

# ENSAYOS ACELERADOS PARA DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE LOS ACEROS EMBEBIDOS EN CONCRETO

Raúl Pizarro Cabrera, Gonzalo Alarcón Ore y Miguel Castro Magluf

Instituto de Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos

## RESUMEN

Los resultados han permitido evaluar agentes agresivos del ambiente industrial ( $\text{NaHSO}_3$ ) y del ambiente marino (agua de mar). Dando como resultado una pérdida de peso en las probetas embebidas, de ensayo.

**Palabras clave:** Concreto, Corrosión, Acero, Velocidad.

## ABSTRACT

The results have permitted to evaluate aggressive agents from the industrial environment ( $\text{NaHSO}_3$ ) and marine environment (sea water). They resulted in a loss of weight in the concrete steel engrossed.

**Keywords:** Concrete, Corrosion, Steel, Rate.

## I. INTRODUCCIÓN

El empleo del acero con concreto para formar materiales compuestos, ha sido uno de los hechos más importantes en la historia de la tecnología de la construcción. Esta práctica comenzó alrededor de la mitad del siglo pasado con el invento del concreto reforzado y su uso se extendió durante el presente siglo, y se desarrollo de varias formas de concreto prensado. La gran durabilidad ha sido una de las causas de este gran desarrollo. Sin embargo, desde hace años algunas de estas estructuras han comenzado a mostrar signos evidentes de deterioro prematuro, principalmente por corrosión del acero de refuerzo. La corrosión puede ser causada por la confluencia de un elemento agresivo y uno local, que permite la aparición de una pila electroquímica en la superficie de los metales.

Estos elementos pueden ser creados por condiciones particulares en el concreto, tales como relación agua-cemento-arena, humedad, concentración de electrolitos, venti-

lación, etc. Los electrolitos están formados por disoluciones de sales, tales como agua de mar, las aguas sulfatadas, cloruradas, etc. Además de estas aguas, las sales pueden estar presentes en el agua de amasado o provenir de aditivos que contengan iones agresivos y que se adicionan al concreto.

## II. PARTE EXPERIMENTAL

### Materiales

Los materiales utilizados en la presente investigación son los siguientes:

- **Cemento:** El cemento utilizado es Cemento Portland Tipo I, manufacturado por Cemento «Andino S.A.», las características de este cemento son especificadas por la Norma ASTM C-150.
- **Agregado (Arena):** La arena es procedente del Distrito de La Molina, cumple con la Norma ASTM C-33, que cubre lo relacionado a agregados usados en concretos y morteros.

- Agua: El agua potable de la ciudad de Lima.
- Metal desnudo: Acero de baja aleación y Acero galvanizado.
- Metal embebido en concreto: Acero de baja aleación y Acero galvanizado.
- Moldes: Para los ensayos de corrosión acelerada del acero embebido en concreto se utilizaron moldes de PVC de 10 cm por 1 pulg. de diámetro.
- Soluciones: Solución de  $\text{NaHSO}_3$   $10^{-3}$  M a pH 3.2, 4.2 y 5.2 (ambiente industrial) y soluciones de agua de mar según Norma ASTM D1141-86-1989 a pH 3.5, 5.5 y 8.3 (ambiente marino).

## 2.2. Detalles experimentales

Las probetas son sumergidas en la solución agresiva durante 120 días, esta solución es renovada constantemente por una alimentación de solución fresca, eliminándose paralelamente la solución del baño mediante vasos comunicantes, con la finalidad de mantener la solución con las características iniciales de pH, posterior al periodo de inmersión se realizaron evaluaciones mediante técnicas gravimétricas para determinar la velocidad de corrosión del metal embebido en concreto (Pérdidas de peso del metal / metro cuadrado de metal expuesto), kg de Fe /  $\text{m}^2$  ó kg de Zn /  $\text{m}^2$ .

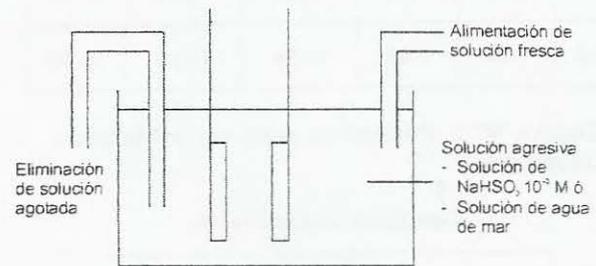
Los ensayos acelerados se realizaron considerando el siguiente esquema:

- Acero de baja aleación desnudo son evaluados con tiempos de exposición de 75, 150, 300, 600 y 1200 horas.
- Acero de baja aleación embebido en concreto son evaluados con tiempos de exposición de 1770, 1970, 2170, 2370 y 2570 horas.
- Acero Galvanizado desnudo son evaluados con tiempos de exposición de 75, 150, 300, 600 y 1200 horas
- Acero Galvanizado embebido en concreto son evaluados con tiempos de expo-

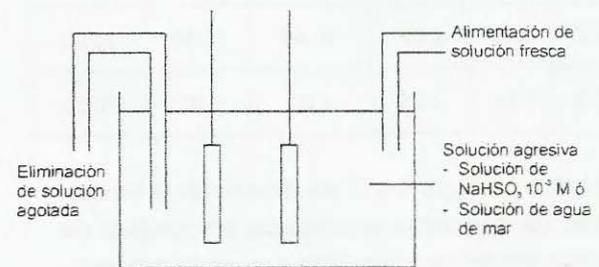
sición de 1770, 1970, 2170, 2370 y 2570 horas.

Las estructuras Metálicas, luego de la exposición en los medios agresivos fueron evaluados según Norma ASTM G1-81.

### Probetas de metal desnudo



### Probetas de acero embebido en concreto



## III. RESULTADOS

El método de corrosión empleado en la presente investigación, permite estudiar la influencia de los agentes corrosivos de un determinado medio en el que se expone un material: acero de baja aleación o acero galvanizado, en exposición en la condición de metales desnudos o embebidos en concreto, en diferentes medios y a diferente pH las tablas, los diagramas y las fotografías siguientes, muestran los resultados obtenidos durante los periodos de ensayo.

Resultados de la pérdida de peso por  $\text{m}^2$  del acero de baja aleación y el acero galvanizado desnudos, expuestos en solución de  $\text{NaHSO}_3$   $10^{-3}$  M a pH 3.2, 4.2 y 5.2 (ambiente industrial), se muestrean en los cuadros 1 y 2 respectivamente:

**Cuadro N° 1.** Pérdida de peso por m<sup>2</sup> de acero de baja aleación.

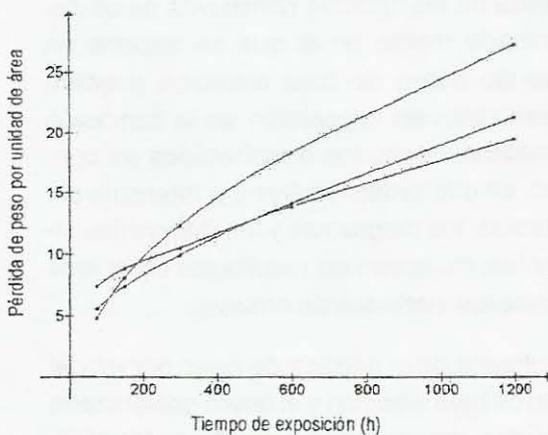
pH	Tiempo de exposición (h)				
	75	150	300	800	1200
3.2	4.82	8.10	12.38	18.30	27.30
4.2	5.52	7.40	9.92	14.16	21.30
5.2	7.36	8.85	10.54	13.93	19.50

**Cuadro N° 2.** Pérdida de peso por m<sup>2</sup> de acero Galvanizado.

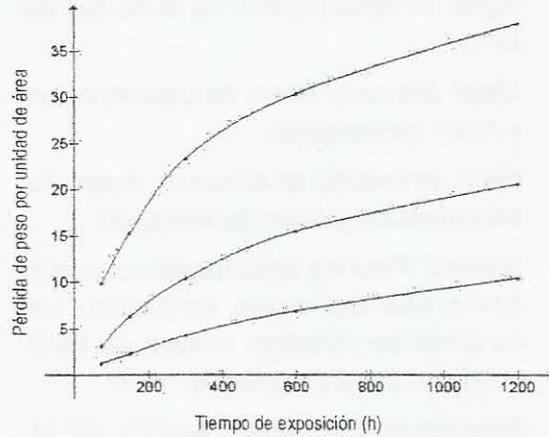
pH	Tiempo de exposición (h)				
	75	150	300	800	1200
3.2	9.90	15.30	23.35	30.40	38.00
4.2	3.10	6.35	10.40	15.45	20.60
5.2	1.20	2.25	4.25	6.92	10.50

En los gráficos 1 y 2 se muestran la velocidad de corrosión expresada en pérdida de peso por m<sup>2</sup> de superficie expuesta por tiempo de exposición.

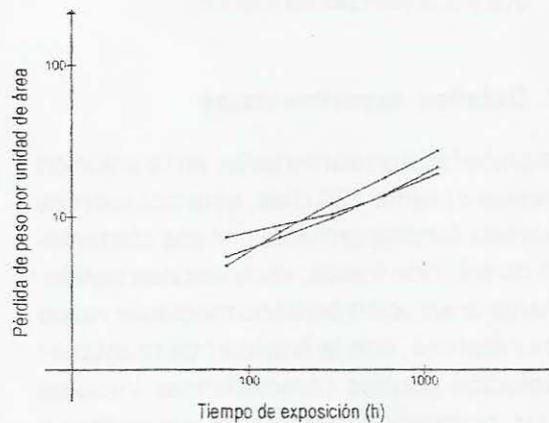
En los gráficos 3 y 4 se muestran la velocidad de corrosión en escala log - log, de la pérdida de peso por m<sup>2</sup> de superficie frente al tiempo de exposición.



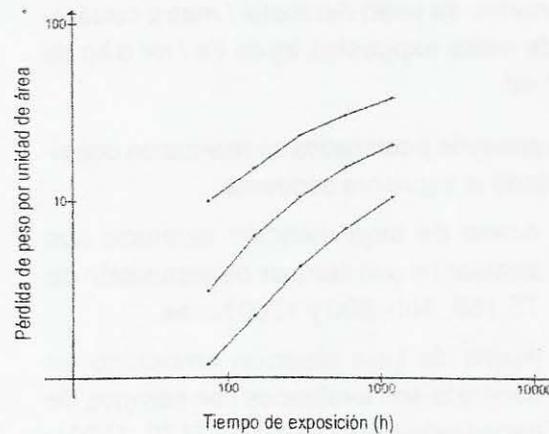
**Gráfico N° 1.** Velocidad de corrosión del acero en solución de NaHSO<sub>3</sub> a diferentes pH.



**Gráfico N° 2.** Velocidad de corrosión del acero en solución de NaHSO<sub>3</sub> a diferentes pH.



**Gráfico N° 3.** Velocidad de corrosión del acero en solución de NaHSO<sub>3</sub> a diferentes pH.



**Gráfico N° 4.** Velocidad de corrosión del acero en solución de NaHSO<sub>3</sub> a diferentes pH.

En las fotos 1 y 2 se muestran el aspecto de las probetas de acero de baja aleación y el acero galvanizado desnudos expuestos en solución de  $\text{NaHSO}_3$   $10^{-3}$  M a pH 3.2, 4.2 y 5.2 (ambiente industrial).

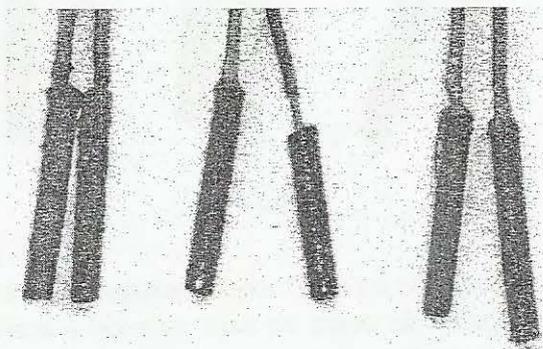


Foto N° 1

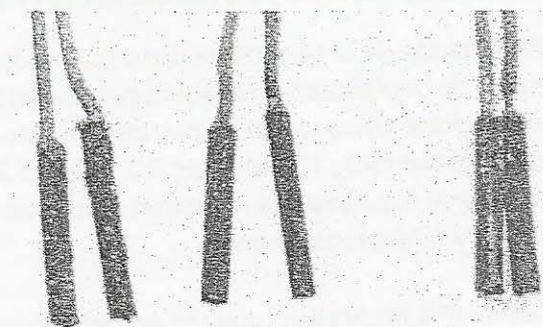


Foto N° 2

Resultados de la pérdida de peso por  $\text{m}^2$  del acero de baja aleación y el acero galvanizado desnudos expuestos en solución de agua de mar según Norma ASTM D1141-86-1989 a pH 3.5, 5.5 y 8.3 (ambiente marino), se muestran en los cuadros 3 y 4 respectivamente:

Cuadro N° 3. Pérdida de peso por  $\text{m}^2$  de acero de baja aleación.

		Tiempo de exposición (h)				
pH	75	150	300	600	1200	
3.5	6.68	9.31	12.17	17.76	24.95	
5.5	8.43	8.93	9.72	10.68	13.66	
8.3	6.33	7.66	8.52	11.36	14.87	

Cuadro N° 4. Pérdida de peso por  $\text{m}^2$  de acero galvanizado.

		Tiempo de exposición (h)				
pH	75	150	300	800	1200	
3.5	2.70	4.75	7.60	11.68	18.30	
5.5	1.31	2.12	3.78	5.75	9.10	
8.3	0.89	1.70	2.92	4.42	5.50	

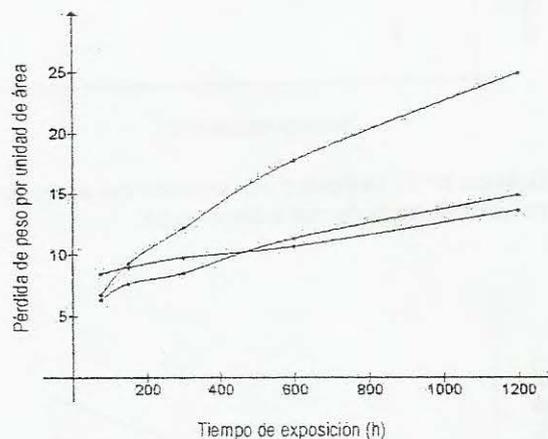


Gráfico N° 5. Velocidad de corrosión del acero en solución de agua de mar a diferente PH.

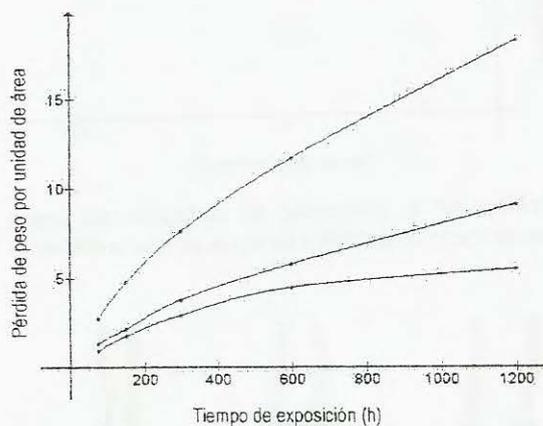


Gráfico N° 6. Velocidad de corrosión del acero galvanizado en solución de agua de mar a diferente PH.

En los gráficos 5 y 6 se muestran la velocidad de corrosión expresada en pérdida de peso por  $\text{m}^2$  de superficie expuesta por tiempo de exposición.

En los gráficos 7 y 8 se muestran la velocidad de corrosión en escala log - log de la pérdida de peso por m<sup>2</sup> de superficie expuesta frente al tiempo de exposición.

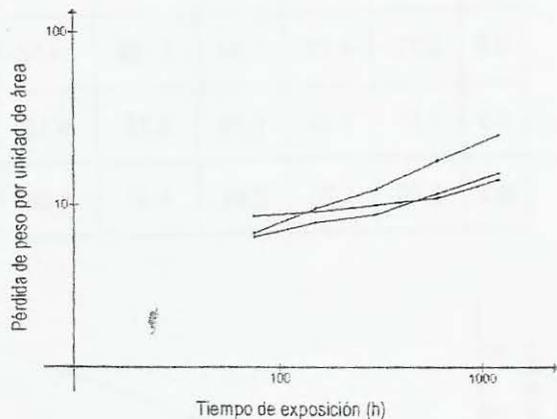


Gráfico N° 7. Velocidad de corrosión del acero en solución de agua de mar a diferente pH.

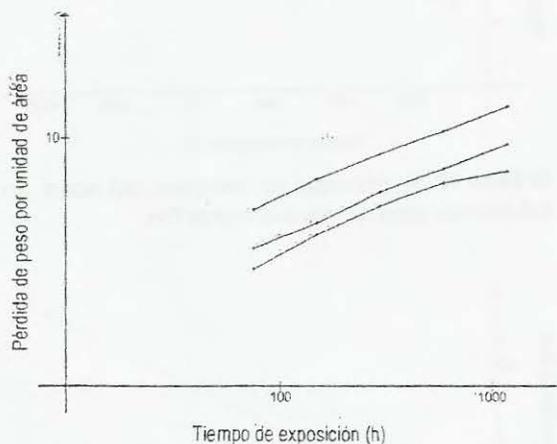


Gráfico N° 8. Velocidad de corrosión del acero galvanizado en solución de agua de mar a diferente pH.

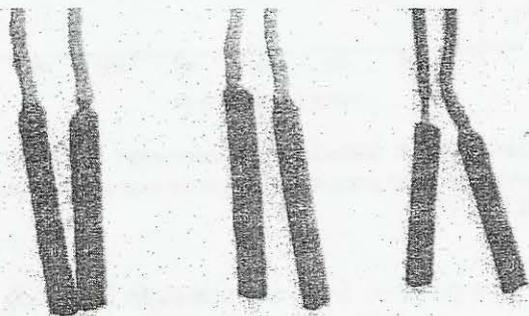


Foto N° 3

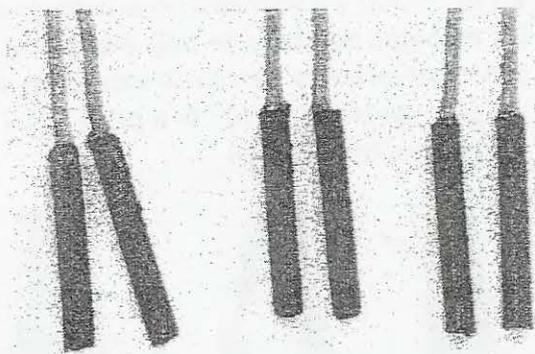


Foto N° 4

En las fotos 3 y 4 se muestra el aspecto de las probetas de acero de baja aleación y acero galvanizado expuestos en solución de soluciones de agua de mar según Norma ASTM D1141-86-1989 a pH 3.5, 5.5 y 8.3 (ambiente marino).

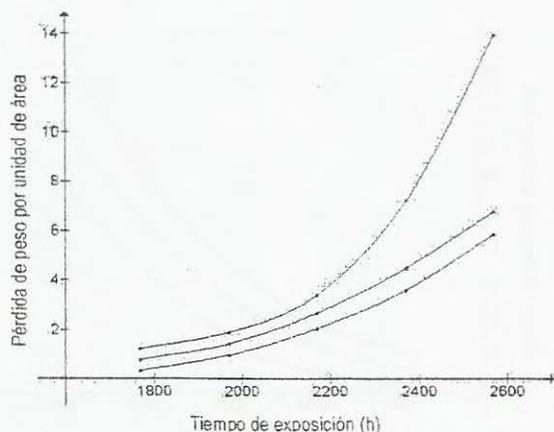
Resultados de la pérdida de peso por m<sup>2</sup> del acero de baja aleación y el acero galvanizado embebidos en concreto, expuestos en solución de NaHSO<sub>3</sub> 10<sup>-3</sup> M a pH 3.2, 4.2 y 5.2 (ambiente industrial), se muestran en los cuadros 5 y 6 respectivamente:

Cuadro N° 5. Pérdida de peso por m<sup>2</sup> de acero de baja aleación.

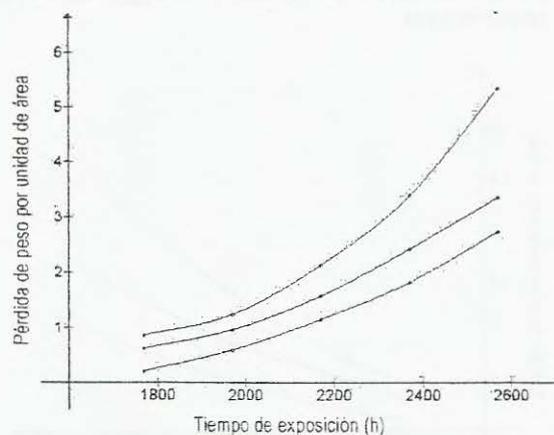
pH	Tiempo de exposición (h)				
	1770	1970	2170	2370	2570
3.2	1.20	1.87	3.40	7.20	13.90
4.2	0.75	1.40	2.65	4.49	6.75
5.2	0.33	0.94	2.05	3.57	5.82

Cuadro N° 6. Pérdida de peso por m<sup>2</sup> de acero galvanizado.

pH	Tiempo de exposición (h)				
	1770	1970	2170	2370	2570
3.2	0.85	1.23	2.13	3.40	5.35
4.2	0.62	0.95	1.58	2.43	3.35
5.2	0.21	0.59	1.15	1.83	2.73

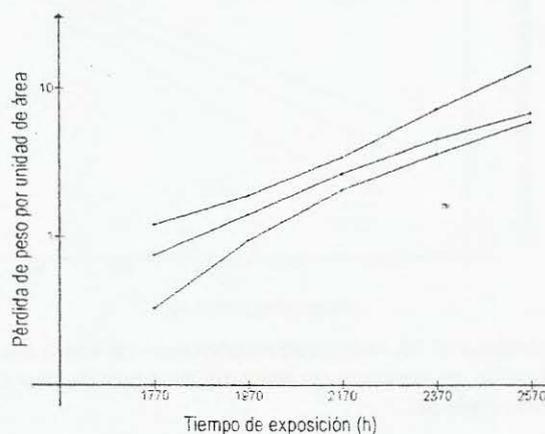


**Gráfico N° 9.** Velocidad de corrosión de acero embebido en concreto en solución de  $\text{NaHSO}_3$  a diferentes pH.

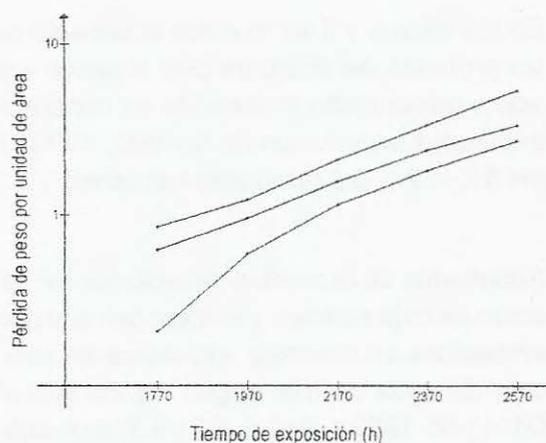


**Gráfico N° 10.** Velocidad de corrosión de acero galvanizado embebido en concreto en solución de  $\text{NaHSO}_3$  a diferentes pH.

En los gráficos 9 y 10 muestran la velocidad de corrosión en escala log - log de la pérdida de peso por  $\text{m}^2$  de superficie expuesta frente al tiempo de exposición.



**Gráfico N° 11.** Velocidad de corrosión de acero embebido en concreto en solución de  $\text{NaHSO}_3$  a diferentes pH.

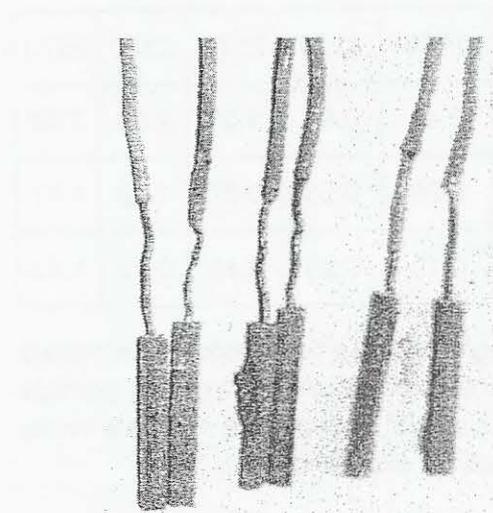


**Gráfico N° 12.** Velocidad de corrosión de acero galvanizado embebido en concreto en solución de  $\text{NaHSO}_3$  a diferentes pH.

En los gráficos 11 y 12 se muestran la velocidad de corrosión en escala log - log de la pérdida de peso por  $\text{m}^2$  de superficie expuesta frente al tiempo de exposición.



**Foto N° 5**



**Foto N° 6**

En las fotos 5 y 6 se muestra el aspecto de las probetas del acero de baja aleación y el acero galvanizado embebidos en concreto, expuestos en solución de  $\text{NaHSO}_3$   $10^{-3}$  M a pH 3.2, 4.2 y 5.2 (ambiente industrial).

Resultados de la pérdida de peso por  $\text{m}^2$  del acero de baja aleación y el acero galvanizado embebidos en concreto, expuestos en solución de agua de mar según Norma ASTM D1141-86-1989 a pH 3.5, 5.5 y 8.3 (ambiente marino), se muestran en los cuadros 7 y 8 respectivamente:

Cuadro N° 7. Pérdida de peso por  $\text{m}^2$  de acero de baja aleación.

pH	TIEMPO DE EXPOSICIÓN (h)				
	1770	1979	2170	2370	2570
3.5	1.04	1.84	3.36	5.76	9.56
5.5	0.60	1.20	2.42	4.52	7.36
8.3	0.28	0.52	1.24	3.20	5.51

Cuadro N° 8. Pérdida de peso por  $\text{m}^2$  de acero galvanizado.

pH	TIEMPO DE EXPOSICION (h)				
	1770	1970	2170	2370	2570
3.5	0.46	0.81	1.35	2.04	2.92
5.5	0.29	0.58	0.87	1.28	1.77
8.3	0.10	0.25	0.49	0.79	1.13

En los gráficos 13 y 14 muestran la velocidad de corrosión en escala log - log de la pérdida de peso por  $\text{m}^2$  de superficie expuesta frente al tiempo de exposición.

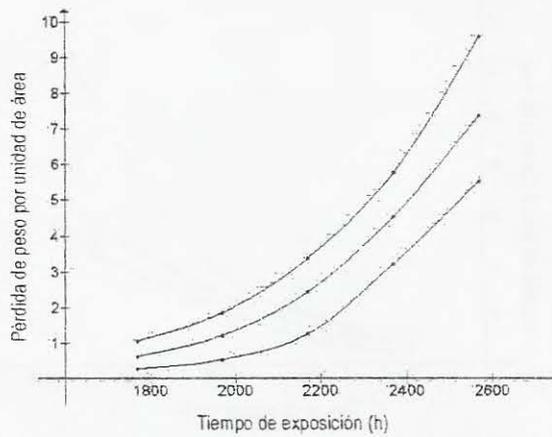


Gráfico N° 13. Velocidad de corrosión de acero embebido en concreto en solución de agua de mar a diferentes pH.

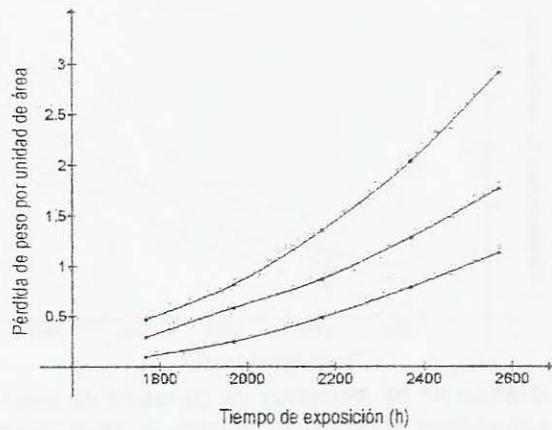


Gráfico N° 14. Velocidad de corrosión de acero galvanizado embebido en concreto en solución de agua de mar a diferentes pH.

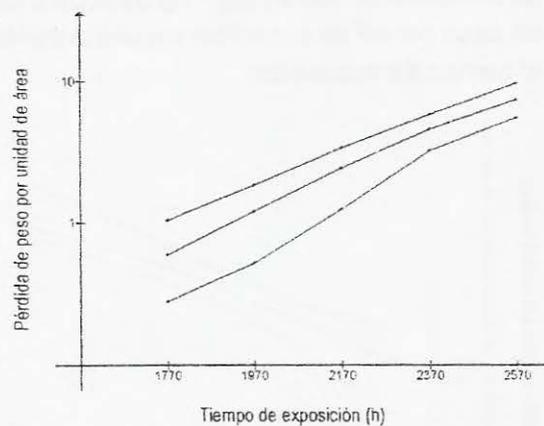
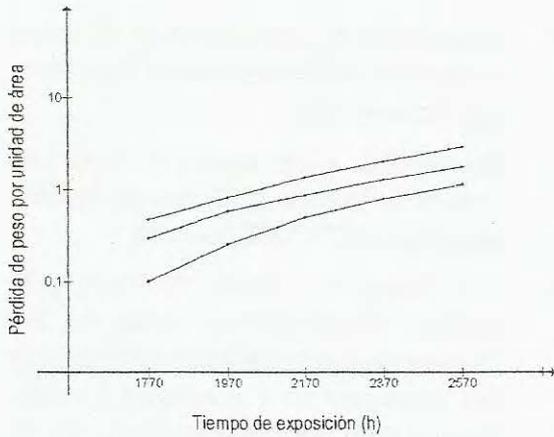
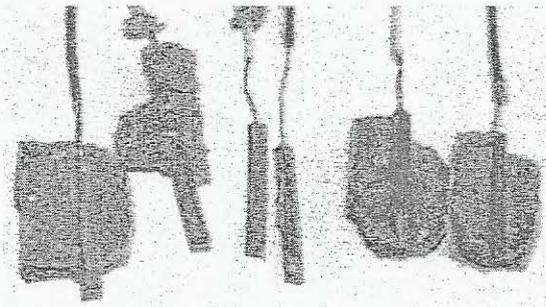


Gráfico N° 15. Velocidad de corrosión de acero embebido en concreto en solución de agua de mar a diferentes pH.

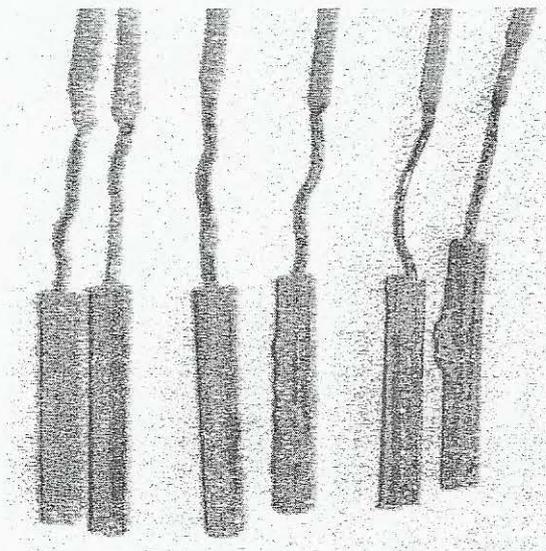


**Gráfico N° 16.** Velocidad de corrosión de acero galvanizado embebido en concreto en solución de agua de mar a diferentes pH.

En los gráficos 15 y 16 se muestran la velocidad de corrosión expresada en escala log-log de la pérdida de peso por m<sup>2</sup> de superficie expuesta frente al tiempo de exposición.



**Foto N° 7**



**Foto N° 8**

En las fotos 7 y 8 se muestra el aspecto de las probetas del acero de baja aleación y el acero galvanizado embebidos en concreto, expuestos en solución de NaHSO<sub>3</sub> 10<sup>-3</sup> M a pH 3.2, 4.2 y 5.2 (ambiente industrial).

#### IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El método de ensayo acelerado de corrosión del acero de baja aleación y acero galvanizado desnudos y embebidos en concreto, permitió estudiar la influencia de los agentes agresivos en el entorno del material: ambiente industrial (solución de NaHSO<sub>3</sub> 10<sup>-3</sup> M a pH 3.2, 4.2 y 5.2) o ambiente marino (solución de agua de mar Norma ASTM D1141-86-1989 a pH 3.5, 5.5 y 8.3), las probetas están en contacto directo con las soluciones agresivas:

- La representación gráfica de las pérdidas de peso con respecto al tiempo de exposición para acero de baja aleación y acero galvanizado desnudos responde al trazado típico de leyes de funciones de potencia, obteniéndose líneas rectas en un trazo del sistema doble logarítmico.
- La representación gráfica de las pérdidas de peso con respecto al tiempo de exposición para acero de baja aleación y acero galvanizado embebidos en concreto responde al trazado típico de leyes de funciones de potencia, obteniéndose líneas rectas en un trazo del sistema semilogarítmico.
- Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten evaluar la agresividad de los contaminantes corrosivos de algunos medios.
- En las probetas embebidas en concreto y sumergidas en los diferentes medios, se observa una pérdida de peso inicial muy lenta, debido a la lenta difusión en el concreto de los agentes corrosivos y la consiguiente destrucción de la propiedad protectora de los productos de corrosión, que paulatinamente va disminuyendo a medida que se difunde en ella una mayor concentración del agente agresivo y aumenta su acción corrosiva sobre la superficie del metal.

## V. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Pizarro, R. G.; Arana, G.; Alarcón, N. «Efecto de la Relación Agua-Cemento-Arena en la Permeabilidad del Concreto». Boletín Sociedad Química del Perú vol. LIX (1)(1993) 23-30.
2. Gonzalo Alarcón Ore y Miguel Castro Magluf. «Ensayos Acelerados para la Determinación de la Velocidad de Corrosión del Acero Embebido en Concreto». En Ambientes Industrial y Marino». Tesis FQIQ-UNMSM, Lima, Perú (1993).
3. Shigeyoshi, N.: «Influence of Moisture Content on Air Permeability of Concrete», Caj. Review 1986.
4. Powers, T.C. «The Nature of Concrete, Test and Propies of Concrete Making Materials» STP 1966 Londres.
5. C.S. Poon, A.I. Clark, R. Perry, A.P. Barker; «Permeability Study on the Cement Based Solidification Process for the Disposal of Hazardous Wates, Cement and Concrete Research», Vol 16, 1986, U.S.A.