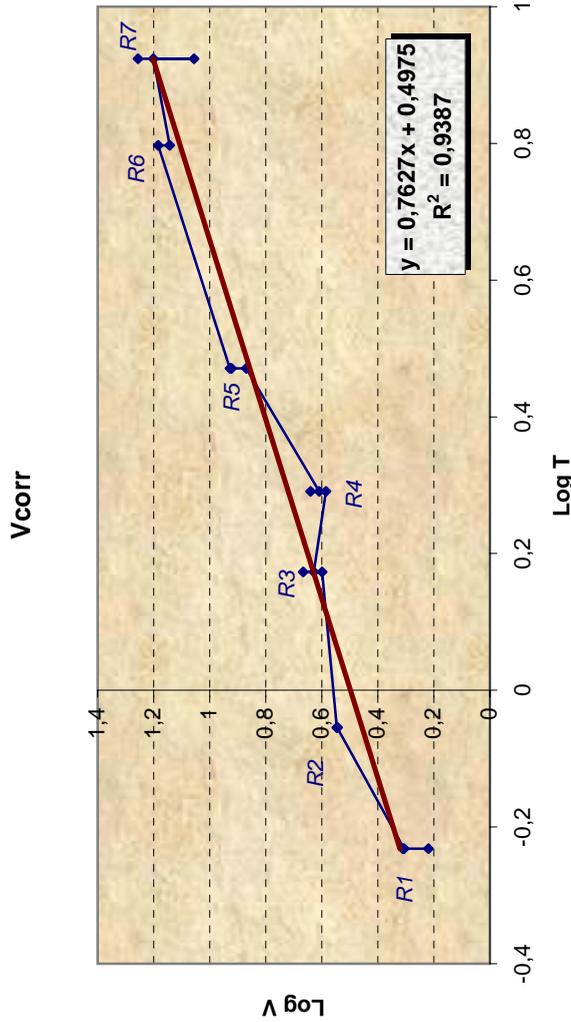
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,968883005
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,938734277
R <sup>2</sup> ajustado	0,935330625
Error típico	0,079775418
Observaciones	20

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	1,755237117	1,755237117	275,8021303	2,32036E-12	
Residuos	18	0,114554112	0,006364117			
Lack Of Fit	1	0,084773894	0,084773894	43,42102556	4,451321691	4,91252E-08
Pure Error	17	0,033190285	0,00195237			
Total	19	1,869791229				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,497481363	0,022982114	21,64645773	2,44783E-14	0,449197733	0,545764993
Log T	0,762669769	0,04592379	16,60729148	2,32036E-12	0,666187466	0,859152072



**ESTACIÓN 24**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,646743159
Log A	0,442531917

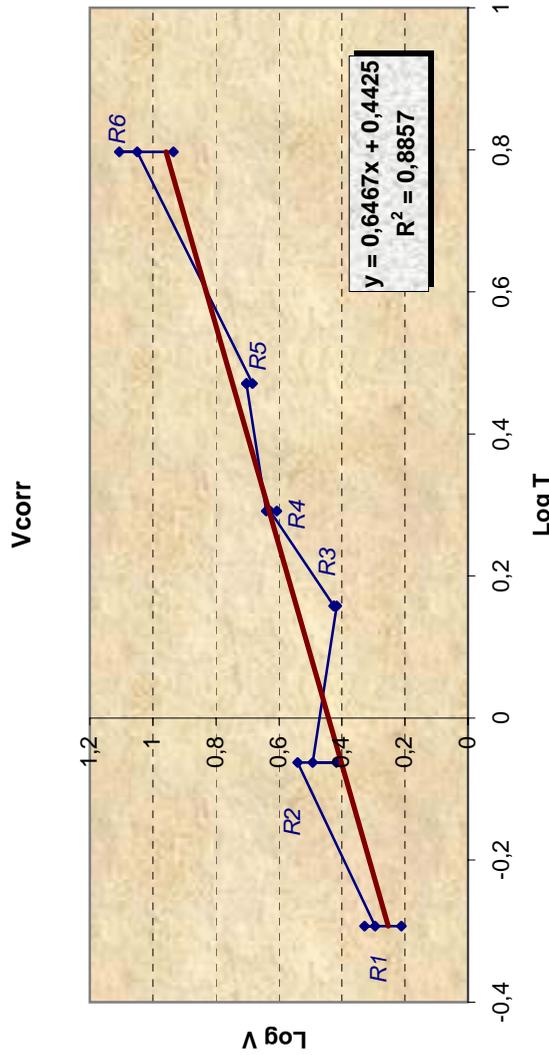
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,941144561
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,885753085
R <sup>2</sup> ajustado	0,878612653
Error típico	0,086965965
Observaciones	18

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	0,938181388	0,938181388	124,0475455	6,01359E-09	
Residuos	16	0,121009264	0,007563079			
Lack Of Fit	1	0,089864237	0,089864237	43,28021771	4,543077123	5,01728E-08
Pure Error	15	0,031145027	0,002076335			
Total	17	1,059190653				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,442531917	0,024371458	18,15779385	4,22216E-12	0,390866734	0,494197101
Log T	0,646743159	0,058068119	11,13766338	6,01359E-09	0,523644247	0,769842071



**ESTACIÓN 25**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,43007308
Log A	0,777110089

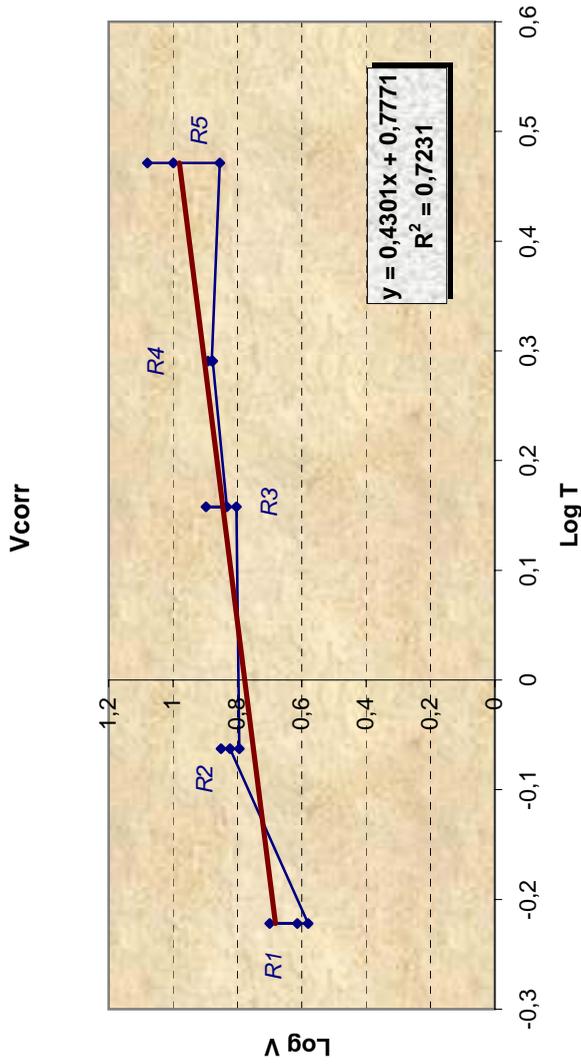
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,850380504
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,723147002
R <sup>2</sup> ajustado	0,701850617
Error típico	0,070465244
Observaciones	15

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	0,168605073	0,168605073	33,95632731	5,9034E-05	
Residuos	13	0,064549559	0,004965351			
Lack Of Fit	1	0,02457173	0,02457173	7,375607	4,747225336	0,001407817
Pure Error	12	0,039977829	0,003331486			
Total	14	0,233154632				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,777110089	0,020468837	37,96552177	1,05084E-14	0,732889855	0,821330324
Log T	0,43007308	0,07380434	5,827205789	5,9034E-05	0,270628496	0,589517663



**ESTACIÓN 26**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	1,369811172
Log A	-1,033257958

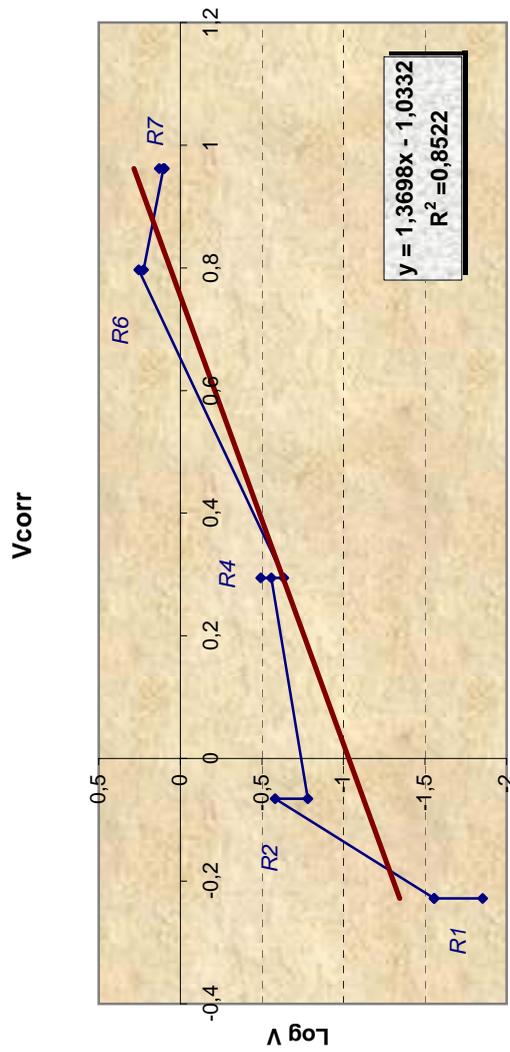
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,923178984
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,852259437
R <sup>2</sup> ajustado	0,838828477
Error típico	0,291805664
Observaciones	13

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	5,403214232	5,403214232	63,45484008	6,8032E-06	
Residuos	11	0,936655998	0,085150545			
Lack Of Fit	1	1,073960357	1,073960357	118,9408047	4,964602701	5,87972E-11
Pure Error	10	0,090293685	0,009029369			
Total	12	6,33987023				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-1,033257958	0,100853011	-10,24518701	5,80056E-07	-1,255233939	-0,811281978
Log T	1,369811172	0,171960353	7,965854636	6,8032E-06	0,991328988	1,748293356



**ESTACIÓN 27**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,257857262
Log A	-0,066187007

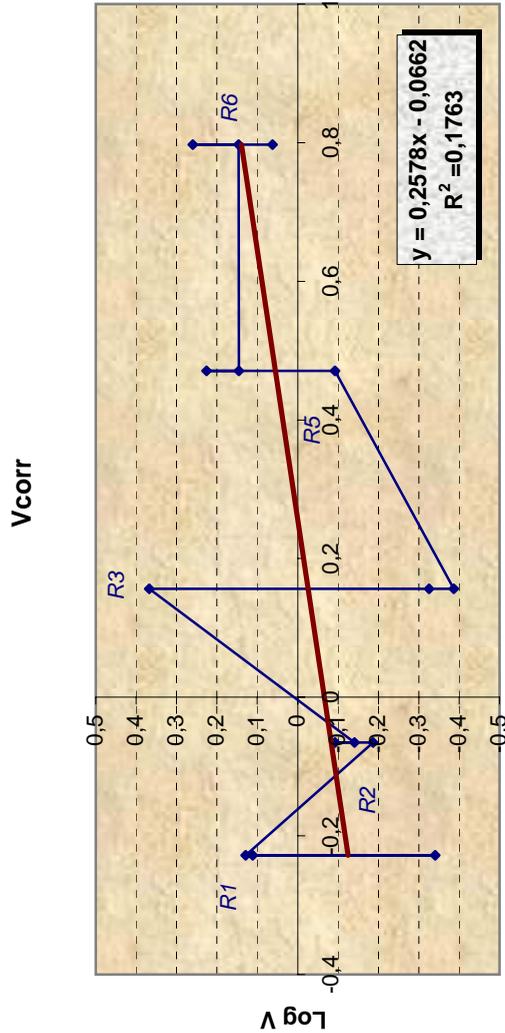
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,419894969
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,176311785
R <sup>2</sup> ajustado	0,112951153
Error típico	0,221047321
Observaciones	15

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	0,135966636	0,135966636	2,78267087	0,119182279	
Residuos	13	0,635204936	0,048861918			
Lack Of Fit	1	0,0636059	0,0636059	1,335325553	4,747225336	0,30591122
Pure Error	12	0,571599036	0,047633253			
Total	14	0,771171572				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-0,066187007	0,066928502	-0,988921099	0,340751676	-0,210777244	0,078403229
Log T	0,257857262	0,154578271	1,668133948	0,119182279	-0,076088789	0,591803313



**ESTACIÓN 28**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,882895422
Log A	0,947483381

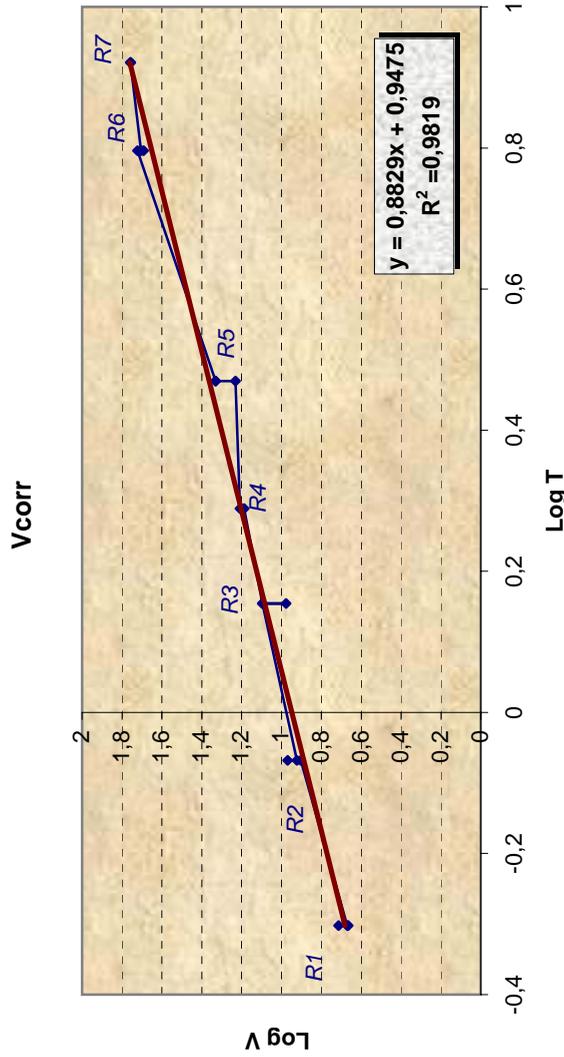
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,990905791
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,981894286
R <sup>2</sup> ajustado	0,980941353
Error típico	0,051683229
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	2,752339168	2,752339168	1030,392455	5,12492E-18	
Residuos	19	0,050751967	0,002671156			
Lack Of Fit	1	0,030251163	0,030251163	26,56095574	4,413873405	1,12078E-06
Pure Error	18	0,020500804	0,001138934			
Total	20	2,803091135				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,947483381	0,014355484	66,00149338	6,55222E-24	0,917437008	0,977529754
Log T	0,882895422	0,027504764	32,09972671	5,12492E-18	0,825327288	0,940463555



**ESTACIÓN 29**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,411122314
Log A	0,539066137

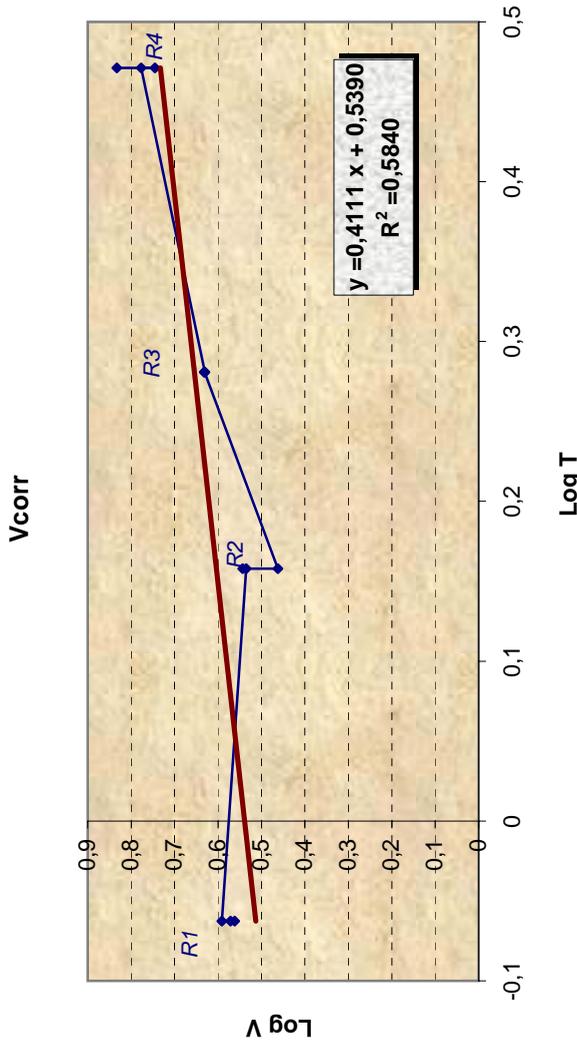
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,764247122
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,584073663
R <sup>2</sup> ajustado	0,542481029
Error típico	0,073654476
Observaciones	12

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	0,076181496	0,076181496	14,04271889	0,003800262	
Residuos	10	0,054249819	0,005424982			
Lack Of Fit	1	0,045877146	0,045877146	49,31451718	5,117355008	2,14081E-08
Pure Error	9	0,008372673	0,000930297			
Total	11	0,130431315				

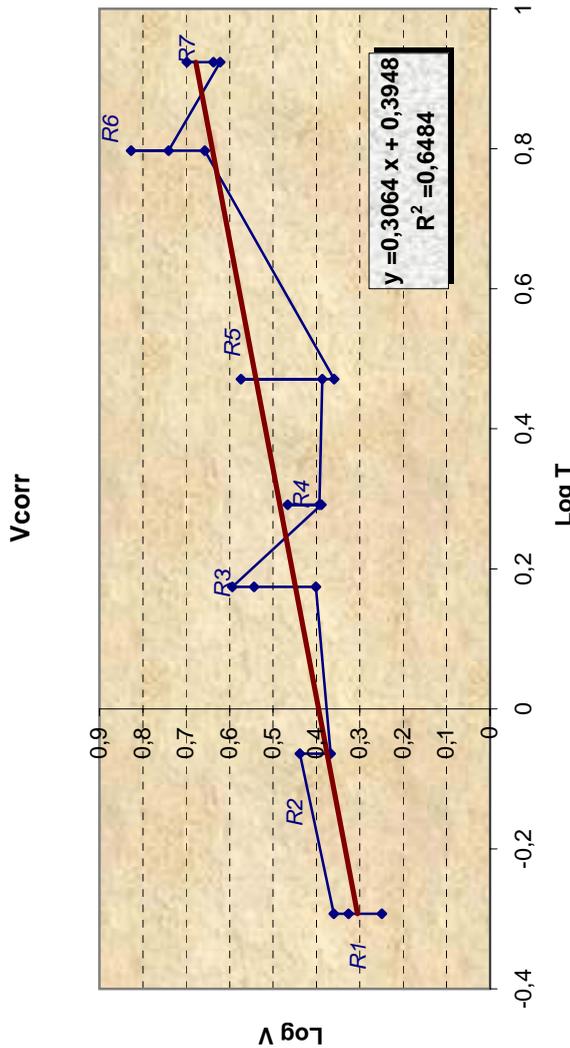
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,539066137	0,031498985	17,11376217	9,79047E-09	0,468882025	0,609250249
Log T	0,411122314	0,109709806	3,747361591	0,003800262	0,166673633	0,655570994



**ESTACIÓN 30**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,306433075
Log A	0,394791048

<b>Resumen</b>	
<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,805262026
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,64844693
R <sup>2</sup> ajustado	0,628916204
Error típico	0,096858783
Observaciones	20



<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Valor crítico de F</b>	<b>Sup.&gt;F</b>
Regresión	1	0,311482797	0,311482797	33,20137339	1,84131E-05	
Residuos	18	0,16886923	0,009381624			
Lack Of Fit	1	0,091248027	0,091248027	19,98444262	4,451321691	6,35495E-06
Pure Error	17	0,077621202	0,004565953			
Total	19	0,480352027				
<b>Coefficientes</b>		<b>Error típico</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Inferior 95%</b>	<b>Superior 95%</b>
Intercepción	0,394791048	0,028499966	13,85233398	4,84517E-11	0,334914842	0,454667255
Log T	0,306433075	0,053181137	5,762063293	1,84131E-05	0,194703653	0,418162497

**ESTACIÓN 31**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,747359273
Log A	0,551783774

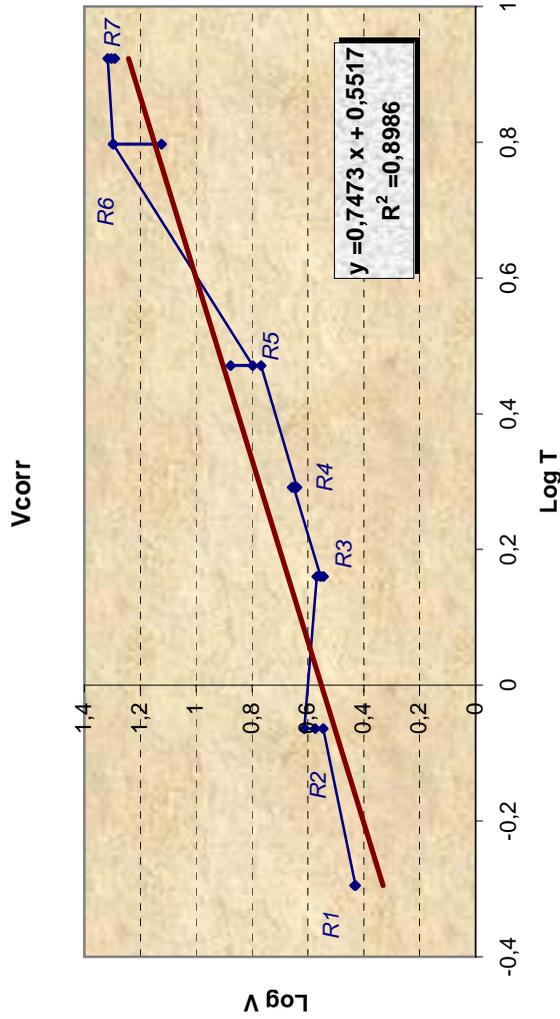
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,947980633
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,898667281
R <sup>2</sup> ajustado	0,893333398
Error típico	0,107682117
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	1,95384456	1,95384456	168,5011371	6,79782E-11	
Residuos	19	0,22031333	0,011595438			
Lack Of Fit	1	0,190885816	0,190885816	116,7595969	4,413873405	6,66921E-11
Pure Error	18	0,029427514	0,001634862			
Total	20	2,17415789				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,551783774	0,030082391	18,3424175	1,52563E-13	0,488820606	0,614746942
Log T	0,747359273	0,057574213	12,98079879	6,79782E-11	0,626855061	0,867863486



**ESTACIÓN 32**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,351764963
Log A	0,215205962

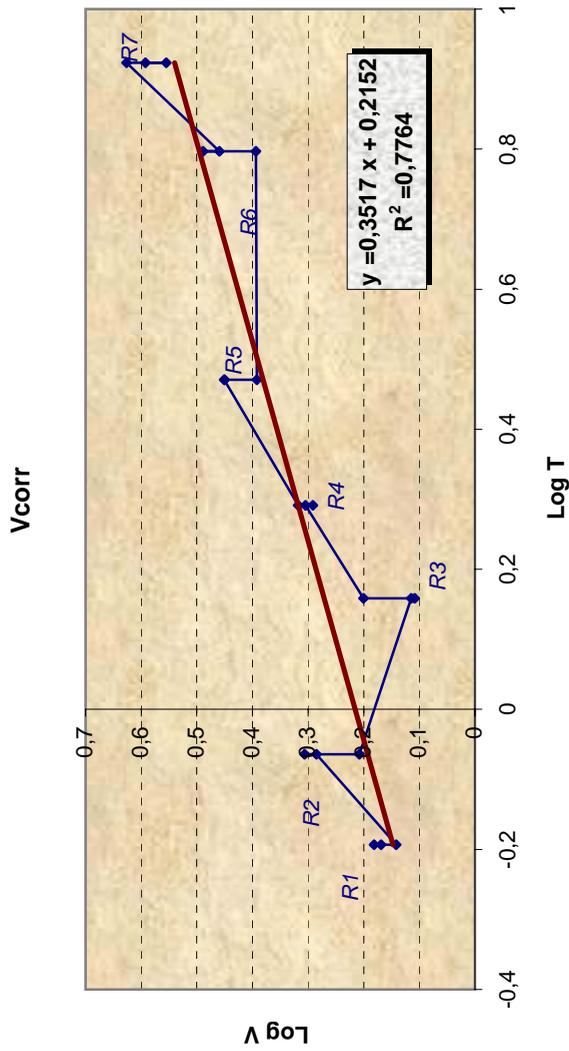
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,881180744
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,776479504
R <sup>2</sup> ajustado	0,764715267
Error típico	0,076800566
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	0,389309578	0,389309578	66,0033903	1,33205E-07	
Residuos	19	0,112068213	0,005898327			
Lack Of Fit	1	0,090699451	0,090699451	76,40078334	4,413873405	1,17241E-09
Pure Error	18	0,021368762	0,001187153			
Total	20	0,501377791				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,215205962	0,022323209	9,640458017	9,46152E-09	0,168482948	0,261928976
Log T	0,351764963	0,043298162	8,12424706	1,33205E-07	0,26114087	0,442389057



**ESTACIÓN 33**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,803343473
Log A	0,286169255

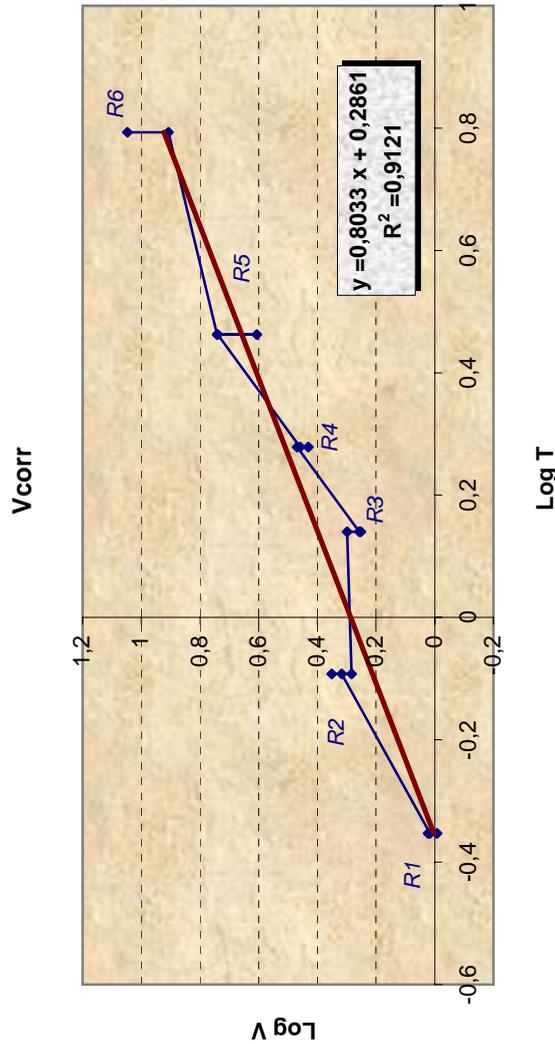
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,95506787
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,912154635
R <sup>2</sup> ajustado	0,906298278
Error típico	0,093236392
Observaciones	17

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	1,353978592	1,353978592	155,7545991	2,52399E-09	
Residuos	15	0,130395372	0,008693025			
Lack Of Fit	1	0,103699035	0,103699035	54,38148541	4,600109908	1,12549E-08
Pure Error	14	0,026696337	0,001906881			
Total	16	1,484373964				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,286169255	0,025128494	11,3882375	8,80779E-09	0,232609139	0,339729372
Log T	0,803343473	0,064369603	12,48016823	2,52399E-09	0,666142913	0,940544033



**ESTACIÓN 34**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,988749283
Log A	0,522567462

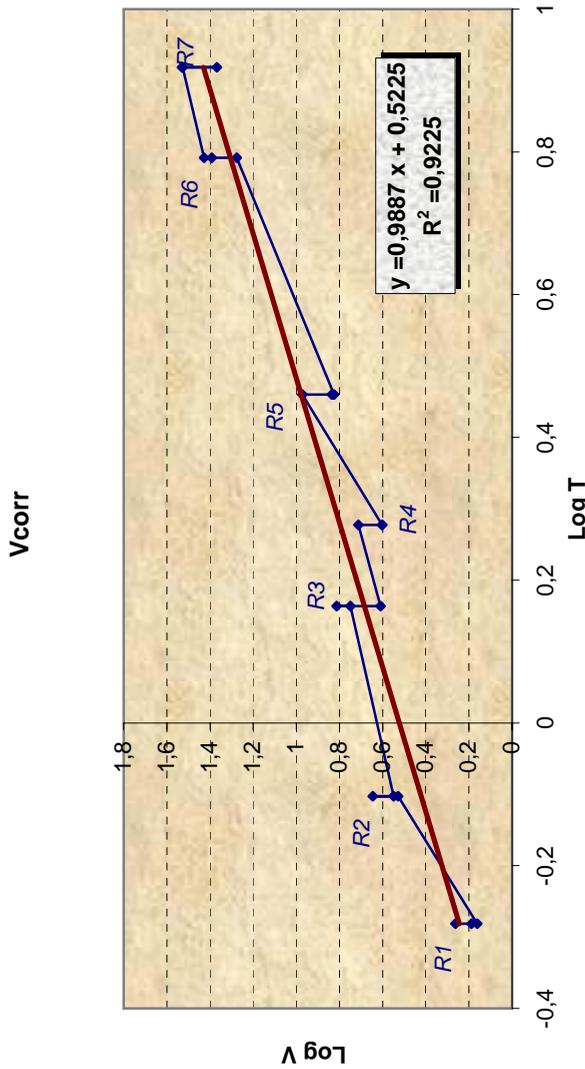
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,960498099
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,922556598
R <sup>2</sup> ajustado	0,91848063
Error típico	0,122988765
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	3,423679302	3,423679302	226,3404618	5,2238E-12	
Residuos	19	0,287398489	0,015126236			
Lack Of Fit	1	0,201530342	0,201530342	42,24553868	4,413873405	5,87039E-08
Pure Error	18	0,085868148	0,004770453			
Total	20	3,711077791				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,522567462	0,034023724	15,35891413	3,6285E-12	0,451354988	0,593779935
Log T	0,988749283	0,065721139	15,04461571	5,2238E-12	0,851193358	1,126305208



**ESTACIÓN 35**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	2,804450185
Log A	-1,990647786

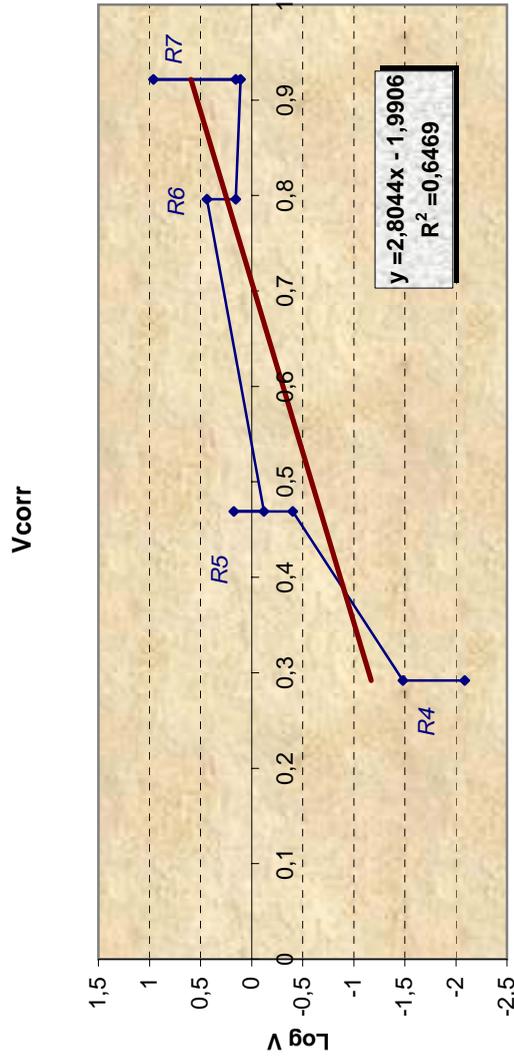
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,804343095
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,646967814
R <sup>2</sup> ajustado	0,602838791
Error típico	0,575061377
Observaciones	10

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	4,848269595	4,848269595	14,66082336	0,005025436	
Residuos	8	2,6455647	0,330695587			
Lack Of Fit	1	1,798025782	1,798025782	14,85026848	5,591447848	3,59841E-05
Pure Error	7	0,847538918	0,121076988			
Total	9	7,493834295				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-1,990647786	0,499312575	-3,986776794	0,004023395	-3,142064647	-0,839230925
Log T	2,804450185	0,73243409	3,828945464	0,005025436	1,115454147	4,493446223



**ESTACIÓN 36**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,636665471
Log A	0,256908608

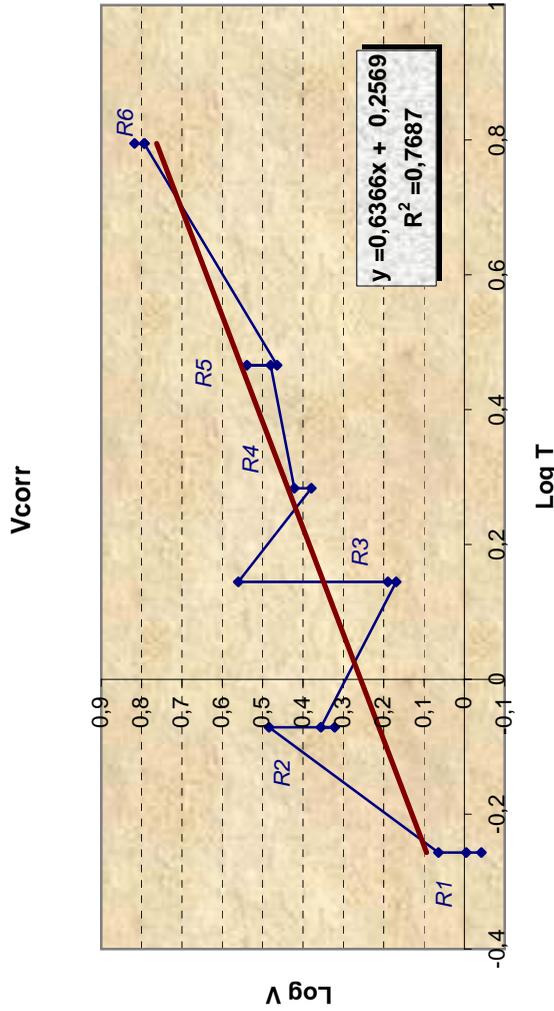
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,87679377
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,768767314
R <sup>2</sup> ajustado	0,753351802
Error típico	0,131685328
Observaciones	17

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	0,864792123	0,864792123	49,86972182	3,86125E-06	
Residuos	15	0,260115384	0,017341026			
Lack Of Fit	1	0,138141872	0,138141872	15,85578855	4,600109908	2,47344E-05
Pure Error	14	0,121973512	0,008712394			
Total	16	1,124907507				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,256908608	0,037759682	6,803781107	5,95443E-06	0,176425752	0,337391464
Log T	0,636665471	0,090155624	7,061849745	3,86125E-06	0,444503308	0,828827634



**ESTACIÓN 37**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,521014283
Log A	0,373522533

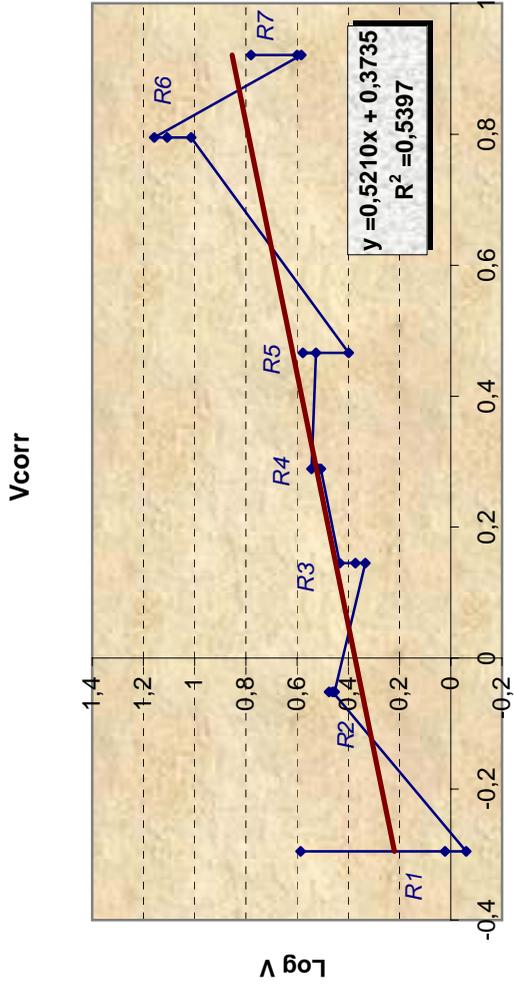
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,734689971
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,539769354
R <sup>2</sup> ajustado	0,515546688
Error típico	0,205514594
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	0,941177694	0,941177694	22,283648	0,000148856	
Residuos	19	0,802488721	0,042236248			
Lack Of Fit	1	0,497737446	0,497737446	29,39864325	4,413873405	5,94636E-07
Pure Error	18	0,304751275	0,016930626			
Total	20	1,743666415				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,373522533	0,057371306	6,510615784	3,08865E-06	0,253443009	0,493602057
Log T	0,521014283	0,110371383	4,720555899	0,000148856	0,290004324	0,752024241



**ESTACIÓN 38**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,503758152
Log A	0,790834335

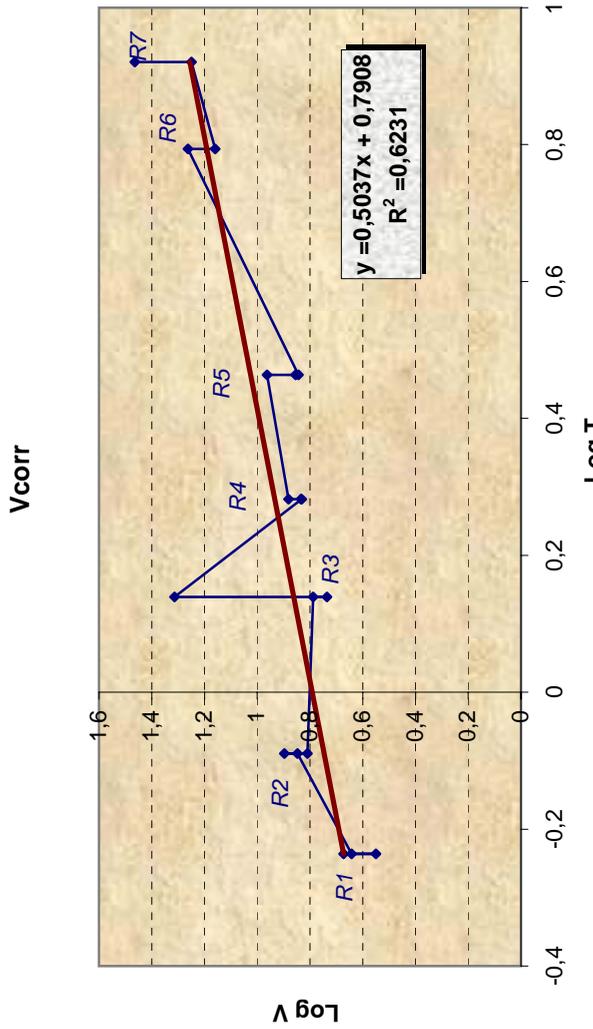
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,789374038
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,623111372
R <sup>2</sup> ajustado	0,600941453
Error típico	0,156562566
Observaciones	19

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	0,688933696	0,688933696	28,10616333	5,86008E-05	
Residuos	17	0,769078417	0,024511837			
Lack Of Fit	1	0,514595607	0,514595607	32,35397213	4,493998418	3,24927E-07
Pure Error	16	0,254482809	0,015905176			
Total	18	1,105634926				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,790834335	0,044072085	17,94410985	1,74792E-12	0,697850364	0,883818305
Log T	0,503758152	0,095021374	5,301524623	5,86008E-05	0,303280579	0,704235724



**ESTACIÓN 39**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,060946154
Log A	0,220576355

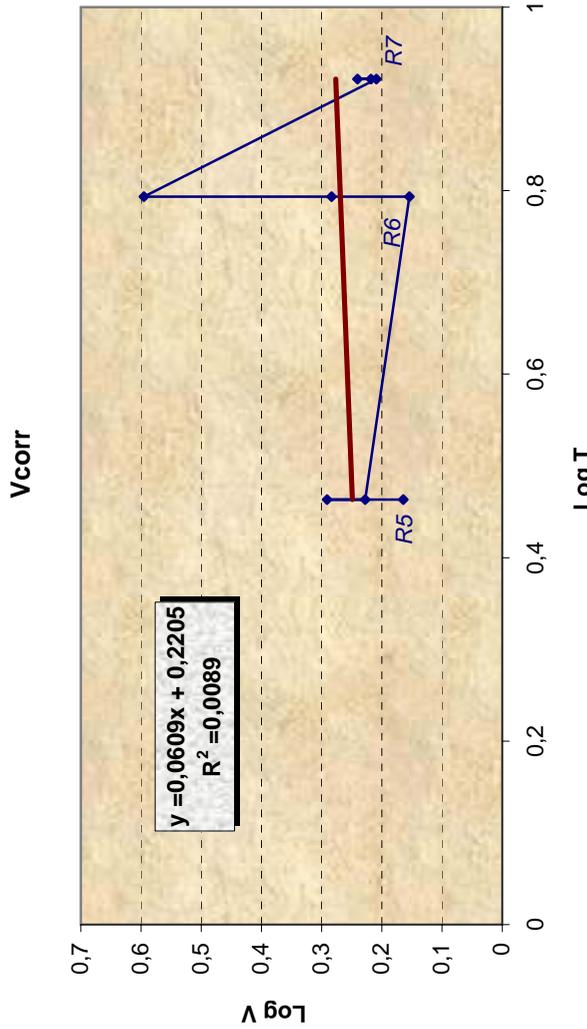
**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,094471024
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,008924774
R <sup>2</sup> ajustado	-0,132657401
Error típico	0,140593152
Observaciones	9

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	0,001245997	0,001245997	0,063036002	0,808970815	
Residuos	7	0,13836504	0,019766434			
Lack Of Fit	1	0,02718812	0,02718812	11,46728943	5,987377584	0,000150535
Pure Error	6	0,111176920	0,018529487			
Total	8	0,139611037				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,220576355	0,182411925	1,209221134	0,265829922	-0,210759306	0,651912016
Log T	0,060946154	0,24274594	0,251069716	0,808970815	-0,513056782	0,63494909



**ESTACIONES DE CATEGORÍA C3 (según parámetros)**

Log V = Log A + n Log t						
n	0,644919444					
Log A	0,484775163					
<b>Resumen</b>						
<b>Estadísticas de la regresión</b>						
Coefficiente de correlación múltiple	0,506029433					
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,256065787					
R <sup>2</sup> ajustado	0,254869751					
Error típico	0,425032466					
Observaciones	624					
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	38,67689647	38,67689647	214,0954353	7,0135E-42	
Residuos	622	107,4120098	0,180652597			
Lack Of Fit	1	104,190587	104,190587	20085,02446	3,856476294	1,81988E-26
Pure Error	621	3,221422741	0,005187476			
Total	623	151,0428121				
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,484775163	0,021535016	22,51101939	1,54635E-82	0,442485018	0,527065307
Log T	0,644919444	0,044075959	14,63200039	7,0135E-42	0,558363732	0,731475157

**ESTACIONES DE CATEGORÍA C4 (según parámetros)**

Log V = Log A + n Log t						
n	0,680572494					
Log A	0,830623842					
<b>Resumen</b>						
<b>Estadísticas de la regresión</b>						
Coefficiente de correlación múltiple	0,904470991					
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,818067773					
R <sup>2</sup> ajustado	0,812003366					
Error típico	0,120974103					
Observaciones	624					
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	1,974175341	1,974175341	134,8965692	1,25615E-12	
Residuos	30	0,439042005	0,014634734			
Lack Of Fit	1	1,158878442	1,158878442	1271,760822	4,182964162	4,38405E-18
Pure Error	29	0,02642594	0,000911239			
Total	31	2,413217346				
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,830623842	0,025074065	33,12681282	3,47519E-25	0,779415771	0,881831913
Log T	0,680572494	0,058596806	11,61449823	1,25615E-12	0,560901853	0,800243136

**ESTACIONES DE CATEGORÍA C5 (según parámetros)**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,649837918
Log A	1,13057585

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,91801539
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,842752256
R <sup>2</sup> ajustado	0,838821062
Error típico	0,113913439
Observaciones	42

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	2,781796878	2,781796878	214,3756682	1,16178E-17	
Residuos	40	0,519050861	0,012976272			
Lack Of Fit	1	0,843262876	0,843262876	1825,988402	4,091278482	3,50457E-19
Pure Error	39	0,018010658	0,000461812			
Total	41	3,300847739				

**Coefficientes**

	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,023217918	48,69410948	3,15131E-37	1,083650688	1,177501013
Log T	0,044383066	14,64157328	1,16178E-17	0,560136396	0,73953944

**ESTACIONES DE CATEGORÍA C4 (por pérdida de peso)**

<b>Log V = Log A + n Log t</b>	
n	0,532447064
Log A	0,141411492

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,70946769
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,503344403
R <sup>2</sup> ajustado	0,495066809
Error típico	0,212454543
Observaciones	62

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	2,74468938	2,74468938	60,80806157	1,08422E-10	
Residuos	60	2,708215959	0,045136933			
Lack Of Fit	1	2,282138944	2,282138944	316,0137555	4,003982435	7,09362E-14
Pure Error	59	0,426077015	0,007221644			
Total	61	5,452905339				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,141411492	0,035633677	3,968478789	0,000195805	0,070133526	0,212689458
Log T	0,532447064	0,068280369	7,797952396	1,08422E-10	0,395865993	0,669028136

**ESTACIONES DE CATEGORÍA C5 (por pérdida de peso)**

Log V = Log A + n Log t						
n	0,703604379					
Log A	0,676646902					
<b>Resumen</b>						
<b>Estadísticas de la regresión</b>						
Coefficiente de correlación múltiple	0,726247558					
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,527435515					
R <sup>2</sup> ajustado	0,526588625					
Error típico	0,25390713					
Observaciones	560					
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	40,15062241	40,15062241	622,7912314	6,93893E-93	
Residuos	558	35,85486017	0,064256022			
Lack Of Fit	1	33,82508784	33,82508784	9282,111904	3,858207445	4,03679E-24
Pure Error	557	2,029772332	0,003644115			
Total	559	76,12422991				
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,676646902	0,013450096	50,30796028	1,6887E-209	0,650227895	0,703065908
Log T	0,703604379	0,028194039	24,95578553	6,93893E-93	0,648224962	0,758983797

**TODAS LAS ESTACIONES DE LA PROVINCIA**

Log V = Log A + n Log t						
n	0,646027729					
Log A	0,537642728					
<b>Resumen</b>						
<b>Estadísticas de la regresión</b>						
Coefficiente de correlación múltiple	0,498322116					
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,248324931					
R <sup>2</sup> ajustado	0,247244939					
Error típico	0,434687884					
Observaciones	698					
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F	Sup.>F
Regresión	1	43,4464693	43,4464693	229,9320006	4,36111E-45	
Residuos	696	141,9675354	0,188953557			
Lack Of Fit	1	131,4892177	131,4892177	8721,343382	3,854873335	6,24324E-24
Pure Error	695	10,478317653	0,015076716			
Total	697	10,47831765				
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,537642728	0,020796382	25,85270475	8,0773E-104	0,496811564	0,578473891
Log T	0,646027729	0,042604105	15,16350885	4,36111E-45	0,562379756	0,729675701

**B.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS CON EL MODELO PROPUESTO.**

**ESTACIÓN 1**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]					
n	21,96940901		k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	25,271841		-0,766671424	14,26930246	-0,001139243

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,991452445
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,98297795
R <sup>2</sup> ajustado	0,97616913
Error típico	0,02232294
Observaciones	15

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	0,287762832	0,071940708	144,3683293	8,4529E-09
Residuos	10	0,004983136	0,000498314		
Total	14	0,292745968			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	25,271841	5,101736649	4,953576153	0,000575478	13,90446139	36,63922061
Log T	21,96940901	4,429134378	4,960203763	0,00056986	12,10068091	31,8381371
Cloruros	-0,766671424	0,15901479	-4,821384372	0,000700771	-1,120978517	-0,412364331
SO <sub>2</sub>	14,26930246	2,881591941	4,951881722	0,000576923	7,848714393	20,68989054
TDH	-0,001139243	0,000233694	-4,874943977	0,00064682	-0,001659945	-0,000618541

**ESTACIÓN 2**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,506444761	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	1,244018942	-0,010497042	-0,307856834	3,46455E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,995093391
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,990210858
R <sup>2</sup> ajustado	0,987763572
Error típico	0,035500253
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	2,039698148	0,509924537	404,6159743	7,52323E-16
Residuos	16	0,020164287	0,001260268		
Total	20	2,059862435			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	1,244018942	0,294115319	4,229697881	0,000637662	0,620522459	1,867515425
Log T	0,506444761	0,132625057	3,818620489	0,001512151	0,225292263	0,787597259
Cloruros	-0,010497042	0,007326463	-1,432757094	0,171176683	-0,026028447	0,005034363
SO <sub>2</sub>	-0,307856834	0,031535113	-9,762350756	3,83458E-08	-0,374708272	-0,241005396
TDH	3,46455E-05	1,17159E-05	2,957123795	0,009272019	9,8088E-06	5,94821E-05

**ESTACIÓN 3**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	1,1048854	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,006204677	0,004926215	0,128343738	-2,33954E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,997545006  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,99509604  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,993870049  
 Error típico 0,019963376  
 Observaciones 21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	1,293915718	0,32347893	811,6672631	2,99724E-18
Residuos	16	0,006376582	0,000398536		
Total	20	1,3002923			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,006204677	0,093829854	0,066126898	0,948096028	-0,192705727	0,205115082
Log T	1,1048854	0,098726118	11,1914195	5,61402E-09	0,895595381	1,314175418
Cloruros	0,004926215	0,000393046	12,53342009	1,09291E-09	0,004092994	0,005759436
SO <sub>2</sub>	0,128343738	0,013564614	9,461658059	5,89885E-08	0,099588041	0,157099435
TDH	-2,33954E-05	5,66739E-06	-4,128075253	0,00078874	-3,54097E-05	-1,13811E-05

**ESTACIÓN 4**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	3,685504768	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	-0,309798818	0,010863556	0,510144193	-0,000619901

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,980631771
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,96163867
R <sup>2</sup> ajustado	0,947689096
Error típico	0,055559398
Observaciones	16

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	0,851189024	0,212797256	68,93677499	1,02329E-07
Residuos	11	0,033955314	0,003086847		
Total	15	0,885144338			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-0,309798818	0,236131225	-1,311977344	0,216247306	-0,82952014	0,209922504
Log T	3,685504768	0,609168774	6,050055294	8,30842E-05	2,344733337	5,0262762
Cloruros	0,010863556	0,001945278	5,584576952	0,000164046	0,006582027	0,015145084
SO <sub>2</sub>	0,510144193	0,189984812	2,685184073	0,021210854	0,09199044	0,928297945
TDH	-0,000619901	0,000130987	-4,732524647	0,000616838	-0,000908203	-0,0003316

**ESTACIÓN 5**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	1,297443826	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	1,757800682	-0,010833911	-0,128340314	-0,000107511

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,994838122  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,98970289  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,987128612  
 Error típico 0,04073897  
 Observaciones 21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	2,552287156	0,638071789	384,4584946	1,12712E-15
Residuos	16	0,026554618	0,001659664		
Total	20	2,578841774			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	1,757800682	0,25870886	6,794512878	4,30777E-06	1,209362402	2,306238963
Log T	1,297443826	0,254008393	5,10787777	0,000105349	0,75897009	1,835917561
Cloruros	-0,010833911	0,002692516	-4,023712422	0,00098185	-0,01654179	-0,005126032
SO <sub>2</sub>	-0,128340314	0,032007136	-4,009740589	0,001011108	-0,196192412	-0,060488216
TDH	-0,000107511	6,33528E-05	-1,697014695	0,109057381	-0,000241813	2,67913E-05

**ESTACIÓN 6**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	-7,7673E-05	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	2,721595517	0,016906101	0,444752214	-0,000158876

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,95731616  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,91645423  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,883035922  
 Error típico 0,050219966  
 Observaciones 15

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	0,276655393	0,069163848	27,42371724	2,27213E-05
Residuos	10	0,02522045	0,002522045		
Total	14	0,301875843			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-7,7673E-05	0,321422675	-0,000241654	0,999811941	-0,716252019	0,716096673
Log T	2,721595517	0,770908127	3,530375959	0,005443395	1,003905176	4,439285857
Cloruros	0,016906101	0,006646369	2,543659687	0,029179478	0,002097068	0,031715134
SO <sub>2</sub>	0,444752214	0,15215062	2,92310485	0,015219354	0,105739509	0,783764919
TDH	-0,000158876	4,92201E-05	-3,22785619	0,009053783	-0,000268545	-4,92062E-05

**ESTACIÓN 7**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,190802307	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	-1,678612836	0,058059255	-0,100331974	0,000102883

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,848666653  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,720235088  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,608329123  
 Error típico 0,146281953  
 Observaciones 15

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	0,550887009	0,137721752	6,436074156	0,007885605
Residuos	10	0,213984098	0,02139841		
Total	14	0,764871107			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-1,678612836	2,622714309	-0,640028855	0,536541463	-7,522384459	4,165158788
Log T	0,190802307	2,84012198	0,067181026	0,947761821	-6,137383794	6,518988409
Cloruros	0,058059255	0,085000191	0,683048523	0,510090569	-0,131332973	0,247451483
SO <sub>2</sub>	-0,100331974	0,781160922	-0,128439571	0,900347503	-1,840866966	1,640203019
TDH	0,000102883	0,000154549	0,665700967	0,520661279	-0,000241473	0,00044724

**ESTACIÓN 8**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,627151748	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,420886902	0,008867968	-0,020094959	1,89861E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,989562233  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,979233413  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,974041766  
 Error típico 0,057574309  
 Observaciones 21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	2,500912757	0,625228189	188,6171099	3,05543E-13
Residuos	16	0,053036816	0,003314801		
Total	20	2,553949574			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,420886902	0,518369047	0,811944511	0,428738549	-0,67800638	1,519780184
Log T	0,627151748	0,712576011	0,880119086	0,391822883	-0,883441905	2,137745401
Cloruros	0,008867968	0,010799652	0,821134578	0,423636238	-0,014026272	0,031762207
SO <sub>2</sub>	-0,020094959	0,098923158	-0,203137051	0,841588782	-0,229802684	0,189612767
TDH	1,89861E-05	4,09403E-05	0,46375027	0,649073199	-6,78035E-05	0,000105776

**ESTACIÓN 9**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	-0,157342647	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	1,054037382	-0,00499748	-0,190858689	4,63991E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,982933414  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,966158097  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,952621335  
 Error típico 0,030533845  
 Observaciones 15

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	0,266168347	0,066542087	71,37291357	2,58822E-07
Residuos	10	0,009323157	0,000932316		
Total	14	0,275491504			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	1,054037382	0,3875627	2,719656411	0,021573047	0,190493876	1,917580888
Log T	-0,157342647	1,60511752	-0,098025624	0,923848952	-3,73376734	3,419082046
Cloruros	-0,00499748	0,004593494	-1,087947389	0,302143808	-0,015232424	0,005237463
SO <sub>2</sub>	-0,190858689	1,306379465	-0,146097435	0,886747589	-3,101653517	2,719936139
TDH	4,63991E-05	0,00023028	0,201490196	0,844354866	-0,000466697	0,000559495

**ESTACIÓN 10**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	1,463023585	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,411481018	0,029326455	-2,139420339	-5,24869E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,979295374
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,95901943
R <sup>2</sup> ajustado	0,948774288
Error típico	0,069884503
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	1,828652397	0,457163099	93,60723202	6,89844E-11
Residuos	16	0,078141501	0,004883844		
Total	20	1,906793898			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,411481018	0,177028914	2,324371806	0,033594026	0,036196486	0,786765549
Log T	1,463023585	0,998011638	1,465938401	0,162041812	-0,652666562	3,578713732
Cloruros	0,029326455	0,015130934	1,938178703	0,070453292	-0,002749693	0,061402603
SO <sub>2</sub>	-2,139420339	0,743334142	-2,878140823	0,010925289	-3,715218316	-0,563622363
TDH	-5,24869E-05	8,60212E-05	-6,610162685	0,550322836	-0,000234844	0,00012987

**ESTACIÓN 11**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,676738831	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,81064634	0,003194756	-1,02132863	1,96528E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,985398725
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,971010647
R <sup>2</sup> ajustado	0,963280153
Error típico	0,063213706
Observaciones	20

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	2,007701881	0,50192547	125,6078364	2,42636E-11
Residuos	15	0,059939589	0,003995973		
Total	19	2,067641469			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,81064634	0,168299127	4,816699599	0,000226355	0,451925243	1,169367437
Log T	0,676738831	0,60892986	1,111357605	0,283911093	-0,621164436	1,974642097
Cloruros	0,003194756	0,00558514	0,572010082	0,575787973	-0,008709687	0,0150992
SO <sub>2</sub>	-1,02132863	0,328729117	-3,10690041	0,007214806	-1,721998154	-0,320659105
TDH	1,96528E-05	5,70755E-05	0,344329158	0,735378601	-0,000102001	0,000141306

**ESTACIÓN 12**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,770415638	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,137014902	0,01957969	-0,084903425	3,5868E-06

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,980401784
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,961187657
R <sup>2</sup> ajustado	0,94825021
Error típico	0,053685188
Observaciones	17

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	0,85650229	0,214125573	74,29499913	2,31325E-08
Residuos	12	0,034585193	0,002882099		
Total	16	0,891087483			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,137014902	0,266162481	0,514779173	0,616056769	-0,442903326	0,71693313
Log T	0,770415638	0,18669444	4,126612642	0,001403973	0,363643396	1,177187879
Cloruros	0,01957969	0,00808424	2,421957928	0,032202108	0,001965643	0,037193736
SO <sub>2</sub>	-0,084903425	0,171906672	-0,493892553	0,630298254	-0,459455888	0,289649038
TDH	3,5868E-06	7,69057E-06	0,466389315	0,649289724	-1,31695E-05	2,03431E-05

**ESTACIÓN 13**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,625768404	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,490021368	3,69826E-06	0,037342928	2,51945E-06

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,990131838  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,980361057  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,973814742  
 Error típico 0,046951203  
 Observaciones 17

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	1,32051286	0,330128215	149,757709	3,94852E-10
Residuos	12	0,026452986	0,002204416		
Total	16	1,346965846			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,490021368	0,29355667	1,66925646	0,120925302	-0,14958367	1,129626407
Log T	0,625768404	0,111147461	5,630073745	0,000110722	0,383598889	0,867937918
Cloruros	3,69826E-06	0,000674764	0,005480818	0,995717023	-0,001466485	0,001473882
SO <sub>2</sub>	0,037342928	0,03064452	1,218584197	0,246417164	-0,029425746	0,104111601
TDH	2,51945E-06	2,46611E-06	1,021630429	0,3271111	-2,85374E-06	7,89263E-06

**ESTACIÓN 14**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,519330921	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	-0,023457899	0,011809434	-0,417666347	4,04092E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,892440539  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,796450115  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,742170145  
 Error típico 0,215857447  
 Observaciones 20

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	2,734721146	0,683680287	14,67300229	4,55485E-05
Residuos	15	0,698916561	0,046594437		
Total	19	3,433637707			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-0,023457899	0,701751005	-0,033427667	0,973774308	-1,519204752	1,472288954
Log T	0,519330921	0,372295283	1,394943598	0,183346546	-0,274197686	1,312859528
Cloruros	0,011809434	0,040568598	0,29109792	0,774962968	-0,074660484	0,098279353
SO <sub>2</sub>	-0,417666347	0,409518598	-1,019895919	0,323946476	-1,290534573	0,455201879
TDH	4,04092E-05	3,18205E-05	1,269911999	0,223463251	-2,74145E-05	0,000108233

**ESTACIÓN 15**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,461563876	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,482804714	0,00111466	0,014923339	-1,24866E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,973158237
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,947036954
R <sup>2</sup> ajustado	0,933796193
Error típico	0,032972422
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	0,311039572	0,077759893	71,52435757	5,30986E-10
Residuos	16	0,017394889	0,001087181		
Total	20	0,328434461			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,482804714	0,090916602	5,310413123	7,03697E-05	0,29007013	0,675539299
Log T	0,461563876	0,061035816	7,562180836	1,14194E-06	0,332173728	0,590954024
Cloruros	0,00111466	0,000452183	2,465065279	0,02539479	0,000156075	0,002073244
SO <sub>2</sub>	0,014923339	0,004584871	3,254909279	0,004969407	0,005203847	0,024642831
TDH	-1,24866E-05	5,94998E-06	-2,098594543	0,052080163	-2,51E-05	1,26799E-07

**ESTACIÓN 16**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	-2,56458587	0,129812828	-1,251430613	5,18083E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,990860213  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,981803963  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,849980448  
 Error típico 0,066811941  
 Observaciones 12

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	1,926842075	0,481710519	143,8853872	8,47878E-07
Residuos	8	0,035710684	0,004463835		
Total	12	1,962552759			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-2,56458587	0,330267508	-7,765177638	5,40784E-05	-3,326184109	-1,802987631
Log T	0	0	65535			
Cloruros	0,129812828	0,01953035	6,646723163	0,000161355	0,084775761	0,174849895
SO <sub>2</sub>	-1,251430613	0,379349564	-3,298885073	0,010876919	-2,126212275	-0,376648951
TDH	5,18083E-05	2,49944E-06	20,72798495	3,07548E-08	4,60446E-05	5,7572E-05

**ESTACIÓN 17**

<b>Log V = Log A + n Log t + k<sub>1</sub> [Cl<sup>-</sup>] + k<sub>2</sub> [SO<sub>2</sub>] + k<sub>3</sub> [TDH]</b>				
	n	6,629705535	k <sub>1</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	-3,911940258		0,424140902	-3,63729186
				-0,000669418

**Resumen**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,993710444
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,987460447
R <sup>2</sup> ajustado	0,983602123
Error típico	0,044677068
Observaciones	18

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>			
Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F
Regresión	4	2,043385606	0,510846401
Residuos	13	0,025948525	255,9298954
Total	17	2,06933413	3,2296E-12

Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-3,911940258	0,899450477	-4,349255859	0,000788079	-5,855084874
Log T	6,629705535	1,558422214	4,254113856	0,000939986	3,262939036
Cloruros	0,424140902	0,095290035	4,45105203	0,000653357	0,218279298
SO <sub>2</sub>	-3,63729186	0,840856402	-4,325699193	0,000823159	-5,453851672
TDH	-0,000669418	0,000191704	-3,491937553	0,003975033	-0,001083568

**ESTACIÓN 18**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,887882851	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	-1,303277113	0,037138505	1,995548069	2,01943E-06

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,992961453  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,985972447  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,981656277  
 Error típico 0,049714645  
 Observaciones 18

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	2,258368914	0,564592229	228,436877	6,68546E-12
Residuos	13	0,032130097	0,002471546		
Total	17	2,290499011			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-1,303277113	0,380297344	-3,426995042	0,004502675	-2,124859575	-0,481694652
Log T	0,887882851	0,097225127	9,132236452	5,10343E-07	0,677840734	1,097924968
Cloruros	0,037138505	0,007487655	4,959964848	0,000260789	0,02096241	0,0533146
SO <sub>2</sub>	1,995548069	0,805640322	2,47697144	0,027767922	0,255067972	3,736028166
TDH	2,01943E-06	6,0815E-06	0,332060761	0,745136335	-1,11188E-05	1,51577E-05

**ESTACIÓN 19**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,934832735	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,926621001	0,026809105	-6,37764927	1,03607E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,843709291
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,711845368
R <sup>2</sup> ajustado	0,639806711
Error típico	0,256049155
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	2,59135394	0,647838485	9,881435735	0,000318229
Residuos	16	1,048978715	0,06556117		
Total	20	3,640332654			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,926621001	1,596905106	0,580260529	0,569821489	-2,458666573	4,311908575
Log T	0,934832735	0,507807738	1,840918649	0,084253417	-0,141671573	2,011337044
Cloruros	0,026809105	0,047142171	0,568686262	0,577464833	-0,073127833	0,126746043
SO <sub>2</sub>	-6,37764927	4,621103778	-1,380113838	0,186531998	-16,17395159	3,418653051
TDH	1,03607E-05	4,07984E-05	0,253947843	0,802770443	-7,61281E-05	9,68495E-05

**ESTACIÓN 20**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,6479944	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,194734199	0,067855946	-12,44571072	3,15212E-06

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,953324739
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,908828058
R <sup>2</sup> ajustado	0,886035073
Error típico	0,08647692
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	1,192726687	0,298181672	39,87314706	3,94846E-08
Residuos	16	0,119652124	0,007478258		
Total	20	1,312378812			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,194734199	0,303414577	0,641808974	0,530085591	-0,448475968	0,837944365
Log T	0,6479944	0,173525625	3,734286508	0,001806712	0,280136511	1,015852229
Cloruros	0,067855946	0,021798633	3,112853279	0,006697079	0,021644909	0,114066983
SO <sub>2</sub>	-12,44571072	3,7352593	-3,331953613	0,004225015	-20,36410665	-4,52731479
TDH	3,15212E-06	7,04495E-06	0,447429826	0,660562832	-1,17825E-05	1,80867E-05

**ESTACIÓN 21**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,762445464	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,543424892	0,00857406	-0,577150747	8,81704E-06

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,989404231
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,978920732
R <sup>2</sup> ajustado	0,973650915
Error típico	0,055579231
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	2,295287252	0,573821813	185,7599081	3,44249E-13
Residuos	16	0,049424815	0,003089051		
Total	20	2,344712066			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,543424892	0,108781309	4,99557227	0,000132042	0,31281882	0,774030965
Log T	0,762445464	0,113430136	6,721718706	4,90599E-06	0,52198432	1,002906608
Cloruros	0,00857406	0,003347744	2,561145678	0,020926094	0,00147716	0,01567096
SO <sub>2</sub>	-0,577150747	0,155577669	-3,709727425	0,001902873	-0,906960671	-0,247340823
TDH	8,81704E-06	4,73311E-06	1,862843694	0,080948049	-1,2167E-06	1,88508E-05

**ESTACIÓN 22**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,718504669	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	1,233384839	0,000139497	-0,007973305	-2,17938E-06

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,99482052
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,989667867
R <sup>2</sup> ajustado	0,987084834
Error típico	0,027991004
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	1,200760568	0,300190142	383,141743	1,15812E-15
Residuos	16	0,012535941	0,000783496		
Total	20	1,213296509			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	1,233384839	0,054388871	22,67715464	1,36803E-13	1,118085583	1,348684094
Log T	0,718504669	0,056330233	12,75522282	8,45609E-10	0,599089911	0,837919427
Cloruros	0,000139497	0,000197997	0,704542536	0,491223797	-0,000280237	0,000559232
SO <sub>2</sub>	-0,007973305	0,016804505	-0,47447426	0,641572773	-0,043597264	0,027650654
TDH	-2,17938E-06	9,60454E-07	-2,269114569	0,037447345	-4,21545E-06	-1,43309E-07

**ESTACIÓN 23**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	1,058657759	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	-0,133109207	0,02686795	-0,014565189	-1,13774E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,987437945
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,975033696
R <sup>2</sup> ajustado	0,968376015
Error típico	0,055786364
Observaciones	20

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	1,823109453	0,455777363	146,4524498	7,94149E-12
Residuos	15	0,046681776	0,003112118		
Total	19	1,869791229			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-0,133109207	0,265528707	-0,501298744	0,623437519	-0,699070247	0,432851832
Log T	1,058657759	0,136123099	7,777208757	1,21718E-06	0,768518242	1,348797276
Cloruros	0,02686795	0,006310349	4,257759809	0,000687887	0,01341776	0,04031814
SO <sub>2</sub>	-0,014565189	0,024519657	-0,594020904	0,561350667	-0,0668276	0,037697222
TDH	-1,13774E-05	5,30232E-06	-2,145740964	0,048665991	-2,2679E-05	-7,57778E-08

**ESTACIÓN 24**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,577085577	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	-0,732193844	0,012998537	0,278926115	1,48196E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,980497064  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,961374492  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,949489721  
 Error típico 0,056098661  
 Observaciones 18

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	1,018278876	0,254569719	80,89128872	4,73104E-09
Residuos	13	0,040911777	0,00314706		
Total	17	1,059190653			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-0,732193844	0,345325184	-2,12030248	0,053790877	-1,478223546	0,013835858
Log T	0,577085577	0,325620366	1,772264995	0,099770637	-0,126374455	1,280545608
Cloruros	0,012998537	0,008060209	1,612679834	0,130814924	-0,004414486	0,030411559
SO <sub>2</sub>	0,278926115	0,133753271	2,0853779	0,057312236	-0,010030258	0,567882488
TDH	1,48196E-05	2,30082E-05	0,644101413	0,530710294	-3,48865E-05	6,45257E-05

**ESTACIÓN 25**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	-4,443279213	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	5,972705608	-0,066308812	-0,337850497	7,09344E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,91023905
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,828535128
R <sup>2</sup> ajustado	0,759949179
Error típico	0,063228023
Observaciones	15

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	0,193176802	0,048294201	12,0802459	0,000762193
Residuos	10	0,039977829	0,003997783		
Total	14	0,233154632			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	5,972705608	2,337195631	2,555500929	0,028592947	0,76510924	11,18030198
Log T	-4,443279213	2,242761884	-1,981164048	0,075725894	-9,44046408	0,5539056655
Cloruros	-0,066308812	0,029336329	-2,260296825	0,047344625	-0,131674228	-0,000943397
SO <sub>2</sub>	-0,337850497	0,160007994	-2,111460106	0,060892427	-0,694370524	0,018669531
TDH	7,09344E-05	3,68636E-05	1,924236208	0,083224068	-1,1203E-05	0,000153072

**ESTACIÓN 26**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	1,136113752	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	-10,91445632	0,166323128	61,82002256	-5,09532E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,992853364  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,985757802  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,978636703  
 Error típico 0,106238932  
 Observaciones 13

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	6,249576545	1,562394136	138,4277656	2,03377E-07
Residuos	8	0,090293685	0,011286711		
Total	12	6,33987023			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-10,91445632	1,455540159	-7,498560758	6,93719E-05	-14,27093795	-7,557974697
Log T	1,136113752	0,297845847	3,814435432	0,005130158	0,449279998	1,822947507
Cloruros	0,166323128	0,030584768	5,438103332	0,000617364	0,095794527	0,236851729
SO <sub>2</sub>	61,82002256	8,738868636	7,07414485	0,000104634	41,66815536	81,97188975
TDH	-5,09532E-05	1,10432E-05	-4,613984948	0,001723675	-7,64189E-05	-2,54875E-05

**ESTACIÓN 27**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	1,071538387	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	3,300248254	-0,251258968	0,120467873	-6,26316E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,508715397
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,258791355
R <sup>2</sup> ajustado	-0,037692103
Error típico	0,239081374
Observaciones	15

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	0,199572536	0,049893134	0,872869457	0,513201137
Residuos	10	0,571599036	0,057159904		
Total	14	0,771171572			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	3,300248254	3,889551039	0,848490795	0,416012938	-5,366211496	11,966708
Log T	1,071538387	1,759673029	0,608941758	0,556142991	-2,849257439	4,992334213
Cloruros	-0,251258968	0,281980289	-0,89105153	0,393835263	-0,879550202	0,377032267
SO <sub>2</sub>	0,120467873	1,291580405	0,093271679	0,927529988	-2,757352595	2,998288342
TDH	-6,26316E-05	0,000122572	-0,510979621	0,620456241	-0,000335738	0,000210475

**ESTACIÓN 28**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	1,045545211	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	-0,644520357	0,046506331	1,649680374	-9,56563E-06

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,996118785
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,992252634
R <sup>2</sup> ajustado	0,990315792
Error típico	0,03684136
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	2,781374562	0,69534364	512,3045061	1,16004E-16
Residuos	16	0,021716573	0,001357286		
Total	20	2,803091135			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-0,644520357	0,373172255	-1,727139003	0,103393573	-1,435610192	0,146569479
Log T	1,045545211	0,068061105	15,36186071	5,34145E-11	0,901262115	1,189828307
Cloruros	0,046506331	0,010657384	4,363765871	0,000482212	0,023913685	0,069098976
SO <sub>2</sub>	1,649680374	0,471919078	3,495684858	0,002990681	0,649256627	2,650104121
TDH	-9,56563E-06	5,35762E-06	-1,785425631	0,09315902	-2,09233E-05	1,79201E-06

**ESTACIÓN 29**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	-0,559877833	0,001933594	0,429928236	7,85835E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,967371595  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,935807802  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,786735728  
 Error típico 0,032350952  
 Observaciones 12

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	0,122058642	0,03051466	38,87524574	7,21539E-05
Residuos	8	0,008372673	0,001046584		
Total	12	0,130431315			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-0,559877833	0,209697666	-2,669928777	0,0283665381	-1,043441517	-0,076314148
Log T	0	0	65535			
Cloruros	0,001933594	0,007772721	0,248766634	0,80980866	-0,015990333	0,019857521
SO <sub>2</sub>	0,429928236	0,149222719	2,881117835	0,020476371	0,08582003	0,774036442
TDH	7,85835E-05	8,19895E-06	9,584576529	1,16411E-05	5,96767E-05	9,74903E-05

**ESTACIÓN 30**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,579641632	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,131468133	0,012558853	-0,778715026	-1,22741E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,909200594  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,82664572  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,780417912  
 Error típico 0,074507753  
 Observaciones 20

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	0,397080947	0,099270237	17,88200119	1,41037E-05
Residuos	15	0,08327108	0,005551405		
Total	19	0,480352027			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,131468133	0,354770901	0,370571919	0,716137227	-0,624708138	0,887644405
Log T	0,579641632	0,111285386	5,208605115	0,000105995	0,342442447	0,816840817
Cloruros	0,012558853	0,003480712	3,608127355	0,002582264	0,005139891	0,019977816
SO <sub>2</sub>	-0,778715026	1,204263714	-0,646631644	0,527641571	-3,34554236	1,78812308
TDH	-1,22741E-05	6,42058E-06	-1,911680237	0,075213778	-2,59593E-05	1,41105E-06

**ESTACIÓN 31**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,791875009	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,533400921	0,038392987	-2,2671992	6,69551E-06

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,973743296
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,948176007
R <sup>2</sup> ajustado	0,935220009
Error típico	0,0839172
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	2,061484348	0,515371087	73,18432701	4,46692E-10
Residuos	16	0,112673543	0,007042096		
Total	20	2,17415789			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,533400921	0,173602631	3,072539374	0,007287004	0,165379785	0,901422057
Log T	0,791875009	0,159331679	4,969978441	0,000139044	0,454106941	1,129643077
Cloruros	0,038392987	0,012801691	2,999055838	0,008496216	0,011254614	0,06553136
SO <sub>2</sub>	-2,2671992	0,842751961	-2,690233076	0,016090556	-4,053753535	-0,480644864
TDH	6,69551E-06	1,79734E-05	0,3725237	0,714391433	-3,14064E-05	4,47974E-05

**ESTACIÓN 32**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	-0,049966653	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	1,284515977	-0,021840197	-7,962929948	2,0992E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,959931691
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,921468851
R <sup>2</sup> ajustado	0,901836063
Error típico	0,049607065
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	0,462004017	0,115501004	46,93520255	1,21102E-08
Residuos	16	0,039373774	0,002460861		
Total	20	0,501377791			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	1,284515977	0,252483226	5,087529965	0,000109737	0,749275452	1,8197566501
Log T	-0,049966653	0,088389161	-0,565302942	0,579709049	-0,237343302	0,137409997
Cloruros	-0,021840197	0,004952038	-4,410345382	0,000437739	-0,032338047	-0,011342346
SO <sub>2</sub>	-7,962929948	2,209622037	-3,603752052	0,00238027	-12,64711938	-3,278740514
TDH	2,0992E-05	4,77755E-06	4,393891425	0,000452951	1,08641E-05	3,112E-05

**ESTACIÓN 33**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]			
n	0,123456111	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>
Log A	-0,250619815	-0,000538216	0,355686641
			k <sub>3</sub>
			6,93498E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,980571282  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,961520039  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,948693385  
 Error típico 0,068991939  
 Observaciones 17

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	1,427255312	0,356813828	74,96265719	2,19756E-08
Residuos	12	0,057118652	0,004759888		
Total	16	1,484373964			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-0,250619815	0,274999917	-0,911345056	0,380056948	-0,849793162	0,348553532
Log T	0,123456111	0,44679111	0,276317294	0,787005775	-0,85001809	1,096930311
Cloruros	-0,000538216	0,013982126	-0,038493144	0,969927478	-0,031002651	0,029926219
SO <sub>2</sub>	0,355686641	0,139812136	2,544032663	0,025746695	0,051062165	0,660311116
TDH	6,93498E-05	4,12428E-05	1,68150077	0,118484662	-2,05105E-05	0,00015921

**ESTACIÓN 34**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,811375892	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,293169331	0,011283578	0,027582329	2,08615E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,96492581
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,931081818
R <sup>2</sup> ajustado	0,913852273
Error típico	0,126431981
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	3,455317057	0,863829264	54,03983639	4,2999E-09
Residuos	16	0,255760734	0,015985046		
Total	20	3,711077791			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,293169331	0,311184077	0,942109035	0,360145298	-0,366511439	0,9528501
Log T	0,811375892	0,180551887	4,493865478	0,000368182	0,428622992	1,194128791
Cloruros	0,011283578	0,016877127	0,66857221	0,513299329	-0,024494332	0,047061488
SO <sub>2</sub>	0,027582329	0,128004943	0,215478623	0,832116985	-0,243776027	0,298940685
TDH	2,08615E-05	1,83372E-05	1,137656772	0,272014079	-1,80117E-05	5,97347E-05

**ESTACIÓN 35**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	1,815427222	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	-7,750396618	0,475988339	0	4,43672E-06

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,941754657
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,886901834
R <sup>2</sup> ajustado	0,663686084
Error típico	0,375841039
Observaciones	10

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	6,646295377	1,661573844	15,68375266	0,004908349
Residuos	6	0,847538918	0,141256486		
Total	10	7,493834295			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-7,750396618	1,840611167	-4,21077344	0,005618335	-12,25420989	-3,246583348
Log T	1,815427222	1,786784406	1,01603037	0,348820828	-2,556676708	6,187531152
Cloruros	0,475988339	0,159956437	2,975737322	0,024772869	0,084589039	0,867387639
SO <sub>2</sub>	0	0	65535			
TDH	4,43672E-06	3,27149E-05	0,135617667	0,896559072	-7,56138E-05	8,44872E-05

**ESTACIÓN 36**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	-0,370837148	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,556188129	-0,01239064	0,000674076	4,395E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,901113522
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,81200558
R <sup>2</sup> ajustado	0,749340773
Error típico	0,132751753
Observaciones	17

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	0,913431173	0,228357793	12,95792045	0,000259214
Residuos	12	0,211476334	0,017623028		
Total	16	1,124907507			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,556188129	0,939738512	0,591854141	0,564932578	-1,491326194	2,603702452
Log T	-0,370837148	1,712773506	-0,21651266	0,832225195	-4,102650032	3,360975736
Cloruros	-0,01239064	0,011273109	-1,0991325	0,293272972	-0,036952634	0,012171354
SO <sub>2</sub>	0,000674076	0,063690498	0,010583614	0,991729575	-0,138095598	0,13944375
TDH	4,395E-05	7,0287E-05	0,625293352	0,543486919	-0,000109192	0,000197092

**ESTACIÓN 37**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	1,625312457	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	-1,384430399	0,05698753	0,402241359	-4,63799E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,878615216
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,771964697
R <sup>2</sup> ajustado	0,714955871
Error típico	0,157642297
Observaciones	21

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	1,346048916	0,336512229	13,54114362	5,24665E-05
Residuos	16	0,397617499	0,024851094		
Total	20	1,743666415			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-1,384430399	0,577312155	-2,398062101	0,029031027	-2,608277488	-0,16058331
Log T	1,625312457	0,304771722	5,332884707	6,73095E-05	0,979225272	2,271399642
Cloruros	0,05698753	0,016420025	3,470611718	0,003153306	0,022178633	0,091796427
SO <sub>2</sub>	0,402241359	0,208526333	1,92897153	0,071666955	-0,039814716	0,844297434
TDH	-4,63799E-05	1,28714E-05	-3,603340488	0,002382341	-7,36659E-05	-1,90938E-05

**ESTACIÓN 38**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,426625949	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,622792325	-0,020243194	-0,020243194	0,090393485

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,861904088  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,742878657  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,669415416  
 Error típico 0,142498706  
 Observaciones 19

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	0,821352589	0,205338147	10,11224999	0,000460648
Residuos	14	0,284282337	0,020305881		
Total	18	1,105634926			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,622792325	0,382755775	1,627127179	0,125999238	-0,198137164	1,443721813
Log T	0,426625949	0,317254657	1,344742904	0,200090577	-0,253817614	1,107069513
Cloruros	-0,020243194	0,01601591	-1,263942785	0,226890861	-0,054593905	0,014107517
SO <sub>2</sub>	0,090393485	0,042953248	2,10446218	0,05388632	-0,001732068	0,182519039
TDH	5,83375E-06	9,332E-06	0,625134015	0,541939069	-1,41814E-05	2,58489E-05

**ESTACIÓN 39**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	-2,203536214	0,140753505	0	2,35233E-06

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,451294454  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,203666684  
 R<sup>2</sup> ajustado -0,395111087  
 Error típico 0,136123057  
 Observaciones 9

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	0,028434117	0,007108529	0,767266723	0,598197351
Residuos	6	0,11117692	0,018529487		
Total	10	0,139611037			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-2,203536214	2,055401179	-1,072071105	0,324903672	-7,232921708	2,825849281
Log T	0	0	65535			
Cloruros	0,140753505	0,115888774	1,214556856	0,270161877	-0,142816109	0,424323118
SO <sub>2</sub>	0	0	65535			
TDH	2,35233E-06	5,96551E-06	0,394321265	0,706977699	-1,22448E-05	1,69494E-05

**ESTACIONES DE CATEGORÍA C3 (según parámetros)**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,938187044	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,316945715	0,005603723	-0,000244157	-1,70221E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,625770701
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,391588971
R <sup>2</sup> ajustado	0,387657397
Error típico	0,385303759
Observaciones	624

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	59,14669931	14,78667483	99,60107609	1,97722E-65
Residuos	619	91,89611274	0,148458987		
Total	623	151,0428121			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,316945715	0,031932861	9,925377972	1,20702E-21	0,254235845	0,379655586
Log T	0,938187044	0,064843572	14,46846647	4,42389E-41	0,810846998	1,06552709
Cloruros	0,005603723	0,000629938	8,895670875	6,35041E-18	0,004366648	0,006840798
SO <sub>2</sub>	-0,000244157	0,004531344	-0,053881836	0,957046694	-0,009142827	0,008654513
TDH	-1,70221E-05	3,71727E-06	-4,579204922	5,64437E-06	-2,43221E-05	-9,72215E-06

**ESTACIONES DE CATEGORÍA C4 (según parámetros)**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,420150949	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,671034391	-0,000428143	0,025578133	1,03099E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,980785917  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,961941015  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,956302647  
 Error típico 0,058323683  
 Observaciones 32

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	2,321372743	0,580343186	170,6062795	9,59118E-19
Residuos	27	0,091844603	0,003401652		
Total	31	2,413217346			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,671034391	0,024528492	27,35734411	3,19171E-21	0,620706084	0,721362699
Log T	0,420150949	0,086344261	4,86599741	4,36607E-05	0,242987162	0,597314736
Cloruros	-0,000428143	0,000610662	-0,701112073	0,48923213	-0,001681118	0,000824833
SO <sub>2</sub>	0,025578133	0,007779198	3,288016718	0,002804377	0,009616538	0,041539729
TDH	1,03099E-05	2,39115E-06	4,31170625	0,000193169	5,4037E-06	1,52162E-05

**ESTACIONES DE CATEGORÍA C5 (según parámetros)**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,991089399	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	1,053762204	0,000492671	-0,014364997	-8,69072E-06

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,982737705
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,965773396
R <sup>2</sup> ajustado	0,962073223
Error típico	0,055257825
Observaciones	42

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	3,187870931	0,796967733	261,0076038	1,4502E-26
Residuos	37	0,112976809	0,003053427		
Total	41	3,300847739			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	1,053762204	0,040981013	25,71342469	3,34534E-25	0,970726784	1,136797624
Log T	0,991089399	0,045290031	21,88316875	9,11799E-23	0,89932308	1,082855719
Cloruros	0,000492671	0,000188845	2,608857911	0,013030152	0,000110034	0,000875308
SO <sub>2</sub>	-0,014364997	0,016142537	-0,889884691	0,379277541	-0,047072883	0,01834289
TDH	-8,69072E-06	1,1015E-06	-7,889932655	1,91398E-09	-1,09226E-05	-6,45888E-06

**ESTACIONES DE CATEGORÍA C4 (por pérdida de peso)**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,760358297	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,281023255	-0,001625208	-0,319797428	-1,43351E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple 0,758681444  
 Coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,575597533  
 R<sup>2</sup> ajustado 0,545814904  
 Error típico 0,201495569  
 Observaciones 62

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	3,138678863	0,784669716	19,32661918	4,28877E-10
Residuos	57	2,314226476	0,040600464		
Total	61	5,452905339			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,281023255	0,191850601	1,46480258	0,148468983	-0,103150943	0,665197453
Log T	0,760358297	0,140934651	5,395112505	1,37407E-06	0,478141529	1,042575065
Cloruros	-0,001625208	0,009326235	-0,174261959	0,862277057	-0,020300671	0,017050255
SO <sub>2</sub>	-0,319797428	0,123551859	-2,588365977	0,012214457	-0,567205756	-0,0723891
TDH	-1,43351E-05	8,19212E-06	-1,749869636	0,085522565	-3,07396E-05	2,0693E-06

**ESTACIONES DE CATEGORÍA C5 (por pérdida de peso)**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,686478886	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,620922084	0,000887311	-0,005924445	1,89235E-06

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,801456655
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,64233277
R <sup>2</sup> ajustado	0,639754988
Error típico	0,221490213
Observaciones	560

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	48,89708742	12,22427186	249,180423	2,2076E-122
Residuos	555	27,22714248	0,049057914		
Total	559	76,12422991			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,620922084	0,013932279	44,56715961	1,6765E-185	0,593555641	0,648288526
Log T	0,686478886	0,036367964	18,87592297	9,27951E-62	0,615043206	0,757914566
Cloruros	0,000887311	7,64734E-05	11,60287614	5,09419E-28	0,000737099	0,001037524
SO <sub>2</sub>	-0,005924445	0,002374006	-2,495547422	0,012865558	-0,010587581	-0,00126131
TDH	1,89235E-06	1,77217E-06	1,067813822	0,286068741	-1,58863E-06	5,37333E-06

**TODAS LAS ESTACIONES DE LA PROVINCIA**

Log V = Log A + n Log t + k <sub>1</sub> [Cl <sup>-</sup> ] + k <sub>2</sub> [SO <sub>2</sub> ] + k <sub>3</sub> [TDH]				
n	0,835419817	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
Log A	0,452692528	0,001187904	0,013440434	-1,04872E-05

**Resumen**

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,610818891
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,373099717
R <sup>2</sup> ajustado	0,369481245
Error típico	0,397831986
Observaciones	698

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	4	65,27683429	16,31920857	103,1097413	6,98462E-69
Residuos	693	109,6813104	0,158270289		
Total	697	174,9581447			

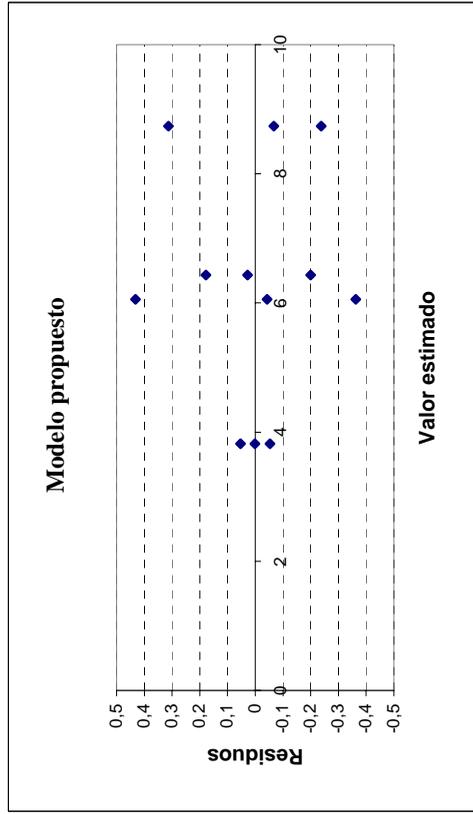
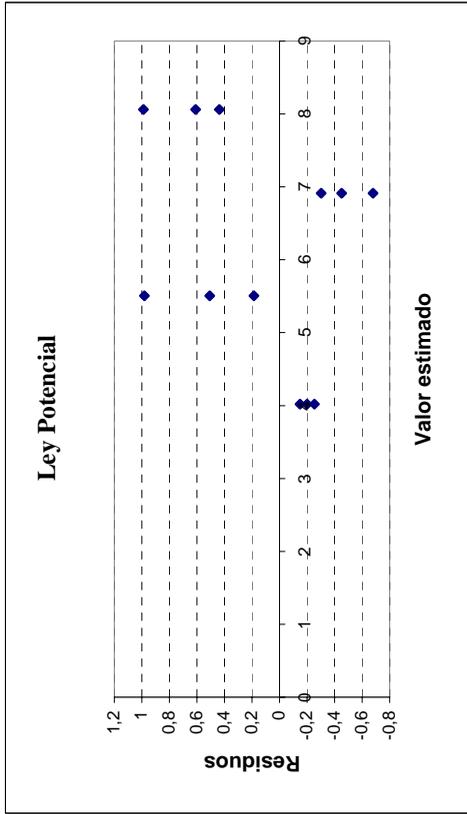
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,452692528	0,022195005	20,39614429	8,67398E-73	0,40911501	0,496270046
Log T	0,835419817	0,05974875	13,98221414	2,58141E-39	0,718109538	0,952730095
Cloruros	0,001187904	0,000135301	8,779685715	1,27231E-17	0,000922254	0,001453554
SO <sub>2</sub>	0,013440434	0,004138084	3,247984682	0,001218307	0,005315748	0,0215665119
TDH	-1,04872E-05	2,82089E-06	-3,717703041	0,000217278	-1,60257E-05	-4,94871E-06

C.- RESIDUOS DE LOS DOS MODELOS MATEMÁTICOS.

RESIDUOS - ESTACIÓN 1

Tiempo	$V_{corr}(\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1}(\mu)$	$V_{pred 1}(\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2}(\mu)$
195	3,87272981	4,021135	-0,148405188	3,8196454	3,8196454	0,053084376
195	3,8203668	4,021135	-0,200768196	3,8196454	3,8196454	0,000721367
195	3,76657735	4,021135	-0,254557644	3,8196454	3,8196454	-0,053068081
360	5,69291755	5,506651	0,186266119	6,0556781	6,0556781	-0,362760545
360	6,01251259	5,506651	0,50586116	6,0556781	6,0556781	-0,043165505
360	6,48779996	5,506651	0,981148525	6,0556781	6,0556781	0,432121861
561	6,61127164	6,913237	-0,301965827	6,4335875	6,4335875	0,177684103
561	6,46166523	6,913237	-0,451572241	6,4335875	6,4335875	0,028077689
561	6,23347451	6,913237	-0,679762954	6,4335875	6,4335875	-0,200113025
757	8,49940937	8,06143	0,437979071	8,7369507	8,7369507	-0,237541319
757	8,67029469	8,06143	0,608864391	8,7369507	8,7369507	-0,066656
757	9,05017647	8,06143	0,988746174	8,7369507	8,7369507	0,313225783
1124	9,26022282	9,872852	-0,612628831	9,3707316	9,3707316	-0,110508785
1124	10,2300864	9,872852	0,357234745	9,3707316	9,3707316	0,859354791
1124	8,68599868	9,872852	-1,186852973	9,3707316	9,3707316	-0,684732927

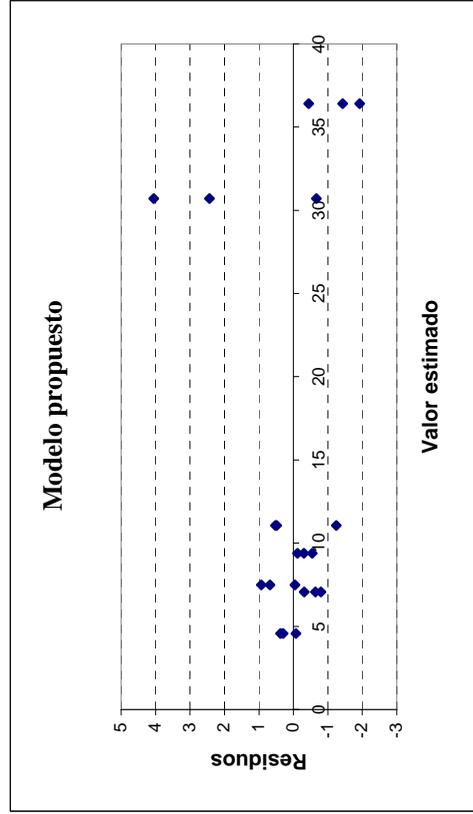
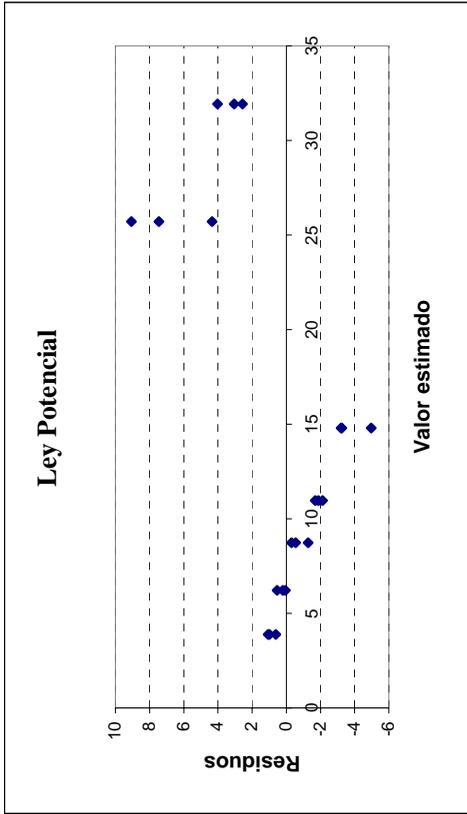
media 0,015305755 media 0,007048252



RESIDUOS - ESTACIÓN 2

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
192	4,50688566	3,893203	0,613682472	4,5755625	-0,06867681	
192	4,87705876	3,893203	0,98385557	4,5755625	0,301496288	
192	4,95207705	3,893203	1,058873866	4,5755625	0,376514584	
357	6,42887786	6,224333	0,204545083	7,0728396	-0,643961717	
357	6,75655566	6,224333	0,532222888	7,0728396	-0,316283912	
357	6,27060527	6,224333	0,046272499	7,0728396	-0,8022343	
558	8,17041214	8,726397	-0,555985271	7,4943065	0,676105641	
558	7,44802407	8,726397	-1,278373331	7,4943065	-0,04628242	
558	8,4255167	8,726397	-0,30088071	7,4943065	0,931210202	
754	9,07938151	10,95828	-1,878896184	9,3829204	-0,303538921	
754	8,83599417	10,95828	-2,122283521	9,3829204	-0,546926258	
754	9,26507968	10,95828	-1,693198015	9,3829204	-0,117840752	
1121	9,81451219	14,79257	-4,978058968	11,056582	-1,242070107	
1121	11,5812062	14,79257	-3,211364941	11,056582	0,524623919	
1121	11,5435402	14,79257	-3,249030963	11,056582	0,486957897	
2327	34,7717871	25,70454	9,067249353	30,715041	4,056746172	
2327	30,0487373	25,70454	4,344199551	30,715041	-0,666303629	
2327	33,1500843	25,70454	7,445546609	30,715041	2,435043428	
3100	34,4899533	31,9336	2,55635204	36,408161	-1,918207808	
3100	34,9753777	31,9336	3,041776443	36,408161	-1,432783405	
3100	35,9622459	31,9336	4,028664465	36,408161	-0,445915198	

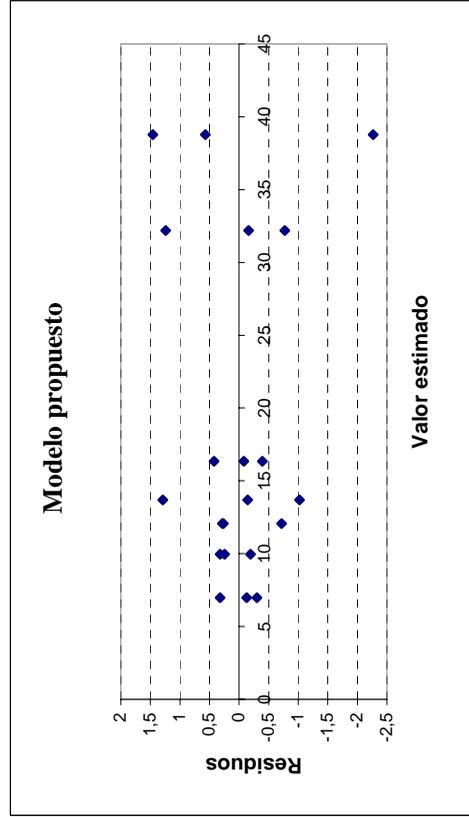
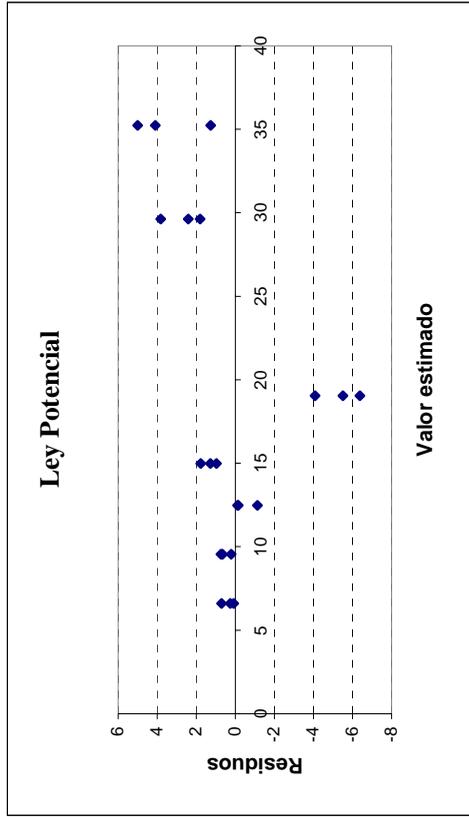
media 0,697864244 media 0,058936804



RESIDUOS - ESTACIÓN 3

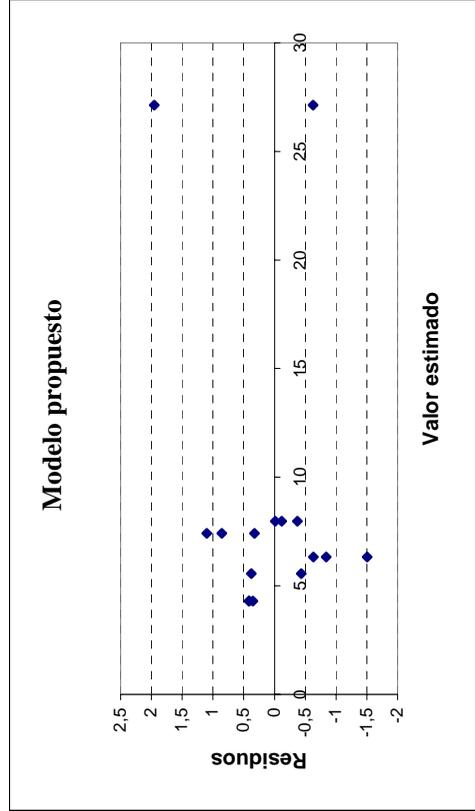
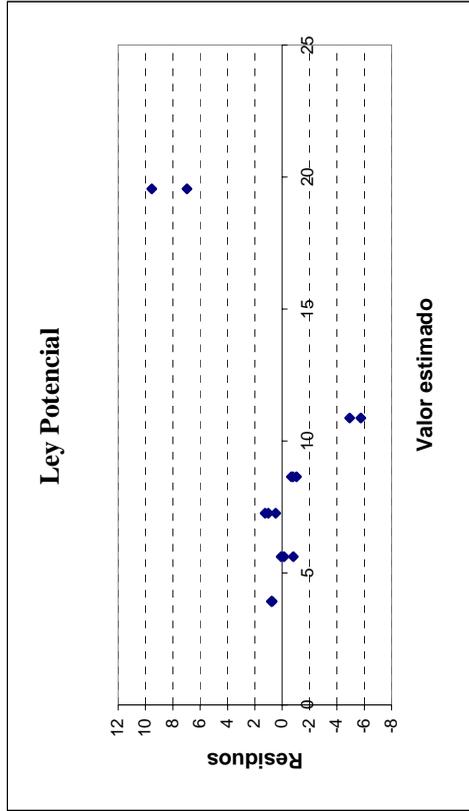
Tiempo	V <sub>corr</sub> (μ)	V <sub>pred 1</sub>	V <sub>corr</sub> - V <sub>pred 1</sub> (μ)	V <sub>pred 2</sub>	V <sub>corr</sub> - V <sub>pred 2</sub> (μ)
195	7,29843839	6,597334	0,701103947	6,9790757	0,319362656
195	6,67609093	6,597334	0,078756488	6,9790757	-0,302984803
195	6,85327318	6,597334	0,255938742	6,9790757	-0,12580255
359	10,2028949	9,54714	0,655755167	9,9593652	0,243529699
359	9,76582124	9,54714	0,218681533	9,9593652	-0,193543935
359	10,2802077	9,54714	0,733067967	9,9593652	0,320842499
559	12,3426954	12,4833	-0,140605876	12,075561	0,267134776
559	12,3606781	12,4833	-0,122623262	12,075561	0,28511739
559	11,3567093	12,4833	-1,126591975	12,075561	-0,718851323
756	15,9500164	14,98725	0,962764183	16,343515	-0,393498424
756	16,7652596	14,98725	1,778007412	16,343515	0,421744804
756	16,2628513	14,98725	1,275599133	16,343515	-0,080663474
1123	14,9707229	19,04536	-4,074636464	13,682152	1,288571322
1123	13,5361252	19,04536	-5,509234156	13,682152	-0,146026369
1123	12,6625241	19,04536	-6,382835214	13,682152	-1,019627428
2329	31,4196359	29,62229	1,797350909	32,192671	-0,773034739
2329	32,0298057	29,62229	2,407520689	32,192671	-0,162864959
2329	33,4351102	29,62229	3,812825162	32,192671	1,242439514
3102	36,5029807	35,23642	1,266565086	38,770282	-2,267301509
3102	40,2296066	35,23642	4,993191006	38,770282	1,45932441
3102	39,3397069	35,23642	4,10329124	38,770282	0,569424645

media 0,365899606 media 0,011109152



RESIDUOS - ESTACIÓN 4

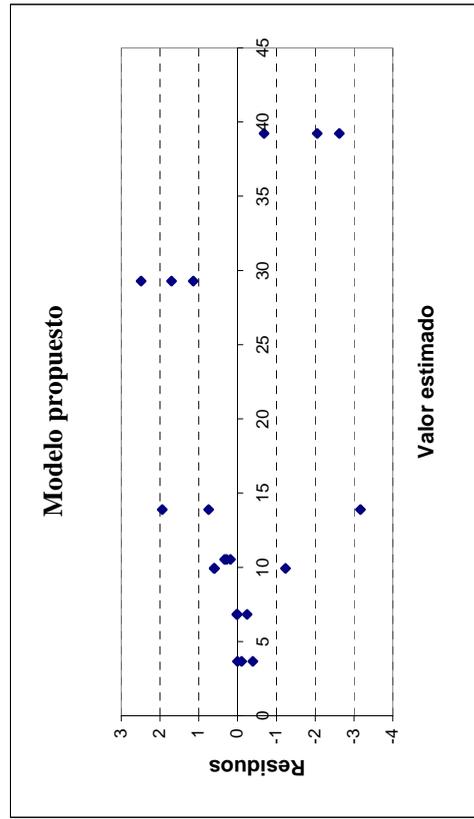
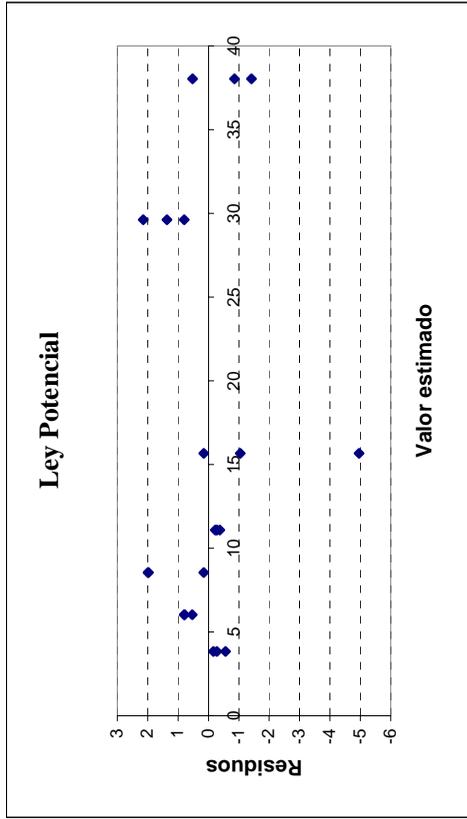
Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
192	4,71717707	3,926723	0,790454203	4,3027335	4,3027335	0,414443574
192	4,71717707	3,926723	0,790454203	4,3027335	4,3027335	0,414443574
192	4,65490164	3,926723	0,728178776	4,3027335	4,3027335	0,352168147
357	4,81668857	5,616415	-0,799726457	6,3204005	6,3204005	-1,503711968
357	5,69043795	5,616415	0,074022918	6,3204005	6,3204005	-0,629962593
357	5,48080456	5,616415	-0,135610469	6,3204005	6,3204005	-0,839595979
557	8,51971922	7,259907	1,25981176	7,4177056	7,4177056	1,102013637
557	7,74513728	7,259907	0,485229826	7,4177056	7,4177056	0,327431703
557	8,27193185	7,259907	1,012024393	7,4177056	7,4177056	0,854226269
753	7,60219265	8,639436	-1,037243018	7,9721661	7,9721661	-0,369973449
753	7,8535929	8,639436	-0,785842767	7,9721661	7,9721661	-0,118573199
753	7,95819453	8,639436	-0,681241139	7,9721661	7,9721661	-0,013971571
1121	5,11938404	10,86926	-5,749871531	5,5547426	5,5547426	-0,435358544
1121	5,93146429	10,86926	-4,937791274	5,5547426	5,5547426	0,376721713
3100	26,5084447	19,54789	6,960552706	27,135011	27,135011	-0,62656661
3100	29,0892383	19,54789	9,541346321	27,135011	27,135011	1,954227005
		media	0,469671778	media	media	0,078622607



RESIDUOS - ESTACIÓN 5

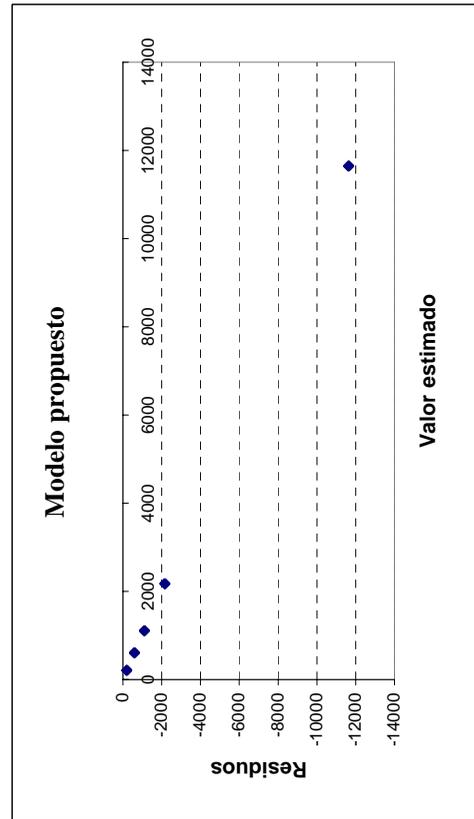
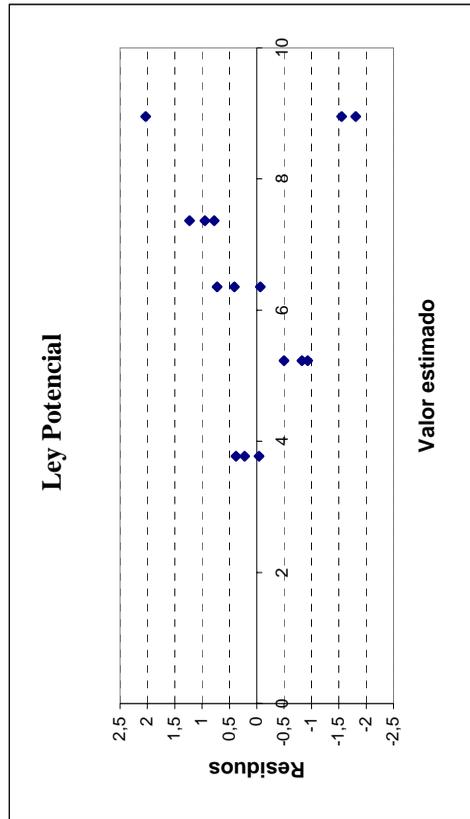
Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
223	3,26556851	3,827925	-0,562356014	3,6591433	-0,393574779
223	3,55300159	3,827925	-0,274922928	3,6591433	-0,106141692
223	3,66328836	3,827925	-0,16463616	3,6591433	0,004145075
376	6,83786762	6,037674	0,800193413	6,8161709	0,021696729
376	6,82643902	6,037674	0,788764813	6,8161709	0,010268129
376	6,57480056	6,037674	0,537126349	6,8161709	-0,241370335
560	10,5275876	8,546236	1,981351203	9,9301474	0,597440194
560	8,69736796	8,546236	0,151131585	9,9301474	-1,232779424
560	10,536662	8,546236	1,990425582	9,9301474	0,606514573
755	10,8619866	11,09076	-0,22877791	10,530095	0,331892051
755	10,817847	11,09076	-0,272917521	10,530095	0,287752439
755	10,7142713	11,09076	-0,376493237	10,530095	0,184176724
1122	14,6270714	15,66875	-1,041677131	13,883584	0,743487685
1122	10,7144066	15,66875	-4,954341907	13,883584	-3,169177091
1122	15,8235743	15,66875	0,154825734	13,883584	1,93999055
2328	30,9850221	29,6169	1,36812203	29,27888	1,706141855
2328	30,4180495	29,6169	0,801149385	29,27888	1,139169211
2328	31,7646418	29,6169	2,147741745	29,27888	2,485761571
3101	37,1788723	38,03254	-0,853665122	39,234782	-2,055909836
3101	38,5514974	38,03254	0,518959936	39,234782	-0,683284778
3101	36,6139414	38,03254	-1,418596011	39,234782	-2,620840725

media 0,051971802 media -0,021173423



RESIDUOS - ESTACIÓN 6

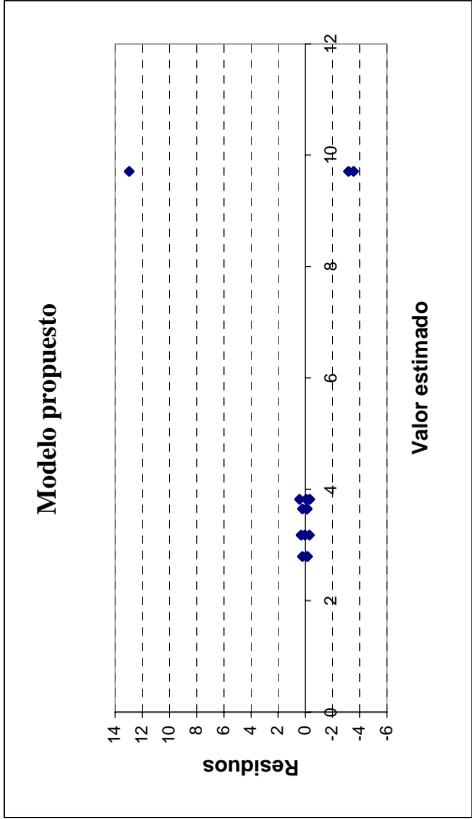
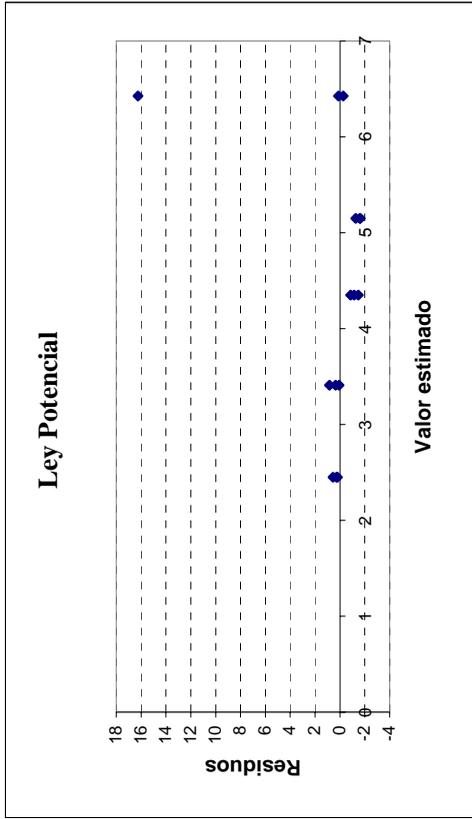
Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
194	3,99668605	3,77382	0,222865602	11647,489	-11643,49217
194	4,15632004	3,77382	0,382499593	11647,489	-11643,33254
194	3,7328698	3,77382	-0,040950645	11647,489	-11643,75599
376	4,29495391	5,226979	-0,932025068	2172,4651	-2168,17011
376	4,72669299	5,226979	-0,50028599	2172,4651	-2167,738371
376	4,40160129	5,226979	-0,825377691	2172,4651	-2168,063462
559	7,08195595	6,353751	0,728204533	1106,903	-1099,821025
559	6,762812	6,353751	0,409060581	1106,903	-1100,140169
559	6,28822918	6,353751	-0,065522243	1106,903	-1100,614751
754	8,59242307	7,362147	1,230276182	610,4999	-601,9074783
754	8,1433055	7,362147	0,781158611	610,4999	-602,3565959
754	8,31271348	7,362147	0,950566599	610,4999	-602,1871879
1122	7,40335975	8,953228	-1,549868218	206,86039	-199,4570303
1122	7,14179902	8,953228	-1,811428944	206,86039	-199,718591
1122	10,9864138	8,953228	2,033185857	206,86039	-195,8739762
	media	media	0,067490584	media	-3142,441963



RESIDUOS - ESTACIÓN 7

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
196	3,02117805	2,450564	0,570614507	2,7953418	2,7953418	0,225836277
196	2,6433716	2,450564	0,192808051	2,7953418	2,7953418	-0,151970179
196	2,73508108	2,450564	0,28451753	2,7953418	2,7953418	-0,0602607
356	3,76494154	3,41073	0,354211827	3,8203809	3,8203809	-0,055439384
356	3,49154706	3,41073	0,080817344	3,8203809	3,8203809	-0,328833867
356	4,24173827	3,41073	0,831008552	3,8203809	3,8203809	0,421357341
552	3,20025089	4,348799	-1,148548387	3,1773521	3,1773521	0,022898804
552	2,87588574	4,348799	-1,472913545	3,1773521	3,1773521	-0,301466354
552	3,48530167	4,348799	-0,863497616	3,1773521	3,1773521	0,307949575
749	3,55797715	5,149818	-1,591840532	3,6501377	3,6501377	-0,092160568
749	3,52230322	5,149818	-1,627514459	3,6501377	3,6501377	-0,127834495
749	3,88059086	5,149818	-1,269226819	3,6501377	3,6501377	0,230453145
1117	6,54733775	6,426023	0,121314642	9,7118194	9,7118194	-3,164481646
1117	22,6853978	6,426023	16,25937472	9,7118194	9,7118194	12,97357843
1117	6,16723714	6,426023	-0,258785969	9,7118194	9,7118194	-3,544582257

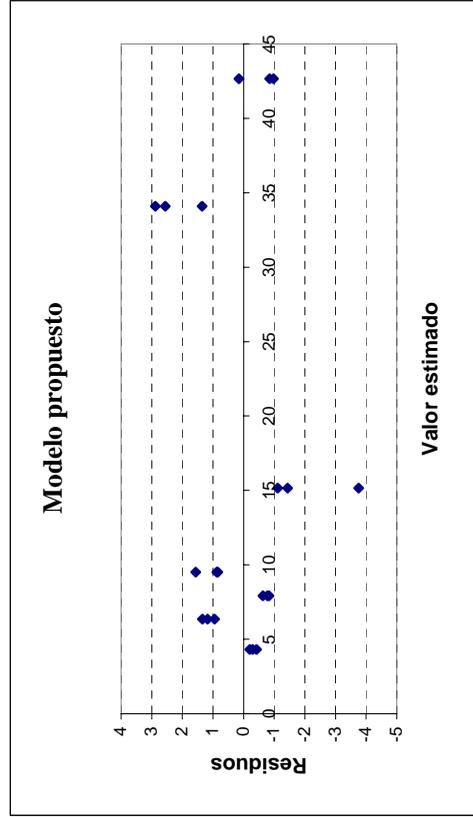
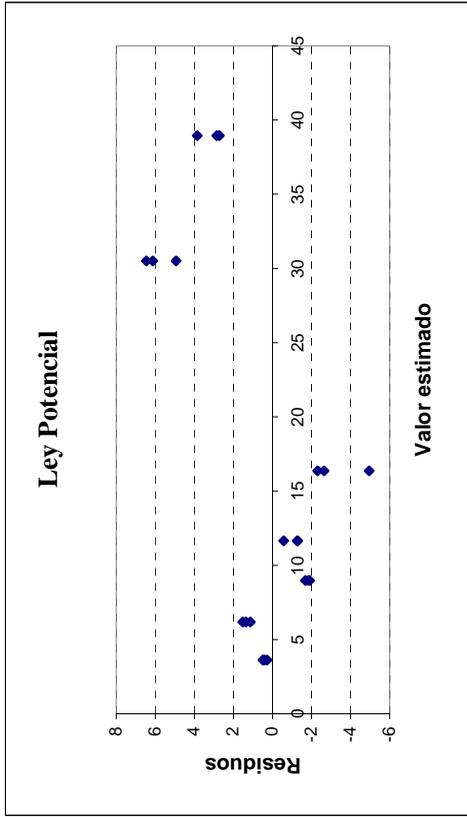
media 0,697489323 media 0,423669608



RESIDUOS - ESTACIÓN 8

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
190	4,02594887	3,622736	0,403212472	4,3180036	4,3180036	-0,292054738
190	4,11203803	3,622736	0,489301627	4,3180036	4,3180036	-0,205965583
190	3,89954115	3,622736	0,276804747	4,3180036	4,3180036	-0,418462464
356	7,54335683	6,182184	1,361172388	6,3634503	6,3634503	1,17990654
356	7,70466072	6,182184	1,522476279	6,3634503	6,3634503	1,34121043
356	7,30650867	6,182184	1,124324228	6,3634503	6,3634503	0,94305838
552	7,134705	8,980004	-1,84529875	7,9128925	7,9128925	-0,778187514
552	7,08291076	8,980004	-1,897092994	7,9128925	7,9128925	-0,829981758
552	7,28340554	8,980004	-1,696598214	7,9128925	7,9128925	-0,629486978
749	10,3753115	11,64368	-1,268364691	9,5026954	9,5026954	0,872616056
749	11,0679474	11,64368	-0,575728782	9,5026954	9,5026954	1,565251964
749	10,3457542	11,64368	-1,297921952	9,5026954	9,5026954	0,843058795
1117	11,4063858	16,36158	-4,955191839	15,158688	15,158688	-3,75230216
1117	14,0506123	16,36158	-2,310965326	15,158688	15,158688	-1,108075648
1117	13,7246452	16,36158	-2,636932383	15,158688	15,158688	-1,434042704
2323	36,6503629	30,51316	6,137206421	34,088668	34,088668	2,561694501
2323	36,9737678	30,51316	6,460611343	34,088668	34,088668	2,885099423
2323	35,440271	30,51316	4,927114467	34,088668	34,088668	1,351602547
3095	42,8122719	38,95382	3,858454644	42,655819	42,655819	0,156453151
3095	41,8028454	38,95382	2,849028108	42,655819	42,655819	-0,852973385
3095	41,6788561	38,95382	2,725038869	42,655819	42,655819	-0,976962625

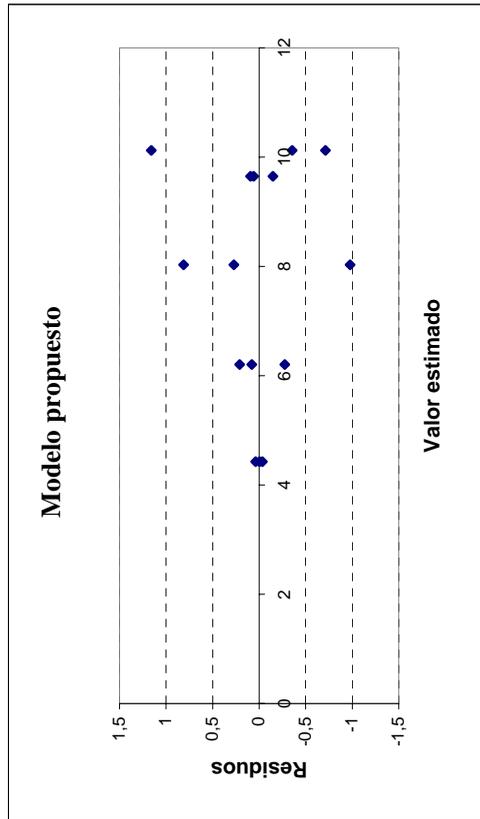
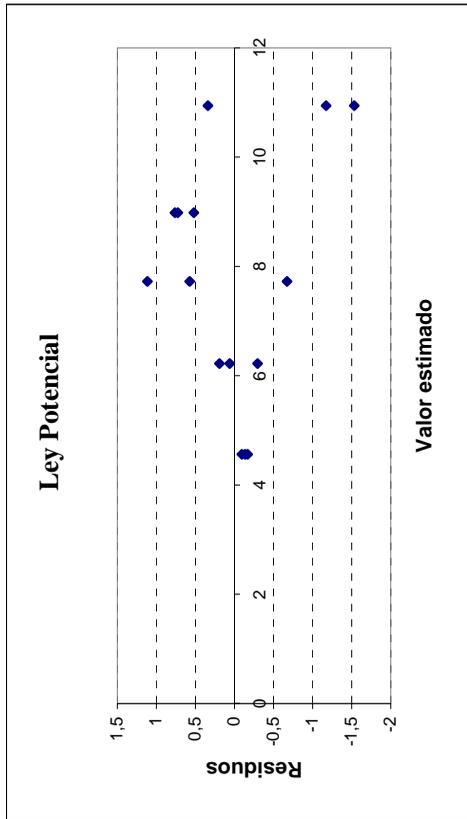
media 0,650030984 media 0,115307439



RESIDUOS - ESTACIÓN 9

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
189	4,42433284	4,559897	-0,135564188	4,4267398	-0,002406971
189	4,46546554	4,559897	-0,094431493	4,4267398	0,038725724
189	4,39073733	4,559897	-0,169159707	4,4267398	-0,03600249
355	5,92761903	6,221648	-0,29402916	6,2039662	-0,276347139
355	6,28158413	6,221648	0,05993594	6,2039662	0,077617961
355	6,41296395	6,221648	0,191315756	6,2039662	0,208997778
551	8,3022958	7,727146	0,575150008	8,0305413	0,271754539
551	8,84308909	7,727146	1,115943298	8,0305413	0,812547829
551	7,05394795	7,727146	-0,673197845	8,0305413	-0,976593314
748	9,74546138	8,983733	0,761727926	9,6519819	0,093479487
748	9,50242462	8,983733	0,518691171	9,6519819	-0,149557268
748	9,70985305	8,983733	0,726119598	9,6519819	0,057871159
1116	9,76971663	10,94237	-1,172652186	10,123555	-0,353838794
1116	11,2843971	10,94237	0,342028266	10,123555	1,160841658
1116	9,41106704	10,94237	-1,53130177	10,123555	-0,712488378

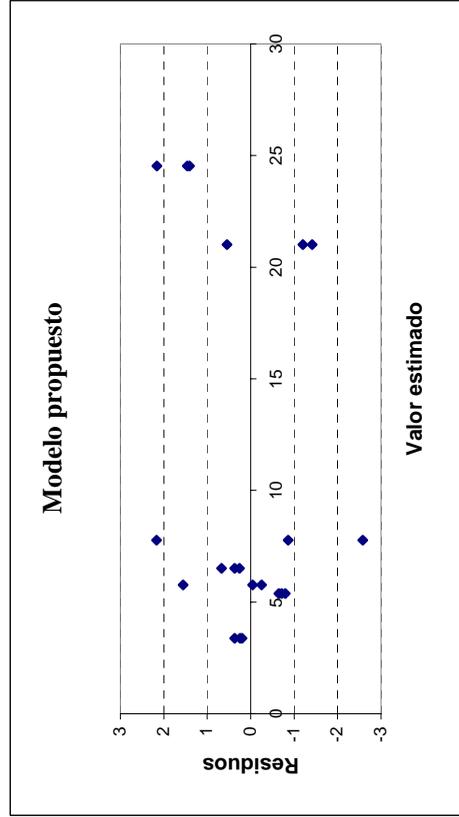
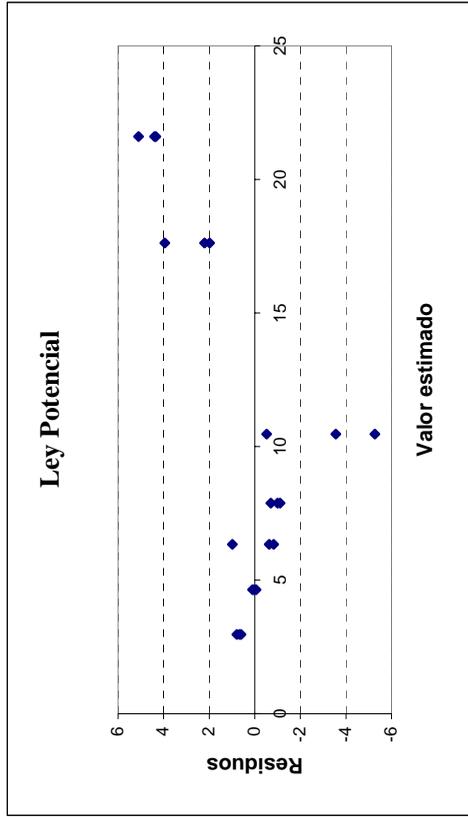
media 0,014705041 media 0,014306785



RESIDUOS - ESTACIÓN 10

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
188	3,61932529	2,96074	0,658585207	3,3737334	0,245591877
188	3,74391012	2,96074	0,783170038	3,3737334	0,370176709
188	3,57018761	2,96074	0,609447524	3,3737334	0,196454195
354	4,58961365	4,639051	-0,049436882	5,3854422	-0,795828562
354	4,73323513	4,639051	0,094184598	5,3854422	-0,652207082
354	4,67274279	4,639051	0,033692257	5,3854422	-0,712699422
550	5,71608105	6,341861	-0,625779939	5,7615733	-0,045492243
550	5,51398462	6,341861	-0,827876368	5,7615733	-0,247588673
550	7,32000697	6,341861	0,978145978	5,7615733	1,558433673
747	6,88496771	7,880666	-0,99569853	6,5133511	0,371616594
747	6,77212619	7,880666	-1,108540044	6,5133511	0,25877508
747	7,1850768	7,880666	-0,695589439	6,5133511	0,671725684
1115	6,91621875	10,47128	-3,555065307	7,7786449	-0,862426113
1115	5,19696755	10,47128	-5,274316512	7,7786449	-2,581677318
1115	9,94511664	10,47128	-0,526167421	7,7786449	2,166471773
2321	19,6011153	17,61713	1,983989517	21,01859	-1,417475131
2321	19,8176986	17,61713	2,200572891	21,01859	-1,200891756
2321	21,5656947	17,61713	3,948568994	21,01859	0,547104346
3093	25,9918892	21,59856	4,393324532	24,534866	1,45702372
3093	26,6966595	21,59856	5,098094792	24,534866	2,161793981
3093	25,9419134	21,59856	4,343348718	24,534866	1,407047906

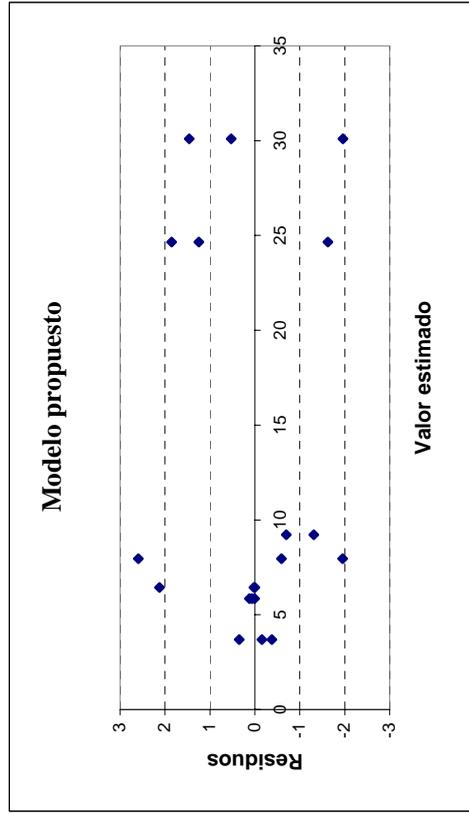
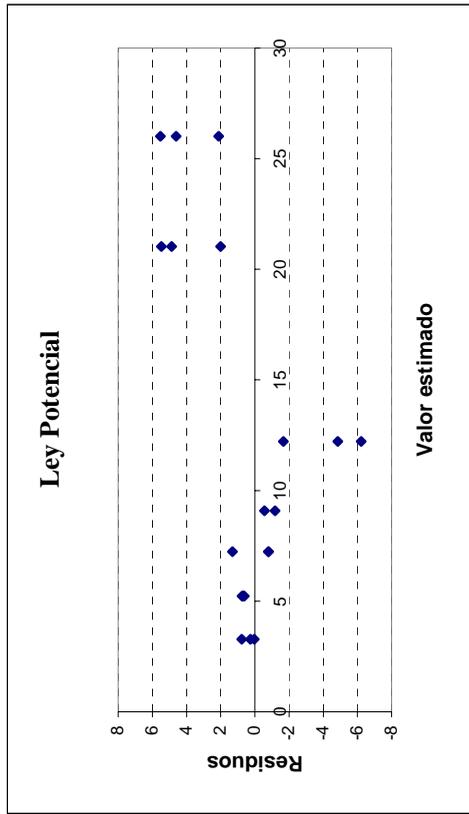
media 0,546031172 media 0,137901392



RESIDUOS - ESTACIÓN 11

Tiempo	V <sub>corr</sub> (μ)	V <sub>pred 1</sub>	V <sub>corr</sub> - V <sub>pred 1</sub> (μ)	V <sub>pred 2</sub>	V <sub>corr</sub> - V <sub>pred 2</sub> (μ)
189	3,5393362	3,274329	0,265007292	3,6976444	-0,158308244
189	3,31746281	3,274329	0,0431339	3,6976444	-0,380181635
189	4,04399452	3,274329	0,769665613	3,6976444	0,346350077
355	5,96720971	5,225273	0,741936922	5,8428338	0,12437592
355	5,90361039	5,225273	0,678337604	5,8428338	0,060776602
355	5,85190627	5,225273	0,626633491	5,8428338	0,009072489
551	6,43360284	7,238869	-0,805266239	6,4343876	-0,000784762
551	8,55448081	7,238869	1,315611733	6,4343876	2,12009321
551	6,45656413	7,238869	-0,782304942	6,4343876	0,022176535
748	7,90102934	9,080283	-1,179254001	9,215464	-1,314434665
748	8,52013523	9,080283	-0,560148109	9,215464	-0,695328773
1116	10,542317	12,21623	-1,673913988	7,9500404	2,592276675
1116	5,99684563	12,21623	-6,2193854	7,9500404	-1,953194737
1116	7,35746848	12,21623	-4,858762554	7,9500404	-0,592571892
2322	23,0288485	21,03139	1,997456642	24,652824	-1,623974989
2322	25,8983248	21,03139	4,866932945	24,652824	1,245501314
2322	26,5063712	21,03139	5,474979316	24,652824	1,853547685
3094	31,554456	26,01938	5,535079928	30,090797	1,463659308
3094	28,1282084	26,01938	2,108832269	30,090797	-1,962588351
3094	30,6212246	26,01938	4,601848456	30,090797	0,530427836

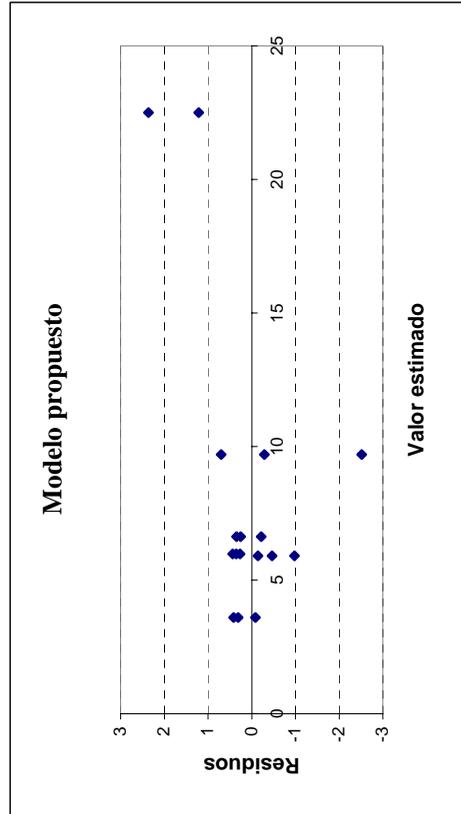
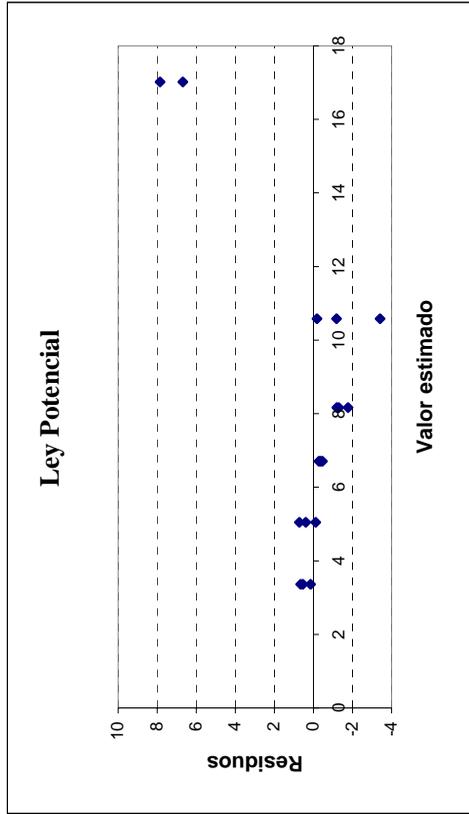
media                      0,647321044                      media                      0,08434448



RESIDUOS - ESTACIÓN 12

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
191	4,01351574	3,362041	0,65147452	3,5983424	3,5983424	0,415173387
191	3,90705278	3,362041	0,545011553	3,5983424	3,5983424	0,30871042
191	3,51241212	3,362041	0,150370895	3,5983424	3,5983424	-0,085930238
357	4,93182752	5,045549	-0,113721778	5,9090259	5,9090259	-0,977198394
357	5,76933859	5,045549	0,72378929	5,9090259	5,9090259	-0,139687326
357	5,44322436	5,045549	0,397675067	5,9090259	5,9090259	-0,465801549
554	6,25136752	6,710807	-0,459439305	5,985221	5,985221	0,266146511
554	6,34244554	6,710807	-0,368361284	5,985221	5,985221	0,357224532
554	6,42447914	6,710807	-0,286327685	5,985221	5,985221	0,439258131
750	6,40577985	8,168807	-1,763027148	6,6210153	6,6210153	-0,21523547
750	6,87534142	8,168807	-1,293465579	6,6210153	6,6210153	0,254326099
750	6,96907711	8,168807	-1,199729888	6,6210153	6,6210153	0,34806179
1118	9,40727547	10,58502	-1,177747346	9,6985284	9,6985284	-0,291252926
1118	10,397482	10,58502	-0,187540788	9,6985284	9,6985284	0,698953632
1118	7,18290578	10,58502	-3,402117035	9,6985284	9,6985284	-2,515622615
2324	23,7116601	17,01991	6,691753905	22,499281	22,499281	1,212378646
2324	24,865032	17,01991	7,845125826	22,499281	22,499281	2,365750568

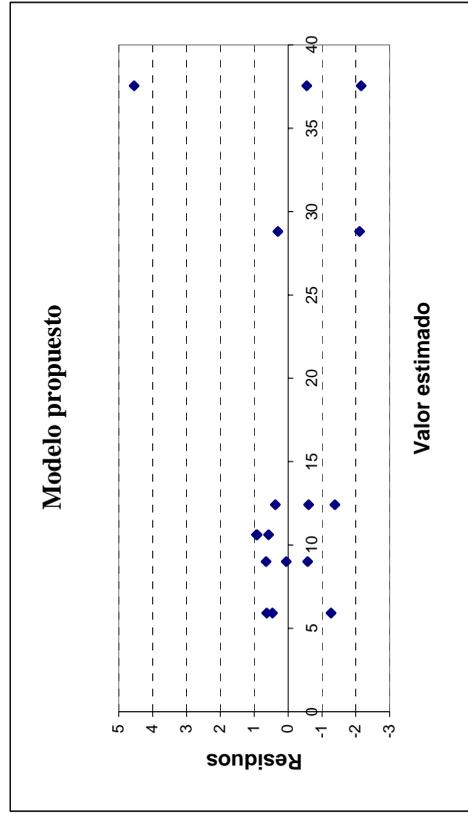
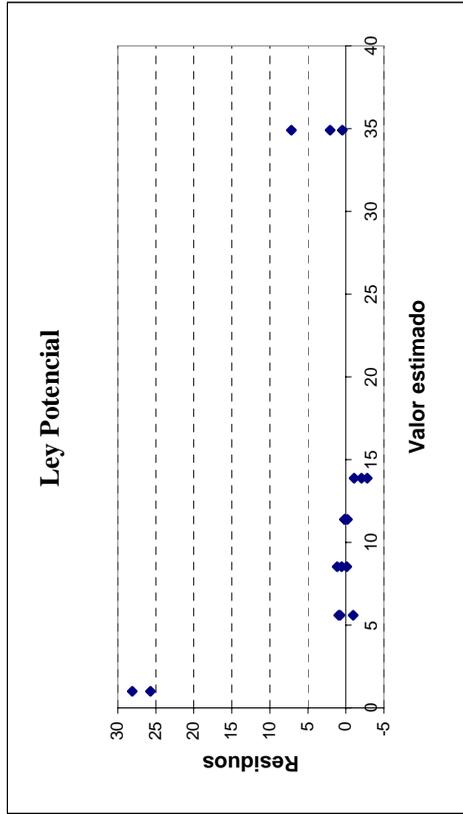
media 0,397277837 media 0,116191482



RESIDUOS - ESTACIÓN 13

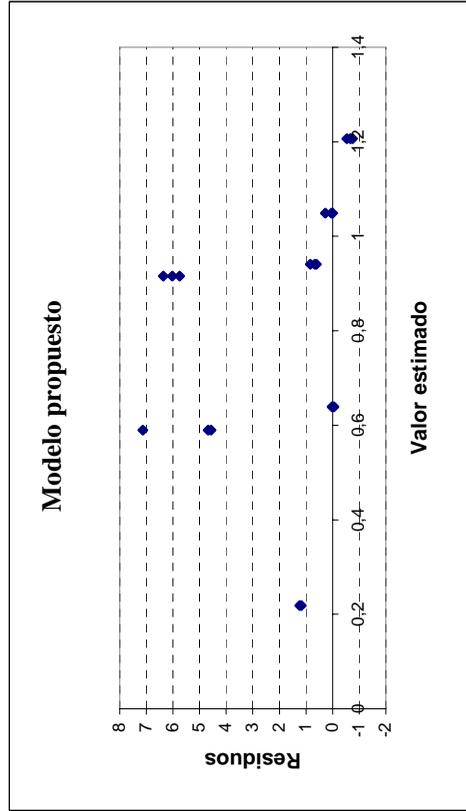
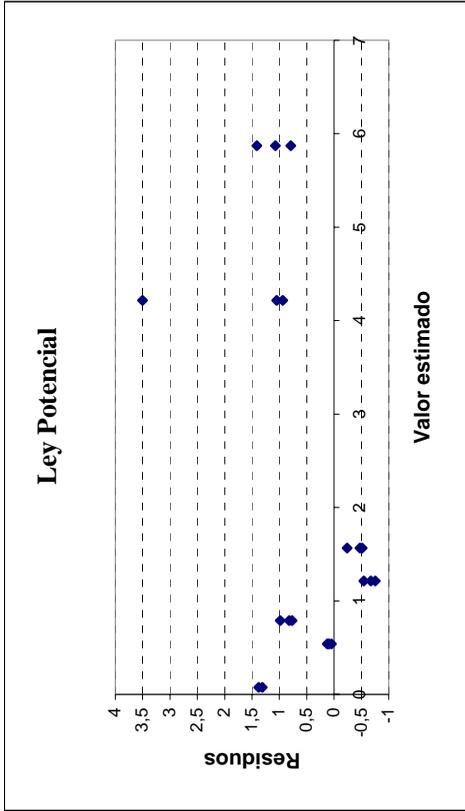
Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
189	4,65544884	5,604483	-0,949034642	5,9286702	-1,273221385
189	6,56028959	5,604483	0,955806108	5,9286702	0,631619366
189	6,39041897	5,604483	0,78593548	5,9286702	0,461748738
359	9,0760191	8,531812	0,544206764	9,017663	0,058356146
359	8,43669128	8,531812	-0,095121057	9,017663	-0,580971674
359	9,67007768	8,531812	1,138265347	9,017663	0,65241473
558	11,1886685	11,3894	-0,200728653	10,617567	0,571101364
558	11,5516008	11,3894	0,162203657	10,617567	0,934033673
558	11,5332119	11,3894	0,143814795	10,617567	0,915644812
754	11,0486488	13,87184	-2,82319494	12,427439	-1,378789875
754	11,8201234	13,87184	-2,051720332	12,427439	-0,607315268
754	12,8017292	13,87184	-1,070114485	12,427439	0,374290579
2324	29,1021219	1,001358	28,10076396	28,804313	0,297808565
2324	26,6949545	1,001358	25,6935966	28,804313	-2,109358803
3085	35,3925383	34,90768	0,484858314	37,549008	-2,156469356
3085	36,9940315	34,90768	2,086351494	37,549008	-0,554976176
3085	42,0925224	34,90768	7,18484234	37,549008	4,543514671

media 3,534748868 media 0,04584883



RESIDUOS - ESTACIÓN 14

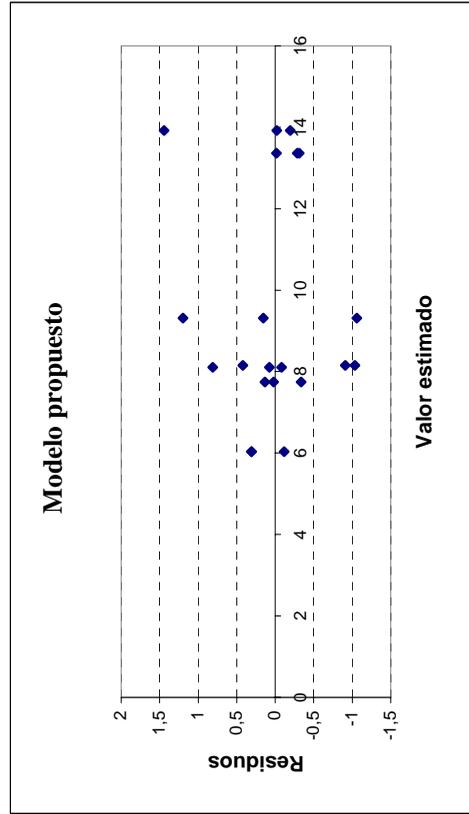
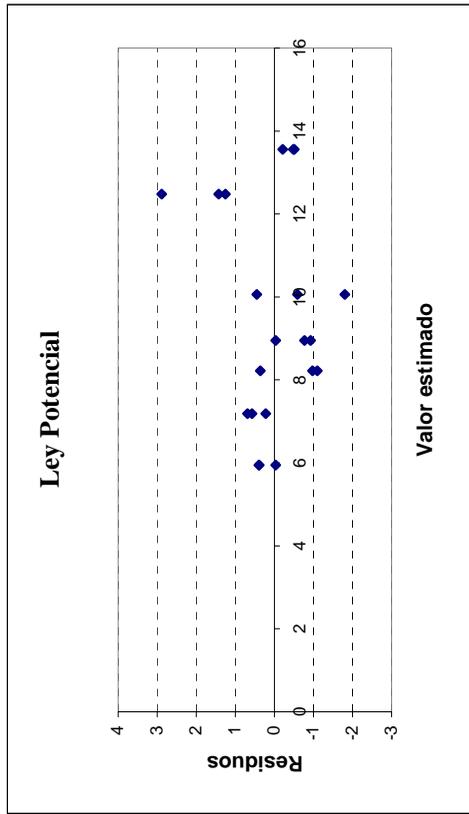
Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
212	0,58390651	0,538635	0,045271681	0,6394134	-0,055506871
212	0,66502612	0,538635	0,126391284	0,6394134	0,025612733
212	0,63216993	0,538635	0,093535101	0,6394134	-0,007243451
331	1,61073775	0,79103	0,819707469	0,9404549	0,670282904
331	1,55724466	0,79103	0,766214377	0,9404549	0,616789812
331	1,77639304	0,79103	0,985362759	0,9404549	0,835938194
544	0,67088228	1,214251	-0,54336902	1,2063219	-0,535439572
544	0,46068886	1,214251	-0,753562442	1,2063219	-0,745632994
544	0,54209229	1,214251	-0,672159006	1,2063219	-0,664229558
730	1,09204654	1,56487	-0,472823305	1,0490511	0,042995405
730	1,32880982	1,56487	-0,23606003	1,0490511	0,27975868
730	1,04857855	1,56487	-0,516291301	1,0490511	-0,000472591
1095	1,39023327	0,07541	1,314823752	0,2186644	1,171568904
1095	1,44975039	0,07541	1,374340871	0,2186644	1,231086023
2303	5,26262223	4,215712	1,046909814	0,5897427	4,672879572
2303	7,71980494	4,215712	3,504092531	0,5897427	7,130062289
2303	5,15625512	4,215712	0,940542711	0,5897427	4,566512469
3381	6,94420678	5,870891	1,073315922	0,9158626	6,028344152
3381	7,28274753	5,870891	1,411856673	0,9158626	6,366884903
3381	6,65997537	5,870891	0,789084508	0,9158626	5,744112738
media		media	0,554859217	media	1,868715187



RESIDUOS - ESTACIÓN 15

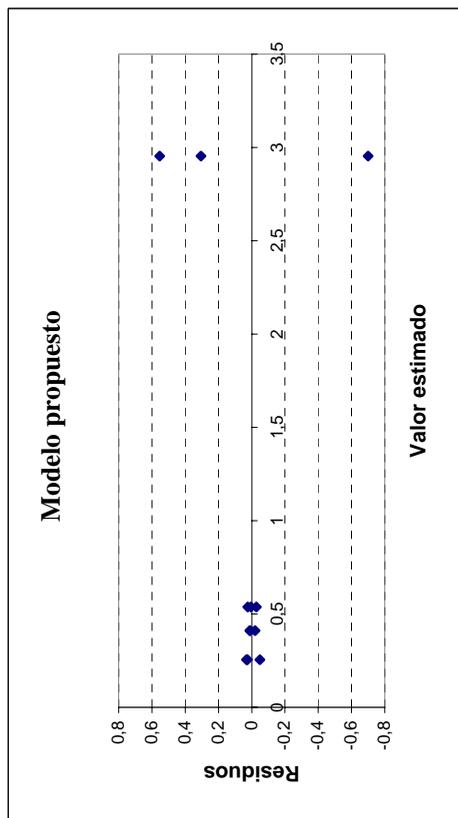
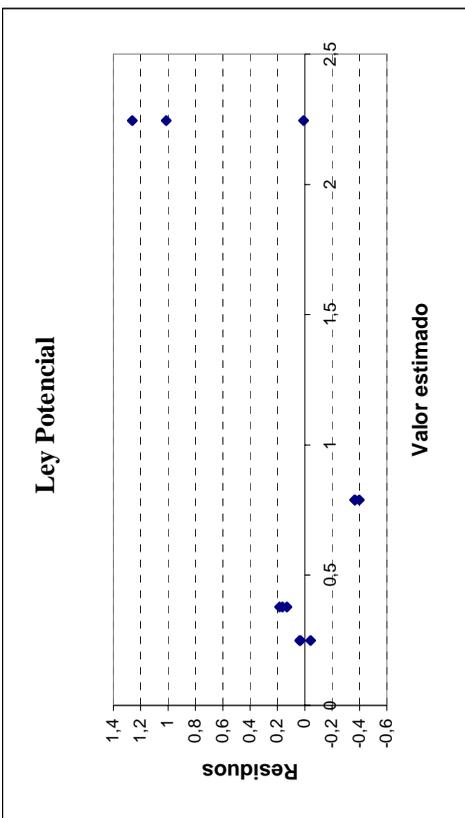
Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
187	6,33799714	5,947871	0,390126263	6,0311186	0,306878523
187	5,91711419	5,947871	-0,030756683	6,0311186	-0,114004423
187	6,34103374	5,947871	0,393162865	6,0311186	0,309915125
356	7,8794073	7,187448	0,691959659	7,7442545	0,135152826
356	7,76436449	7,187448	0,576916849	7,7442545	0,020110017
356	7,40924212	7,187448	0,221794483	7,7442545	-0,33501235
561	7,12128872	8,21579	-1,094501378	8,1544848	-1,033196052
561	8,57539566	8,21579	0,359605565	8,1544848	0,42091089
561	7,24325556	8,21579	-0,972534536	8,1544848	-0,91122921
750	8,02008424	8,948001	-0,927916395	8,1032973	-0,083213088
750	8,1791024	8,948001	-0,768898239	8,1032973	0,075805068
750	8,91370154	8,948001	-0,034299096	8,1032973	0,810404211
1116	10,5097111	10,05718	0,452527223	9,3132784	1,19643264
1116	9,46761396	10,05718	-0,589569881	9,3132784	0,154335536
1116	8,25282675	10,05718	-1,804357089	9,3132784	-1,060451673
2324	15,365164	12,47803	2,887135113	13,923802	1,441361822
2324	13,9040604	12,47803	1,426031519	13,923802	-0,019741772
2324	13,7293256	12,47803	1,251296696	13,923802	-0,194476595
3085	13,0538495	13,5618	-0,507947341	13,364569	-0,31071958
3085	13,077956	13,5618	-0,48384093	13,364569	-0,286613169
3085	13,3483758	13,5618	-0,213421037	13,364569	-0,016193276

media 0,058214935 media 0,024116927



RESIDUOS - ESTACIÓN 16

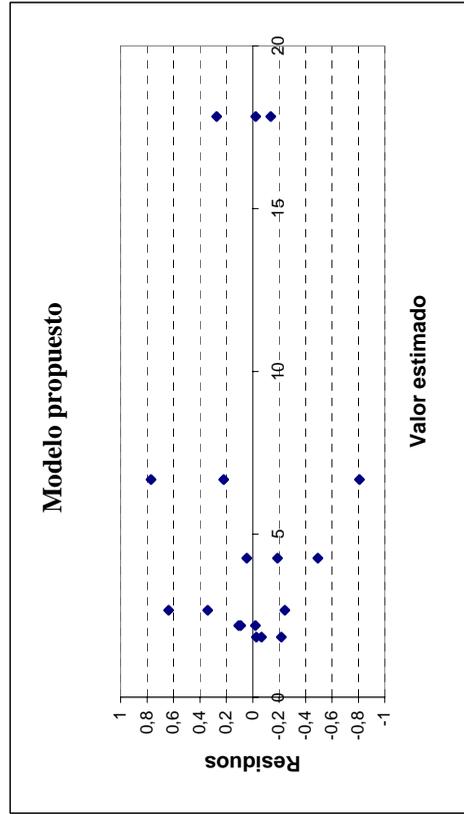
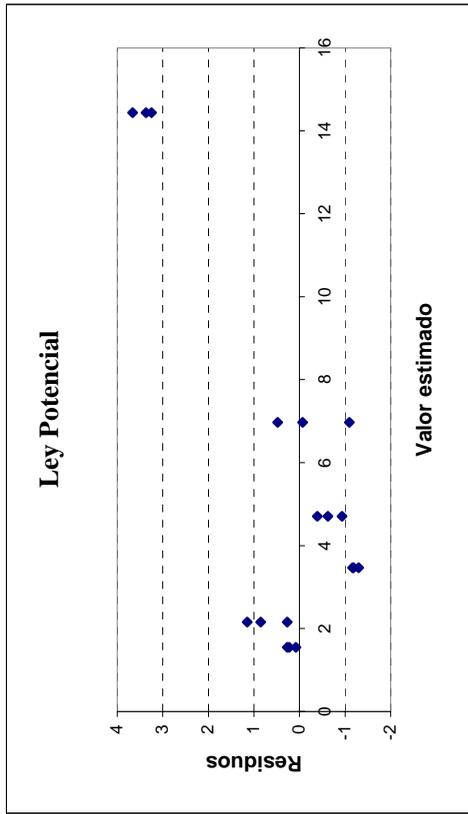
Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
208	0,28205047	0,249417	0,032633963	0,2557954	0,026255078
208	0,20670358	0,249417	-0,042712934	0,2557954	-0,049091818
208	0,28708027	0,249417	0,037663756	0,2557954	0,031284871
328	0,54146257	0,378227	0,163235179	0,5371855	0,004277054
328	0,50959844	0,378227	0,13137105	0,5371855	-0,027587075
328	0,56179304	0,378227	0,183565646	0,5371855	0,024607521
733	0,42218998	0,788861	-0,365891792	0,4116017	0,011367446
733	0,42218998	0,788861	-0,366670983	0,4116017	0,010588254
733	0,39049451	0,788861	-0,398366461	0,4116017	-0,021107223
2301	2,25458162	2,244709	0,009872927	2,9535507	-0,69896905
2301	3,50640467	2,244709	1,261695972	2,9535507	0,552853995
2301	3,25915699	2,244709	1,014448295	2,9535507	0,305606317



media 0,138403718 media 0,014173781

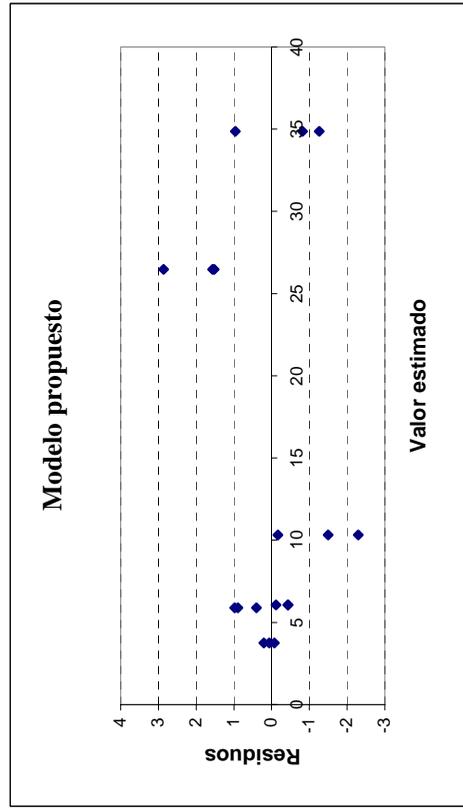
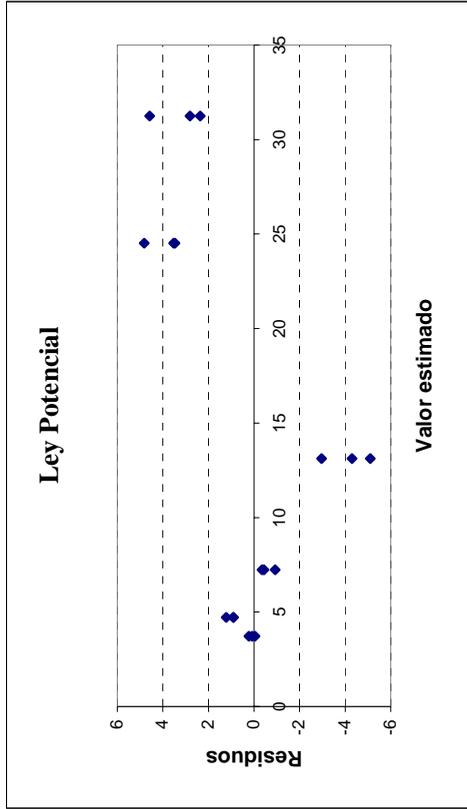
RESIDUOS - ESTACIÓN 17

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
235	1,62521028	1,548084	0,077126751	1,8420775	1,8420775	-0,216867266
235	1,77543981	1,548084	0,227356273	1,8420775	1,8420775	-0,066637744
235	1,81396781	1,548084	0,265884276	1,8420775	1,8420775	-0,028109741
330	2,42530165	2,158079	0,267222901	2,6700484	2,6700484	-0,244746781
330	3,01126352	2,158079	0,853184768	2,6700484	2,6700484	0,341215085
330	3,30568824	2,158079	1,147609483	2,6700484	2,6700484	0,6356398
536	2,17479466	3,468844	-1,294049046	2,1951806	2,1951806	-0,020385933
536	2,28586432	3,468844	-1,182979385	2,1951806	2,1951806	0,090683728
536	2,30145737	3,468844	-1,167386339	2,1951806	2,1951806	0,106276774
732	4,07961878	4,705635	-0,626016285	4,267723	4,267723	-0,188104205
732	4,31325206	4,705635	-0,392383004	4,267723	4,267723	0,045529076
732	3,77439752	4,705635	-0,931237541	4,267723	4,267723	-0,493325461
1094	7,45160381	6,972186	0,479418139	6,682957	6,682957	0,768646834
1094	5,87523236	6,972186	-1,096953314	6,682957	6,682957	-0,807724619
1094	6,9030869	6,972186	-0,069098777	6,682957	6,682957	0,220129918
2302	17,8049286	14,43789	3,367036838	17,826874	17,826874	-0,02194522
2302	18,1001154	14,43789	3,662223688	17,826874	17,826874	0,27324163
2302	17,68916	14,43789	3,251268259	17,826874	17,826874	-0,1377138
		media	0,379901538	media	media	0,014211226



RESIDUOS - ESTACIÓN 18

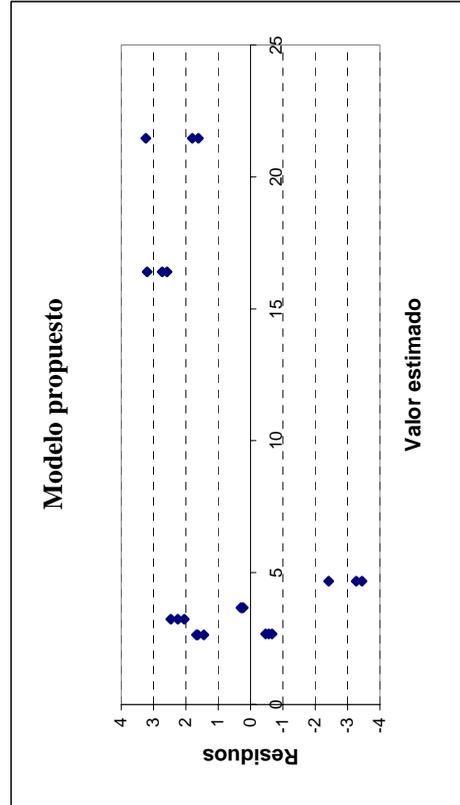
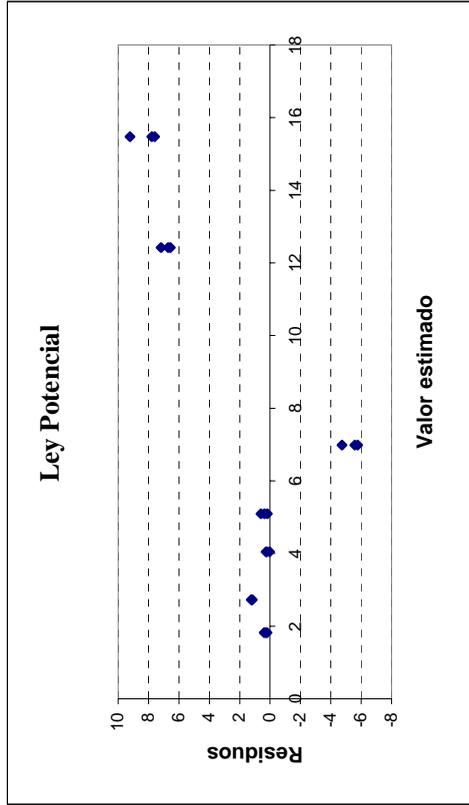
Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
237	3,80667469	3,71913	0,087545167	3,7460237	0,060650999
237	3,9507713	3,71913	0,231641774	3,7460237	0,204747606
237	3,67081895	3,71913	-0,048310578	3,7460237	-0,075204746
316	5,9523201	4,724412	1,227908094	6,0666363	-0,114316168
316	5,63014098	4,724412	0,905728976	6,0666363	-0,436495286
316	5,63832157	4,724412	0,913909556	6,0666363	-0,428314706
527	6,78995429	7,229011	-0,439056353	5,8956044	0,894349906
527	6,87080005	7,229011	-0,358210589	5,8956044	0,97519567
527	6,29568653	7,229011	-0,933324111	5,8956044	0,400082148
1080	8,82761877	13,1291	-4,30147732	10,32993	-1,502311567
1080	8,03300212	13,1291	-5,096093972	10,32993	-2,29692822
1080	10,1642764	13,1291	-2,96481971	10,32993	-0,165653957
2288	28,0335221	24,51222	3,521305386	26,466362	1,567160602
2288	27,9879952	24,51222	3,475778446	26,466362	1,521633661
2288	29,3290806	24,51222	4,816863827	26,466362	2,862719043
3063	34,0474215	31,24254	2,804882824	34,865285	-0,817863523
3063	33,6013702	31,24254	2,358831544	34,865285	-1,263914803
3063	35,8298251	31,24254	4,587286425	34,865285	0,964540078
		media	0,599466077	media	0,130559819



RESIDUOS - ESTACIÓN 19

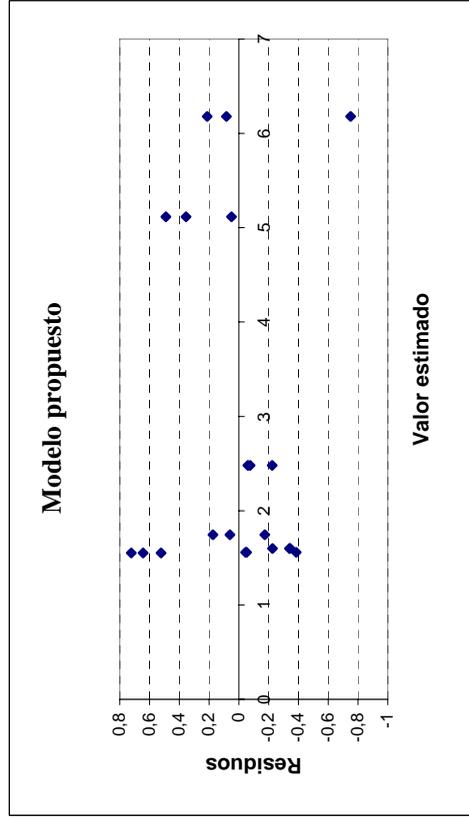
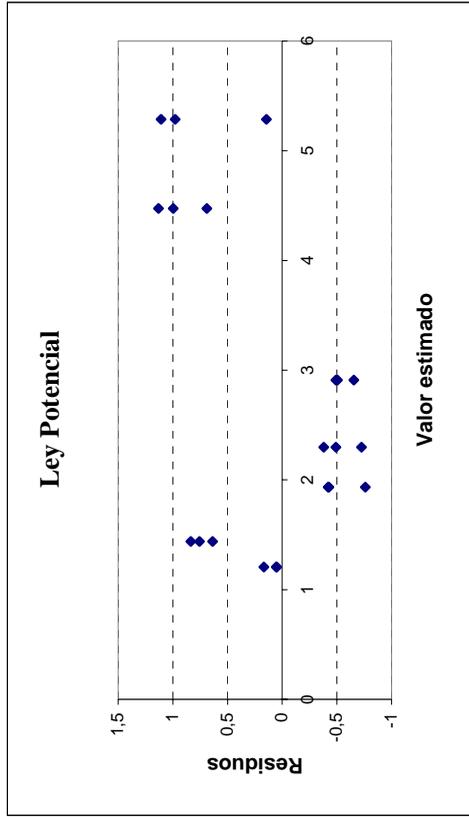
Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
186	2,01584769	1,820624	0,195223803	2,6772304	-0,661382694
186	2,11014946	1,820624	0,289525575	2,6772304	-0,567080922
186	2,20949462	1,820624	0,388870737	2,6772304	-0,467735761
315	3,89608935	2,724509	1,171580015	3,6650492	0,231040131
315	3,9650574	2,724509	1,240548067	3,6650492	0,300008182
315	3,93467658	2,724509	1,210167246	3,6650492	0,269627362
529	4,26840058	4,050994	0,217406567	2,6375407	1,630859881
529	4,30798149	4,050994	0,256987476	2,6375407	1,67044079
529	4,08310799	4,050994	0,032113973	2,6375407	1,445567286
714	5,28052034	5,095874	0,184645954	3,2292562	2,051264136
714	5,4740918	5,095874	0,378217409	3,2292562	2,244835591
714	5,69832017	5,095874	0,602445779	3,2292562	2,469063961
1079	1,40843899	6,989252	-5,580812788	4,675877	-3,267437987
1079	1,22825907	6,989252	-5,760992712	4,675877	-3,44761791
1079	2,25633147	6,989252	-4,732920306	4,675877	-2,419545504
2288	19,6029714	12,42245	7,18052309	16,40025	3,202721815
2288	19,1292925	12,42245	6,706844229	16,40025	2,729042954
2288	18,9795269	12,42245	6,557078602	16,40025	2,579277326
3049	24,7041913	15,47478	9,229413473	21,466953	3,237238793
3049	23,270417	15,47478	7,795639155	21,466953	1,803464476
3049	23,0794118	15,47478	7,604633901	21,466953	1,612459222

media 1,674625678 media 0,792671958



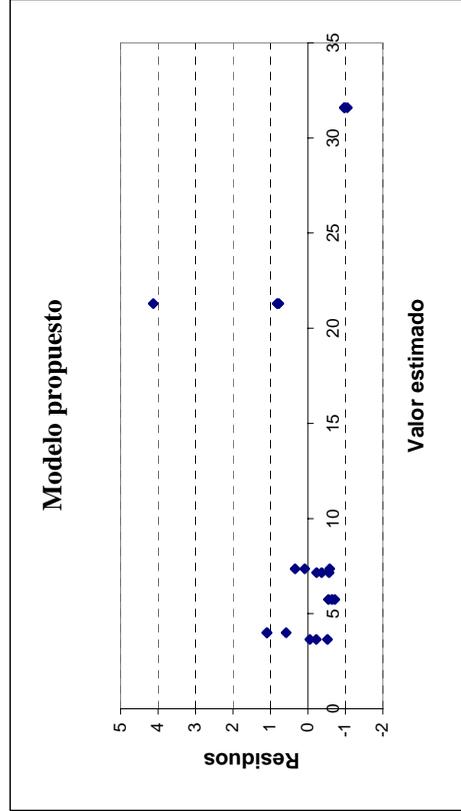
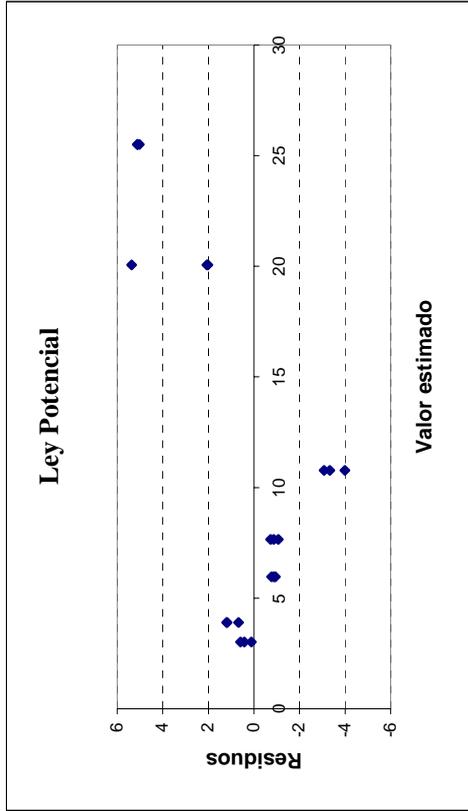
RESIDUOS - ESTACIÓN 20

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
231	1,37346318	1,20446	0,169003583	1,5995552	1,5995552	-0,226092034
231	1,256022275	1,20446	0,051563154	1,5995552	1,5995552	-0,343532462
231	1,25924111	1,20446	0,054781515	1,5995552	1,5995552	-0,340314102
315	2,27509432	1,438469	0,836625682	1,552753	1,552753	0,722341359
315	2,19585577	1,438469	0,757387132	1,552753	1,552753	0,643102809
315	2,07589885	1,438469	0,637430214	1,552753	1,552753	0,523145891
528	1,51318059	1,933367	-0,420186166	1,5578074	1,5578074	-0,044626794
528	1,50694189	1,933367	-0,426424866	1,5578074	1,5578074	-0,050865493
528	1,17306495	1,933367	-0,760301799	1,5578074	1,5578074	-0,384742426
714	1,80733466	2,297957	-0,490622672	1,7463554	1,7463554	0,06097927
714	1,57177015	2,297957	-0,726187181	1,7463554	1,7463554	-0,174585239
714	1,91994922	2,297957	-0,378008114	1,7463554	1,7463554	0,173593828
1079	2,42072908	2,910687	-0,489957845	2,4800502	2,4800502	-0,059321084
1079	2,40505929	2,910687	-0,505627629	2,4800502	2,4800502	-0,074990868
1079	2,25633147	2,910687	-0,654355451	2,4800502	2,4800502	-0,22371869
2287	5,60660608	4,4746	1,13200635	5,1157649	5,1157649	0,490841223
2287	5,47032449	4,4746	0,995724764	5,1157649	5,1157649	0,354559637
2287	5,16502876	4,4746	0,69042903	5,1157649	5,1157649	0,049263904
3059	6,26480664	5,28521	0,979597084	6,1807576	6,1807576	0,084049035
3059	6,39282181	5,28521	1,107612248	6,1807576	6,1807576	0,212064198
3059	5,43077342	5,28521	0,145563861	6,1807576	6,1807576	-0,749984188
		media	0,128859662	media	media	0,030531799



RESIDUOS - ESTACIÓN 21

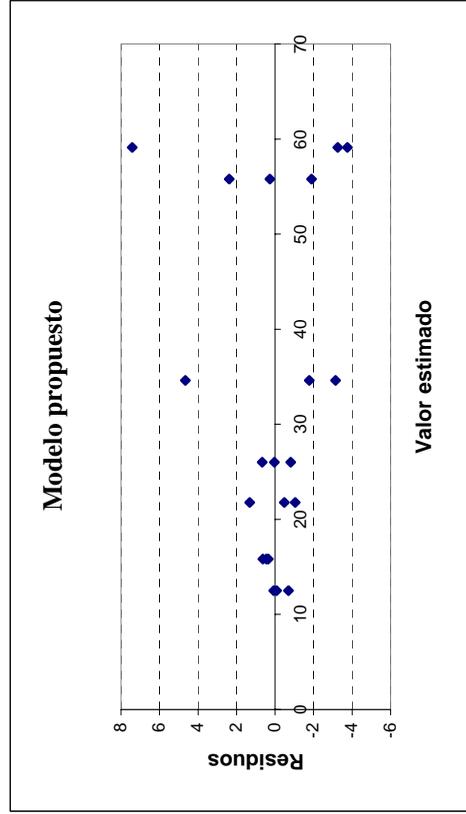
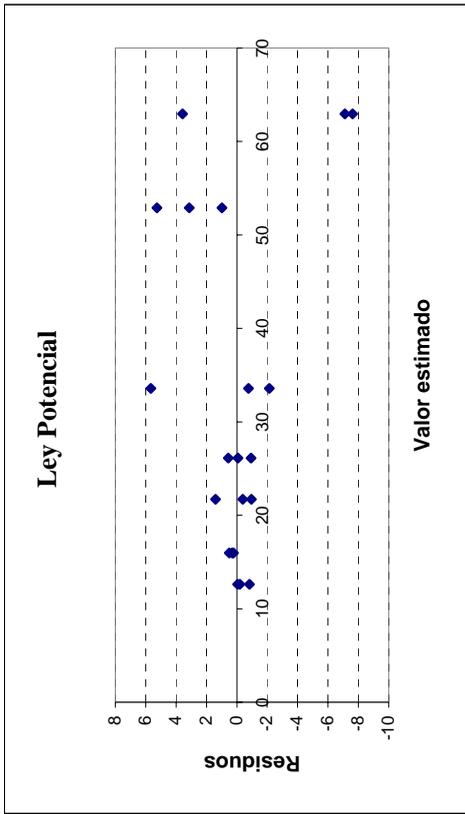
Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
231	3,43100295	3,014998	0,416005019	3,65095553	3,65095553	-0,219952321
231	3,12885535	3,014998	0,113857417	3,65095553	3,65095553	-0,522099922
231	3,60065791	3,014998	0,585659973	3,65095553	3,65095553	-0,050297366
315	4,56869138	3,896016	0,672675267	3,9895839	3,9895839	0,579107519
315	5,08140516	3,896016	1,185389044	3,9895839	3,9895839	1,091821296
315	5,08501623	3,896016	1,189000115	3,9895839	3,9895839	1,095432367
528	5,0254159	5,970806	-0,945389626	5,7399334	5,7399334	-0,714517549
528	5,19348246	5,970806	-0,77732306	5,7399334	5,7399334	-0,546450984
528	5,10065227	5,970806	-0,87015325	5,7399334	5,7399334	-0,639281173
714	6,79184234	7,662364	-0,870521511	7,157944	7,157944	-0,36610169
714	6,92508242	7,662364	-0,737281436	7,157944	7,157944	-0,232861614
714	6,59195502	7,662364	-1,070408835	7,157944	7,157944	-0,565989013
1079	6,78278472	10,77905	-3,99626689	7,3610023	7,3610023	-0,578217543
1079	7,44273761	10,77905	-3,336314002	7,3610023	7,3610023	0,081735345
1079	7,70244253	10,77905	-3,076609077	7,3610023	7,3610023	0,34144027
2287	25,425312	20,05556	5,369752524	21,292899	21,292899	4,132412856
2287	22,1154988	20,05556	2,059939368	21,292899	21,292899	0,8225997
2287	22,0723995	20,05556	2,016840105	21,292899	21,292899	0,779500436
3059	30,6152388	25,50573	5,109509013	31,59043	31,59043	-0,975190881
3059	30,5410072	25,50573	5,035277382	31,59043	31,59043	-1,049422511
3059	30,6145052	25,50573	5,108775424	31,59043	31,59043	-0,97592447
media			0,627733951		media	0,070844893



RESIDUOS - ESTACIÓN 22

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
214	11,8018868	12,62794	-0,826051105	12,505158	-0,703271382
214	12,4260396	12,62794	-0,201898357	12,505158	-0,079118635
214	12,575025	12,62794	-0,052912965	12,505158	0,069866757
315	16,4536757	15,95404	0,499635972	15,815717	0,637958943
315	16,1715591	15,95404	0,217519368	15,815717	0,35584234
315	16,2618674	15,95404	0,307827651	15,815717	0,446150622
524	23,1017409	21,70383	1,39790728	21,785967	1,315774132
524	20,7487363	21,70383	-0,955097319	21,785967	-1,037230467
524	21,306059	21,70383	-0,397774674	21,785967	-0,479907822
712	26,6760479	26,12524	0,55081097	26,001022	0,6750255
712	26,0431443	26,12524	-0,082092662	26,001022	0,042121869
712	25,1931121	26,12524	-0,932124804	26,001022	-0,807910274
1079	31,4555875	33,59275	-2,137160602	34,60356	-3,147972501
1079	32,8255083	33,59275	-0,767239853	34,60356	-1,778051753
1079	39,2548295	33,59275	5,662081307	34,60356	4,651269407
2287	58,1679366	52,91115	5,256788492	55,788462	2,379474791
2287	56,0505335	52,91115	3,139385378	55,788462	0,262071677
2287	53,8919613	52,91115	0,980813145	55,788462	-1,896500556
3048	66,5133457	62,94931	3,564032925	59,098031	7,415315027
3048	55,3397142	62,94931	-7,609598571	59,098031	-3,758316469
3048	55,8470947	62,94931	-7,102217995	59,098031	-3,250935893

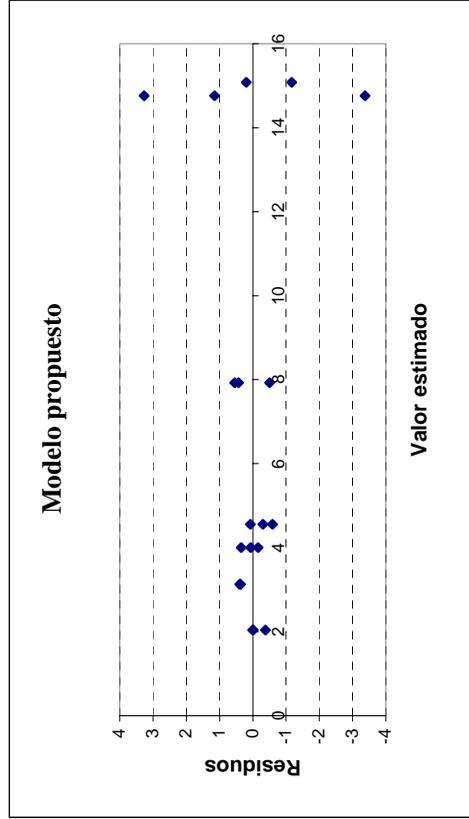
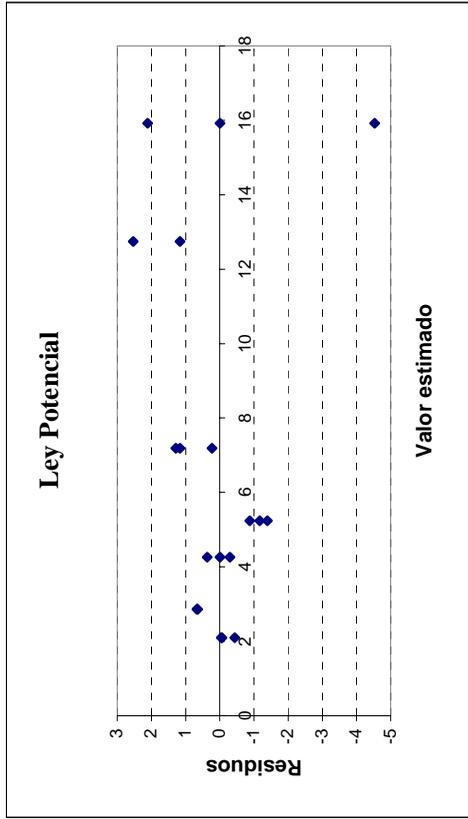
media 0,024411123 media 0,062459777



RESIDUOS - ESTACIÓN 23

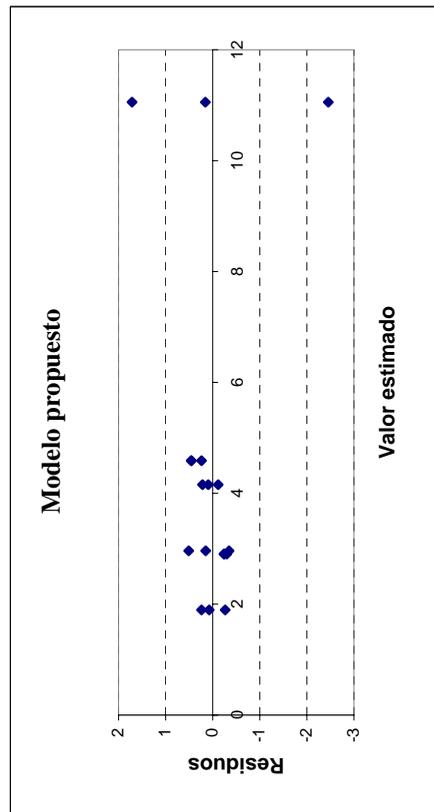
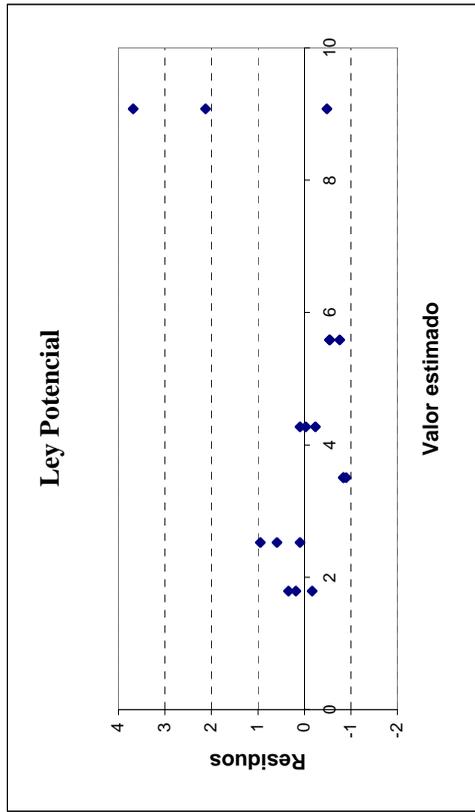
Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
214	1,65839183	2,092349	-0,43395748	2,0407027	2,0407027	-0,382310837
214	2,04683039	2,092349	-0,045518923	2,0407027	2,0407027	0,00612772
214	2,0250999	2,092349	-0,067249413	2,0407027	2,0407027	-0,015602769
322	3,51099512	2,857353	0,653642005	3,1306551	3,1306551	0,380340047
322	3,50300025	2,857353	0,645647136	3,1306551	3,1306551	0,372345177
322	3,52067654	2,857353	0,663323421	3,1306551	3,1306551	0,390021463
544	3,96635009	4,262424	-0,296073792	4,5610903	4,5610903	-0,594740187
544	4,63286622	4,262424	0,370442333	4,5610903	4,5610903	0,071775938
544	4,25477872	4,262424	-0,007645163	4,5610903	4,5610903	-0,306311558
713	3,84946395	5,239178	-1,389714475	4,0050913	4,0050913	-0,155627306
713	4,36061899	5,239178	-0,878559428	4,0050913	4,0050913	0,355527741
713	4,06626387	5,239178	-1,172914554	4,0050913	4,0050913	0,061172615
1079	7,41792427	7,186076	0,23184803	7,92793	7,92793	-0,510005693
1079	8,35453037	7,186076	1,168454127	7,92793	7,92793	0,426600404
1079	8,47226295	7,186076	1,286186711	7,92793	7,92793	0,544332988
2287	15,2764166	12,74409	2,532327258	15,077656	15,077656	0,198760091
2287	13,9119393	12,74409	1,167849974	15,077656	15,077656	-1,165717193
3062	15,910918	15,92094	-0,01002643	14,758403	14,758403	1,152514618
3062	11,3856742	15,92094	-4,535270245	14,758403	14,758403	-3,372729197
3062	18,0265496	15,92094	2,105605184	14,758403	14,758403	3,268146231

media 0,099419814 media 0,036231015



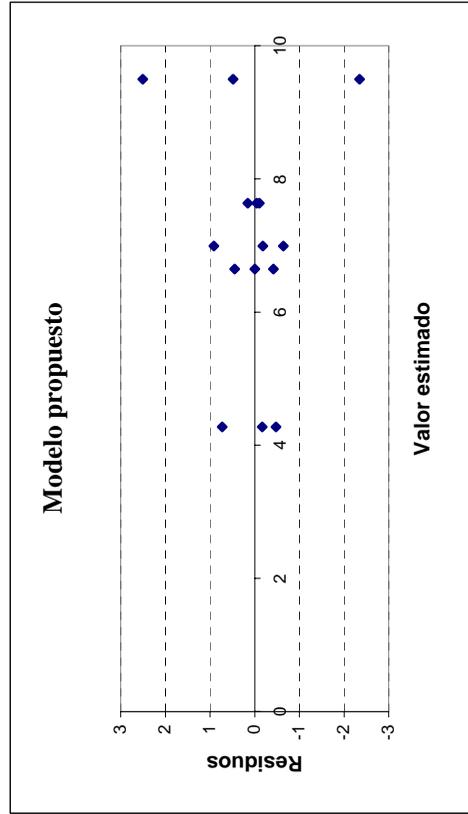
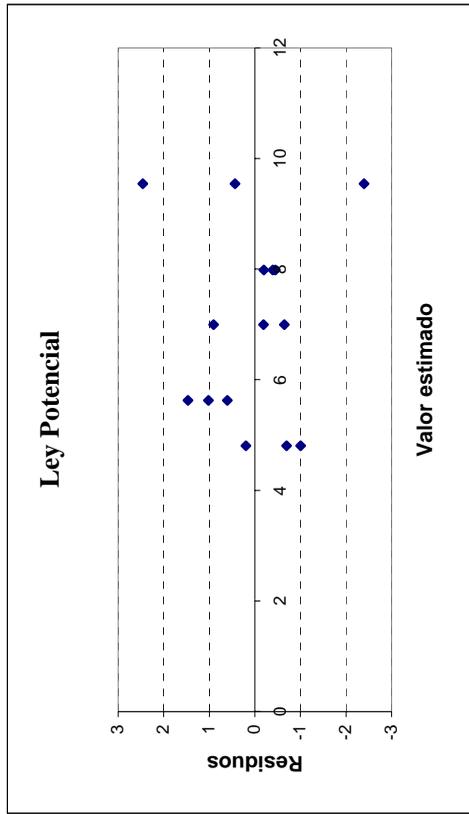
RESIDUOS - ESTACIÓN 24

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
186	1,62668461	1,791342	-0,164657382	1,894011	1,894011	-0,267326376
186	2,13085851	1,791342	0,339516514	1,894011	1,894011	0,23684752
186	1,9717958	1,791342	0,18045381	1,894011	1,894011	0,077784816
316	3,46987898	2,523725	0,946153824	2,9602314	2,9602314	0,509647583
316	2,6163078	2,523725	0,092582647	2,9602314	2,9602314	-0,343923594
316	3,11200518	2,523725	0,588280032	2,9602314	2,9602314	0,15177379
525	2,60862281	3,504539	-0,89591667	2,9077326	2,9077326	-0,299109799
525	2,66413964	3,504539	-0,840399839	2,9077326	2,9077326	-0,243592968
525	2,66636869	3,504539	-0,838170791	2,9077326	2,9077326	-0,241363921
714	4,24740331	4,275593	-0,028189437	4,1552148	4,1552148	0,092188563
714	4,04223397	4,275593	-0,233358778	4,1552148	4,1552148	-0,112980778
714	4,37120655	4,275593	0,095613799	4,1552148	4,1552148	0,215991798
1080	5,04922187	5,587694	-0,538471918	4,5901804	4,5901804	0,45904147
1080	5,04374846	5,587694	-0,543945329	4,5901804	4,5901804	0,453568058
1080	4,82564191	5,587694	-0,762051874	4,5901804	4,5901804	0,235461513
2288	11,2076598	9,080123	2,127536728	11,053157	11,053157	0,154502876
2288	12,7663755	9,080123	3,686252419	11,053157	11,053157	1,713218567
2288	8,5981081	9,080123	-0,482014972	11,053157	11,053157	-2,455048824
		media	0,151622932	media	media	0,018704461



RESIDUOS - ESTACIÓN 25

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
219	4,11162006	4,805061	-0,693441038	4,276502	4,276502	-0,164881945
219	5,00220604	4,805061	0,197144949	4,276502	4,276502	0,725704042
219	3,80269494	4,805061	-1,002366158	4,276502	4,276502	-0,473807065
316	6,6447611	5,62581	1,018951533	6,6472544	6,6472544	-0,002493312
316	7,09539386	5,62581	1,469584292	6,6472544	6,6472544	0,448139448
316	6,22975581	5,62581	0,603946241	6,6472544	6,6472544	-0,417498603
525	6,34971344	6,998488	-0,648774113	6,9927385	6,9927385	-0,643025106
525	7,90619154	6,998488	0,907703984	6,9927385	6,9927385	0,913452991
525	6,81114952	6,998488	-0,187338034	6,9927385	6,9927385	-0,181589027
713	7,5338035	7,983143	-0,449339464	7,6352643	7,6352643	-0,101460809
713	7,78697946	7,983143	-0,196163504	7,6352643	7,6352643	0,15171515
713	7,58732887	7,983143	-0,395814089	7,6352643	7,6352643	-0,047935435
1080	7,14987029	9,544008	-2,39413788	9,4970888	9,4970888	-2,347218499
1080	9,98089561	9,544008	0,436887443	9,4970888	9,4970888	0,483806824
1080	12,0033873	9,544008	2,459379106	9,4970888	9,4970888	2,5062998486

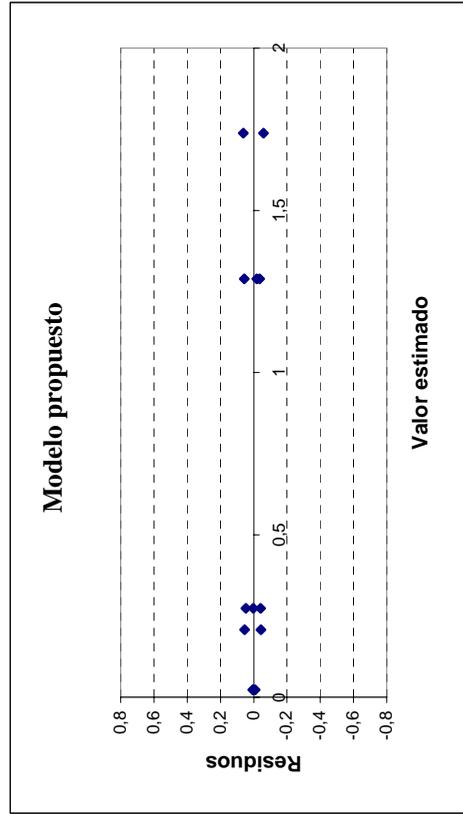
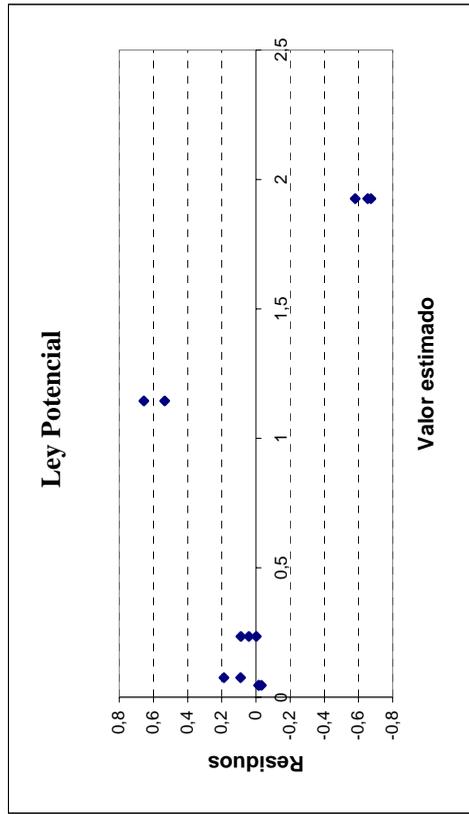


media 0,075081551 media 0,056613809

RESIDUOS - ESTACIÓN 26

Tiempo	V <sub>corr</sub> (μ)	V <sub>pred 1</sub>	V <sub>corr</sub> - V <sub>pred 1</sub> (μ)	V <sub>pred 2</sub>	V <sub>corr</sub> - V <sub>pred 2</sub> (μ)
216	0,01403461	0,045149	-0,031114117	0,0221697	-0,008135123
216	0,02792386	0,045149	-0,01722486	0,0221697	0,005754133
216	0,02780388	0,045149	-0,01734484	0,0221697	0,005634153
314	0,26212901	0,075371	0,186757572	0,2081486	0,053980408
314	0,16528441	0,075371	0,089912978	0,2081486	-0,042864185
719	0,27629077	0,234457	0,041833449	0,2741746	0,002116157
719	0,32164837	0,234457	0,08719105	0,2741746	0,047473758
719	0,23191775	0,234457	-0,002539573	0,2741746	-0,042256865
2287	1,79965504	1,14405	0,655605132	1,7378862	0,061768815
2287	1,67823748	1,14405	0,534187567	1,7378862	-0,05964875
3345	1,27176339	1,925936	-0,654172523	1,2894408	-0,017677403
3345	1,34535021	1,925936	-0,580585709	1,2894408	0,055909412
3345	1,25303312	1,925936	-0,6729028	1,2894408	-0,036407679

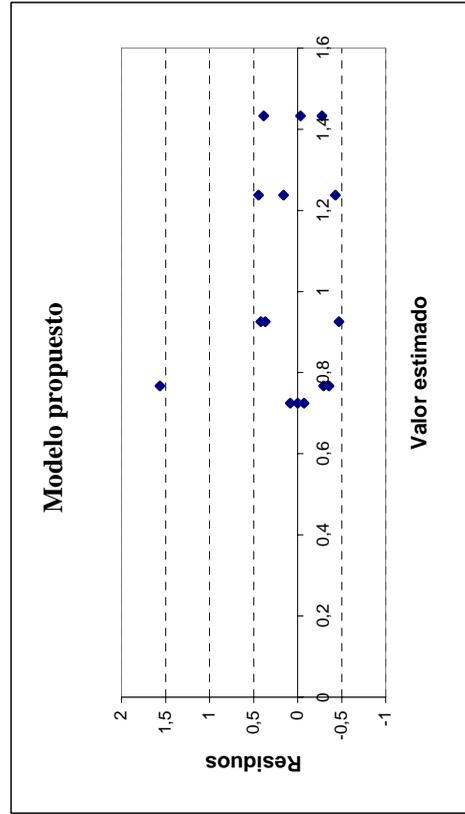
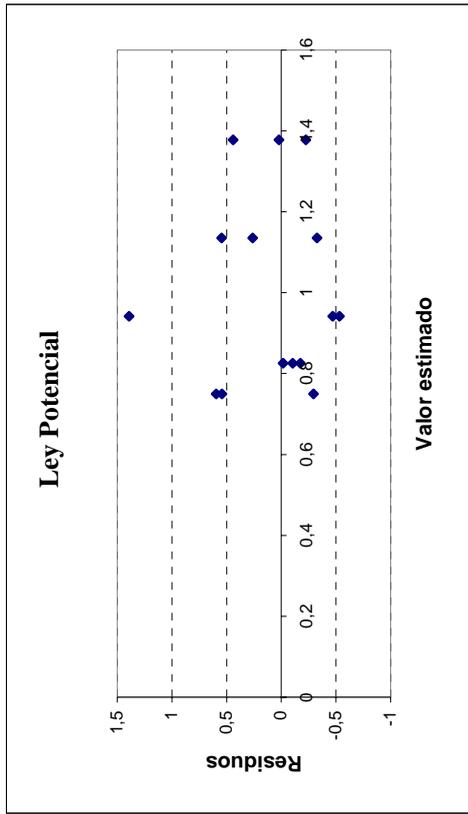
media -0,029261283 media 0,001972833



RESIDUOS - ESTACIÓN 27

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
216	1,29136168	0,750003	0,541358645	0,9259058	0,365455867
216	0,45677142	0,750003	-0,29323162	0,9259058	-0,469134397
216	1,34571663	0,750003	0,595713591	0,9259058	0,419810813
314	0,65087663	0,825959	-0,175082607	0,7247332	-0,073856545
314	0,8088749	0,825959	-0,017084333	0,7247332	0,084141729
314	0,72302678	0,825959	-0,102932454	0,7247332	-0,001706391
523	2,3328197	0,94209	1,390729317	0,7675348	1,565284863
523	0,4724733	0,94209	-0,469617086	0,7675348	-0,295061154
523	0,41023797	0,94209	-0,531852422	0,7675348	-0,357296876
1079	0,80798614	1,135517	-0,327531215	1,2377485	-0,429762335
1079	1,68009158	1,135517	0,544574231	1,2377485	0,442343111
1079	1,39688396	1,135517	0,261366611	1,2377485	0,159135491
2287	1,4010785	1,378219	0,022859142	1,4326855	-0,031607045
2287	1,81766202	1,378219	0,439442659	1,4326855	0,384976472
2287	1,15472093	1,378219	-0,223498432	1,4326855	-0,277964618

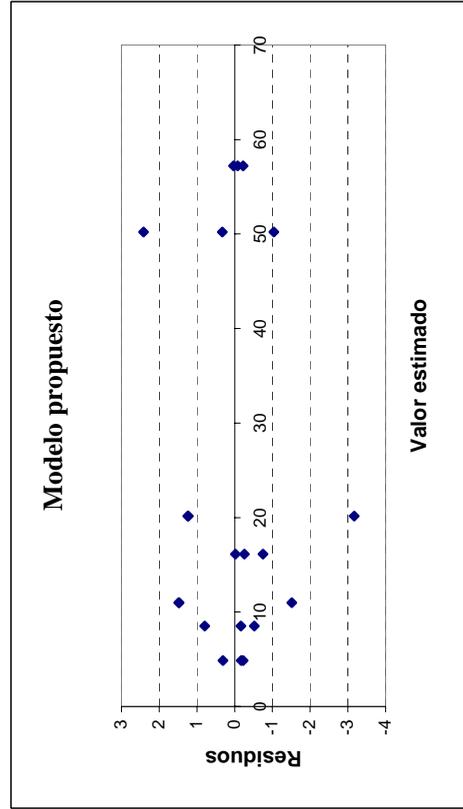
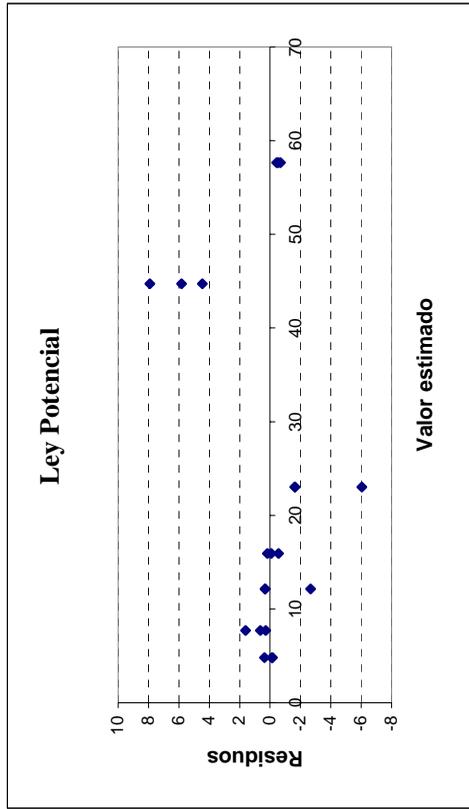
media 0,110347602 media 0,098983907



RESIDUOS - ESTACIÓN 28

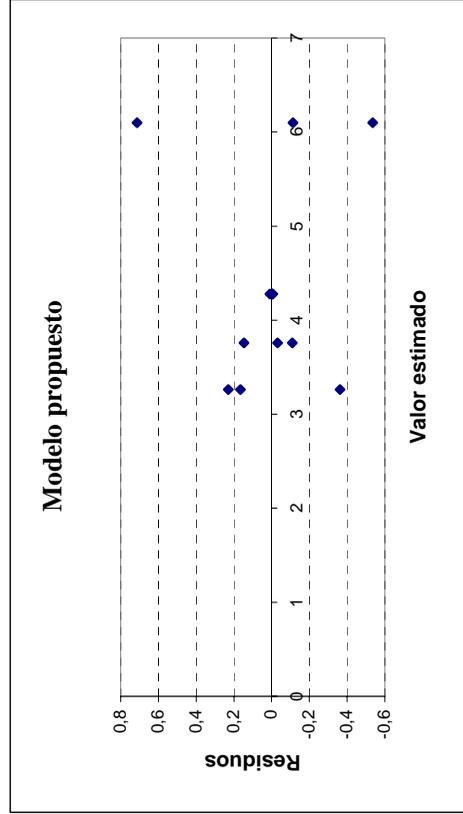
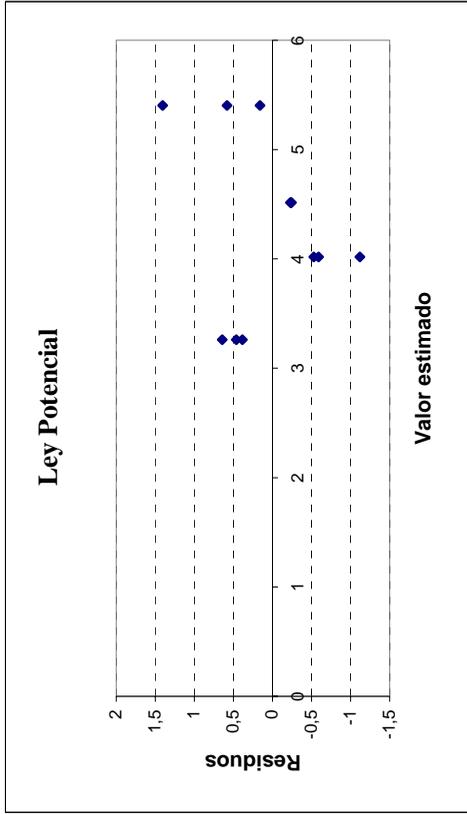
Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
182	5,16912631	4,793508	0,375618681	4,8548224	0,314303886
182	4,6280654	4,793508	-0,165442229	4,8548224	-0,226757024
182	4,68442964	4,793508	-0,109077989	4,8548224	-0,170392784
312	7,99824293	7,714795	0,283447507	8,5223527	-0,524109753
312	9,31754308	7,714795	1,60274766	8,5223527	0,7951904
312	8,36061855	7,714795	0,645823127	8,5223527	-0,161734133
521	12,4673076	12,13194	0,335365472	10,985631	1,481676086
521	9,47205858	12,13194	-2,65988353	10,985631	-1,513572917
521	12,4570016	12,13194	0,325059535	10,985631	1,471370148
710	15,3933521	15,94446	-0,551103039	16,141685	-0,74833322
710	15,8797457	15,94446	-0,064709457	16,141685	-0,261939637
710	16,1178544	15,94446	0,173399224	16,141685	-0,023830956
1076	16,9799573	23,01547	-6,035516314	20,144471	-3,164514118
1076	21,3719219	23,01547	-1,643551645	20,144471	1,227450551
1076	21,3842748	23,01547	-1,631198802	20,144471	1,239803394
2284	52,6451499	44,7326	7,912548874	50,227726	2,417424109
2284	49,1851665	44,7326	4,452565521	50,227726	-1,042559243
2284	50,5525079	44,7326	5,819906919	50,227726	0,324782154
3045	57,2336915	57,66204	-0,428350377	57,206554	0,027137448
3045	57,1272183	57,66204	-0,53482363	57,206554	-0,079335805
3045	56,9808261	57,66204	-0,681215778	57,206554	-0,225272953

media 0,353409987 media 0,055063363



RESIDUOS - ESTACIÓN 29

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
316	3,64703123	3,260825	0,386206144	3,75695665	-0,109925287
316	3,7249296	3,260825	0,46410452	3,75695665	-0,0320206911
316	3,90347096	3,260825	0,642645883	3,75695665	0,146514451
525	3,42696459	4,017617	-0,590652593	3,2611254	0,165839216
525	3,49094434	4,017617	-0,526672835	3,2611254	0,229818974
525	2,89901154	4,017617	-1,118605642	3,2611254	-0,362113833
697	4,27497762	4,514055	-0,239076936	4,2774334	-0,002455777
697	4,28597385	4,514055	-0,228080714	4,2774334	0,008540445
697	4,27136226	4,514055	-0,242692295	4,2774334	-0,006071136
1080	5,98622174	5,404538	0,581683939	6,0986611	-0,112439332
1080	5,56303882	5,404538	0,158501023	6,0986611	-0,535622247
1080	6,81143481	5,404538	1,406897011	6,0986611	0,712773741

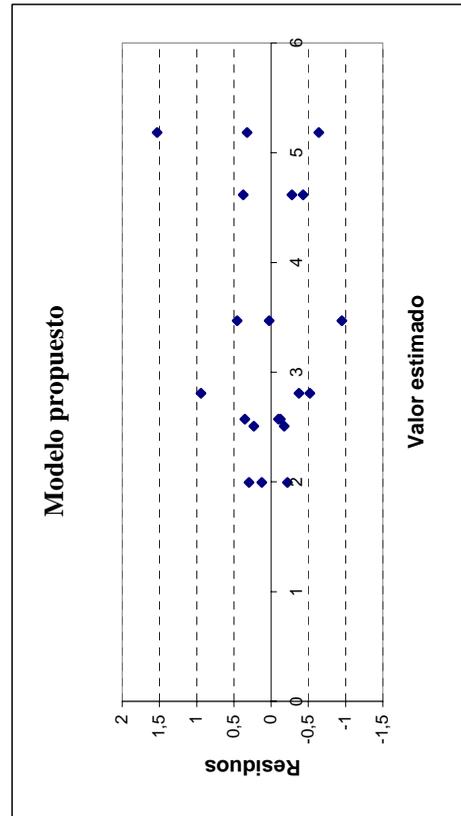
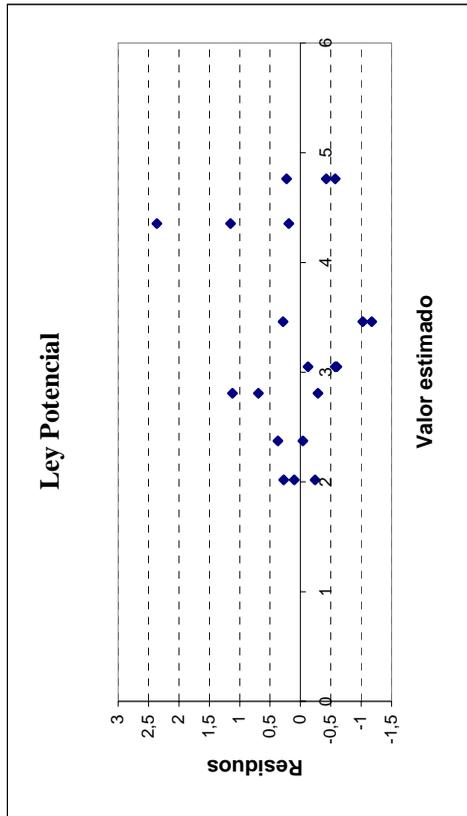


media 0,057854792 media 0,008569359

RESIDUOS - ESTACIÓN 30

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
186	1,77612526	2,018708	-0,24258317	1,9945025	-0,21837279
186	2,11878145	2,018708	0,100073019	1,9945025	0,12427891
186	2,29218206	2,018708	0,273473626	1,9945025	0,297679518
315	2,74173929	2,372383	0,369356568	2,5071341	0,234605212
315	2,33078838	2,372383	-0,041594344	2,5071341	-0,1763457
545	2,51740107	2,806352	-0,288951046	3,4681398	-0,950738737
545	3,49600663	2,806352	0,689654515	3,4681398	0,027866823
545	3,92283082	2,806352	1,1164787	3,4681398	0,454691009
714	2,44775199	3,048508	-0,60075563	2,5709463	-0,123194352
714	2,92503761	3,048508	-0,123470008	2,5709463	0,35409127
714	2,47362018	3,048508	-0,574887439	2,5709463	-0,097326161
1080	2,43508833	3,460678	-1,025589227	2,8068865	-0,371798136
1080	3,74909926	3,460678	0,288421704	2,8068865	0,942212795
1080	2,28707612	3,460678	-1,17360143	2,8068865	-0,519810339
2288	4,54526439	4,355803	0,189461633	5,1858422	-0,640577798
2288	6,71659331	4,355803	2,360790552	5,1858422	1,530751121
2288	5,5076342	4,355803	1,151831443	5,1858422	0,321792012
3063	4,18928374	4,763109	-0,573825162	4,6169944	-0,427710636
3063	4,33668797	4,763109	-0,426420929	4,6169944	-0,280306403
3063	4,99172544	4,763109	0,228616539	4,6169944	0,374731065

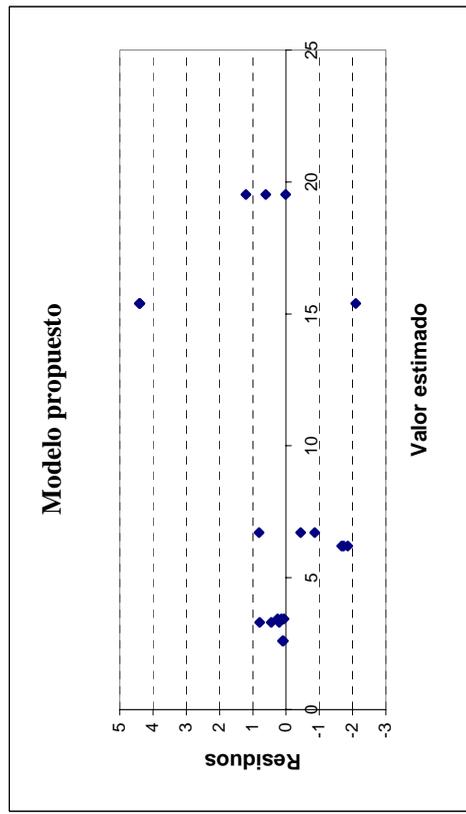
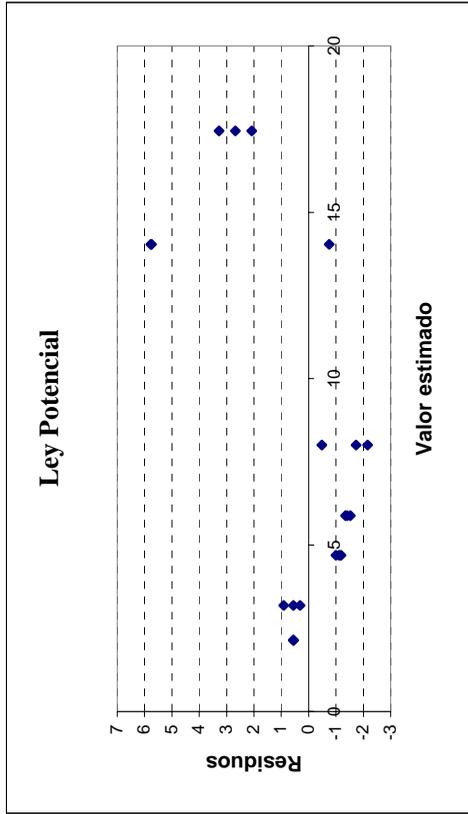
media 0,084823996 media 0,04282571



RESIDUOS - ESTACIÓN 31

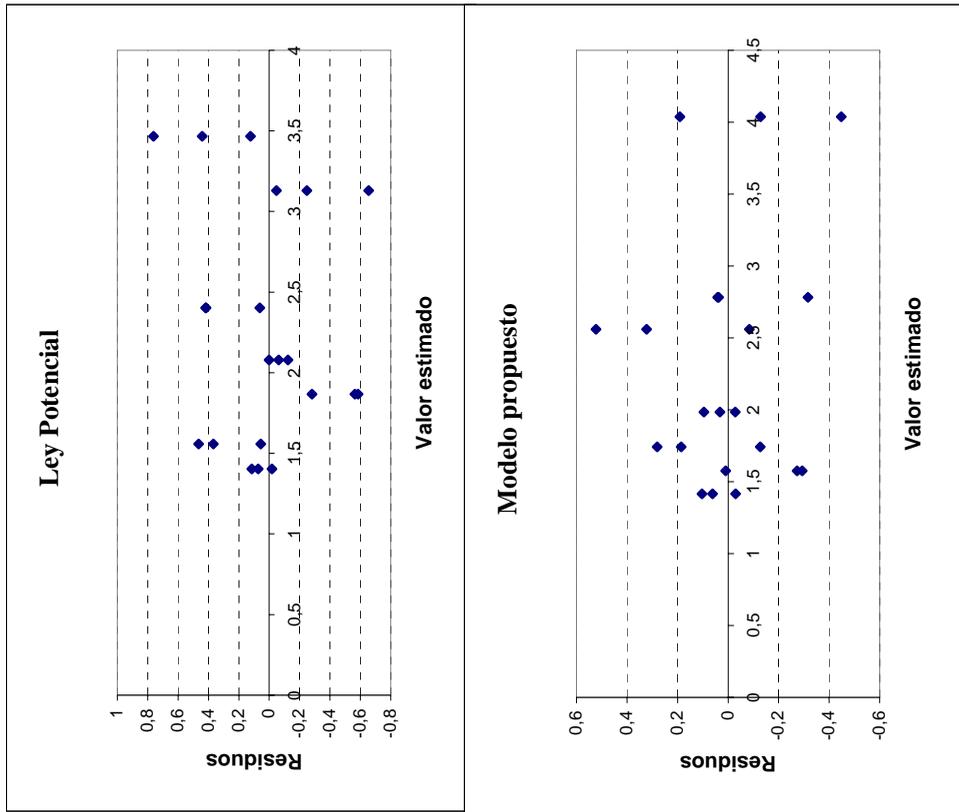
Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
185	2,70204082	2,143988	0,558053283	2,6047058	2,6047058	0,097335036
185	2,70588337	2,143988	0,561895832	2,6047058	2,6047058	0,101177585
185	2,68766826	2,143988	0,543680725	2,6047058	2,6047058	0,082962479
315	3,50748548	3,191288	0,31619747	3,302194	3,302194	0,205291531
315	3,7454885	3,191288	0,554200484	3,302194	3,302194	0,443294545
315	4,09905341	3,191288	0,9077654	3,302194	3,302194	0,796859461
528	3,69567753	4,69479	-0,999112253	3,4424185	3,4424185	0,253259074
528	3,50531493	4,69479	-1,189474858	3,4424185	3,4424185	0,062896469
528	3,58045576	4,69479	-1,114334023	3,4424185	3,4424185	0,138037304
714	4,47620069	5,882586	-1,406385012	6,2073426	6,2073426	-1,731141927
714	4,53806464	5,882586	-1,344521059	6,2073426	6,2073426	-1,669277974
714	4,35224502	5,882586	-1,530340675	6,2073426	6,2073426	-1,855097591
1079	5,85370471	8,009163	-2,155458504	6,7156684	6,7156684	-0,861963677
1079	7,53227996	8,009163	-0,476883247	6,7156684	6,7156684	0,816611581
1079	6,27657084	8,009163	-1,732592372	6,7156684	6,7156684	-0,439097544
2287	19,784399	14,04136	5,743039417	15,390994	15,390994	4,393404803
2287	13,2925102	14,04136	-0,748849328	15,390994	15,390994	-2,098483943
2287	19,8084775	14,04136	5,767117925	15,390994	15,390994	4,41748331
3059	20,7319118	17,45061	3,281302849	19,520593	19,520593	1,211318425
3059	20,1272484	17,45061	2,676639476	19,520593	19,520593	0,606655052
3059	19,5360478	17,45061	2,085438834	19,520593	19,520593	0,015454411

media 0,490351446 media 0,237475162



RESIDUOS - ESTACIÓN 32

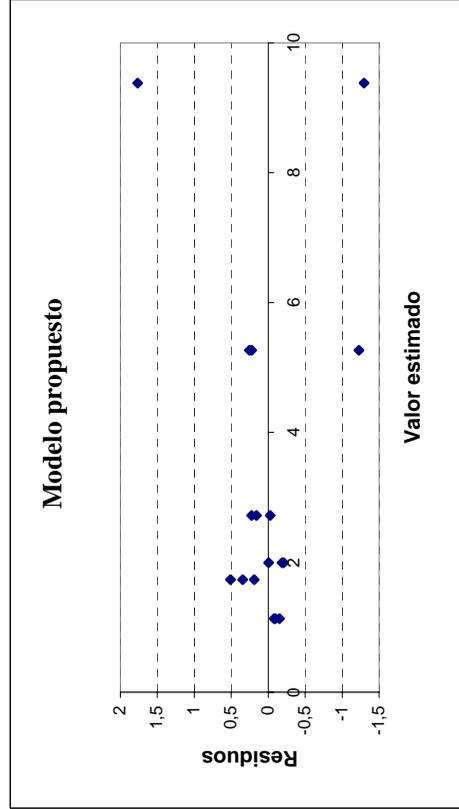
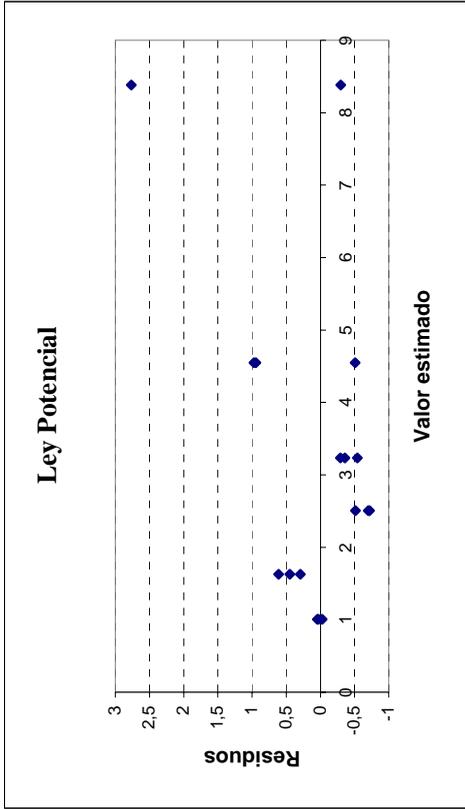
Tiempo	V <sub>corr</sub> (μ)	V <sub>pred 1</sub>	V <sub>corr</sub> - V <sub>pred 1</sub> (μ)	V <sub>pred 2</sub>	V <sub>corr</sub> - V <sub>pred 2</sub> (μ)
234	1,51834287	1,403745	0,114597831	1,4144699	0,103872984
234	1,47537091	1,403745	0,071625863	1,4144699	0,060901016
234	1,38474109	1,403745	-0,019003953	1,4144699	-0,0297288
315	1,92709327	1,558473	0,368620474	1,741884	0,185209252
315	2,02309998	1,558473	0,464627183	1,741884	0,281215962
315	1,61437609	1,558473	0,055903287	1,741884	-0,127507934
526	1,30224654	1,866502	-0,564255876	1,5755647	-0,273318174
526	1,28236873	1,866502	-0,584133693	1,5755647	-0,293195991
526	1,58553441	1,866502	-0,280968012	1,5755647	0,00996969
714	2,01608901	2,078319	-0,062229731	1,9834657	0,032623281
714	1,95543863	2,078319	-0,122880105	1,9834657	-0,028027093
714	2,0790744	2,078319	0,000755664	1,9834657	0,095608675
1079	2,82252461	2,40321	0,419314272	2,7815725	0,040952107
1079	2,81848275	2,40321	0,415272414	2,7815725	0,036910248
1079	2,46588314	2,40321	0,062672799	2,7815725	-0,315689366
2287	2,47491918	3,130064	-0,655145023	2,5592795	-0,0843603
2287	3,08244816	3,130064	-0,047616046	2,5592795	0,523168678
2287	2,88139182	3,130064	-0,24867238	2,5592795	0,322112344
3059	4,22908835	3,467255	0,76183287	4,0380999	0,190988464
3059	3,58997777	3,467255	0,12272229	4,0380999	-0,448122116
3059	3,90916242	3,467255	0,441906933	4,0380999	-0,128937472
		media	0,034045098	media	0,007364069



RESIDUOS - ESTACIÓN 33

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
162	0,98068266	1,006393	-0,025710027	1,1328578	-0,152175127
162	1,05262765	1,006393	0,046234961	1,1328578	-0,080230139
162	1,0371733	1,006393	0,030780612	1,1328578	-0,095684488
295	2,07645369	1,628859	0,447595029	1,7304606	0,345993074
295	2,24222128	1,628859	0,613362612	1,7304606	0,511760657
295	1,9197947	1,628859	0,290936037	1,7304606	0,189334083
504	1,9909292	2,504655	-0,513725957	1,9954594	-0,004530206
504	1,78638168	2,504655	-0,718273477	1,9954594	-0,209077726
504	1,80596164	2,504655	-0,698693515	1,9954594	-0,189497764
693	2,94139334	3,234838	-0,293444461	2,7193019	0,222091141
693	2,69414593	3,234838	-0,540691873	2,7193019	-0,025156003
693	2,87865025	3,234838	-0,356187548	2,7193019	0,159348323
1059	5,49222845	4,547769	0,944459072	5,2671022	0,225126291
1059	4,04121889	4,547769	-0,506550486	5,2671022	-1,225883267
1059	5,5198056	4,547769	0,972036222	5,2671022	0,25270344
2267	8,08474721	8,382008	-0,297261053	9,382292	-1,297544767
2267	11,1476269	8,382008	2,765618621	9,382292	1,765334907

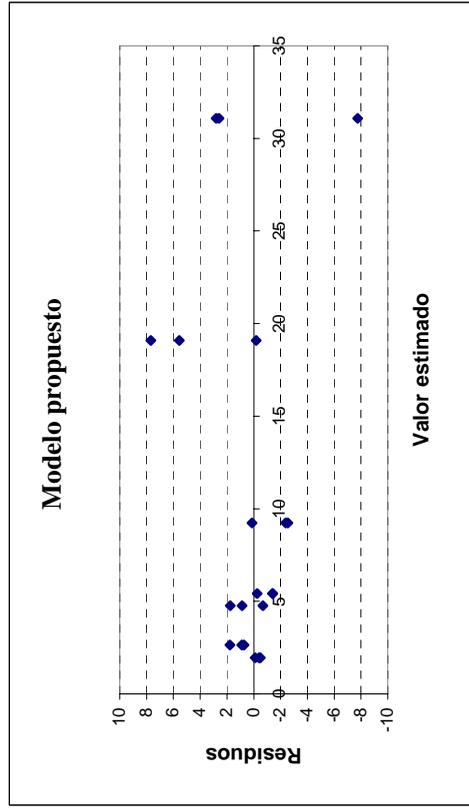
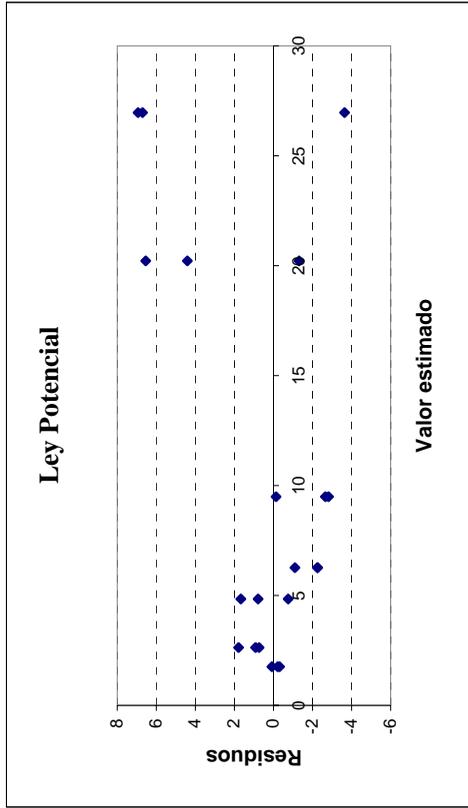
media 0,127087339 media 0,023053688



RESIDUOS - ESTACIÓN 34

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
191	1,83239426	1,755789	0,076605207	1,943841	1,943841	-0,111446791
191	1,54308789	1,755789	-0,212701156	1,943841	1,943841	-0,400753154
191	1,45249508	1,755789	-0,303293966	1,943841	1,943841	-0,491345964
288	3,37917338	2,635268	0,743905383	2,6439224	2,6439224	0,735250991
288	4,41564253	2,635268	1,78037453	2,6439224	2,6439224	1,771720138
288	3,54609199	2,635268	0,910823989	2,6439224	2,6439224	0,902169597
532	5,62333938	4,834431	0,788907988	4,7564679	4,7564679	0,866871451
532	6,50740901	4,834431	1,672977615	4,7564679	4,7564679	1,750941078
532	4,0773139	4,834431	-0,757117491	4,7564679	4,7564679	-0,679154028
691	5,16040946	6,260862	-1,10045227	5,416519	5,416519	-0,256109572
691	3,99736943	6,260862	-2,263492304	5,416519	5,416519	-1,419149606
691	4,00913139	6,260862	-2,251730339	5,416519	5,416519	-1,407387641
1053	9,36273948	9,495681	-0,132941476	9,231498	9,231498	0,131241489
1053	6,84738359	9,495681	-2,648297366	9,231498	9,231498	-2,384114401
1053	6,6822922	9,495681	-2,813388758	9,231498	9,231498	-2,549205793
2261	18,9005987	20,21457	-1,313971217	19,080859	19,080859	-0,180260062
2261	24,6302376	20,21457	4,415667739	19,080859	19,080859	5,549378894
2261	26,7524915	20,21457	6,537921578	19,080859	19,080859	7,671632733
3026	33,6713537	26,96553	6,70582863	31,080768	31,080768	2,590585437
3026	23,3260361	26,96553	-3,639489027	31,080768	31,080768	-7,75473222
3026	33,9001422	26,96553	6,934617075	31,080768	31,080768	2,819373882

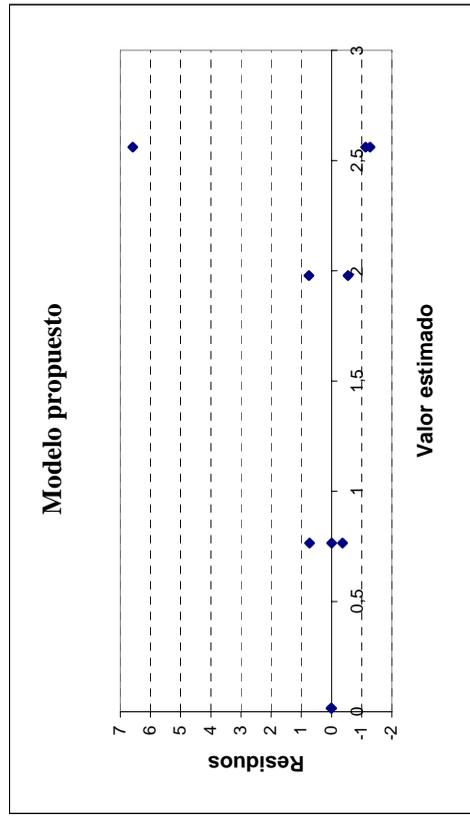
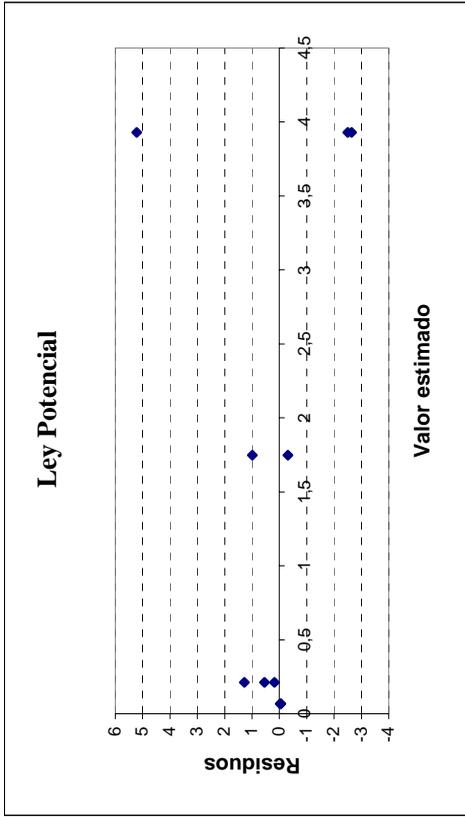
media 0,625274017 media 0,340738403



RESIDUOS - ESTACIÓN 35

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
715	0,00817406	0,067342	-0,059168347	0,0164112	-0,008237105
715	0,03294891	0,067342	-0,034393499	0,0164112	0,016537744
1075	0,39653603	0,211331	0,185204869	0,7650612	-0,368525191
1075	1,4924412	0,211331	1,281110039	0,7650612	0,727379979
1075	0,75667378	0,211331	0,545342617	0,7650612	-0,008387444
2283	2,73201349	1,746997	0,98501696	1,9782645	0,753748936
2283	1,4324712	1,746997	-0,314525329	1,9782645	-0,545793353
3048	1,28646139	3,928945	-2,64248337	2,5604398	-1,273978426
3048	9,1419105	3,928945	5,212965736	2,5604398	6,58147068
3048	1,42728268	3,928945	-2,501662085	2,5604398	-1,133157141

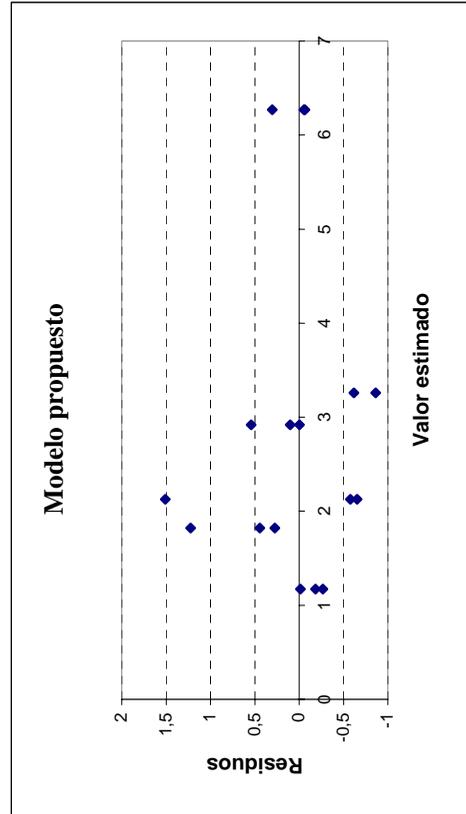
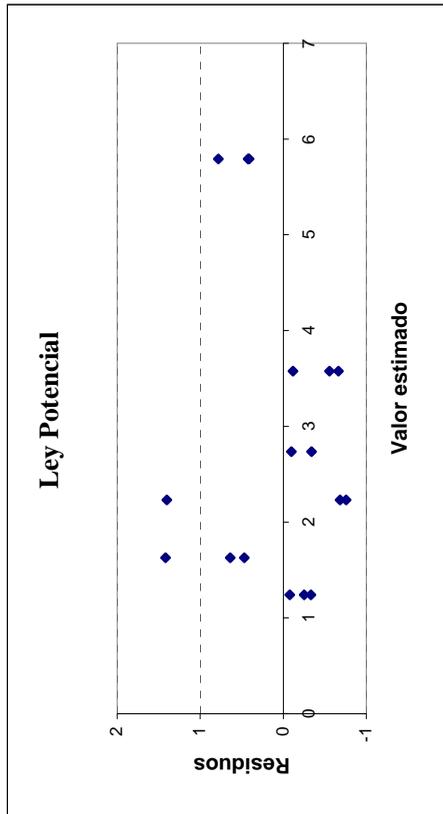
media 0,265740759 media 0,474105868



RESIDUOS - ESTACIÓN 36

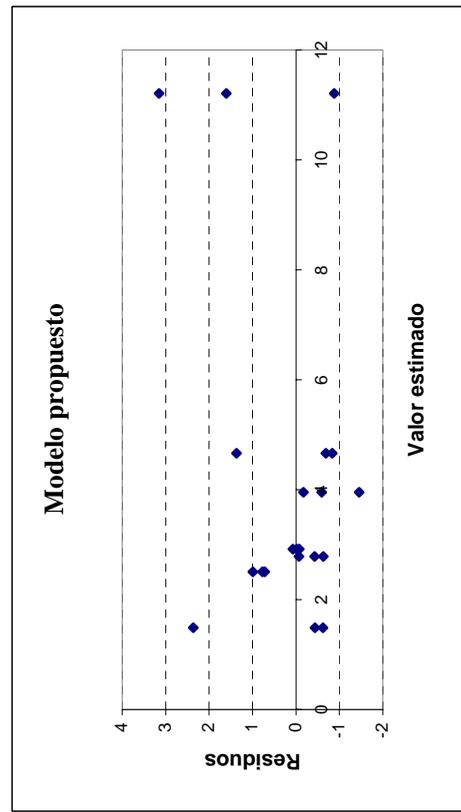
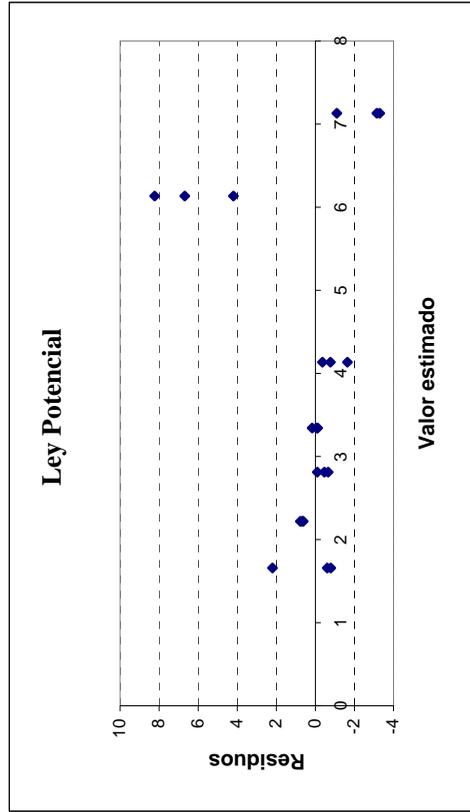
Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
202	0,90691554	1,239718	-0,332802237	1,1731895	1,1731895	-0,266273993
202	0,9890495	1,239718	-0,250668282	1,1731895	1,1731895	-0,184140038
202	1,15972688	1,239718	-0,0799909	1,1731895	1,1731895	-0,013462656
310	3,0466694	1,628355	1,418314071	1,8215872	1,8215872	1,225082192
310	2,09724219	1,628355	0,468868861	1,8215872	1,8215872	0,275654982
310	2,26728886	1,628355	0,638933525	1,8215872	1,8215872	0,445701647
509	1,47467018	2,232847	-0,758176828	2,1270584	2,1270584	-0,652388189
509	1,54835294	2,232847	-0,68449407	2,1270584	2,1270584	-0,57870543
509	3,6342836	2,232847	1,401436598	2,1270584	2,1270584	1,507225238
701	2,39652149	2,737509	-0,340987894	3,2592678	3,2592678	-0,862746301
701	2,64119726	2,737509	-0,096312126	3,2592678	3,2592678	-0,618070532
1067	3,01895199	3,576951	-0,557998599	2,9179005	2,9179005	0,101051446
1067	3,46005226	3,576951	-0,116898327	2,9179005	2,9179005	0,542151718
1067	2,91418922	3,576951	-0,662761364	2,9179005	2,9179005	-0,003711319
2275	6,21466208	5,792411	0,422251217	6,2679513	6,2679513	-0,053289272
2275	6,20200598	5,792411	0,409595118	6,2679513	6,2679513	-0,065945371
2275	6,57245385	5,792411	0,780042994	6,2679513	6,2679513	0,304502505

media 0,097551162 media 0,064860978



RESIDUOS - ESTACIÓN 37

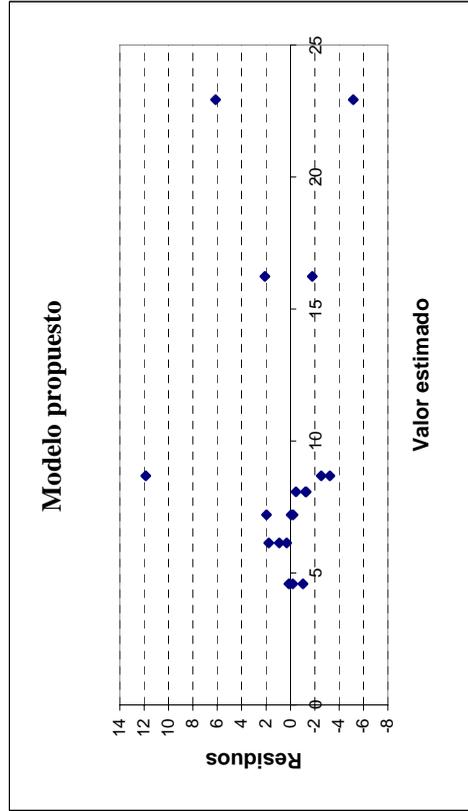
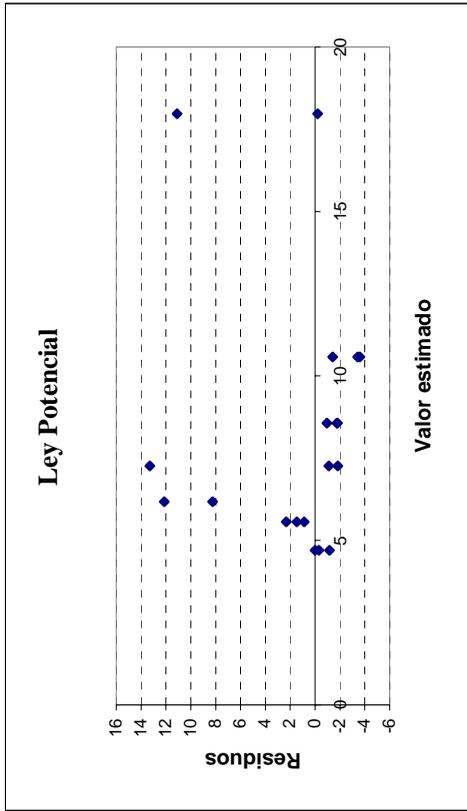
Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
185	3,85679903	1,658671	2,198128204	1,4907635	2,366035533
185	1,05387369	1,658671	-0,604797135	1,4907635	-0,436889806
185	0,87216285	1,658671	-0,786507978	1,4907635	-0,618600649
324	2,89361106	2,221064	0,672546608	2,9166878	-0,023076759
324	2,9870784	2,221064	0,766013944	2,9166878	0,070390577
324	2,8396415	2,221064	0,618577044	2,9166878	-0,077046323
510	2,15469906	2,813287	-0,658588244	2,7842665	-0,629567389
510	2,35545298	2,813287	-0,457834327	2,7842665	-0,428813471
510	2,7161488	2,813287	-0,09713851	2,7842665	-0,068117655
710	3,22194109	3,342548	-0,120607101	2,5034641	0,718477001
710	3,27194266	3,342548	-0,070605534	2,5034641	0,768478568
710	3,499142	3,342548	0,15659381	2,5034641	0,995677912
1068	3,36189605	4,134855	-0,772958462	3,9528126	-0,590916587
1068	3,78047471	4,134855	-0,354379796	3,9528126	-0,172337922
1068	2,50131721	4,134855	-1,633537297	3,9528126	-1,451495423
2276	10,3319647	6,132902	4,19906237	11,211663	-0,879698136
2276	12,8162884	6,132902	6,683386003	11,211663	1,604625497
2276	14,3614845	6,132902	8,228582132	11,211663	3,149821627
3041	3,83064978	7,13235	-3,301700364	4,6649281	-0,8342783
3041	3,97866999	7,13235	-3,153680155	4,6649281	-0,68625809
3041	6,03391272	7,13235	-1,098437429	4,6649281	1,368984636
	media		0,495815133	media	0,197399754



RESIDUOS - ESTACIÓN 38

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
212	4,71048113	4,698606	0,011874682	4,5918846	0,118596522
212	3,55159731	4,698606	-1,147009145	4,5918846	-1,040287306
212	4,38578689	4,698606	-0,312819567	4,5918846	-0,206097728
297	7,03591452	5,56839	1,467524636	6,1342561	0,901658456
297	7,89947747	5,56839	2,331087585	6,1342561	1,765221405
297	6,448018	5,56839	0,879628118	6,1342561	0,313761938
503	6,14364129	7,260981	-1,117339905	8,6766428	-2,533001551
503	5,4347898	7,260981	-1,826191392	8,6766428	-3,241853038
503	20,5589318	7,260981	13,29795064	8,6766428	11,88228899
699	6,77670928	8,570122	-1,793412277	8,0697346	-1,293025362
699	6,82908549	8,570122	-1,741036062	8,0697346	-1,240649147
699	7,61372182	8,570122	-0,956399731	8,0697346	-0,456012816
1061	9,16843514	10,57517	-1,406731186	7,1992457	1,969189424
1061	7,14679599	10,57517	-3,428370334	7,1992457	-0,052449725
1061	6,96935363	10,57517	-3,605812688	7,1992457	-0,229892079
2269	18,3150695	6,177807	12,13726256	16,233486	2,081583899
2269	14,433004	6,177807	8,255197073	16,233486	-1,800481584
3041	17,7697432	17,97448	-0,204736614	22,930208	-5,160465243
3041	29,0721594	17,97448	11,09767961	22,930208	6,14195098

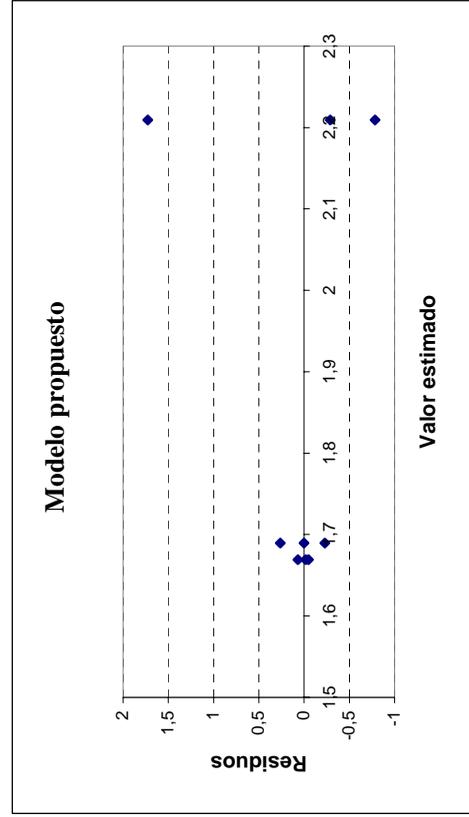
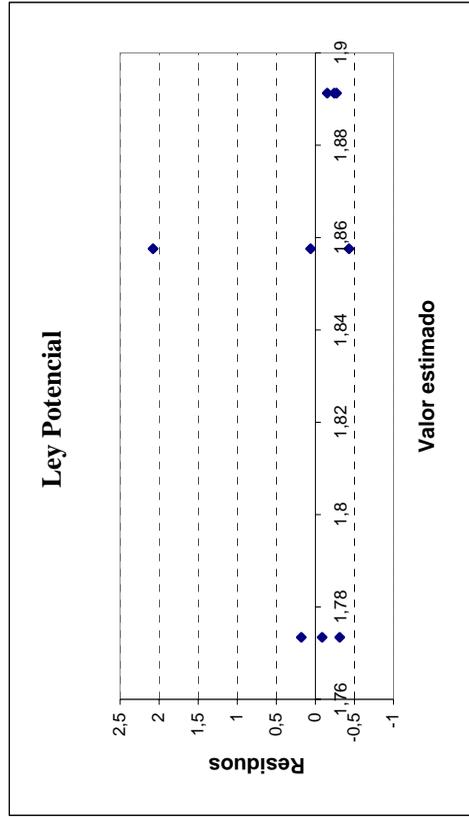
media 1,680965579 media 0,416844002



RESIDUOS - ESTACIÓN 39

Tiempo	$V_{corr} (\mu)$	$V_{pred 1}$	$V_{corr} - V_{pred 1} (\mu)$	$V_{pred 2}$	$V_{corr} - V_{pred 2} (\mu)$
1061	1,46088821	1,773455	-0,312566795	1,6894737	-0,228585474
1061	1,95411064	1,773455	0,180655634	1,6894737	0,264636954
1061	1,68922757	1,773455	-0,084227434	1,6894737	-0,000246114
2269	1,426388	1,857546	-0,431158375	2,2093746	-0,782986633
2269	1,92105382	1,857546	0,063507443	2,2093746	-0,288320815
2269	3,93578061	1,857546	2,078234235	2,2093746	1,726405977
3048	1,61908529	1,891262	-0,272177037	1,6691325	-0,050047221
3048	1,7392244	1,891262	-0,15203793	1,6691325	0,070091886
3048	1,65138031	1,891262	-0,239882015	1,6691325	-0,017752198

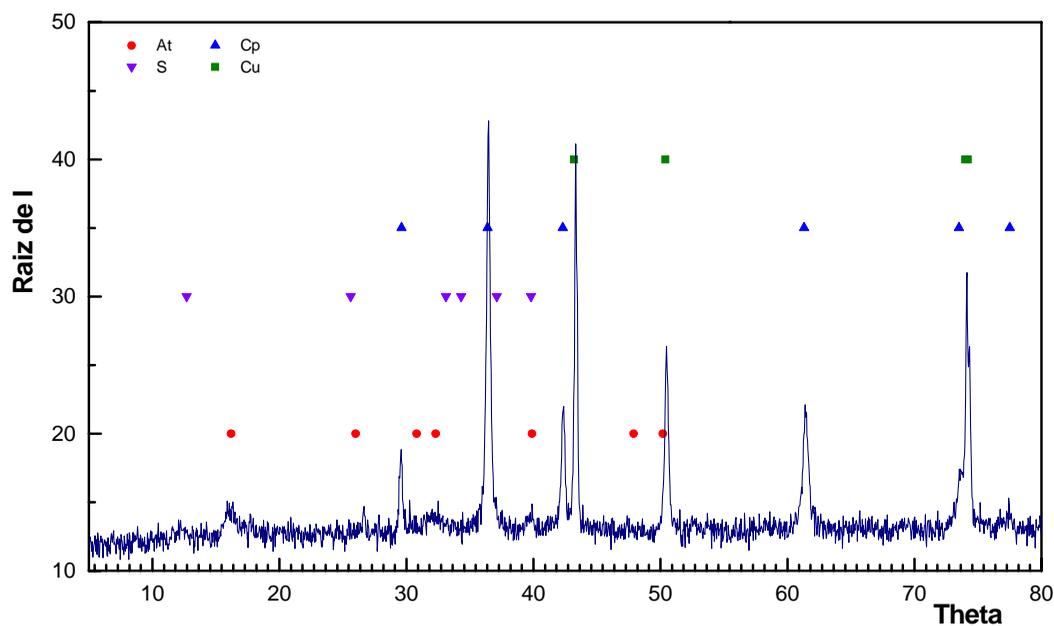
media 0,092260858 media 0,077021818



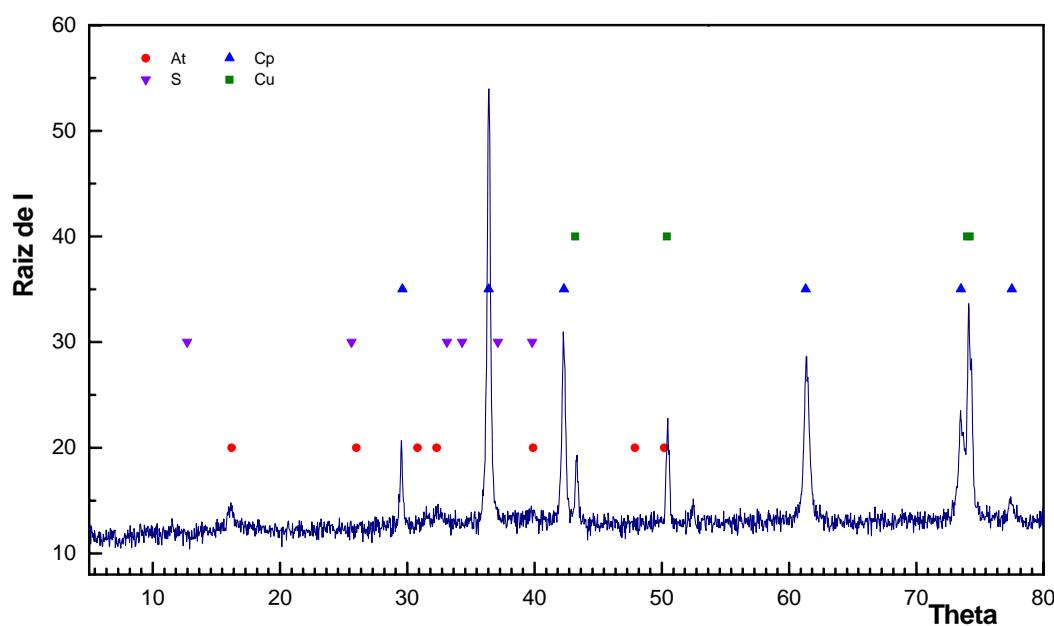
# ANEXO IV

---

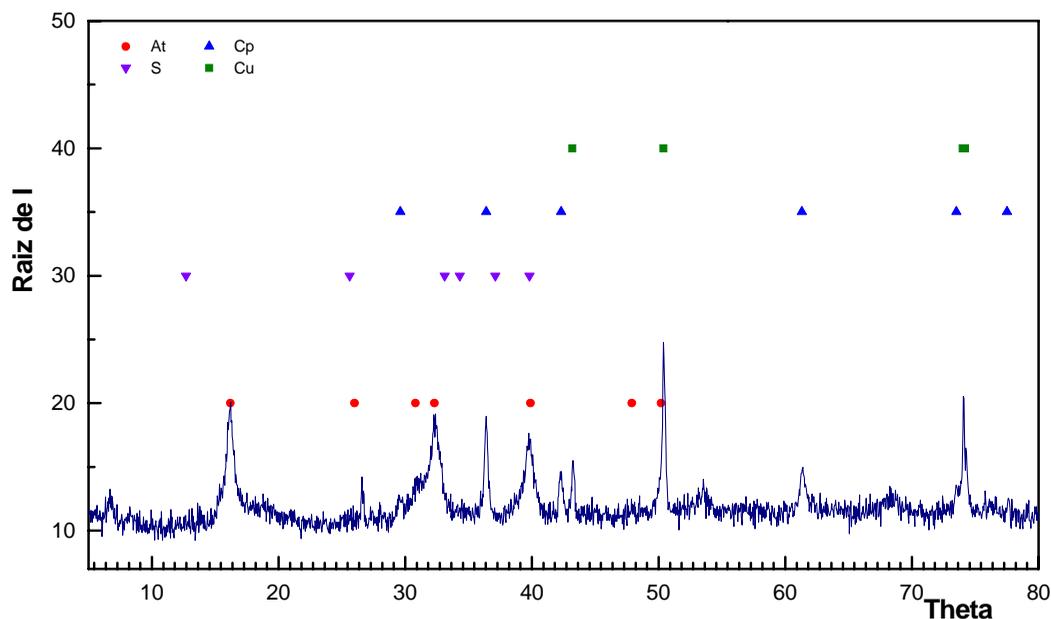
DIFRACTOGRAMAS DE LAS ESTACIONES ANALIZADAS.



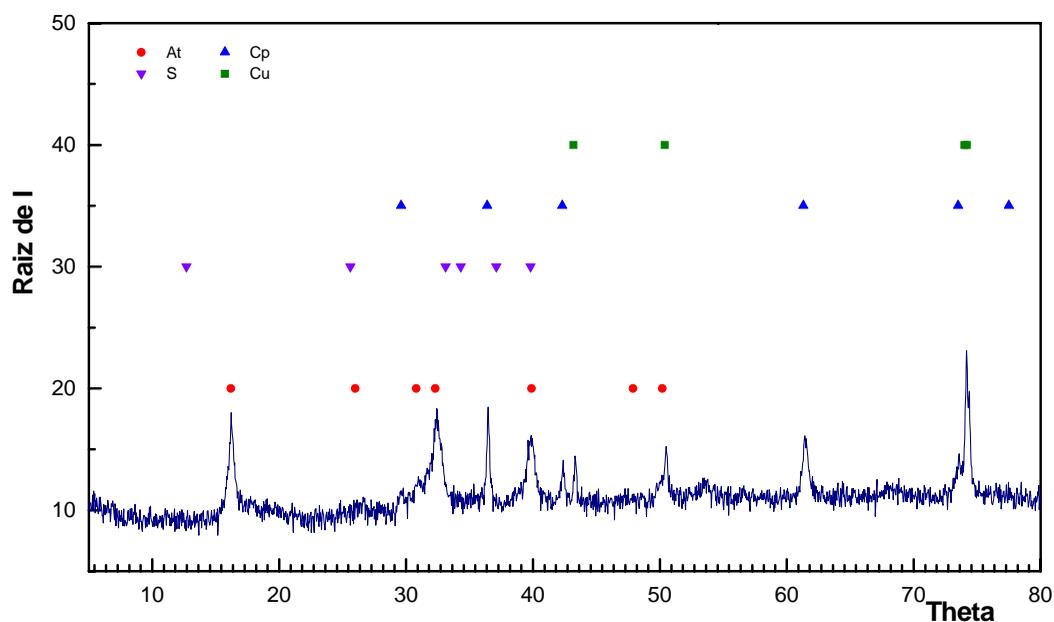
**Figura IV.1.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 1 (Puerto del Rosario – Fuerteventura).



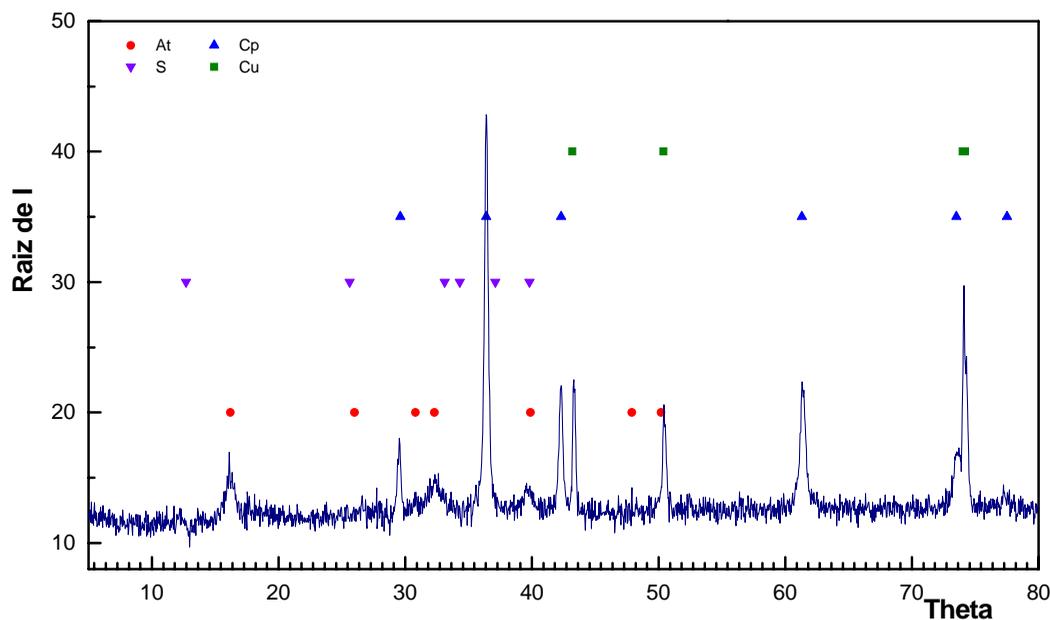
**Figura IV.2.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 1 (Puerto del Rosario – Fuerteventura).



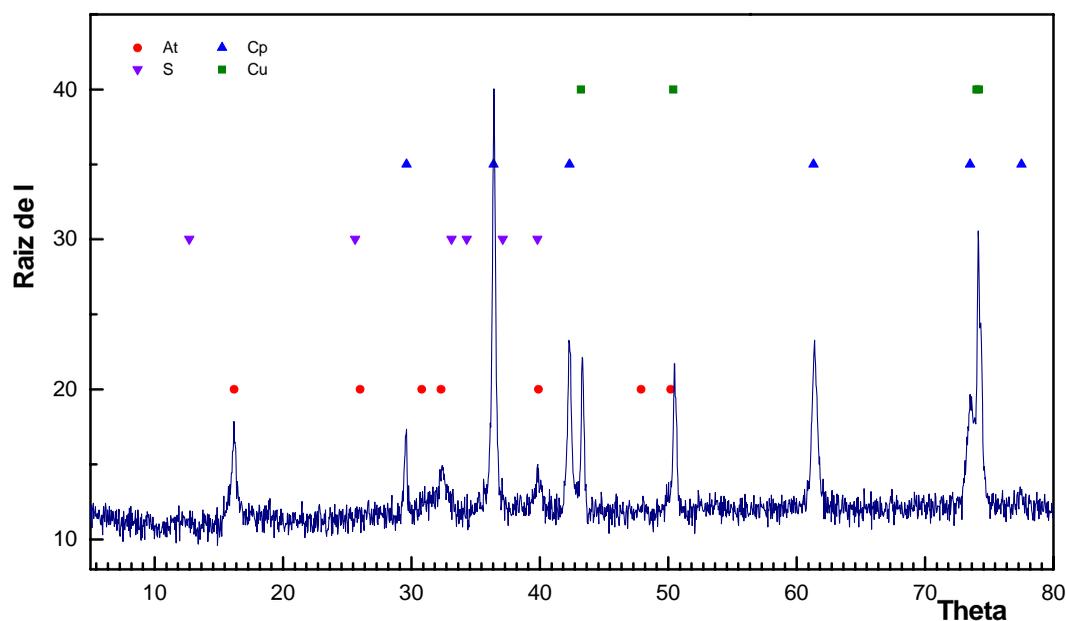
**Figura IV.3.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 3 (Central Térmica Las Salinas – Fuerteventura).



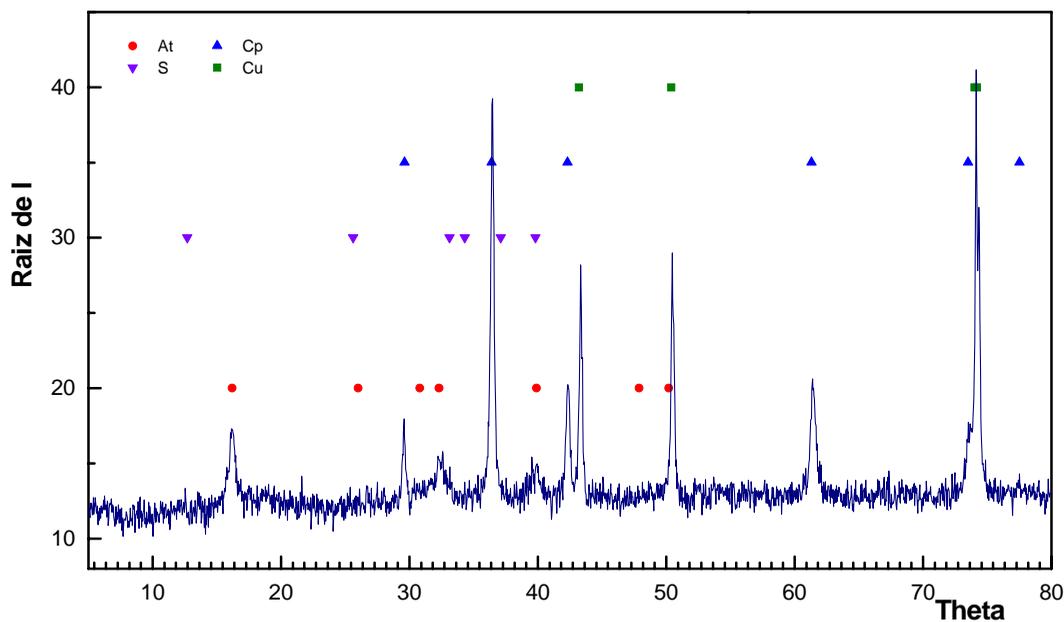
**Figura IV.4.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 3 (Central Térmica Las Salinas – Fuerteventura).



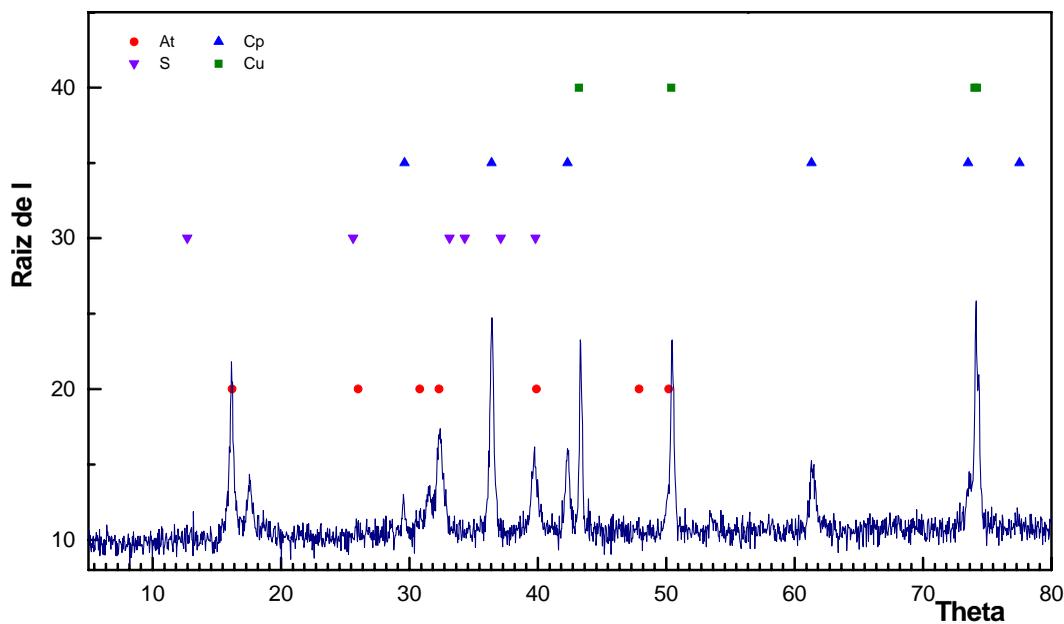
**Figura IV.5.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 5 (Tenencia de Alcaldía – Fuerteventura).



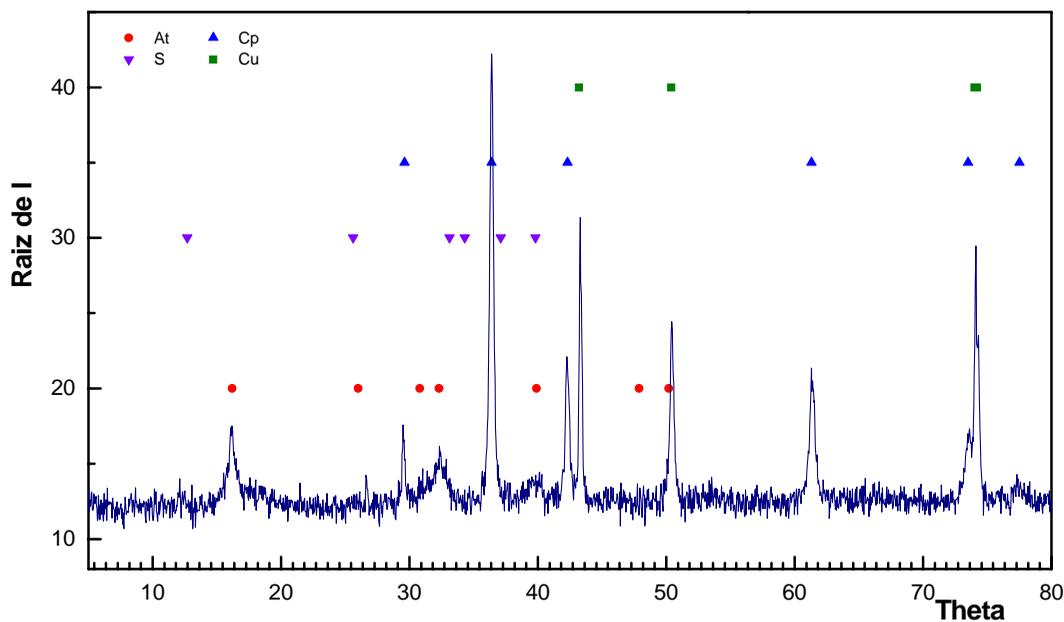
**Figura IV.6.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 5 (Tenencia de Alcaldía – Fuerteventura).



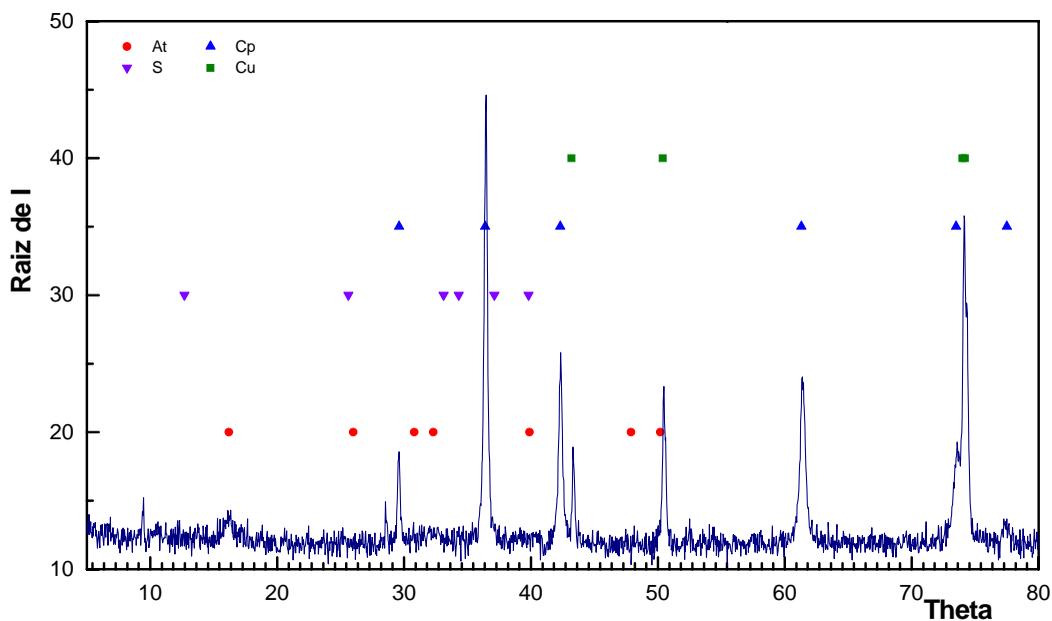
**Figura IV.7.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 9 (Aeropuerto de Lanzarote).



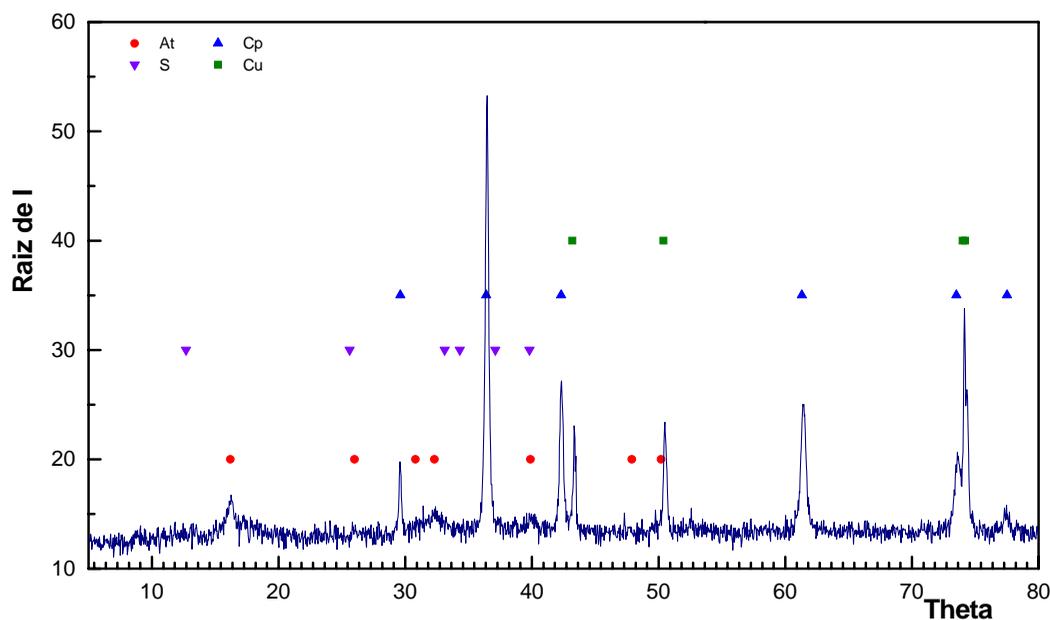
**Figura IV.8.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 9 (Aeropuerto de Lanzarote).



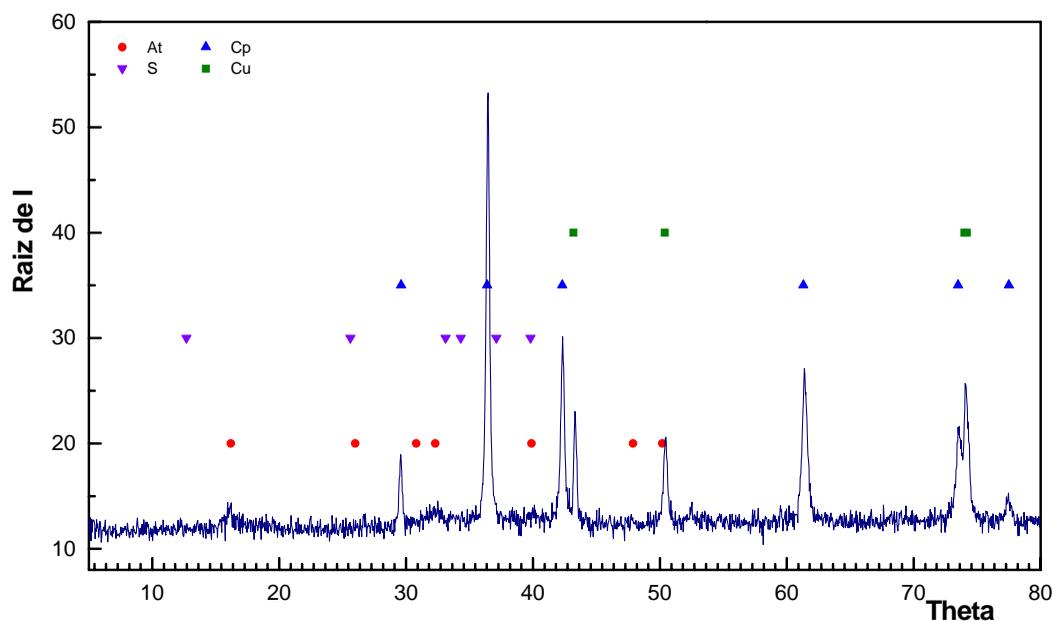
**Figura IV.9.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 10 (Ayuntamiento de Haría - Lanzarote).



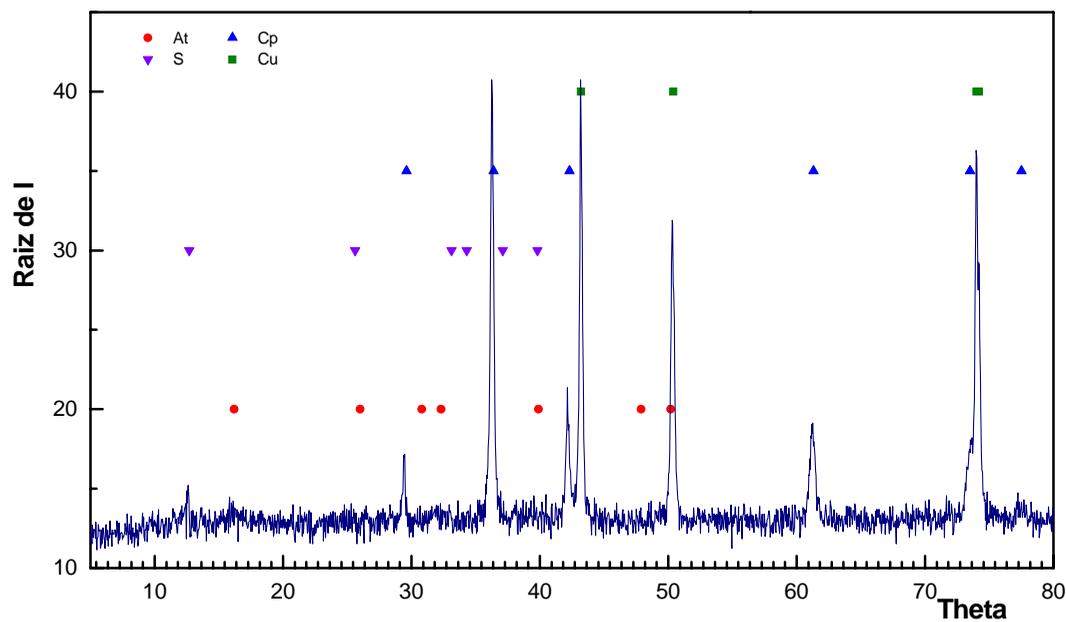
**Figura IV.10.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 10 (Ayuntamiento de Haría - Lanzarote).



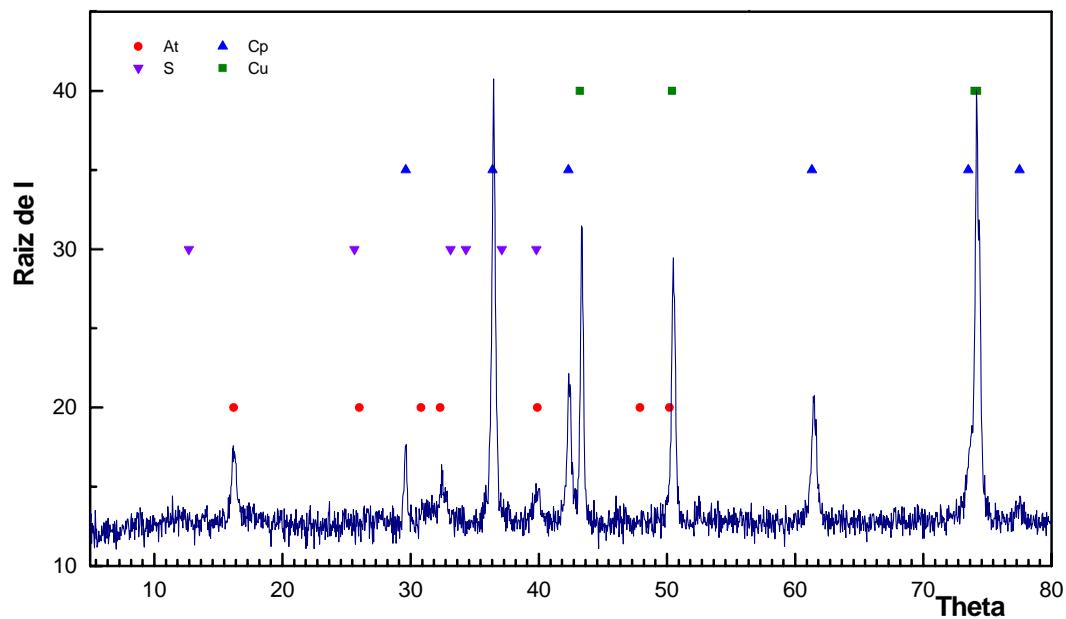
**Figura IV.11.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 11 (Almacén Municipal de Teguiise - Lanzarote).



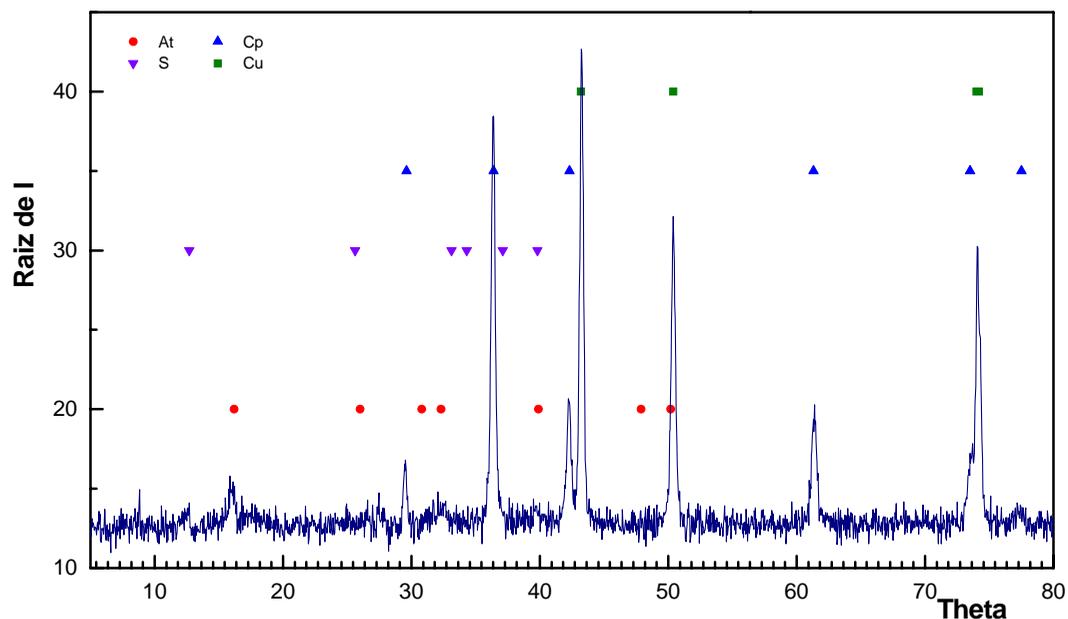
**Figura IV.12.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 11 (Almacén Municipal de Teguiise - Lanzarote).



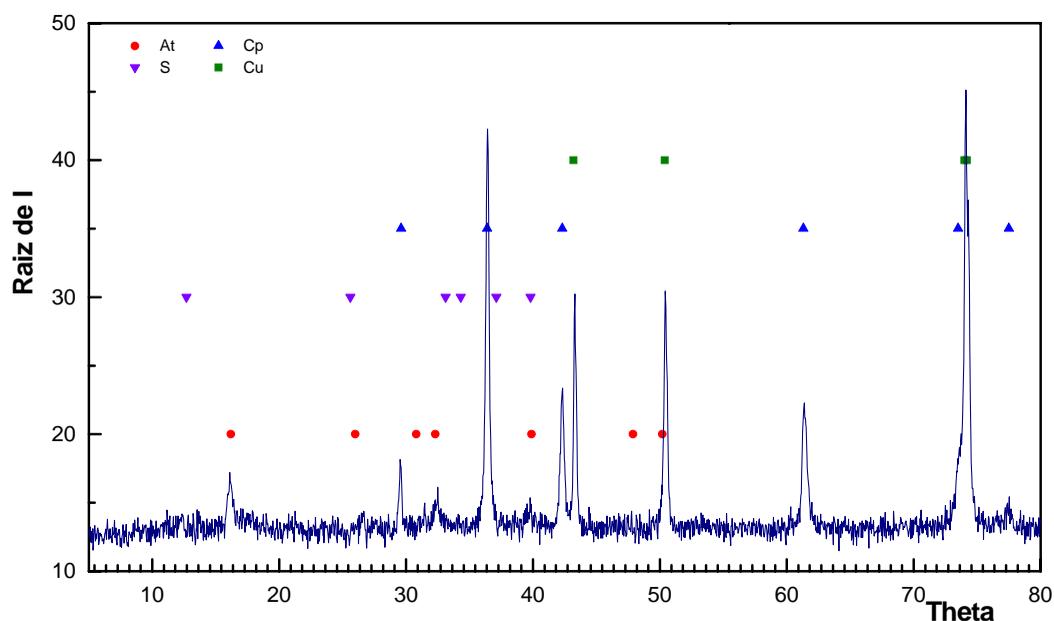
**Figura IV.13.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 14 (Ayuntamiento de Arucas – Gran Canaria).



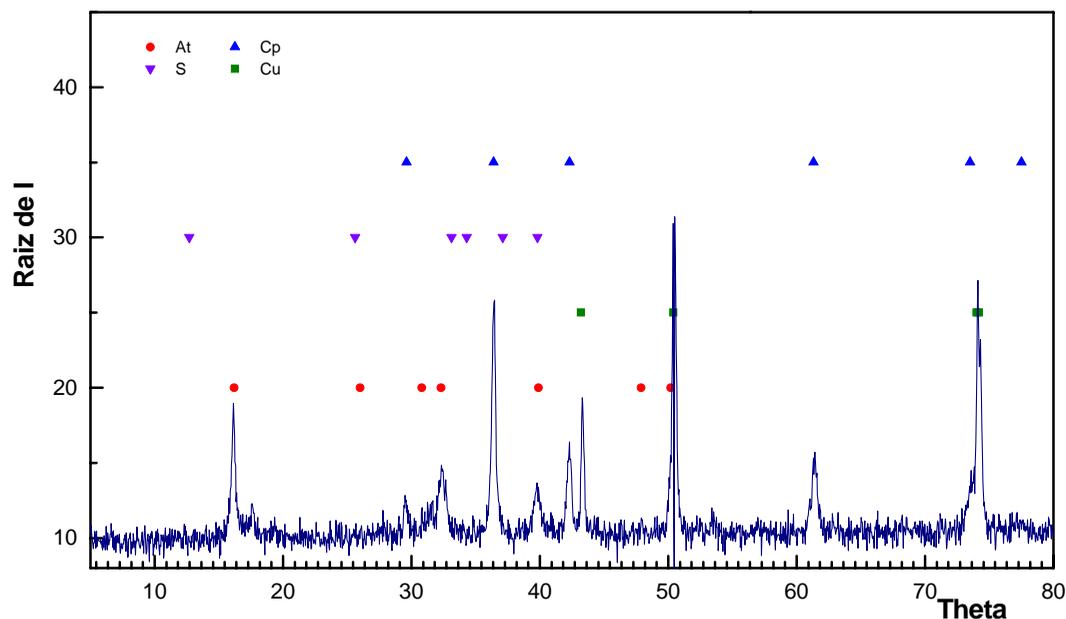
**Figura IV.14.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 14 (Ayuntamiento de Arucas – Gran Canaria).



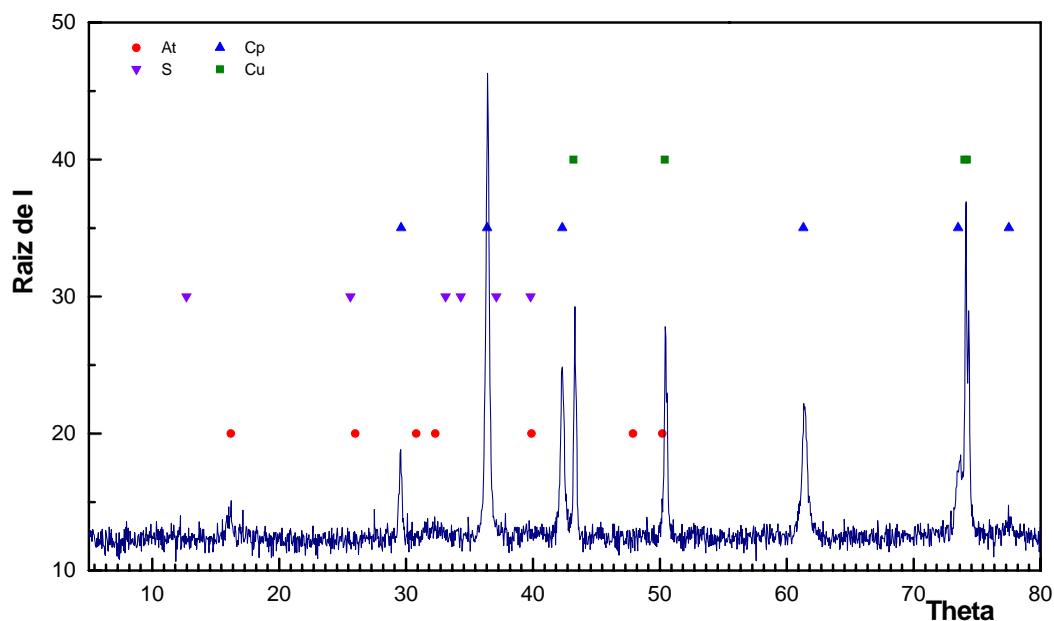
**Figura IV.15.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 16 (Ayuntamiento de Santa Brígida – Gran Canaria).



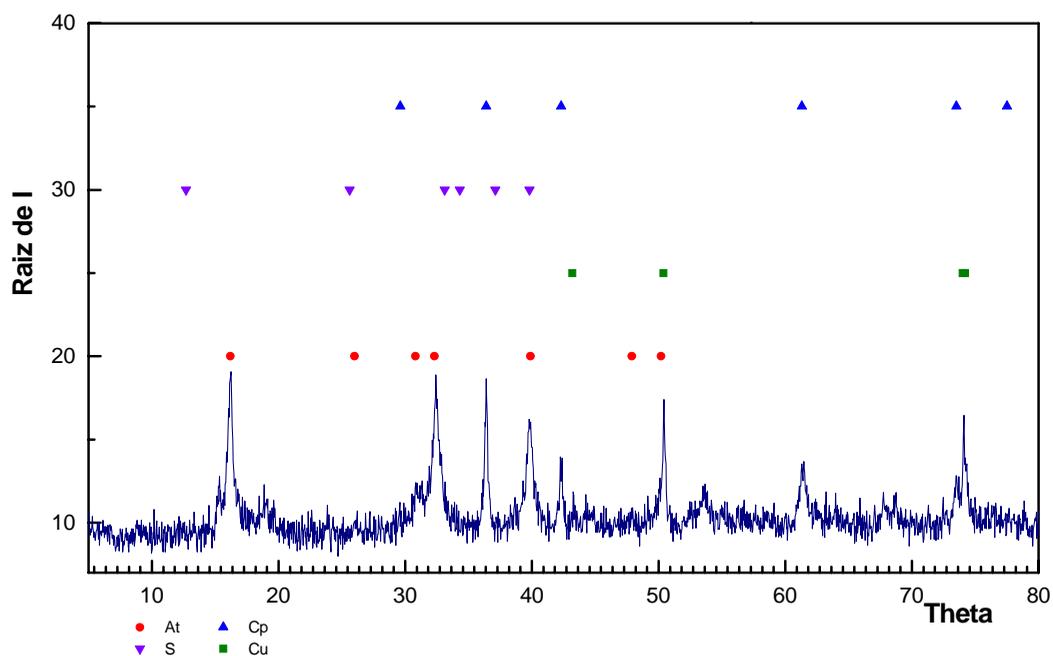
**Figura IV.16.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 16 (Ayuntamiento de Santa Brígida – Gran Canaria).



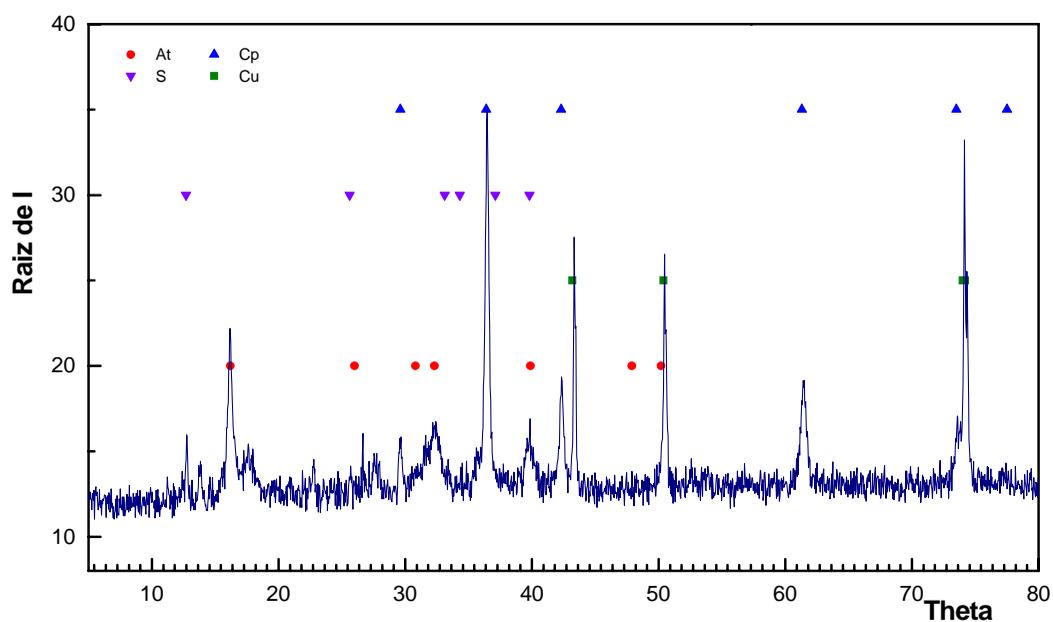
**Figura IV.17.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 17 (Cabildo Insular de Gran Canaria).



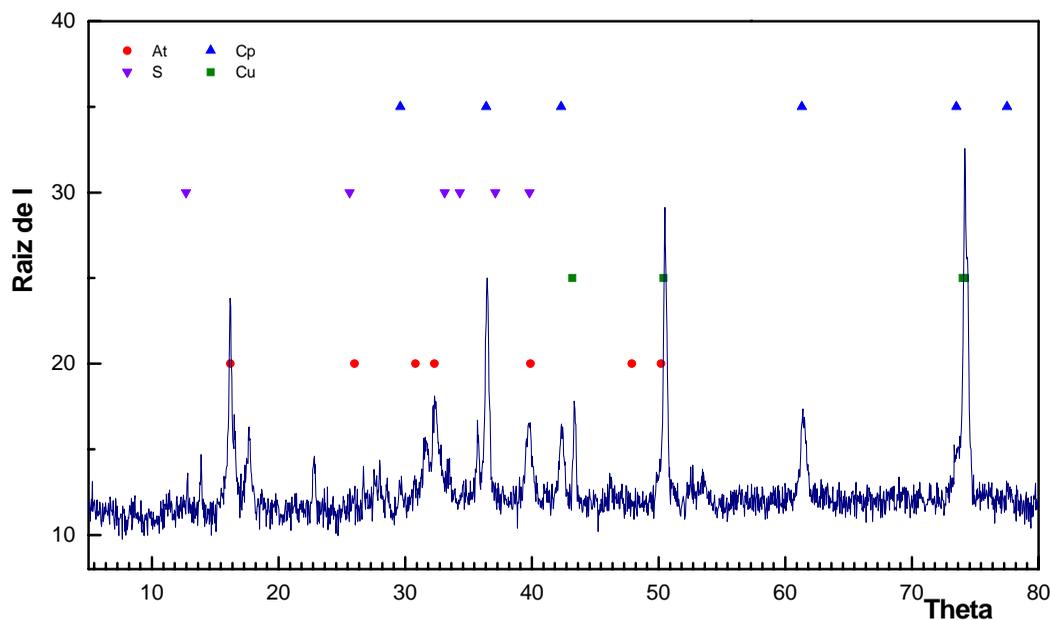
**Figura IV.18.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 19 (Ayuntamiento de San Nicolás - Gran Canaria).



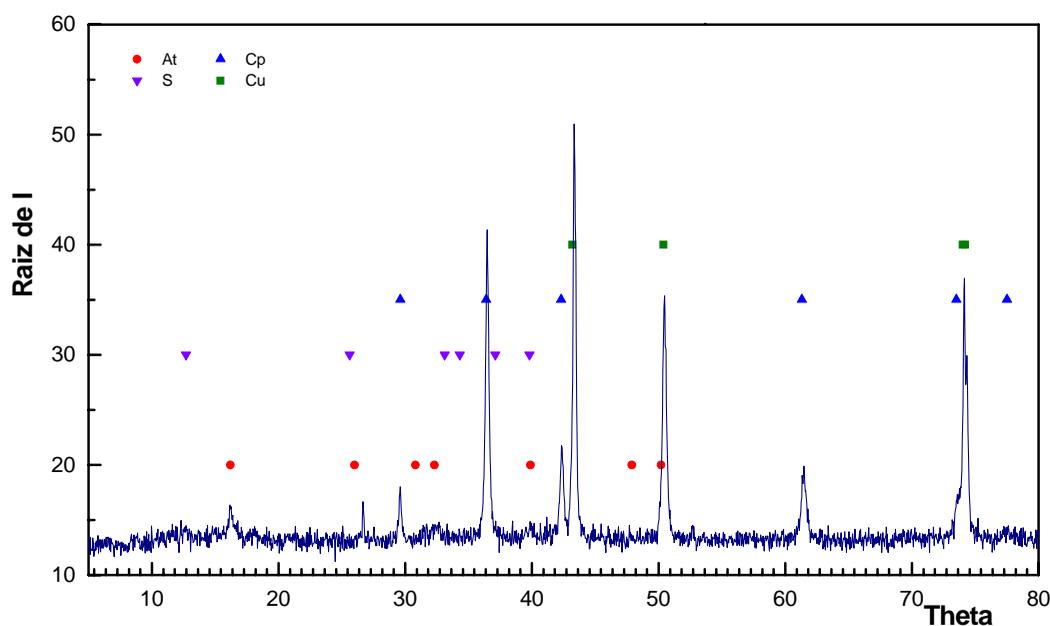
**Figura IV.19.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 20 (Ayuntamiento de Moya - Gran Canaria).



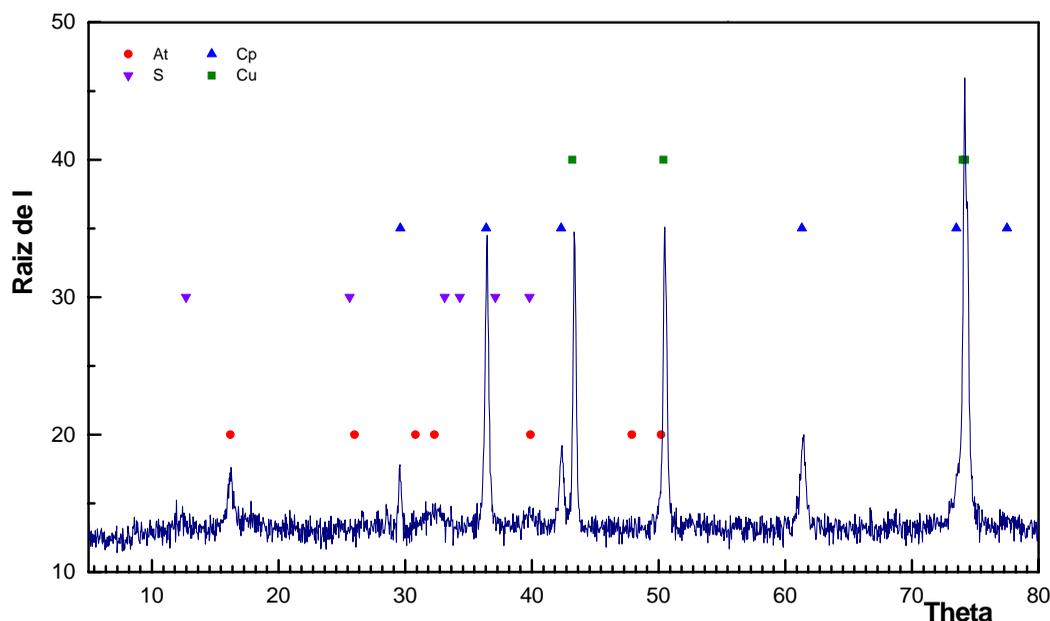
**Figura IV.20.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 24 (Plt. D. ELMASA San Agustín - Gran Canaria).



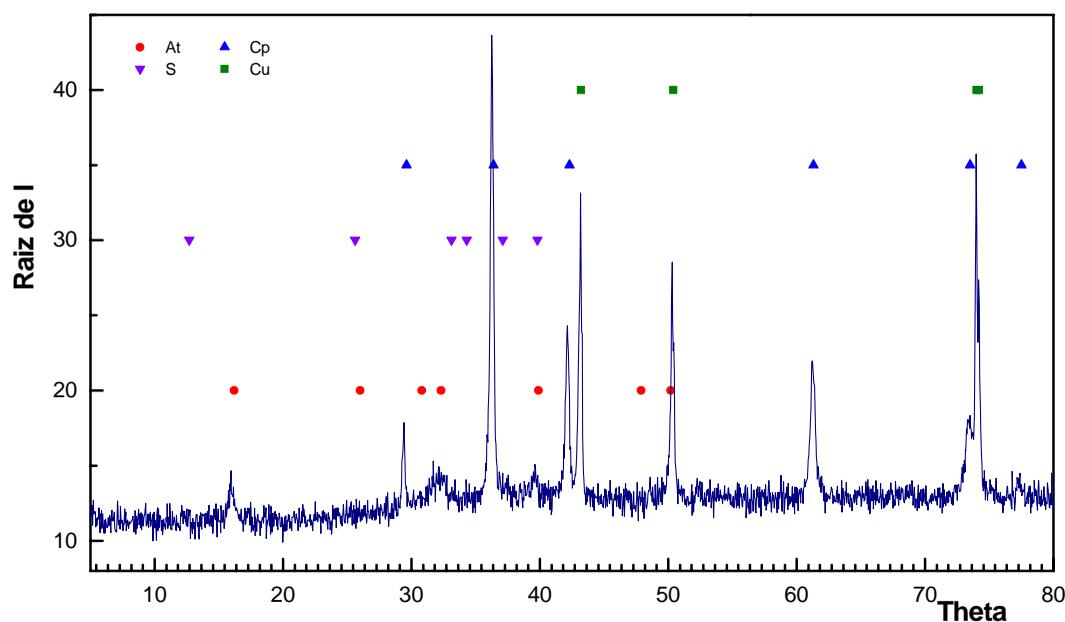
**Figura IV.21.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 24 (Plt. D. ELMASA San Agustín - Gran Canaria).



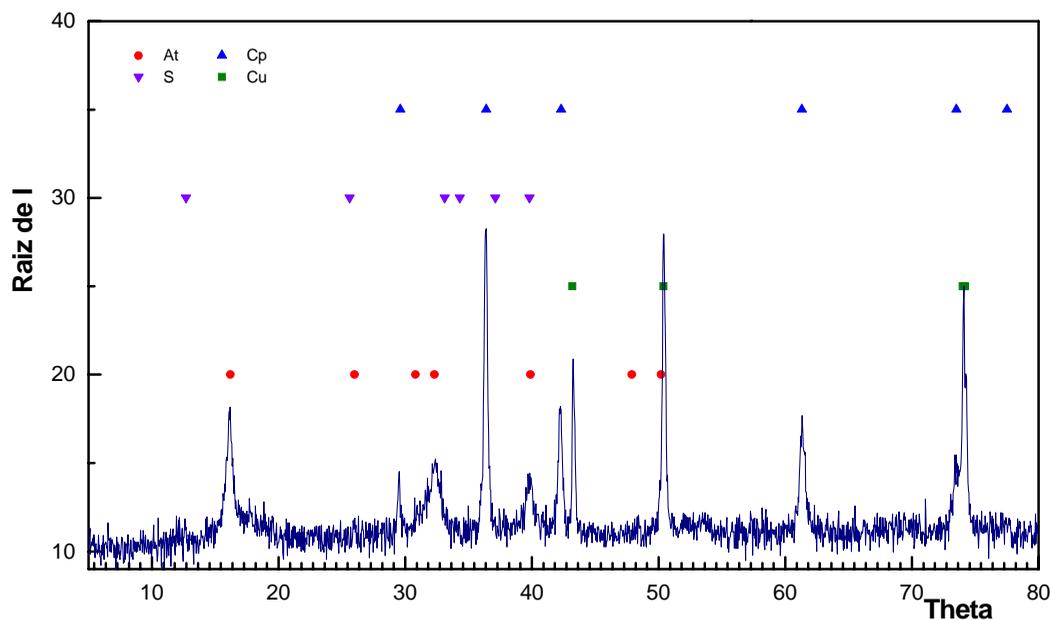
**Figura IV.22.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 26 (Colegio Público de San Mateo - Gran Canaria).



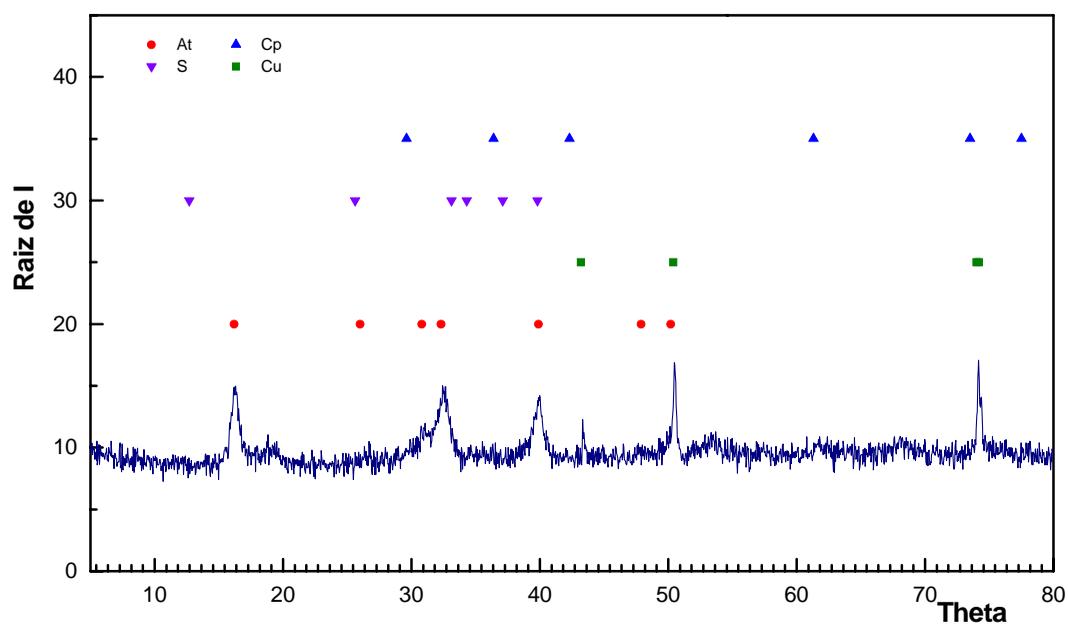
**Figura IV.23.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 26 (Colegio Público de San Mateo - Gran Canaria).



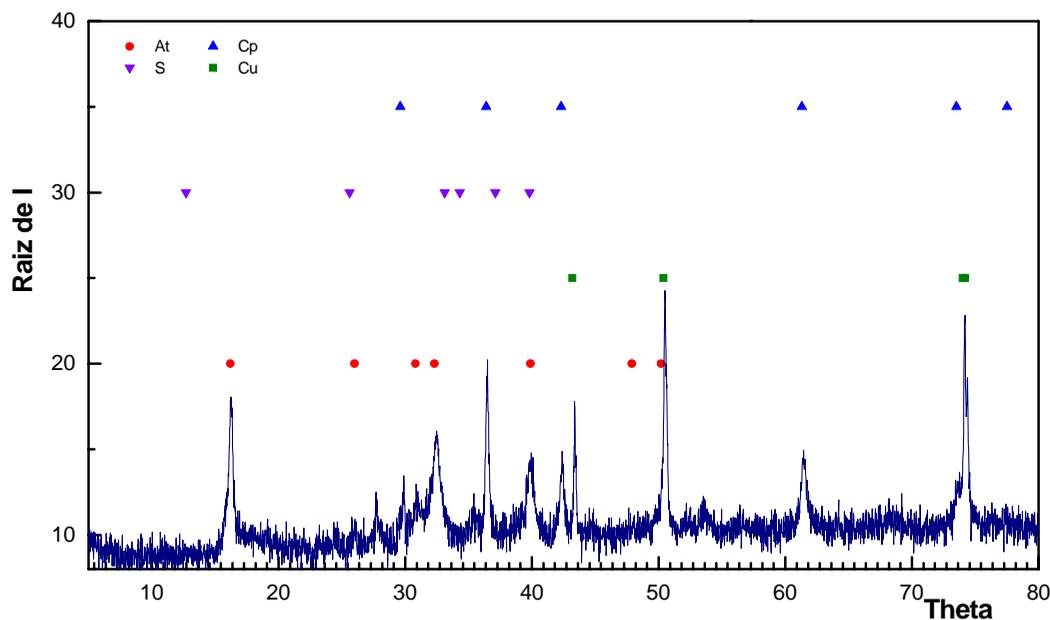
**Figura IV.24.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 28 (Oficinas Municipales - Gran Canaria).



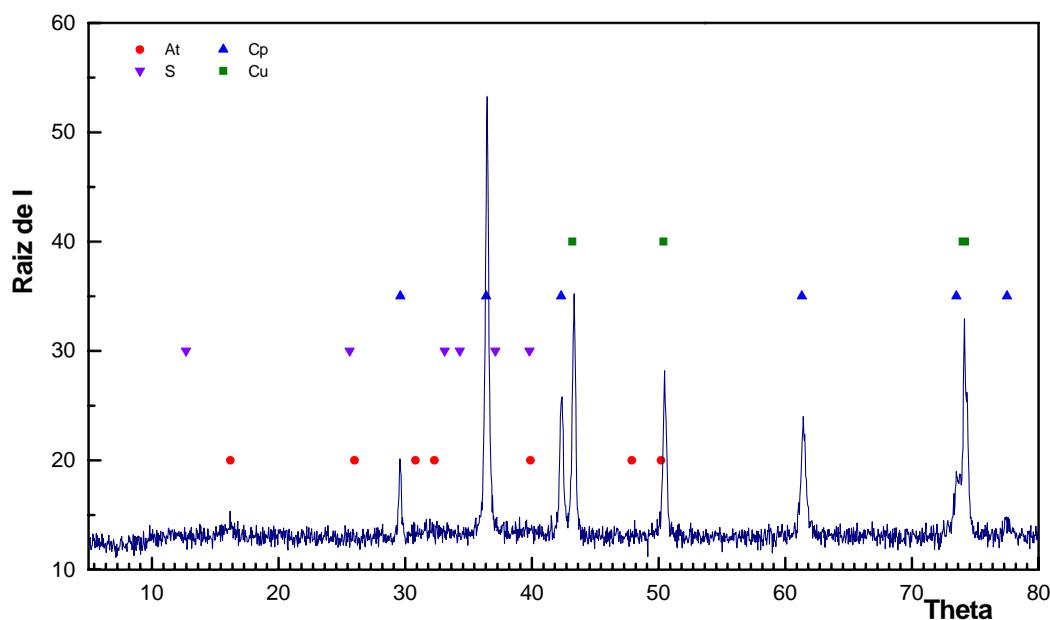
**Figura IV.25.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 28 (Oficinas Municipales - Gran Canaria).



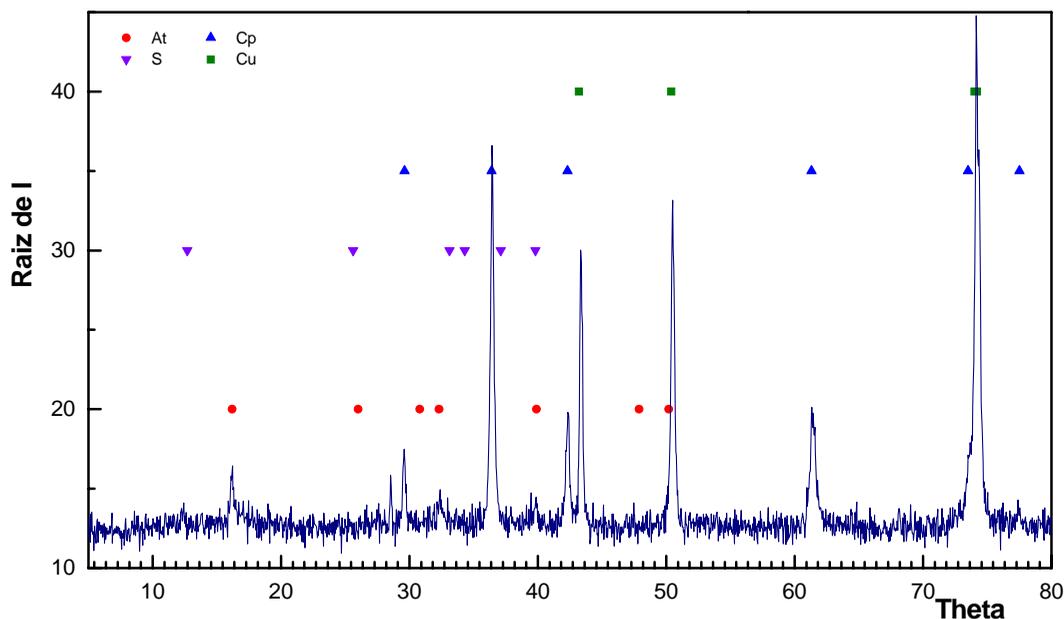
**Figura IV.26.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 29 (Almacén Municipal de Santa Lucía - Gran Canaria).



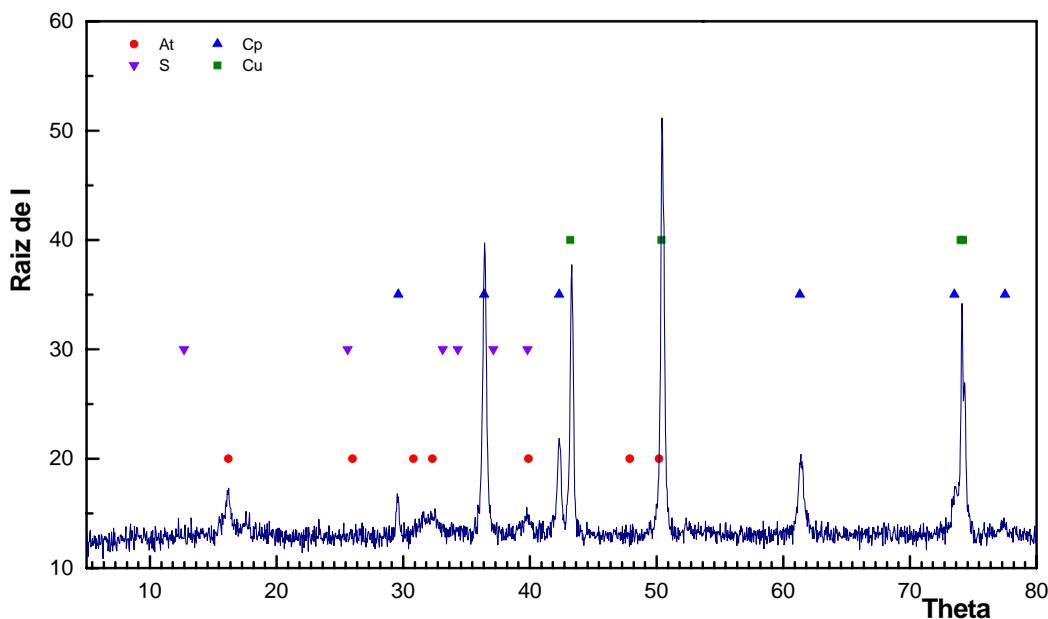
**Figura IV.27.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 30 (Colegio Público de Mogán - Gran Canaria).



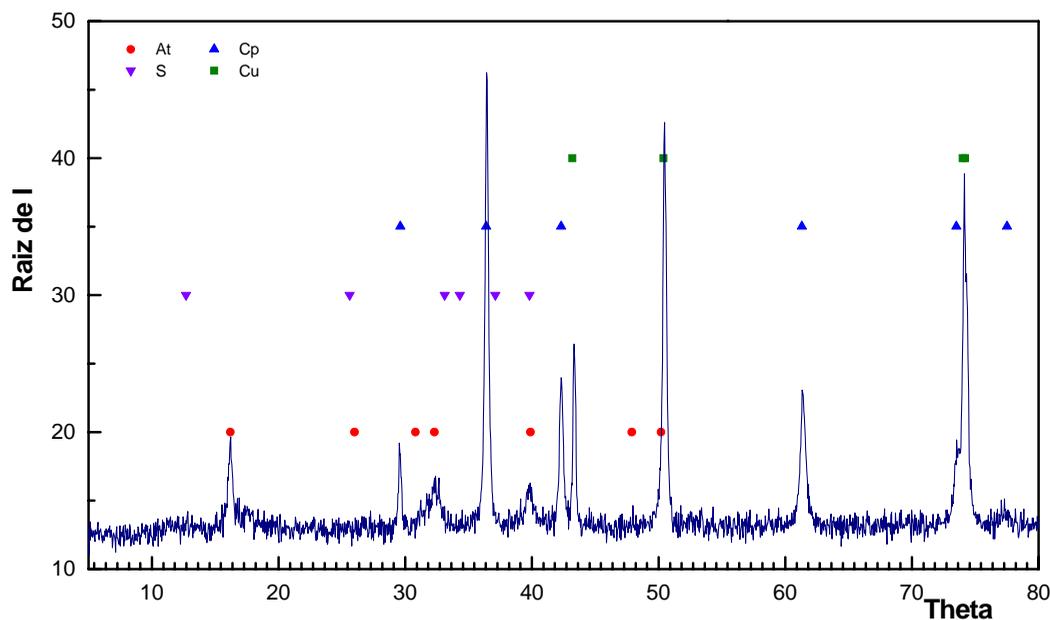
**Figura IV.28.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 31 (Ayuntamiento de Agaete - Gran Canaria).



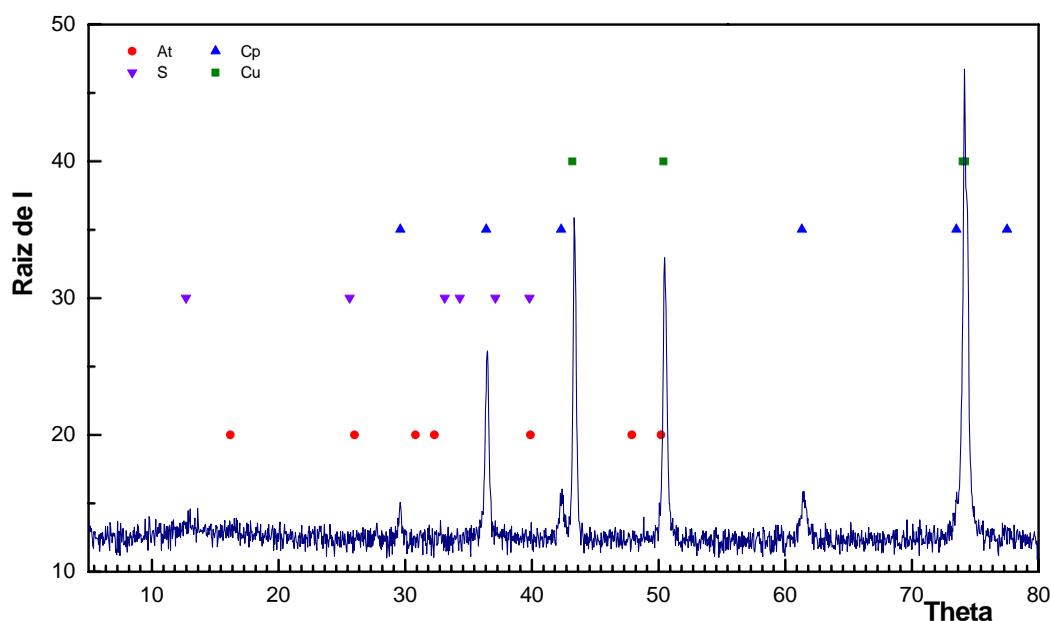
**Figura IV.29.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 32 (C.P. del Valle de Agaete - Gran Canaria).



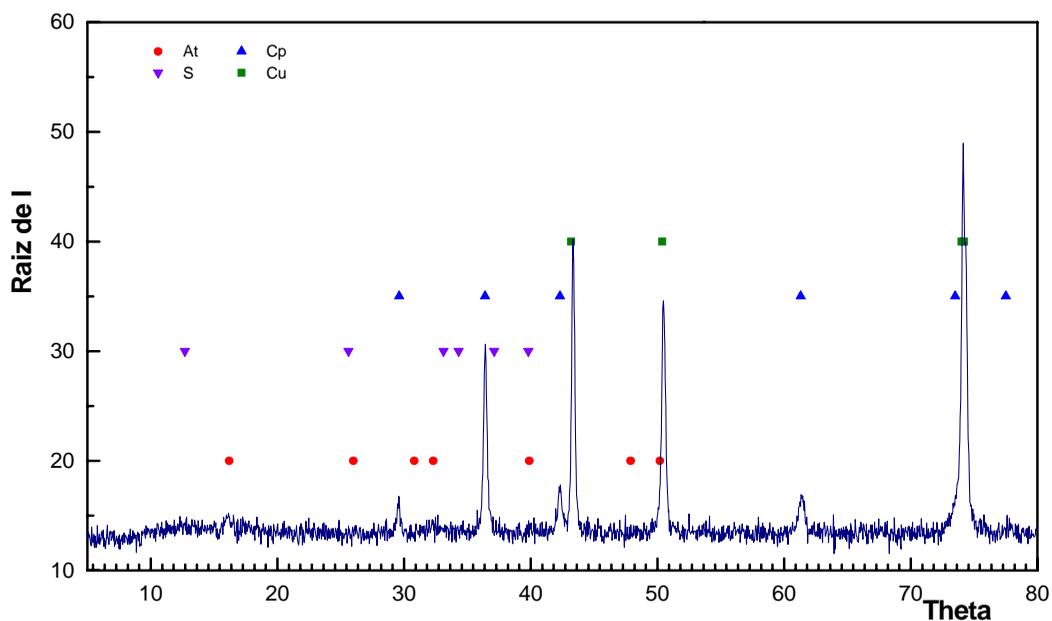
**Figura IV.30.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 33 (Ayuntamiento de Agüimes - Gran Canaria).



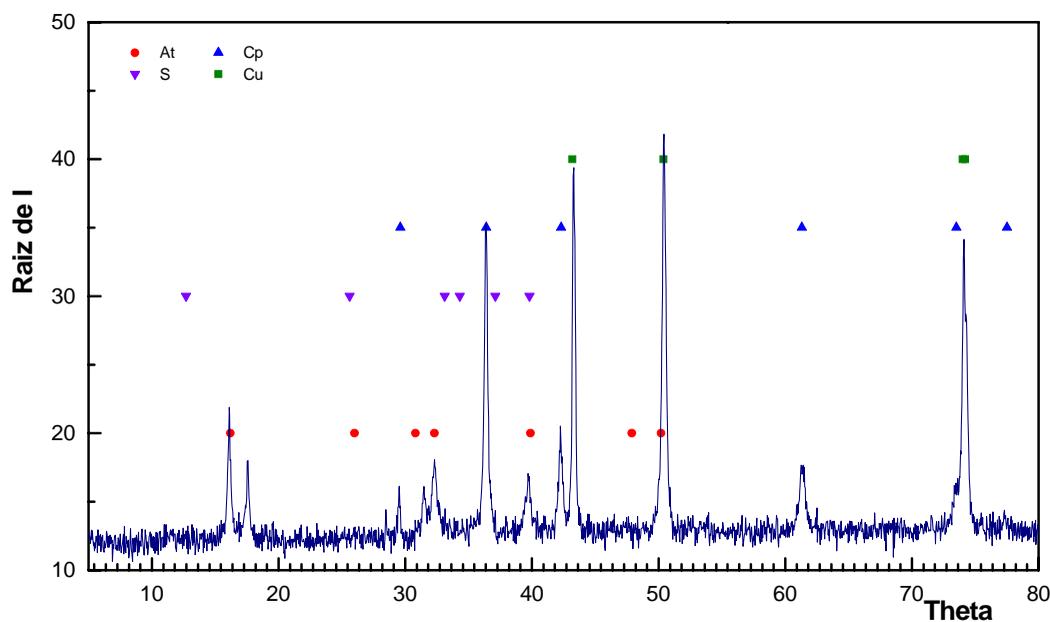
**Figura IV.31.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 33 (Ayuntamiento de Agüimes - Gran Canaria).



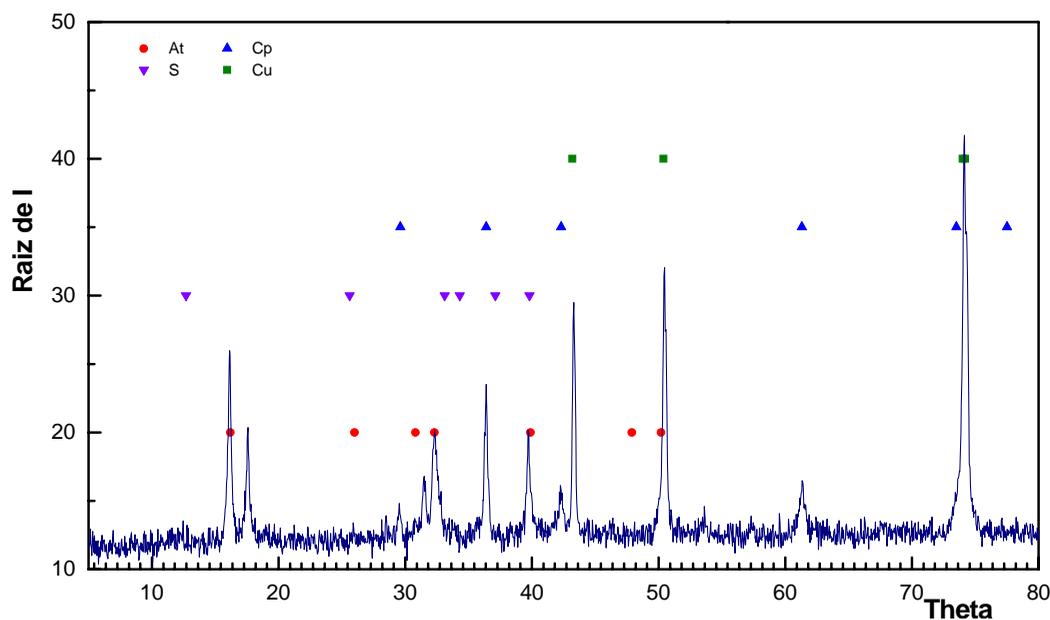
**Figura IV.32.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 35 (Ayuntamiento de Teror - Gran Canaria).



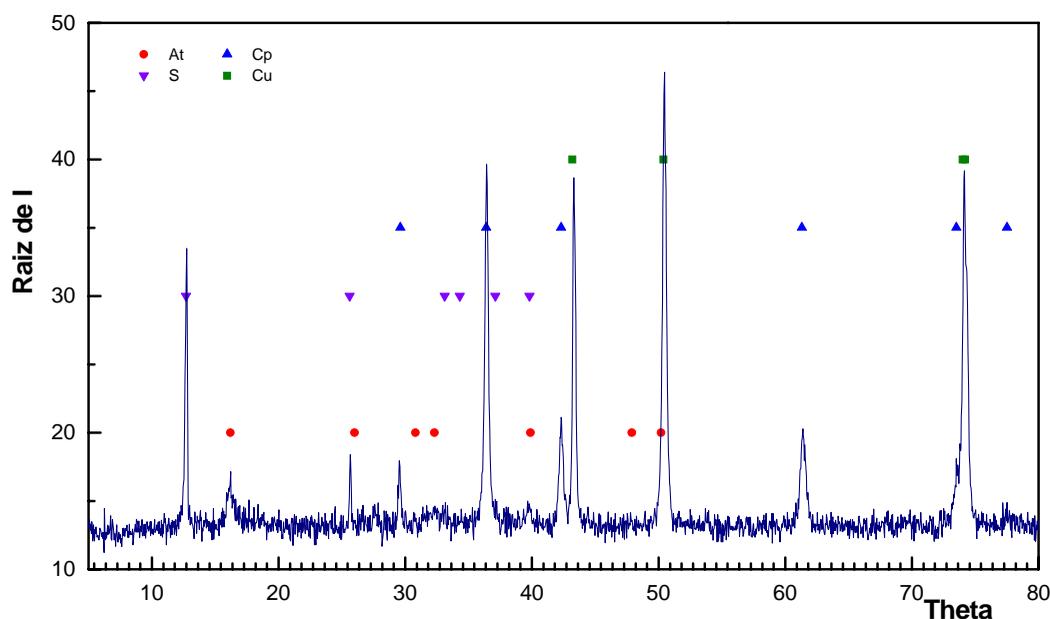
**Figura IV.33.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 35 (Ayuntamiento de Teror - Gran Canaria).



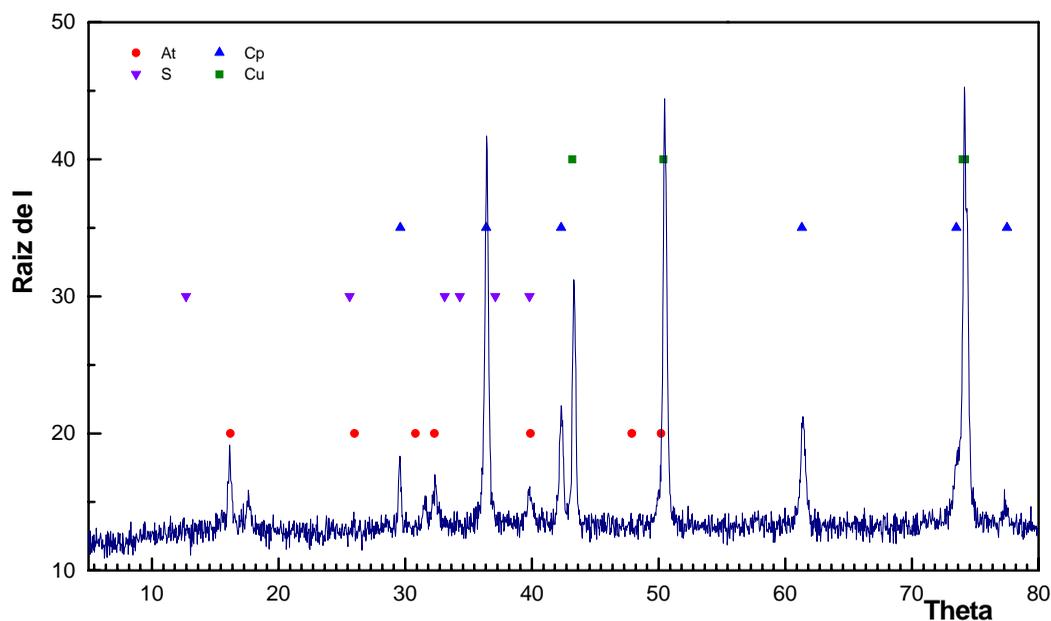
**Figura IV.34.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 36 (Centro Cívico del Polígono de Jinámar - Gran Canaria).



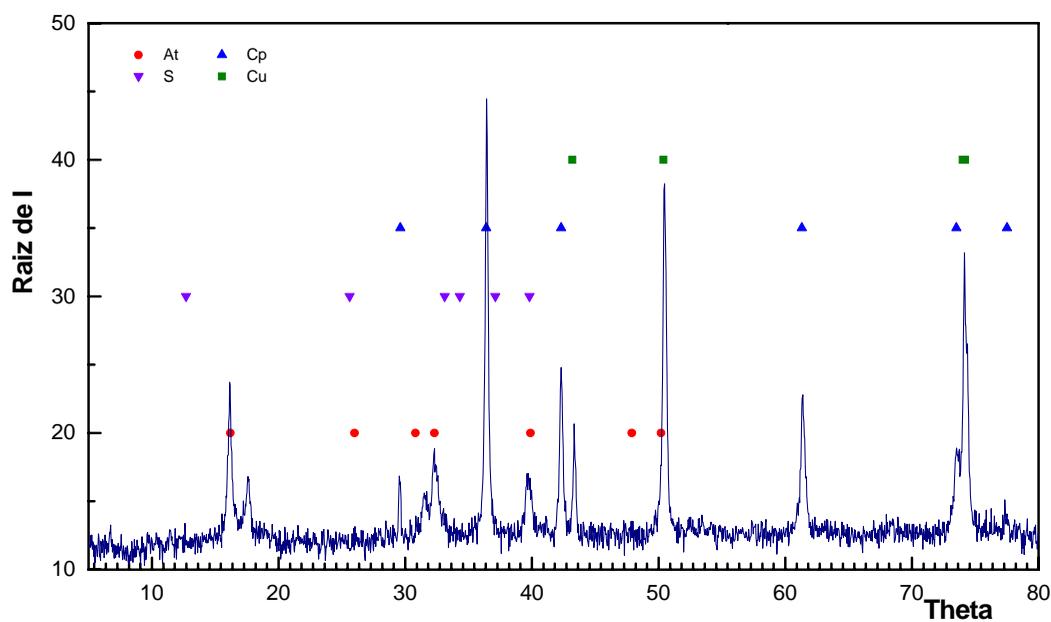
**Figura IV.35-** Diffractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 36 (Centro Cívico del Polígono de Jinámar - Gran Canaria).



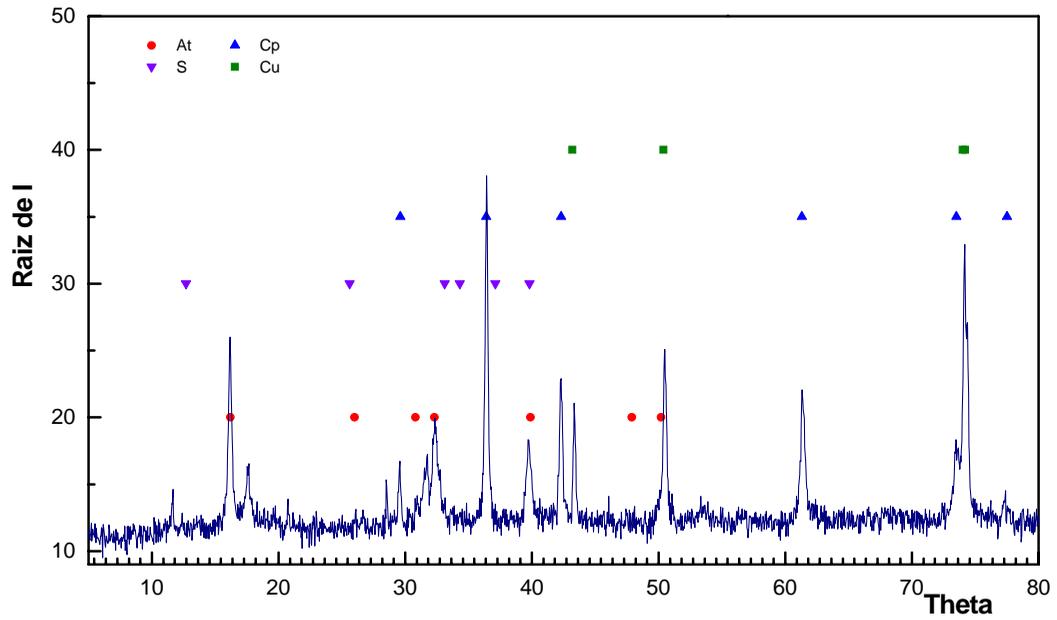
**Figura IV.36.-** Diffractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 37 (Edificio Departamental de Ingeniería, Campus Universitario de Tafira - Gran Canaria).



**Figura IV.37.-** Diffractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 37 (Edificio Departamental de Ingeniería, Campus Universitario de Tafira - Gran Canaria).



**Figura IV.38.-** Diffractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 38 (FEDEX Muelle de la Luz - Gran Canaria).



**Figura IV.39.-** Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 38 (FEDEX Muelle de la Luz - Gran Canaria).

# Índice de Tablas

---

Tabla 2.1.- Potenciales estándar de electrodo, a 25°C y frente al electrodo normal de hidrógeno. ....	44
Tabla 2.2.- Potenciales estándar de electrodos de referencia. ....	44
Tabla 3.1.- Composición porcentual de las probetas de cobre. ....	68
Tabla 4.1.- Productos de corrosión del cobre formados después de 1 y 2 años de exposición en diferentes estaciones de corrosión. ....	91
Tabla 4.2.- Valores de $E_{corr}$ y Tafel en disoluciones de NaCl. ....	93
Tabla 4.3: Valores de $E_{corr}$ y Tafel en disoluciones de $Na_2SO_4$ . ....	100
Tabla 4.4: Valores de $E_{corr}$ y Tafel en disoluciones mezcla de NaCl y $Na_2SO_4$ . ....	107
Tabla 5.1.- Clasificación del tiempo de humectación. ....	128
Tabla 5.2.- Clasificación de la contaminación por sustancias que contienen azufre representadas por $SO_2$ . ....	129
Tabla 5.3.- Clasificación de la contaminación por salinidad en el aire representada por los cloruros. ....	131
Tabla 5.4.- Categorías de corrosividad de la atmósfera. ....	131
Tabla 5.5.- Velocidades de corrosión ( $r_{corr}$ ) para el primer año de exposición del cobre para las diferentes categorías de corrosividad. ....	132
Tabla 5.6.- Categorías de corrosividad estimadas de la atmósfera. ....	133
Tabla 5.7.- Categorías de corrosividad obtenidas para las estaciones de la isla de Fuerteventura. ....	134
Tabla 5.8.- Categorías de corrosividad obtenidos para las estaciones de corrosión de la isla de Lanzarote. ....	135
Tabla 5.9.- Categorías de corrosividad obtenidos para las estaciones de corrosión de la isla de Gran Canaria. ....	135

Tabla 6.1.-	Resultados de la regresión para la isla de Fuerteventura. ....	143
Tabla 6.2.-	Resultados de la regresión para la isla de Lanzarote. ....	143
Tabla 6.3.-	Resultados de la regresión para la isla de Gran Canaria. ....	144
Tabla 6.4.-	Valores obtenidos al modelar con la ley bilogarítmica las estaciones agrupadas por categorías de corrosividad atendiendo a su pérdida de peso. ....	146
Tabla 6.5.-	Valores obtenidos al modelar con la ley bilogarítmica las estaciones agrupadas por categorías de corrosividad atendiendo a los parámetros ambientales. ....	146
Tabla 6.6.-	Valores obtenidos al modelar con la ley bilogarítmica el conjunto de las estaciones de la provincia de Las Palmas. ....	147
Tabla 6.7.-	Valores de los parámetros del modelo matemático ensayado, obtenidos para la isla de Fuerteventura. ....	149
Tabla 6.8.-	Valores de los parámetros del modelo matemático ensayado, obtenidos para la isla de Lanzarote. ....	150
Tabla 6.9.-	Valores de los parámetros del modelo matemático ensayado, obtenidos para la isla de Gran Canaria. ....	150
Tabla 6.10.-	Valores obtenidos del análisis con el modelo propuesto del comportamiento del cobre en las estaciones de medida, agrupadas por categorías según pérdida de peso. ....	153
Tabla 6.11.-	Valores obtenidos del análisis con el modelo propuesto del comportamiento del cobre en las estaciones de medida, agrupadas por categorías según parámetros ambientales. ....	153
Tabla 6.12.-	Valores obtenidos al modelar el comportamiento del cobre en el conjunto de las estaciones de la provincia de Las Palmas con el modelo propuesto. ....	154
Tabla 6.13.-	Valores obtenidos del Test de LOF para cada estación utilizando como modelo matemático la ley potencial, con un nivel de confianza de 0,05. ....	158

Tabla 6.14.- Valores obtenidos del Test de LOF para el conjunto de estaciones agrupadas por categorías de corrosividad, utilizando como modelo matemático la ley potencial. .... 159

Tabla 6.15.- Valores obtenidos del Test de LOF para el conjunto de estaciones la provincia de Las Palmas, utilizando como modelo matemático la ley potencial y con un nivel de confianza de 0,05. .... 160

# Índice de Figuras

---

Figura 1.1.- Estimación de pérdidas por corrosión en España aplicando los criterios utilizados en el informe Hoar. ....	5
Figura 1.2.- Representación esquemática de algunos de los distintos tipos de corrosión de acuerdo a la morfología de ataque. ....	8
Figura 1.3.- Corrosión del acero en presencia de partículas de NaCl en función de la humedad relativa (Preston y Sanyal, 1956). ....	18
Figura 2.1.- Esquema del funcionamiento de una pila local de corrosión. ....	37
Figura 2.2.- Esquema del funcionamiento de una pila local de corrosión. ....	37
Figura 2.3.- Diagrama de energía libre para un proceso en general (diagrama a) y el de un metal con tendencia a corroerse (diagrama b). ....	39
Figura 2.4.- Determinación potencial de electrodo $E^0 = E^0 \text{Me}^{z+}/\text{Me} - E^0 \text{H}^+/\text{H}_2$ . ....	43
Figura 2.5.- Construcción de un diagrama de Pourbaix, con los tres tipos fundamentales de líneas que lo constituyen. ....	45
Figura 2.6.- Diagrama de Pourbaix para el hierro en agua a 25 °C. ....	47
Figura 2.7.- Curvas de densidad de corriente-potencial ( $i$ vs $E$ ) para procesos controlados por la transferencia electrónica. ....	52
Figura 2.8.- Curvas $\log i$ vs $E$ para procesos controlados por transferencia electrónica. ....	52
Figura 2.9.- Curva de polarización catódica para un proceso controlado por difusión. ....	55
Figura 2.10.- Representación esquemática del log de la densidad de corriente frente al potencial. ....	57
Figura 2.11.- Diagrama de polarización, en coordenadas semilogarítmicas, para un electrodo mixto, con gran diferencia entre los potenciales de equilibrio de las reacciones parciales. ....	60

Figura 3.1.- Distribución de las estaciones de corrosión en la Isla de Fuerteventura. ..	64
Figura 3.2.- Distribución de las estaciones de corrosión en la Isla de Lanzarote. ....	65
Figura 3.3.- Distribución de las estaciones de corrosión en la Isla de Gran Canaria. ..	65
Figura 3.4.- Vista frontal de la estructura metálica y de las probetas objeto de estudio. ....	66
Figura 3.5.- Vista trasera de la estructura metálica donde podemos apreciar el captador de cloruros y la caseta de madera donde está ubicado el captador de SO <sub>2</sub> . ....	67
Figura 3.6.- Codificación de las probetas de cobre para su correcta identificación. ...	68
Figura 3.7.- Plan de colocación y recogida de las probetas de cobre. ....	70
Figura 3.8.- Detalle de los captadores de cloruros y de la caseta y captador de SO <sub>2</sub> . ..	72
Figura 3.9.- Conexión celda electroquímica. ....	82
Figura 3.10.- Potenciostato/Galvanostato EG&G. Princeton Applied Research, modelo 263 A. ....	83
Figura 4.1.- Cronograma de recogidas de las probetas de cobre. ....	85
Figura 4.2.- Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 3. (Central Térmica Las Salinas – Fuerteventura). ....	87
Figura 4.3.- Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 3. (Central Térmica Las Salinas – Fuerteventura). ....	87
Figura 4.4.- Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 37 (Edificio Departamental de Ingeniería, Campus Universitario de Tafira - Gran Canaria). ....	88

Figura 4.5.- Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 37 (Edificio Departamental de Ingeniería, Campus Universitario de Tafira - Gran Canaria). .....	88
Figura 4.6.- Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 1 año de exposición sobre el cobre en la estación 35 (Ayuntamiento de Teror - Gran Canaria). .....	89
Figura 4.7.- Difractograma correspondiente a los productos de corrosión formados después de 2 años de exposición sobre el cobre en la estación 35 (Ayuntamiento de Teror - Gran Canaria). .....	89
Figura 4.8.- Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,1 M. ....	93
Figura 4.9.- Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,2 M. ....	93
Figura 4.10.- Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,3 M. ....	94
Figura 4.11.- Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,4 M. ....	94
Figura 4.12.- Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,5 M. ....	95
Figura 4.13.- Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,6 M. ....	95
Figura 4.14.- Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,7 M. ....	96
Figura 4.15.- Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,8 M. ....	96
Figura 4.16.- Curva de Tafel del cobre en NaCl 0,9 M. ....	96
Figura 4.17.- Curva de Tafel del cobre en NaCl 1 M. ....	96
Figura 4.18.- Variación de la Rp con la concentración de cloruros. ....	98
Figura 4.19.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,1 M. ....	99
Figura 4.20.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,2 M. ....	100
Figura 4.21.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,3 M. ....	100

Figura 4.22.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,4 M. ....	101
Figura 4.23.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,5 M. ....	101
Figura 4.24.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,6 M. ....	102
Figura 4.25.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,7 M. ....	102
Figura 4.26.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,8 M. ....	103
Figura 4.27.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,9 M. ....	103
Figura 4.28.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1 M. ....	104
Figura 4.29.- Variación de la Rp con la concentración de Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . ....	104
Figura 4.30.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05 M + 0,1 M NaCl. ....	107
Figura 4.31.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05 M + 0,2 M NaCl. ....	107
Figura 4.32.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05 M + 0,3 M NaCl. ....	108
Figura 4.33.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05 M + 0,4 M NaCl. ....	108
Figura 4.34.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05 M + 0,5 M NaCl. ....	109
Figura 4.35.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05 M + 0,6 M NaCl. ....	109
Figura 4.36.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05 M + 0,7 M NaCl. ....	110
Figura 4.37.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05 M + 0,8 M NaCl. ....	110
Figura 4.38.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05 M + 0,9 M NaCl. ....	111
Figura 4.39.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05 M + 1 M NaCl. ....	111
Figura 4.40.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,1 M + 0,1 M NaCl. ....	112
Figura 4.41.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,1 M + 0,2 M NaCl. ....	112
Figura 4.42.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,1 M + 0,3 M NaCl. ....	113

Figura 4.43.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,1 M + 0,4 M NaCl. ....	113
Figura 4.44.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,1 M + 0,5 M NaCl. ....	114
Figura 4.45.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,1 M + 0,6 M NaCl. ....	114
Figura 4.46.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,1 M + 0,7 M NaCl. ....	115
Figura 4.47.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,1 M + 0,8 M NaCl. ....	115
Figura 4.48.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,1 M + 0,9 M NaCl. ....	116
Figura 4.49.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,1 M + 1 M NaCl. ....	116
Figura 4.50.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,2 M + 0,1 M NaCl. ....	117
Figura 4.51.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,2 M + 0,2 M NaCl. ....	117
Figura 4.52.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,2 M + 0,3 M NaCl. ....	118
Figura 4.53.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,2 M + 0,4 M NaCl. ....	118
Figura 4.54.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,2 M + 0,5 M NaCl. ....	119
Figura 4.55.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,2 M + 0,6 M NaCl. ....	119
Figura 4.56.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,2 M + 0,7 M NaCl. ....	120
Figura 4.57.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,2 M + 0,8 M NaCl. ....	120
Figura 4.58.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,2 M + 0,9 M NaCl. ....	121
Figura 4.59.- Curva de Tafel del cobre en Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,2 M + 1 M NaCl. ....	121
Figura 4.60.- Variación de la R <sub>p</sub> del cobre en 0.1÷1M NaCl junto a concentración fija de Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . ....	122
Figura 5.1.- Clasificación de la corrosividad atmosférica según la norma internacional ISO 9223. ....	124
Figura 5.2.- Mapa de corrosividad correspondiente a la isla de Fuerteventura. ....	136

Figura 5.3.- Mapa de corrosividad correspondiente a la isla de Lanzarote. ....	137
Figura 5.4.- Mapa de corrosividad correspondiente a la isla de Gran Canaria. ....	138
Figura 6.1.- Distribución de los valores de $R^2$ obtenidos con la Ley Potencial para cada estación de medida. ....	142
Figura 6.2.- Distribución de los valores de $R^2$ obtenidos con el modelo matemático propuesto, para cada estación de medida. ....	149
Figura 7.1.- Distribución de categorías según velocidad de corrosión en el primer año de exposición. ....	161
Figura 7.2.- Porcentaje de estaciones por categorías. ....	162
Figura 7.3.- Probetas de cobre expuestas a diferentes períodos. ....	165
Figura 7.4.- Diagrama de Pourbaix para el sistema cobre-agua. ....	170
Figura 7.5.- Diagrama de Pourbaix para el cobre en agua de mar. ....	172
Figura 7.6.- Diagrama Tafel en NaCl. ....	173
Figura 7.7. DiagramaTafel en $Na_2SO_4$ .....	173
Figura 7.8.- Diagrama Tafel en NaCl + $Na_2SO_4$ .....	174
Figura 7.9.- Polarización lineal en NaCl (0,4 M).....	174
Figura 7.10.- Variación de la $R_p$ con la concentración de cloruros y sulfatos. ....	175

