



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
INGENIERÍA DE  
EDIFICACIÓN



**AIDICO**  
INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE LA CONSTRUCCIÓN

# ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN ARMADURAS DE HORMIGÓN ARMADO, SOMETIDAS A SUSTANCIAS AGRESIVAS E INHIBIDORAS, MEDIANTE VOLTAMETRÍA CÍCLICA Y ESPECTROSCOPIA DE IMPEDANCIA.

HAROLD RIVERA T.

VALENCIA, 2012

# 1. CORROSI3N

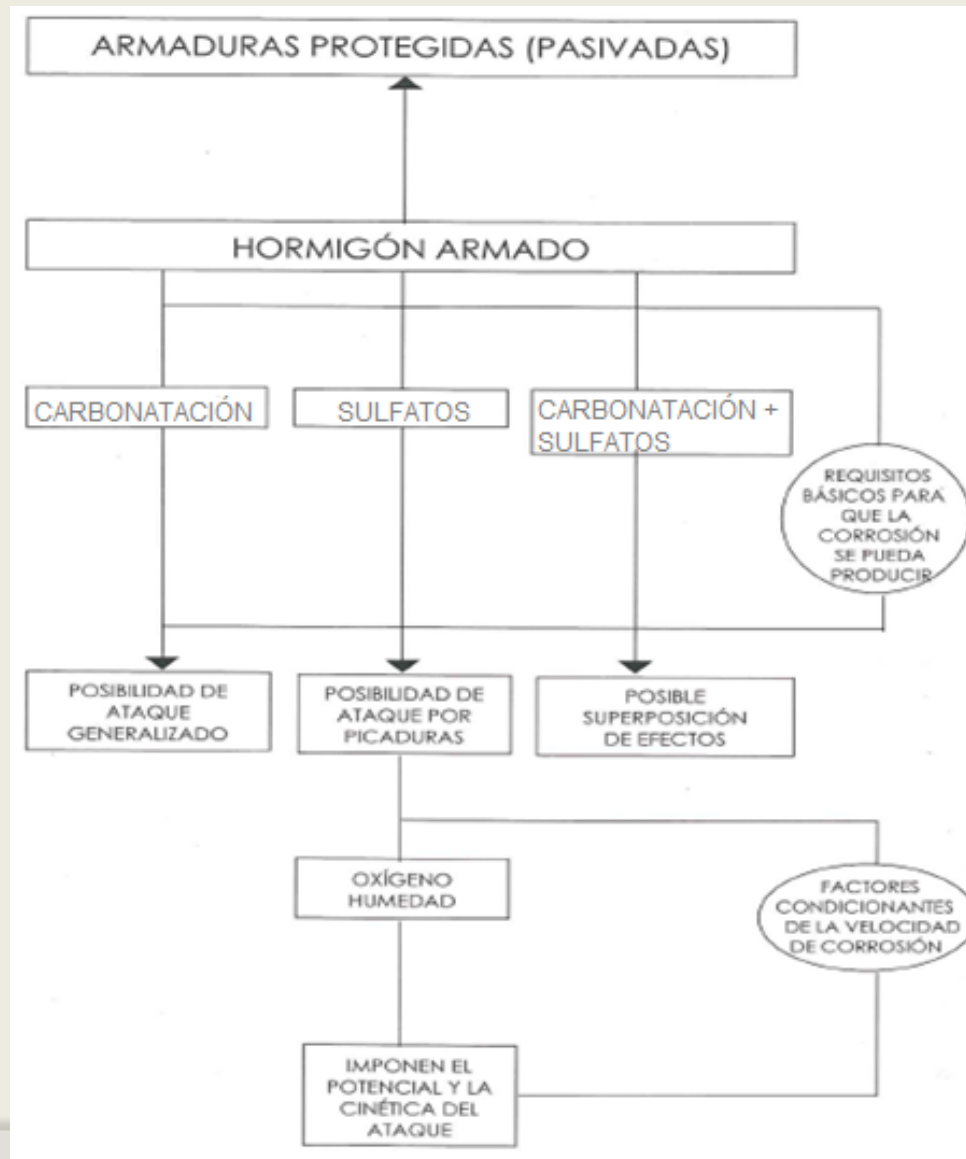
Es el deterioro de un material, generalmente un metal, que resulta de una reacci3n quimica o electroquimica con su entorno.



## 2. OBJETIVOS

- Analizar y evaluar la velocidad de corrosión en armaduras de hormigón armado, sometidas a sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), para diferentes pH, mediante las técnicas electroquímicas de voltametría cíclica y espectroscopia de impedancia.
- Analizar y evaluar la influencia de los inhibidores: Acido Aminobenzoico ( $\text{C}_7\text{H}_7\text{NO}_2$ ), Acido Aminoundecanoico ( $\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{NO}_2$ ) y Acido Sebacoico ( $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_4$ ), en la velocidad de corrosión en armaduras de hormigón armado, sometidas a sulfatos, para diferentes pH, mediante las técnicas electroquímicas de voltametría cíclica y espectroscopia de impedancia.
- Analizar y evaluar la influencia del pH en la velocidad de corrosión.
- Comparar los resultados de las pruebas sometidas a sustancias sulfatadas, con y sin inhibidor, para cada técnica, en disoluciones y en probetas de hormigón armado.

### 3. FACTORES DESENCADENANTES Y CONDICIONANTES DE LA CORROSIÓN



## 4. CAUSAS DE LA CORROSI3N

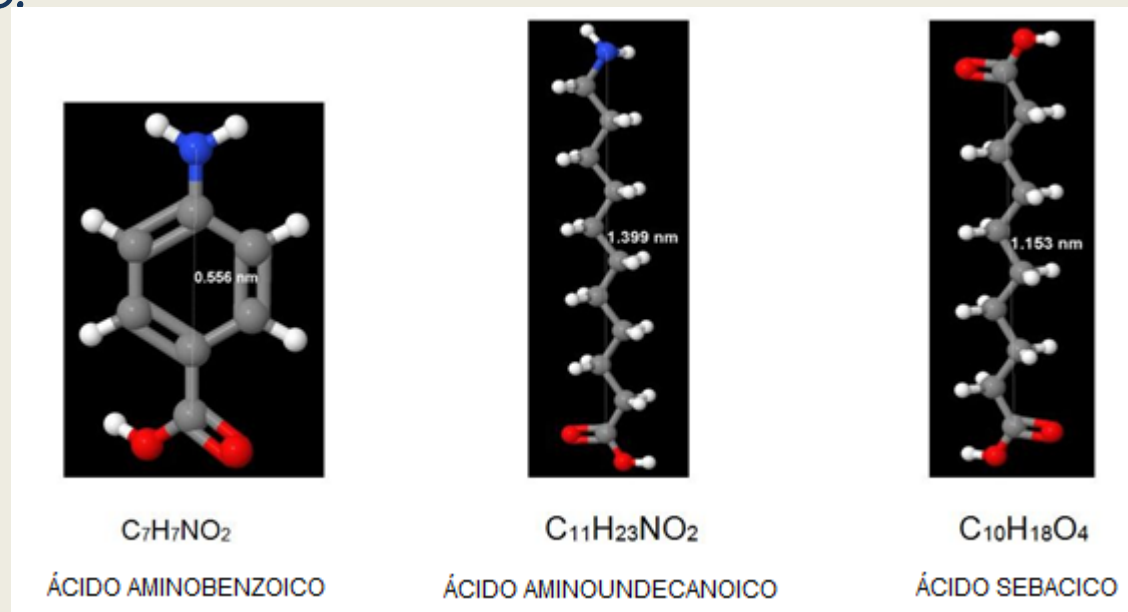
- Presencia de iones despasivantes. Sulfatos.

La presencia de iones despasivantes de sulfato, en cantidades suficientes, es otro de los factores desencadenantes de la corrosi3n. Estos son capaces de romper localmente la capa de pasivaci3n desencadenando la corrosi3n por picaduras. De esta manera se forma una celda de corrosi3n con una zona cat3dica en la cual se da el proceso de reducci3n y un 1rea pequea an3dica (la picadura) donde se oxida el acero.



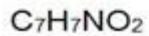
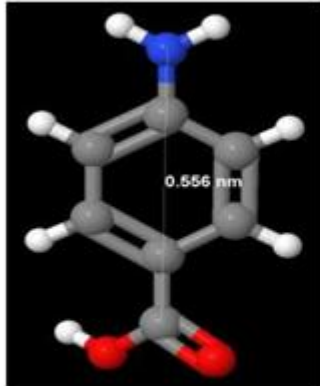
## 5. INHIBIDORES DE CORROSIÓN

Son sustancias o mezclas de sustancias capaces de reducir de manera eficaz la velocidad de corrosión de un material metálico cuando se añade al medio, generalmente en pequeñas concentraciones.

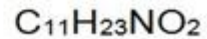
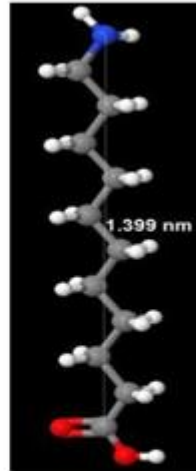


La película formada por adsorción de los inhibidores orgánicos solubles en la superficie del metal, está compuesta por unas pocas capas moleculares e invisibles. Dicho proceso es denominado monocapas autoensambladas. La eficacia del inhibidor depende principalmente de la longitud de su cadena química y del tipo de enlace que efectuó con el metal.

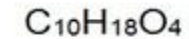
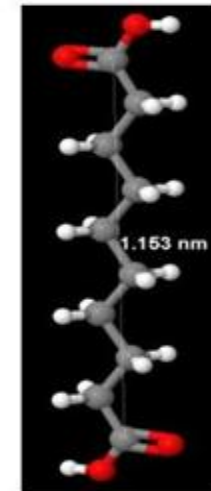
## 5.1 MONOCAPAS AUTOEMSAMBLADAS



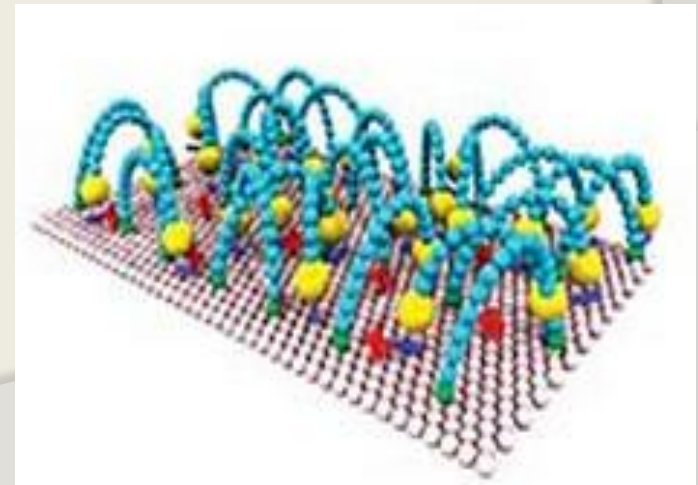
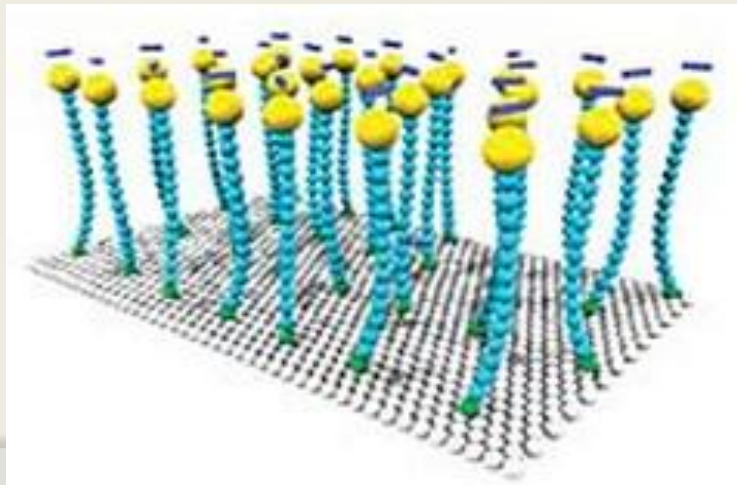
ACIDO AMINOBENZOICO



ACIDO AMINODECANOICO



ACIDO SEBACICO

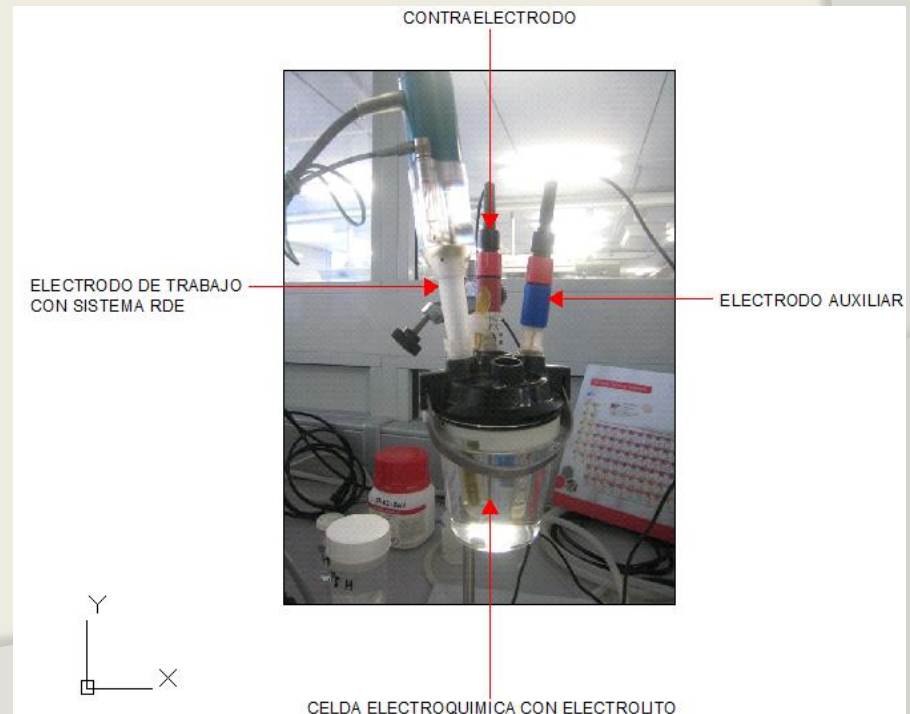
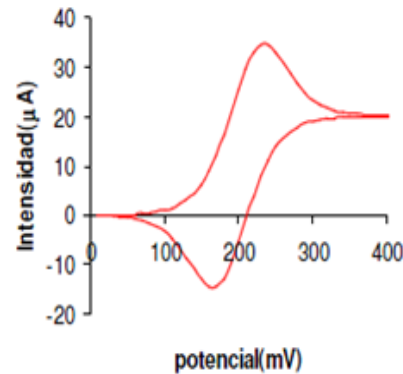
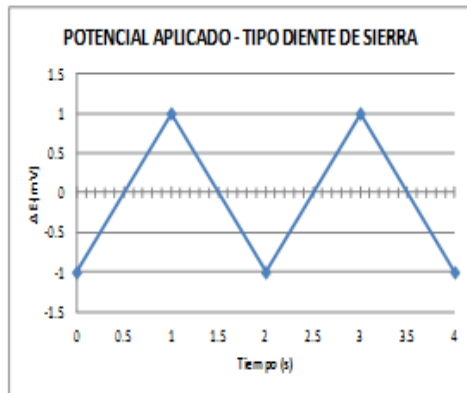


## 6. VOLTAMETRÍA CÍCLICA

Técnica electroquímica basada en la aplicación de un potencial que varía en función del tiempo y el estudio de su respuesta en función de la intensidad que atraviesa al sistema.

El método de trabajo voltamétrico es a tres electrodos:

- Electrodo de trabajo
- Electrodo auxiliar o contra electrodo
- Electrodo de referencia

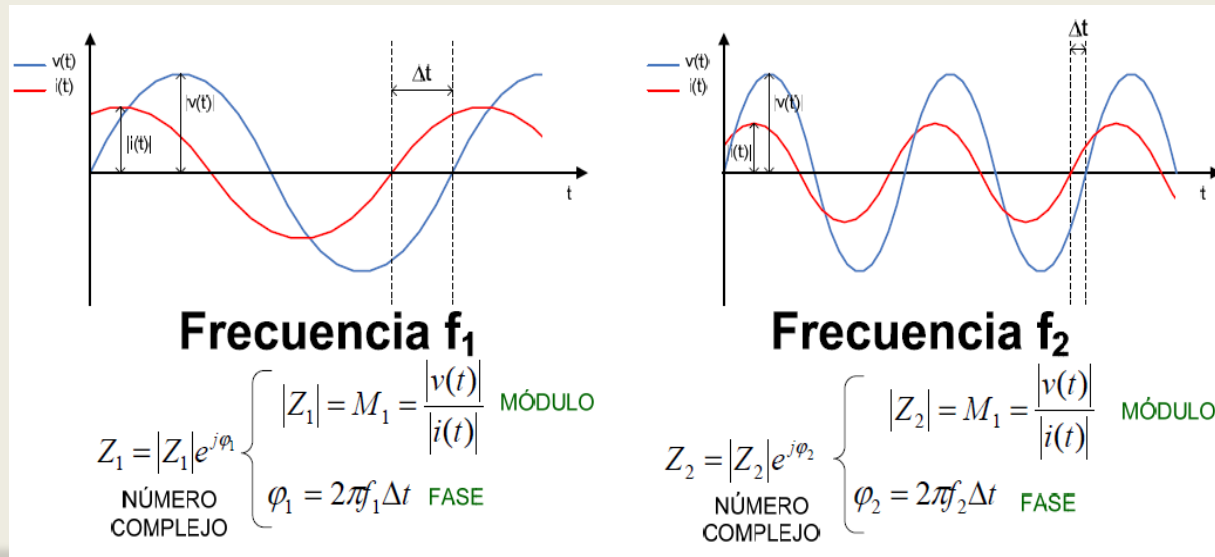




## 7. ESPECTROSCOPIA DE IMPEDANCIA

La impedancia es una magnitud vectorial con módulo (potencial) y fase (intensidad), que en corriente alterna equivale a la resistencia de la corriente continua.

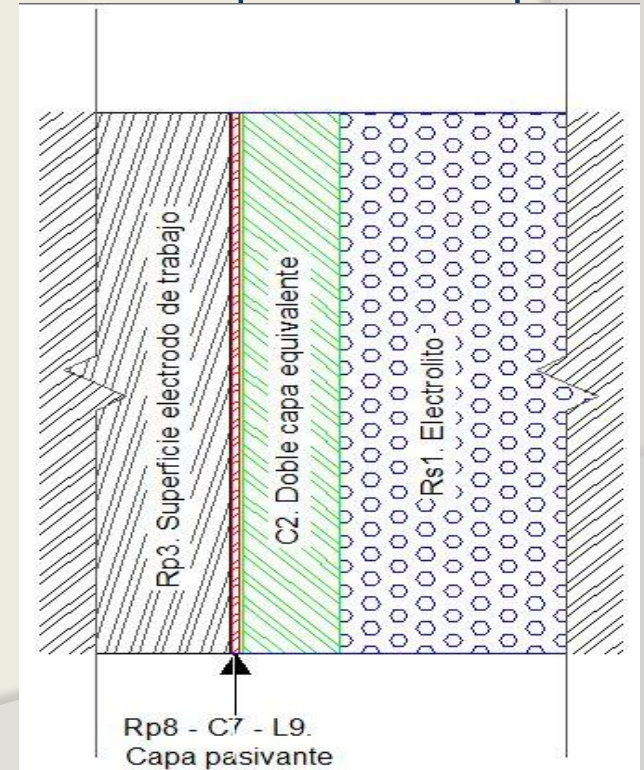
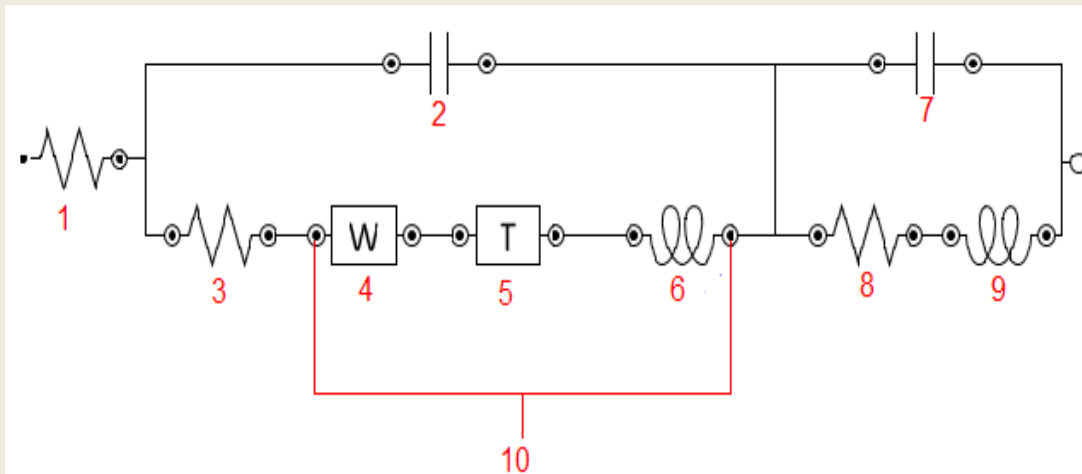
En las medidas de espectroscopia de impedancias se aplican sucesivamente tensiones senosoidales a diferentes frecuencias y para cada una de ellas se calcula el valor de la impedancia. El cociente entre las amplitudes de la tensión aplicada y la corriente medida nos dará el módulo de la impedancia.



## 7.1 CIRCUITO EQUIVALENTE

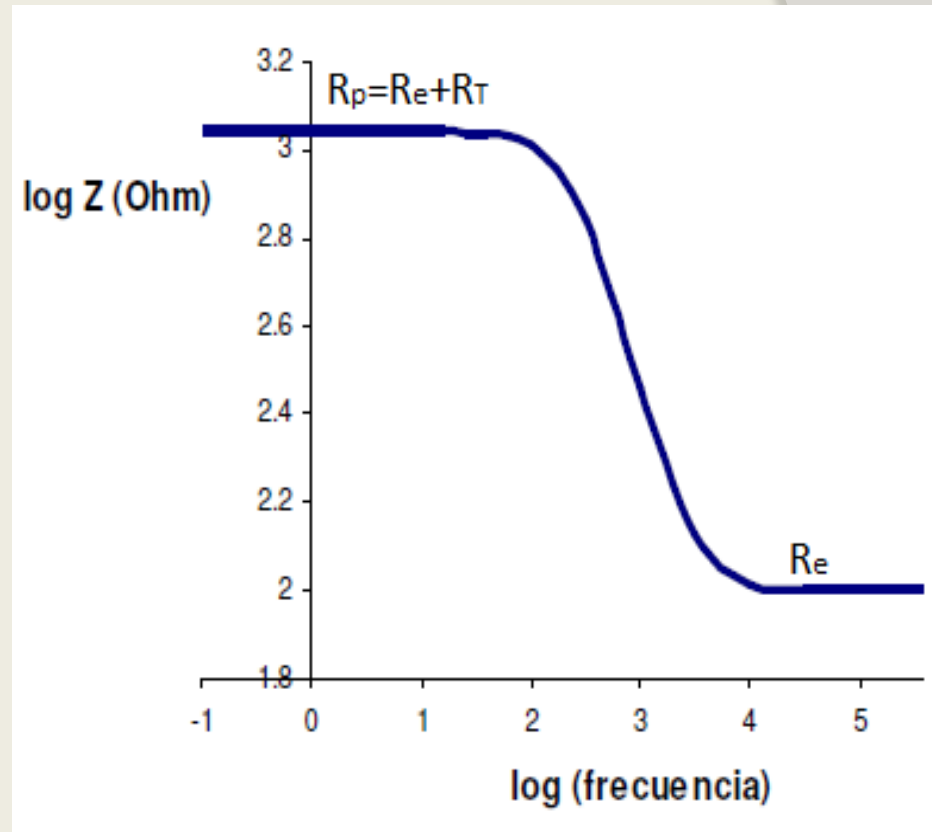
Debido a que el proceso de corrosión es de superficie y tiene movimiento de partículas con carga eléctrica, es posible medir y controlar el proceso a través de parámetros eléctricos.

Los circuitos equivalentes son simulaciones de sistemas electroquímicos que contienen combinaciones de resistencias, condensadores e inductancias, que ante una señal eléctrica, reproducen su respuesta con una aproximación aceptable.



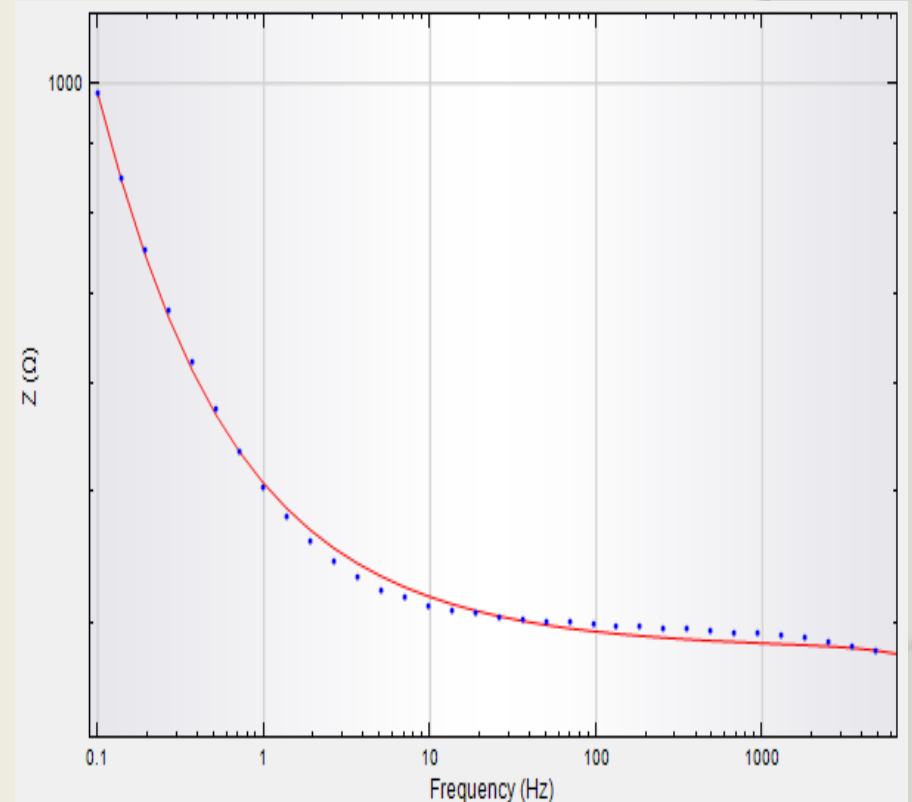
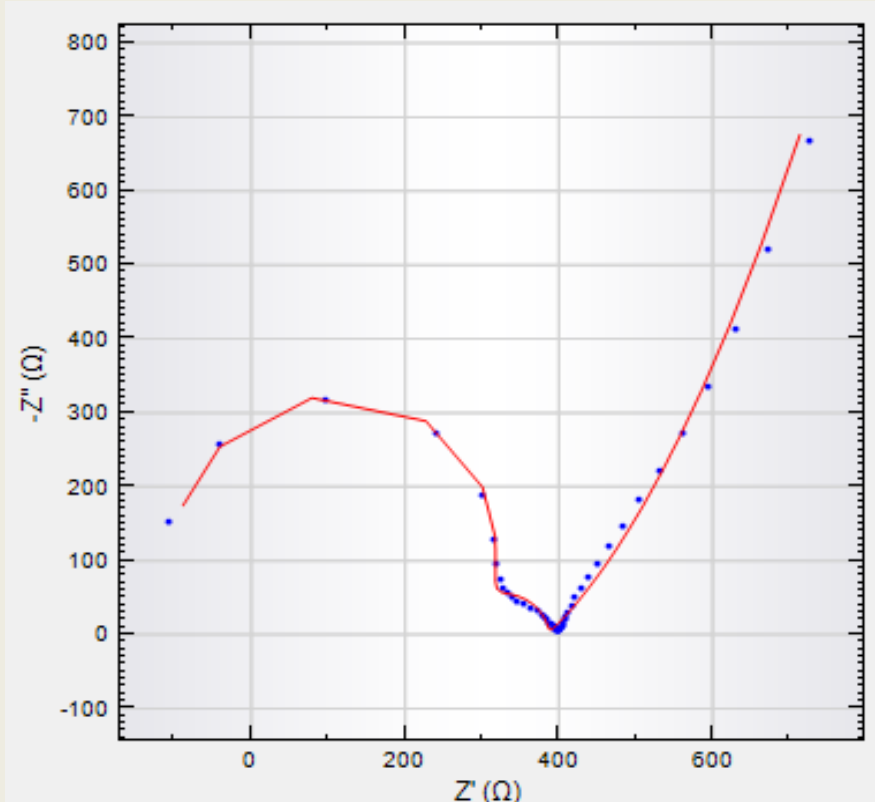
## 8. ESPECTROS DE IMPEDANCIA

De forma general un espectro de impedancia es una representación gráfica de la variación de la Impedancia en función de la frecuencia de la corriente. Hay varios tipos de espectros de impedancia, pero para el desarrollo de este proyecto se utilizó el diagrama de Bode que relaciona logaritmo del módulo de la impedancia  $Z$  frente al logaritmo de la frecuencia. También los resultados de impedancia se pueden representar en el diagrama de Nyquist, que relaciona el valor real de la impedancia  $V_s$  el valor imaginario de esta.



$$i_{corr} = B * \frac{\Delta i}{\Delta E} = \frac{B}{R_p} \quad CR = K \times \frac{i_{corr}}{\rho} \times EW$$

# 8.1 REPRESENTACIÓN DE DIAGRAMAS DE IMPEDANCIA. COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS CON RESPECTO A LA MODELACIÓN DEL CIRCUITO EQUIVALENTE



## 9. RESULTADOS

### 9.1 Voltametría cíclica en disoluciones

DISOLUCIONES Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - 0.1M				
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>E CORR (V)</b>				
1sd	-0.612	-0.581	-0.577	-0.490
2sd	-0.600	-0.579	-0.597	-0.522
4sd	-0.608	-0.581	-0.592	-0.526
<b>ECORR_medio_Sd</b>	-0.607	-0.580	-0.589	-0.513
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>I CORR (A/cm<sup>2</sup>)</b>				
1sd	8.988E-05	7.101E-05	3.954E-05	5.145E-06
2sd	8.132E-05	6.909E-05	3.418E-05	5.821E-06
4sd	6.889E-05	6.043E-05	4.180E-05	5.994E-06
<b>ICORR_medio</b>	8.00E-05	6.68E-05	3.85E-05	5.65E-06
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>Rp (Ohm)</b>				
1sd	5.27E+01	3.05E+01	3.18E+01	2.35E+03
2sd	5.78E+01	3.66E+01	4.34E+01	1.64E+03
4sd	6.06E+01	3.49E+01	3.81E+01	9.35E+02
<b>Rp_medio</b>	5.70E+01	3.40E+01	3.77E+01	1.64E+03
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>Corrosión rate (mm/y)</b>				
1sd	2.088	1.649	0.919	0.120
2sd	1.889	1.605	0.794	0.135
4sd	1.600	1.404	0.971	0.139
<b>C.rate_medio</b>	1.859	1.553	0.895	0.1313

DISOLUCIONES Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - 0.1M- INHIBIDOR AMINOBENZOICO 7%				
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>E CORR (V)</b>				
1sd	-0.446	-0.390	-0.446	-0.539
2sd	-0.463	-0.409	-0.449	-0.547
4sd	-0.478	-0.373	-0.462	-0.525
<b>ECORR_medio_Sd</b>	-0.462	-0.391	-0.452	-0.537
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>I CORR (A/cm<sup>2</sup>)</b>				
1sd	7.840E-05	4.220E-05	3.569E-05	5.396E-06
2sd	8.314E-05	3.479E-05	3.214E-05	5.370E-06
4sd	8.065E-05	3.286E-05	3.361E-05	4.017E-06
<b>ICORR_medio</b>	8.07E-05	3.66E-05	3.38E-05	4.93E-06
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>Rp (Ohm)</b>				
1sd	4.47E+01	1.01E+02	1.97E+02	1.30E+03
2sd	4.72E+01	9.22E+01	1.87E+02	1.19E+03
4sd	3.93E+01	1.59E+02	1.48E+02	1.68E+03
<b>Rp_medio</b>	4.37E+01	1.17E+02	1.78E+02	1.39E+03
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>Corrosión rate (mm/y)</b>				
1sd	1.821	0.980	0.829	0.125
2sd	1.938	0.808	0.747	0.125
4sd	1.873	0.763	0.781	0.093
<b>C.rate_medio</b>	1.877	0.851	0.785	0.1144

El efecto inhibidor del ácido Aminobenzoico están en promedio para todos los pH en 17.81%.

## 9. RESULTADOS

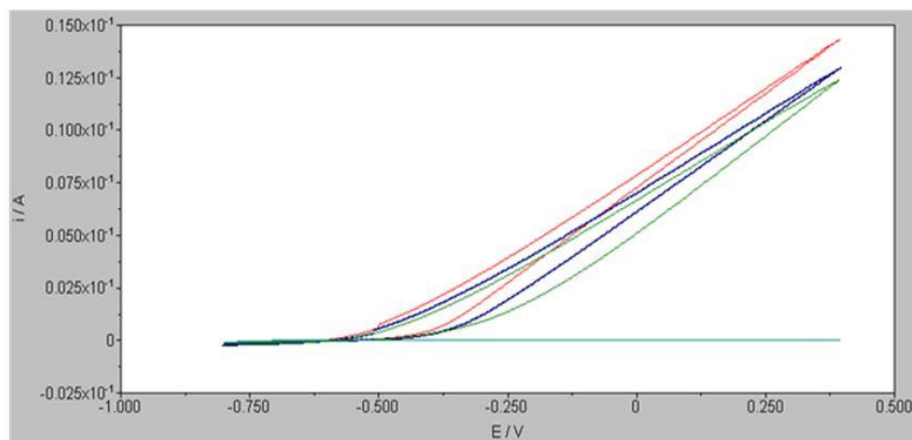
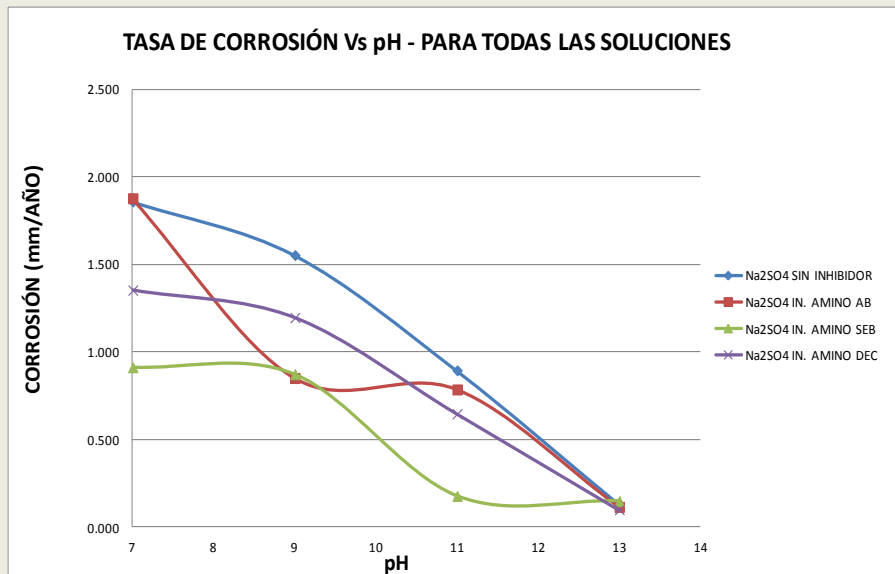
DISOLUCIONES Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - 0.1M- INHIBIDOR AMINOUNDECANOICO 7‰				
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>E CORR (V)</b>				
1sd	-0.511	-0.492	-0.605	-0.314
2sd	-0.510	-0.501	-0.608	-0.332
4sd	-0.503	-0.508	-0.592	-0.326
<b>ECORR_medio_Sd</b>	<b>-0.508</b>	<b>-0.500</b>	<b>-0.602</b>	<b>-0.324</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>I CORR (A/cm<sup>2</sup>)</b>				
1sd	5.579E-05	3.631E-05	2.683E-05	3.722E-06
2sd	6.226E-05	5.878E-05	2.713E-05	4.432E-06
4sd	5.665E-05	5.941E-05	2.961E-05	4.660E-06
<b>ICORR_medio</b>	<b>5.82E-05</b>	<b>5.15E-05</b>	<b>2.79E-05</b>	<b>4.27E-06</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>Rp (Ohm)</b>				
1sd	2.47E+01	2.17E+01	6.24E+01	2.24E+03
2sd	3.49E+01	4.08E+01	9.16E+01	1.98E+03
4sd	4.03E+01	3.36E+01	1.18E+02	1.99E+03
<b>Rp_medio</b>	<b>3.33E+01</b>	<b>3.20E+01</b>	<b>9.07E+01</b>	<b>2.07E+03</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>Corrosión rate (mm/y)</b>				
1sd	1.296	0.844	0.623	0.086
2sd	1.446	1.365	0.630	0.103
4sd	1.316	1.380	0.688	0.108
<b>C.rate_medio</b>	<b>1.353</b>	<b>1.196</b>	<b>0.647</b>	<b>0.0992</b>

DISOLUCIONES Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - 0.1M- INHIBIDOR SEBACICO 7‰				
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>E CORR (V)</b>				
1sd	-0.303	-0.326	-0.430	-0.422
2sd	-0.332	-0.332	-0.449	-0.408
4sd	-0.333	-0.334	-0.430	-0.384
<b>ECORR_medio_Sd</b>	<b>-0.323</b>	<b>-0.331</b>	<b>-0.436</b>	<b>-0.405</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>I CORR (A/cm<sup>2</sup>)</b>				
1sd	3.607E-05	3.839E-05	7.769E-06	8.217E-06
2sd	3.750E-05	3.465E-05	7.959E-06	4.872E-06
4sd	4.420E-05	3.966E-05	7.136E-06	5.973E-06
<b>ICORR_medio</b>	<b>3.93E-05</b>	<b>3.76E-05</b>	<b>7.62E-06</b>	<b>6.35E-06</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>Rp (Ohm)</b>				
1sd	8.84E+02	6.29E+02	1.13E+03	8.23E+02
2sd	5.77E+02	5.24E+02	7.21E+02	7.38E+02
4sd	5.33E+02	6.03E+02	1.04E+03	1.77E+03
<b>Rp_medio</b>	<b>6.65E+02</b>	<b>5.85E+02</b>	<b>9.64E+02</b>	<b>1.11E+03</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>Corrosión rate (mm/y)</b>				
1sd	0.838	0.892	0.181	0.191
2sd	0.871	0.805	0.185	0.113
4sd	1.027	0.921	0.166	0.139
<b>C.rate_medio</b>	<b>0.912</b>	<b>0.873</b>	<b>0.177</b>	<b>0.1476</b>

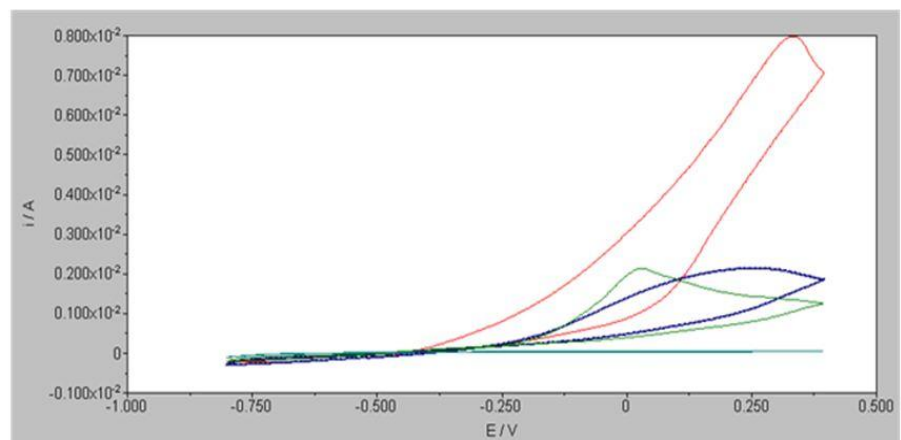
El efecto inhibitor del Acido Aminoundecanoico están en promedio para todos los pH en 25.58%.

El efecto inhibitor del Acido Sebacico están en promedio para todos los pH en 46.84%.

## 9. RESULTADOS



Potencial Vs Intensidad- Sustancia  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  - 0.1M sin inhibidor - PH 7(ROJO), PH 9 (AZUL), PH 11 (VERDE), PH 13 (CYAN).



Potencial Vs Intensidad- Sustancia  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  - 0.1M con inhibidor Aminobenzoico - PH 7(ROJO), PH 9 (AZUL), PH 11 (VERDE), PH 13 (CYAN).

## 9. RESULTADOS

### 9.2 Espectroscopia de impedancia en disoluciones

DISOLUCIONES Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - 0.1M				
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>R<sub>p</sub> (Ohm)</b>				
1sd	1065.00	1807.10	2640.00	14723.00
2sd	1763.00	1984.00	1609.00	24787.00
4sd	1073.00	1758.30	1400.90	19341.00
<b>R<sub>p</sub>medio_Sd</b>	<b>1300.33</b>	<b>1849.800</b>	<b>1883.300</b>	<b>19617.000</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>I CORR (A/cm<sup>2</sup>)</b>				
1sd	1.760E-04	1.037E-04	7.100E-05	1.273E-05
2sd	1.063E-04	9.447E-05	1.165E-04	7.562E-06
4sd	1.824E-04	1.113E-04	1.397E-04	1.012E-05
<b>I<sub>CORR</sub>medio</b>	<b>1.55E-04</b>	<b>1.03E-04</b>	<b>1.09E-04</b>	<b>1.01E-05</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>Corrosión rate (mm/y)</b>				
1sd	2.04	1.20	0.82	0.15
2sd	1.23	1.10	1.35	0.09
4sd	2.12	1.29	1.62	0.12
<b>C<sub>rate</sub>medio</b>	<b>1.80</b>	<b>1.20</b>	<b>1.27</b>	<b>0.12</b>

<b>VELOCIDAD DE CORROSIÓN</b>				
<b>VOLTÁMETRIA CÍCLICA mm/año</b>	1.86	1.55	0.90	0.13
<b>DIFERENCIA ENTRE TÉCNICAS mm/año</b>	0.06	0.35	0.37	0.01

DISOLUCIONES Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - 0.1M- INHIBIDOR AMINOBENZOICO 7%				
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>R<sub>p</sub> (Ohm)</b>				
1sd	1516.00	3553.00	3357.00	4773.00
2sd	1500.00	2888.00	5233.40	4773.00
4sd	1237.00	3478.00	3955.00	3169.00
<b>R<sub>p</sub>medio_Sd</b>	<b>1417.67</b>	<b>3306.333</b>	<b>4181.800</b>	<b>4238.333</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>I CORR (A/cm<sup>2</sup>)</b>				
1sd	1.236E-04	5.275E-05	5.583E-05	3.927E-05
2sd	1.250E-04	6.490E-05	3.581E-05	3.927E-05
4sd	1.582E-04	5.626E-05	4.947E-05	6.174E-05
<b>I<sub>CORR</sub>medio</b>	<b>1.36E-04</b>	<b>5.80E-05</b>	<b>4.70E-05</b>	<b>4.68E-05</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>Corrosión rate (mm/y)</b>				
1sd	1.44	0.61	0.65	0.46
2sd	1.45	0.75	0.42	0.46
4sd	1.84	0.65	0.57	0.72
<b>C<sub>rate</sub>medio</b>	<b>1.57</b>	<b>0.67</b>	<b>0.55</b>	<b>0.54</b>

<b>VELOCIDAD DE CORROSIÓN</b>				
<b>VOLTÁMETRIA CÍCLICA mm/año</b>	1.88	0.85	0.79	0.11
<b>DIFERENCIA ENTRE TÉCNICAS mm/año</b>	0.30	0.18	0.24	0.43

El efecto inhibidor del ácido Aminobenzoico están en promedio para todos los pH en 26.20%.



## 9. RESULTADOS

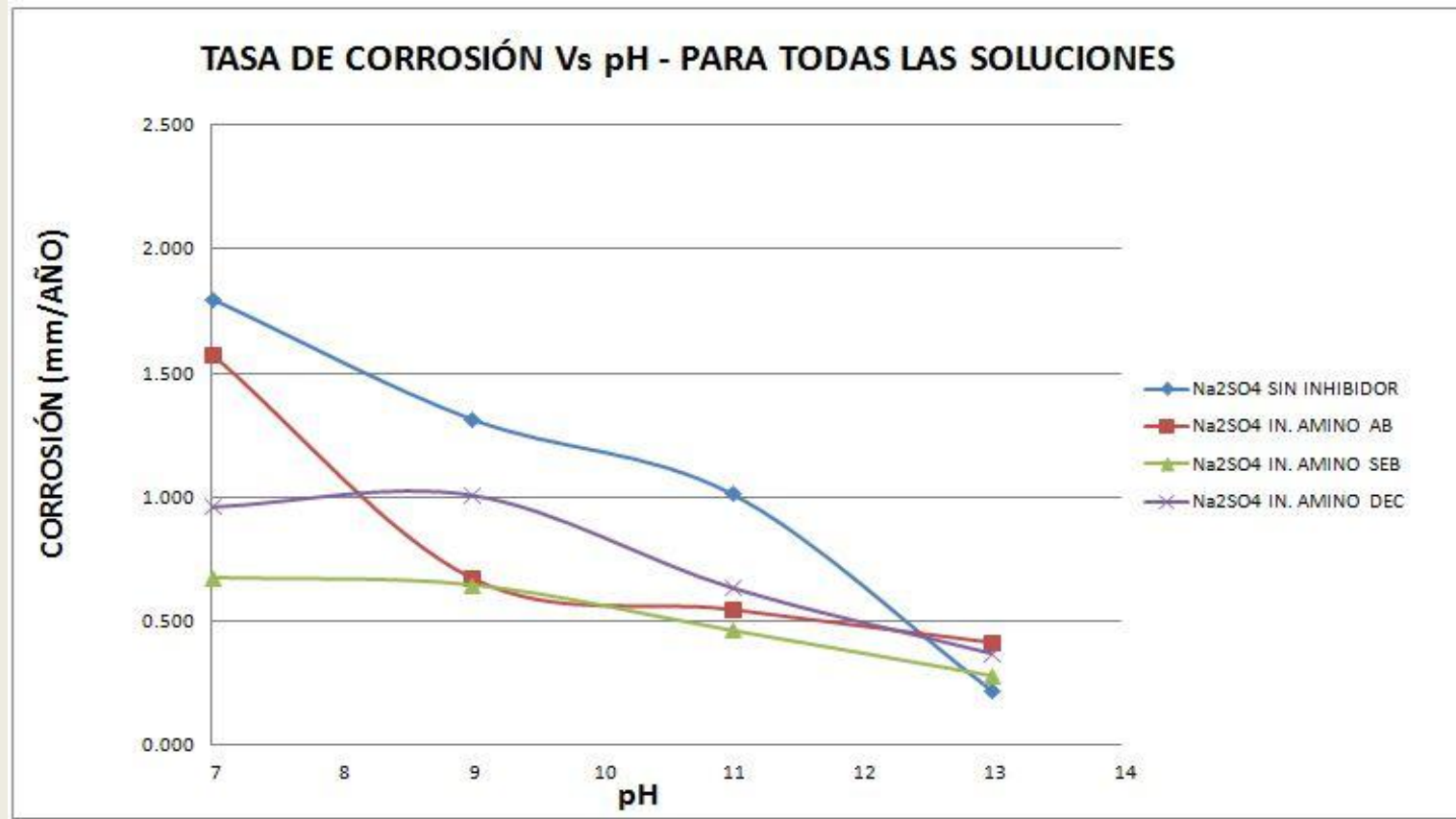
DISOLUCIONES Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - 0.1M- INHIBIDOR AMINOUNDECANOICO 7%				
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>R<sub>p</sub> (Ohm)</b>				
1sd	2457.00	2062.60	3487.00	5580.00
2sd	2227.00	2436.00	3099.00	5731.00
4sd	2210.00	2096.00	3858.00	6477.00
<b>R<sub>p</sub>medio_Sd</b>	<b>2298.00</b>	<b>2198.200</b>	<b>3481.333</b>	<b>5929.333</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>I CORR (A/cm<sup>2</sup>)</b>				
1sd	7.628E-05	9.087E-05	5.375E-05	3.359E-05
2sd	8.416E-05	7.694E-05	6.048E-05	3.270E-05
4sd	8.854E-05	9.335E-05	5.072E-05	3.021E-05
<b>I<sub>CORR_medio</sub></b>	<b>8.30E-05</b>	<b>8.71E-05</b>	<b>5.50E-05</b>	<b>3.22E-05</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>Corrosión rate (mm/y)</b>				
1sd	0.89	1.06	0.62	0.39
2sd	0.98	0.89	0.70	0.38
4sd	1.03	1.08	0.59	0.35
<b>C<sub>rate_medio</sub></b>	<b>0.96</b>	<b>1.01</b>	<b>0.64</b>	<b>0.37</b>
<b>VELOCIDAD DE CORROSIÓN</b>				
<b>VOLTÁMETRIA CÍCLICA mm/año</b>	1.35	1.20	0.65	0.10
<b>DIFERENCIA ENTRE TÉCNICAS mm/año</b>	0.39	0.18	0.01	0.27

DISOLUCIONES Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - 0.1M- INHIBIDOR SEBACICO 7%				
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>R<sub>p</sub> (Ohm)</b>				
1sd	3753.00	3705.00	7400.00	6013.00
2sd	2355.20	2708.00	3803.00	5575.00
4sd	4385.20	4168.00	4308.00	5746.00
<b>R<sub>p</sub>medio_Sd</b>	<b>3497.80</b>	<b>3527.000</b>	<b>5170.333</b>	<b>5778.000</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>I CORR (A/cm<sup>2</sup>)</b>				
1sd	4.994E-05	5.059E-05	2.533E-05	3.117E-05
2sd	7.958E-05	6.921E-05	4.928E-05	3.362E-05
4sd	4.462E-05	4.694E-05	4.542E-05	3.405E-05
<b>I<sub>CORR_medio</sub></b>	<b>5.80E-05</b>	<b>5.56E-05</b>	<b>4.00E-05</b>	<b>3.29E-05</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>Corrosión rate (mm/y)</b>				
1sd	0.58	0.59	0.29	0.36
2sd	0.92	0.80	0.57	0.39
4sd	0.52	0.55	0.53	0.40
<b>C<sub>rate_medio</sub></b>	<b>0.67</b>	<b>0.65</b>	<b>0.46</b>	<b>0.38</b>
<b>VELOCIDAD DE CORROSIÓN</b>				
<b>VOLTÁMETRIA CÍCLICA mm/año</b>	0.91	0.87	0.18	0.15
<b>DIFERENCIA ENTRE TÉCNICAS mm/año</b>	0.24	0.23	0.29	0.24

El efecto inhibidor del Acido Aminoundecanoico están en promedio para todos los pH en 31.26%.

El efecto inhibidor del Acido Sebacico están en promedio para todos los pH en 52.41%.

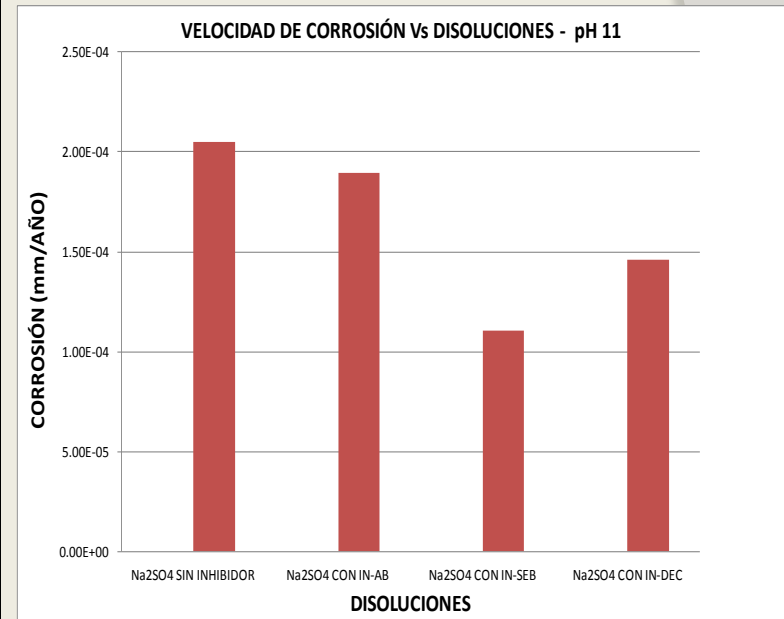
## 9. RESULTADOS



## 9. RESULTADOS

### 9.3 Voltametría cíclica en probetas de hormigón armado

	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> SIN INHIBIDOR	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> CON IN-AB	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> CON IN-SEB	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> CON IN-DEC
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)
<b>E CORR (V)</b>				
ENSAYO 1	-0.047	-0.062	-0.047	-0.068
ENSAYO 2	-0.046	-0.062	-0.045	-0.067
ENSAYO 3	-0.047	-0.050	-0.053	-0.064
ENSAYO 4	-0.046	-0.048	-0.051	-0.063
<b>ECORR_medio_Sd</b>	<b>-0.047</b>	<b>-0.056</b>	<b>-0.049</b>	<b>-0.066</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>I CORR (A/cm<sup>2</sup>)</b>				
ENSAYO 1	8.549E-09	7.467E-09	4.064E-09	6.571E-09
ENSAYO 2	9.465E-09	7.467E-09	4.834E-09	7.047E-09
ENSAYO 3	8.068E-09	8.059E-09	5.101E-09	5.725E-09
ENSAYO 4	9.196E-09	9.604E-09	4.986E-09	5.791E-09
<b>ICORR_medio</b>	<b>8.82E-09</b>	<b>8.15E-09</b>	<b>4.75E-09</b>	<b>6.28E-09</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>Rp (Ohm)</b>				
ENSAYO 1	6.600E+00	1.800E+00	1.454E+00	3.602E+00
ENSAYO 2	7.438E+00	1.800E+00	1.560E+00	3.956E+00
ENSAYO 3	6.418E+00	5.424E+00	1.637E+00	2.975E+00
ENSAYO 4	7.223E+00	6.538E+00	1.603E+00	3.135E+00
<b>Rp_medio</b>	<b>6.92E+00</b>	<b>3.89E+00</b>	<b>1.56E+00</b>	<b>3.42E+00</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>Corrosión rate (mm/y)</b>				
ENSAYO 1	1.99E-04	1.74E-04	9.44E-05	1.53E-04
ENSAYO 2	2.20E-04	1.74E-04	1.13E-04	1.64E-04
ENSAYO 3	1.87E-04	1.87E-04	1.19E-04	1.33E-04
ENSAYO 4	2.14E-04	2.23E-04	1.16E-04	1.35E-04
<b>C.rate_medio</b>	<b>2.05E-04</b>	<b>1.89E-04</b>	<b>1.10E-04</b>	<b>1.46E-04</b>



## 9. RESULTADOS

### 9.4 Espectroscopia de impedancia en probetas de hormigón armado

	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> SIN INHIBIDOR	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> CON IN-AB	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> CON IN-SEB	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> CON IN-DEC
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)
<b>Rp (Ohm)</b>				
ENSAYO 1	985.01	909.03	639.01	865.89
ENSAYO 2	976.62	903.68	637	863.35
ENSAYO 3	899.97	909.03	692.63	857.78
ENSAYO 4	899.88	903.68	688.71	859.69
<b>Rp_medio</b>	<b>9.40E+02</b>	<b>9.06E+02</b>	<b>6.64E+02</b>	<b>8.62E+02</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>I CORR (A/cm<sup>2</sup>)</b>				
ENSAYO 1	1.313E-06	1.423E-06	2.024E-06	1.493E-06
ENSAYO 2	1.324E-06	1.431E-06	2.030E-06	1.498E-06
ENSAYO 3	1.437E-06	1.423E-06	1.867E-06	1.508E-06
ENSAYO 4	1.437E-06	1.431E-06	1.878E-06	1.504E-06
<b>I CORR_medio</b>	<b>1.38E-06</b>	<b>1.43E-06</b>	<b>1.95E-06</b>	<b>1.50E-06</b>
E	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 7)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 9)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 11)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH 13)
<b>Corrosión rate (mm/y)</b>				
ENSAYO 1	0.02	0.02	0.02	0.02
ENSAYO 2	0.02	0.02	0.02	0.02
ENSAYO 3	0.02	0.02	0.02	0.02
ENSAYO 4	0.02	0.02	0.02	0.02
<b>C.rate_medio</b>	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>
<b>VELOCIDAD DE CORROSIÓN</b>	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001
<b>VOLTÁMETRIA CÍCLICA mm/año</b>				
<b>DIFERENCIA ENTRE TÉCNICAS mm/año</b>	0.02	0.02	0.02	0.02

El valor promedio de diferencia en mm/año, de los resultados obtenidos en voltametría e impedancia en probetas, es de  $\pm 0.02$  mm/año, lo que equivale a una discrepancia imperceptible.

## 10. CONCLUSIONES

- Las barras de acero de refuerzo sometidas a sulfatos de sodio, de acuerdo a los resultados de voltametría cíclica y espectroscopia de impedancia en disoluciones, podrían alcanzar 6.5mm de corrosión en 50 años de vida útil, para disoluciones con pH13. En disoluciones con pH11 la corrosión podría llegar a 54.25mm de penetración, lo que sería devastador para la función mecánica de la barra de refuerzo. Mucho más crítico si observamos una barra en disolución con pH9, en tan solo 5 años se tendrían los mismos efectos ocasionados por  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  en una disolución con pH13. Estos datos alarmantes, obligan a realizar todos los esfuerzos técnicos necesarios, para evitar daños por corrosión en las estructuras, antes de que se cumpla su vida útil para las cuales han sido diseñadas.
- Los resultados de voltametría cíclica y espectroscopia de impedancia en probetas de hormigón armado, sometidas a saturación por sulfatos, confirman que a pH muy básico la velocidad de corrosión es mínima y despreciable a efectos de la vida útil de las estructuras. En 50 años de servicio, solo se tendría 1mm de penetración de la corrosión.
- El desarrollo de las dos técnicas electroquímicas, tanto en disoluciones como en probetas, ratifica que la utilización de inhibidores orgánicos para mitigar los efectos de la corrosión son beneficiosos y que su porcentaje de eficacia depende directamente de la longitud de su cadena química y su tipo de anclaje a la superficie metálica.

## 10. CONCLUSIONES

- El efecto atenuante, en promedio, para el ácido Aminobenzoico, en todos los pH, de acuerdo a los ensayos de voltametría cíclica y espectroscopia de impedancia en disoluciones, se ubica en el 22.00%, el ácido Aminoundecanoico produce reducción del 28.42% y el ácido Sebácico reduce un 49.44%, ubicando a este último el inhibidor más eficaz en la mitigación del proceso de corrosión.
- Los resultados para las dos técnicas en los ensayos de las probetas saturadas con sulfatos de sodio, no muestran cambios significativos por efectos de los inhibidores, debido al poco tiempo de sometimiento a dichas sustancias.
- La actuación de los inhibidores es mínima a pH 13, debido a que a este pH los procesos de corrosión están delimitados por la pasividad de la interfaz acero / hormigón.
- Aunque las dos técnicas son teóricamente diferentes, las diferencias en los resultados de velocidad de corrosión, para los ensayos en disolución son en promedio  $\pm 0.20$  mm/año, un valor muy aceptable si de comparación se habla. Mientras que los resultados en los ensayos de probetas tienen una diferencia de  $\pm 0.02$  mm/año, lo que equivale a una discrepancia imperceptible. Esto permite concluir que las dos técnicas son válidas para la medición de la velocidad de corrosión en modelaciones de estructuras de hormigón armado.

## 10. CONCLUSIONES

- El estudio de los inhibidores en esta investigación, se limitan a la eficacia ante los procesos de corrosión. Es muy importante realizar estudios complementarios, tales como, análisis del comportamiento mecánico de las estructuras de hormigón armado, análisis de factibilidad económica y análisis medio ambientales.
- En próximos trabajos dedicados a esta línea de investigación, sería productivo el análisis de la eficacia de la mezcla de varios compuestos inhibidores, ya que es muy probable que se complementen unos con otros y se obtengan mayores porcentajes de reducción de la corrosión. También es necesario el estudio de diferentes concentraciones de cada inhibidor para delimitar el rango de concentración eficaz.

**MUCHAS GRACIAS!!!**