



PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

Instituto de agroindustria

Facultad de Ingeniería



“ EFECTO DE LA CORROSIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LA CORROSIÓN DE MATERIALES FERROSOS (ACEROS) DE SIDER – PERÚ. MODELO MATEMÁTICO “

CATHODE

ANODE



Responsable: ING. SAÚL EUSEBIO LARA

Corresponsables: Ing. César Moreno R.
Ing. Daniel Sánchez V.

Nuevo Chimbote 2012



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

- Actualmente la contaminación atmosférica en el Puerto de Chimbote es extremadamente grave, quizás es el sector más contaminado de todo el litoral peruano. Hace aproximadamente cincuenta años que este problema se viene incrementando muy rápido día a día, debido a la proliferación de medianas y pequeñas industrias en el sector pesquero y la misma siderurgia de Sider-Perú, que han hecho de nuestro puerto un receptor injustificado de todas las descargas de gases contaminantes de todas las fábricas existentes, como consecuencia de sus operaciones. Lo que aun es mas grave en el caso de la corrosión de los materiales es el alto contenido de humedad en este sector por la brisa marina, debido a la cercanía y exposición de los materiales susceptibles de corrosión con la bahía “El Ferrol”.



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

, considerando de gran importancia la prevención y contaminantes en áreas y materiales afectados que tiendan a mejorar la calidad ambiental, el objetivo de este trabajo fue determinar la velocidad de corrosión del acero al carbono en muestras extraídas de Sider-Perú. Se ubicaron tres estaciones de control en la zona costera del litoral correspondiente a la Bahía el Ferrol: Muelle artesanal “La Ramada”, Complejo Pesquero 27 de Octubre y Campus Universitario de la Universidad Nacional del Santa.

- El período de exposición de las muestras para este trabajo, fue de 15 meses, determinándose durante dicho período, la contaminación del aire, los factores meteorológicos, la acidez del agua de lluvia, así como la velocidad de corrosión del acero a través de la formulación teórica de un modelo matemático. Por otra parte, en este trabajo también se advierte la intención de continuar extendiendo el estudio al tratamiento de efluentes de la actividad industrial local, caracterizando sus contaminantes más relevantes referidos al tema de la contaminación y en particular de aquellos atmosféricos de origen siderúrgico.





IOGRAFICA

ción Atmosférica:

Se puede definir la contaminación atmosférica como "la presencia en el aire de sustancias extrañas, sean éstas gaseosas, sólidas o la combinación de ambas, en cantidad y durante un tiempo de permanencia que puede provocar efectos nocivos para la salud humana y un deterioro de los bienes de uso y del paisaje".

Sustancias que Contaminan la Atmósfera: Puede ser un contaminante cualquier elemento, compuesto químico o material de cualquier tipo, natural o artificial, capaz de permanecer o ser arrastrado por el aire. Puede estar en forma de partículas sólidas, gotas líquidas, gases o en diferentes mezclas de estas formas.

Algunas de las principales sustancias atmosféricas son consideradas contaminantes cuando sus concentraciones son notablemente más elevadas que en la situación normal, como aquellos niveles de concentración que se observa entre aire limpio y aire contaminado.



Componente	Aire Limpio (ppm)	Aire Contaminado (ppm)
SO ₂	0,001 – 0,01	0,02 – 2
CO ₂	310 – 330	350 – 700
CO	< 1	5 – 200
NO _x	0,001 – 0,01	0,01 – 0,5
O ₃	0.02	0,5
N ₂ O	0,25	?
NH ₃	0,01	0,02
Hidrocarburos	1,00	1 – 20
Partículas	10 – 20 µg/m ³	70 – 700 µg/m ³



Calidad del Aire: Es el sistema de regulaciones, las normas ambientales de calidad del aire, normas ambientales de control de emisiones de fuentes fijas, normas ambientales de control de emisiones de fuentes móviles y los principales parámetros: NO_x , SO_2 , CO , CO_2 , hidrocarburos (no metano), Pb y material particulado :

Contaminante	Tiempo Promedio	Límite Permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas suspendidas totales (PST)	Anual	80
	24 horas	230
Partículas fracción (PM-10)	Anual	50
	24 horas	150
Partículas fracción (PM-2.5)	Anual	15
	24 horas	65
Dióxido de azufre (SO_2)	Anual	100
	24 horas	365
	1 hora	450
Dióxido de nitrógeno (NO_2)	Anual	100
	24 horas	300
	1 hora	400
Ozono (O_3)	8 horas	160
	1 hora	250
Monóxido de carbono (CO)	Media diaria	--
	8 horas	10 000
	1 hora	40 000
Hidrocarburos (HC) (no-metano)	3 horas	160
Plomo (Pb)	Trimestral	1,5
	Anual	2,0



sférica.-

sférica es la causa más frecuente de la destrucción de los metales y aleaciones. Uno de los factores que determina primariamente la intensidad del fenómeno corrosivo en la atmósfera es la composición química de la misma. El SO_2 y el NaCl son los agentes corrosivos más comunes de la atmósfera. El NaCl se incorpora a la atmósfera desde el mar. Lejos de éste, la contaminación atmosférica depende de la presencia de industrias y núcleos de población, siendo el contaminante principal por su frecuencia de incidencia sobre el proceso corrosivo el dióxido de azufre (SO_2), proveniente del empleo de combustibles sólidos y líquidos que contienen azufre.

La corrosión atmosférica puede ser clasificada en:

- a) **Corrosión seca.** Se produce en los metales que tienen una energía libre de formación de óxidos negativa.
- b) **Corrosión húmeda.** Requiere de la humedad atmosférica, y aumenta cuando la humedad excede de un valor crítico, frecuentemente por encima del 70%.
- c) **Corrosión por mojado.** Se origina cuando se expone el metal a la lluvia o a otras fuentes de agua.



acero.-

- La corrosión es un proceso espontáneo de destrucción que experimentan los metales en contacto con el medioambiente, convirtiéndose en óxidos y esto produce un gradual deterioro de ellos. La corrosión del acero y en particular el hierro, es un proceso electroquímico debido a que sobre la pieza del metal que se corroe existen zonas anódicas y catódicas, en el cual el hierro se oxida con el oxígeno del aire en presencia de humedad, para dar un producto que carece de las propiedades estructurales del hierro metálico, como lo es el óxido de hierro(III) hidratado ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$) de color café rojizo que se llama en lo cotidiano herrumbre.
- A menudo se habla del acero inoxidable, el término es impropio por dos razones: (1) este tipo de acero contiene elementos de aleación (cromo, níquel) que se oxidan; a esta capa de óxido se debe la protección del acero, (2) no está protegido más que en ciertos tipos de ambiente, y se corroerá en ambientes distintos.



básicamente una aleación o combinación de hierro y (por lo general con un contenido de carbono entre 0,05% hasta menos de un 2%). Algunas veces se agregan otros elementos de aleación específicos tales como el Cr (Cromo) o Ni (Níquel) con propósitos determinados. Ya que el acero es básicamente hierro altamente refinado (más de un 98%), su fabricación comienza con la reducción de hierro (producción de arrabio) el cual se convierte más tarde en acero.

Los factores que intervienen en la corrosión del acero y que van a provocar y/o agravar la misma, son:

Aire y humedad: causantes de la oxidación y posterior corrosión del acero.

Presencia de ácidos diluidos y soluciones salinas: aumentan la velocidad de oxidación.

Compuestos sulfurados de los humos procedentes de la combustión: intensifican la oxidación.

Deshechos animales: se considera un tipo especial de ataque químico que puede llegar a ser muy severo.

Algunos materiales, como el mortero de cal tierno y el mortero de yeso atacan vivamente al hierro.

Por la diferencia de potencial en áreas de un mismo metal, debido a la capa de óxido remanente propia del proceso de laminación del acero o por las diferencias en el oxígeno disuelto en el agua u otro electrolito.



Matemático de la Velocidad de Corrosión.-

- Un modelo matemático de la velocidad de corrosión es una formulación teórica que describe la forma en que, a lo largo del tiempo de exposición de los materiales, varía la velocidad de corrosión o su comportamiento al modificar uno o mas de los factores que lo gobiernan (temperatura, factor metereológico, lugar, tiempo).
- Existen modelos que se han construido utilizando un gran número de datos experimentales, como los de Legault y Leckie (1974), basados en la extensa colección de datos publicados por Larrabee y Coburn (1962), que muestran la velocidad de corrosión frente a distintos parámetros químicos.

$$VC = A * t^n$$

Donde: VC : Velocidad de corrosión (mg/dm².día)

t : Tiempo de exposición (días)

n : Exponente de la ecuación, variable para cada lugar de exposición

A : Factor multiplicativo, variable para cada lugar de exposición



En la Velocidad de Corrosión: Los materiales expuestos dan origen a la velocidad de corrosión de los puntos de ensayos y que puedan ser relacionados a un modelo matemático que estará condicionado a los tipos de atmósfera que pueden darse y pueden ser clasificadas en cuatro tipos

a) Atmósfera Industrial.- Caracterizado por la composición de contaminantes principalmente los compuestos de azufre (SO_2) que proviene del quemado del carbón, petróleo y otros combustibles el cual es atrapado por la humedad en las partículas de polvo como ácido sulfuroso; éste a su vez es oxidado por un proceso catalítico en las partículas de polvo

b) Atmósfera Marina.- La característica de la atmósfera marina es la presencia de partículas finas de agua de mar llevado por el viento para depositarse en las superficies expuestas. La cantidad de sal (cloruros) decrece rápidamente, con la distancia del océano hacia el interior del continente y la influencia de las corrientes del viento juega un papel de importancia.

c) Atmósfera Rural.- La atmósfera no contiene contaminantes de productos químicos concentrados, pero contienen polvo orgánico e inorgánico. La humedad es el principal constituyente corrosivo y por supuesto las sustancias gaseosas como el oxígeno y el dióxido de carbono (SO_2).



Perú y su Producción.-

Producción: SIDERPERU, es el fabricante de productos de acero más grande y de más prestigio en el Perú. La calidad de los productos de SIDERPERU ha acompañado a la industria y la construcción peruana por mas de 50 años; y esto ha valido para que nuestros productos tengan gran aceptación. La experiencia acumulada desde el inicio de sus operaciones en el año 1956, esta reforzada con las diversas ampliaciones y modernizaciones realizadas en las plantas, hechas con mucho más empeño luego de la privatización de la empresa en el año 1996.

Productos:

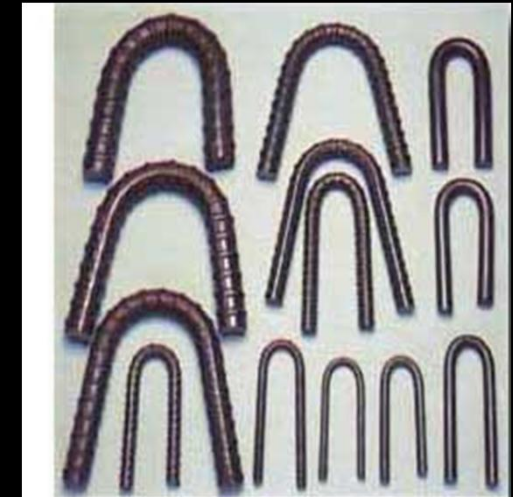
LINGOTES DE ARRABIO.- Producto metálico moldeado (lingote), compuesto de hierro y carbono, se obtiene por el proceso de reducción del mineral de hierro en un alto horno.

C	Mn	Si	S
3,5 - 5,0	0,05 mín.	1,80 máx.	0,15 máx.



Productos No Planos.- El acero producido en los Hornos Básicos al Oxígeno (Convertidores LD) y Hornos Eléctricos. Por ejemplo: Barras corrugadas de acero, se usan en estructuras de hormigón armado para construcciones donde se requiera empalmes por soldadura. Entre sus aplicaciones tenemos: Columnas, vigas, viviendas, edificios, puentes, etc.

Designación: BC-1-E 42-ASTM A 706 G60



Productos Planos.- El acero producido en los Hornos Básicos al Oxígeno (Convertidores LD) y Hornos Eléctricos, es transformado a Lingotes en los talleres de Nave de Colada y laminado en caliente.

Planchas Gruesas: Son productos de acero planos laminados en caliente, con espesores de 6,0 a 50,0 mm, anchos de 1220 a 2400 mm, longitudes de 2400 a 12 000 mm.

Designación: PG-1-C-SN-R ; PG-1 ASTM A36 SN-R; PG-1-ASTM A572-SN-R; PG-1 ASTM A131 SN-R; PG-1-NA-SN-R



PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Delgadas Laminadas en Caliente:

Acero, laminados en caliente (LAC), con espesores de 1,8 a 9,5 mm y anchos de 920 y 1220 mm. Las bobinas son resultantes del enrollamiento de las bandas al terminar el proceso de laminación, y las planchas son productos del corte de las bobinas en la línea de corte.

Designación: BOC-1-C-SD-R; BOC-1-ASTM A36-SD-R; PDC-1-ASTM A36-SN-SD-R; PDC-1-C-SN-SD-R; PDC-1-ASTM A131-SN-SD-R.



Productos Tubulares.- Son productos de acero de sección variable, conformados en frío y en el caso de tubos soldados por resistencia eléctrica, obtenidos a partir de flejes de acero cortados de bobinas laminadas en caliente o en frío.



ESPECÍFICOS:

- Caracterizar las propiedades físicas y químicas de los distintos tipos de acero.
- Determinar la concentración y efectos de SO_2 y cloruros sobre las estructuras metálicas.
- Determinar las estaciones y períodos de exposición de las muestras.
- Formular el modelo matemático para la corrosión de los materiales ferrosos.
- Determinar los parámetros ambientales atmosféricos en Chimbote que afectan la corrosión de estructuras metálicas.
- Realizar un monitoreo y evaluación de la velocidad de corrosión y deterioro de las muestras.



4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

- *¿Cuál es el efecto de la contaminación atmosférica sobre la corrosión de materiales ferrosos (aceros) de Sider – Perú?*



5. HIPÓTESIS:

- *El efecto de la contaminación atmosférica sobre los materiales ferrosos de Sider-Perú es la pérdida de peso y deterioro de las muestras.*



Y PLAN EXPERIMENTAL:

6.1. MATERIALES DE ESTUDIO.-

Muestras de acero de la Industria Siderúrgica Sider - Perú

- Tipo de muestras: *Planchas delgadas de acero: Comercial, Estructural y Naval*
- Código de las muestras: *SAE-1009 (comercial), ASTM A 36/A 1011 G 36 Tipo 2 (estructural) y ASTM 131 Grado A (naval).*
- Lugares de exposición: *Tres estaciones: Universidad Nacional del Santa "Campus Universitario", Muelle Artesanal de Pesca "La Ramada" y Complejo Industrial Pesquero "27 de octubre" – Chimbote.*
- Tiempo de exposición de las muestras: *15 meses (desde enero del 2011 a marzo del 2012)*
- Factores medioambientales: *Meteorológicos y componentes atmosféricos*



UMENTOS DE MEDICIÓN.-

■ Materiales y Reactivos de Laboratorio:

3 Termómetros: ñ 10 a 100 °C
6 Probetas metálicas de acero
3 Colectores de vidrio para agua de lluvia
1 Sistema de posicionamiento global meteorológico (GPS)
1 Pipeta de 10 mL
3 Cuentagotas
1 Probeta de 100 mL
1 Balanza analítica
1 matraz aforado de 25 mL

Solución de nitrato de plata 1 %
Solución de cloruro de bario
2 vasos de precipitados de 200 mL
2 frascos de plástico de 200 mL
1 varilla de vidrio
1 frasco de agua destilada
1 pipeteador



GENERAL EXPERIMENTAL

A. Caracterización Física y Química de las Muestras de Acero de Sider-Perú:

- **Bobinas y Planchas Delgadas Laminadas en Caliente:**
Productos planos de acero, laminados en caliente.
- **Composición Química:**

Calidad de acero	C _{max}	Mn	P _{max}	S _{max}	Si _{max}
Comercial	0,15	0,6 max	0,040	0,05	--
Estructural (A 1011)	0,25	1,35 max	0,035	0,04	0,40
Naval (A 131)	0,21	2,5 x % C _{min}	0,035	0,035	0,50



éctnicas:

Calidad de acero	Norma (Tipo de acero)	Características y usos
Comercial	SAE ñ 1009	Cubierta de equipos, maquinarias, portones, tubos, perfiles y aplicaciones de baja exigencia mecánica
Estructural	ASTM A 36 / A 36 tipo 2	Construcciones de puentes, estructuras industriales, tanques de almacenamiento, vigas, torres, y propósitos estructurales en general.
Naval	ASTM A 131 Grado A	Embarcaciones navales y aplicaciones estructurales. La planchas de calidad naval pueden suministrarse con certificado de calidad expedido por Lloyd's Register of Shipping a requerimiento del cliente.

Exposición:

ESTACION	LOCALIZACION
Universidad Nacional del Santa (Ambiente Urbano)	Campus Universitario, Laboratorio de Química General e Inorgánica.
Muelle Artesanal de la Bahía ðLa Ramadaô (Artesanal - Marino)	Hospital la Caleta N ñ O de la Bahía el Ferrol
Complejo Pesquero �27 de octubre� (Urbano - Industrial)	Instalaci�n de la Industria Pesquera �Pesquera CFG�

C. Medida y Análisis de las Variables Medioambientales:

1. Agresividad de la Atmósfera:

La velocidad de deposición de SO_2 y cloruros sobre las superficies de las muestras de acero se determinó en cada lugar de exposición mediante equipos de sensibilidad demostrada. Así cada estación de corrosión atmosférica constara de: Colector de cloruros (método volumétrico del nitrato de plata) .Determinación del SO_2 (método volumétrico del sulfato de bario) (Tablas 1 y 2)



Durante el periodo de experimentación es imprescindible un inventario de los datos climáticos en los lugares de exposición de las muestras. Estos datos corresponden a: Intervalo de variación de la temperatura media mensual, °C (ITM), intervalo de variación de la humedad relativa mensual (IHR), intervalo de variación de los días de lluvia mensual (ILLM), la dirección de los vientos dominantes (DV) . (Tabla 3)

$$T_w/t = 41,022 - 2,629*HR + 0,0328*HR^2$$

Donde: T_w : Es el tiempo de humectación (días)

t: Es el tiempo de exposición en días

HR: Es la humedad relativa

3. Acidez del Agua de Lluvia.-

Se instalaron colectores de agua de lluvia en cada una de las estaciones, cada muestra fue recogida mensualmente. Para calcular la deposición de la acidez húmeda (AHD), se utilizó la relación:

$$(AHD) = \text{Precipitación mensual} \times \text{acidez media mensual (mg/m}^2\text{.mes)}$$



Tratamiento de las Muestras:

1. Exposición y Composición Química del Acero Utilizado:

- La muestra de acero **comercial** fue expuesta en el muelle artesanal "La Ramada",
- El acero **estructural** expuesto en el Complejo Pesquero 27 de octubre y
- La muestra de acero **naval** expuesta en el Laboratorio de Química de La UNS.

- La composición química del acero utilizado fue la siguiente:

Acero Comercial: Código SAE – 1009.

C(0,15), Mn(0,6), P(0,040), S(0,05), Si (--), resto Fe

Acero Estructural: Código ASTM A 36/A 1011 G 36 tipo 2.

C(0,25), Mn(1,35), P(0,035), S(0,04), Si(0,40), resto Fe

Acero Naval: Código ASTM 131 Grado A.

C(0,21), Mn(0,37), P(0,035), S(0,035), Si(0,50), resto Fe



n de las Probetas:

Se prepararon seis probetas de acero. Dado que, el acero sufre los efectos de la corrosión de forma más grave y más rápida, se efectuaron recogidas con periodicidad trimestral. Se tomaron tres probetas testigo (una de cada estación) para evaluar la velocidad de corrosión con las otras tres probetas experimentales.

3. Medidas Gravimétricas:

Se calculó la velocidad de corrosión por la diferencia de masa entre la probeta no expuesta (testigo) y la expuesta. Este valor fue mejor manipulado utilizando la ecuación para la velocidad de corrosión de un acero:

$$CV = A.t^n$$



Los valores de los parámetros de la velocidad de corrosión, son los obtenidos a partir de las muestras de estudio; con estos parámetros se obtienen las ecuaciones de las distintas velocidades de corrosión de cada estación:

UNS (Laboratorio de Química General): $VC = 84,456 * t^{(n 0,449)}$

Muelle la Ramada (Hospital la Caleta): $VC = 322,767 * t^{(n 0,57)}$

Complejo Pesquero (Pesquera CFG): $VC = 104,65 * t^{(n 0,415)}$

Utilizando estas ecuaciones se obtienen los datos para las velocidades de corrosión en cada una de las estaciones, representados en la tabla 6.



Peso de las Muestras:

Organizando los datos experimentales de la misma forma que para las velocidades de corrosión, se obtiene los parámetros de la ecuación logarítmica de la pérdida de peso, para cada una de las estaciones.

Entonces la pérdida de peso seguirá la siguiente expresión:

$$PP = B * t^e$$

Donde : PP : Velocidad de pérdida de peso (mg/dm²)

t : Tiempo de exposición (días)

e : Exponente de la ecuación, variable para cada lugar de exposición

B : Factor multiplicativo, variable para cada lugar de exposición.



De los datos experimentales se obtiene:

UNS (Laboratorio de Química General): $PP = 87,2 * t^{0,547}$

Muelle la Ramada (Hospital la Caleta): $PP = 266,54 * t^{0,467}$

Complejo Pesquero (Pesquera CFG): $PP = 95,34 * t^{0,602}$

Con estas fórmulas últimas, se obtienen los datos de pérdida de peso que se representan en la tabla 7.



S:

7.1. Medida de las Variables Medioambientales:

TABLA N° 1: Velocidad de deposición mensual del SO₂ y Cl⁻ en los tres puntos seleccionados (mg/m².día)

Meses (2011)	UNS (Laboratorio de Química General)		Muelle la Ramada (Hospital)		Complejo 27 de octubre (Pesquera CFG)	
Sustancia:	SO ₂	Cl ⁻	SO ₂	Cl ⁻	SO ₂	Cl ⁻
ENE.	7.27	0.6	22.48	8.53	14.8	0.88
FEB.	1.96	73.58	7.26	152.9	6.64	46.19
MAR.	1.95	303.9	1.71	1197	24.29	381.5
ABR.	5.61	6.12	89.78	106.12	10.15	30.76
MAY.	4.09	8.28	120.03	101.96	8,00	45.01
JUN.	7.35	1.16	85.51	56.41	12.62	26.42
JUL.	8.36	42.85	36.82	42.06	27.23	40.1
AGO.	7.01	39.68	31.82	46.26	40.81	32.51
SEP.	10.54	23.19	71.03	60.65	-	26.49
OCT.-NOV.	9.26	32.68	75.22	83.15	25.42	34.75
DIC.	8.16	24.31	48.74	76.55	50.95	50.53



PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

valores medios, mínimo y máximo anual de la velocidad de
deposición de SO_2 y Cl^- ($\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{día}$)

Estación		Valor medio	Valor Mínimo	Valor Máximo
UNS (Laboratorio de Química General):	SO_2	6,50	1,95	10,54
	Cl^-	50,58	0,60	303,9
Muelle la Ramada(Hospital la Caleta):	SO_2	53,67	1,71	120,03
	Cl^-	175,60	8,53	1197,0
Complejo 27 de octubre (Pesquera CFG):	SO_2	20,08	0,00	50,95
	Cl^-	65,01	0,88	381,5

TABLA Nº 3: Meteorología, datos climáticos de los lugares de exposición

Factor climático	UNS (Lab. de Química General)	Muelle la Ramada (Hospital)	Complejo 27 de oct. (Pesquera CFG)
Temperatura, °C (ITM)	15.2 – 21.4	17.9 – 23.3	17.3 – 23.6
Humedad (IHR)	71 – 89	79 – 91	61 – 71
Días de lluvia (ILLA)	1 – 20	0 – 8	0 – 19
Humectación (IVm)	38.93	49.93	15.89
Vientos dominantes (DV)	N – NW	N	N-NE



Acidez del agua depositada, valores de pH mensual

Estación	Valor mínimo	Valor máximo	Valor medio
UNS (Laboratorio de Química General)	6.56	8.81	7.61
Muelle la Ramada (Hospital)	5.9	7.43	6.75
Complejo 27 de octubre (Pesquera CFG)	5.04	7.78	6.48

TABLA N° 5. Acidez Húmeda Depositada (AHD)

Estación	Valor mínimo (mg/m ² .mes)	Valor máximo (mg/m ² .mes)	Valor medio (mg/m ² .año)
UNS (Laboratorio de Química General)	0.0	131.2	32.53
Muelle la Ramada (Hospital)	0.0	50.24	8.7
Complejo 27 de octubre (Pesquera CFG)	0.0	95.76	16.11



n y Tratamiento de las Muestras:

TABLA N° 6: Velocidades de Corrosión en las Muestras (mg/dm².día)

Meses (trimestral: enero 2011 ñ marzo 2012)	UNS (Lab. de Química General)	Muelle la Ramada (Hospital)	Complejo 27 de octubre (Pesquera CFG)
3	11,20	24,83	16,17
6	8,20	16,73	12,13
9	6,84	13,27	10,25
12	6,01	11,27	9,10
15	5,44	9,92	8,29



TABLA Nº 7. Pérdida de Peso de las Muestras (mg/dm²)

Meses (trimestral: enero 2011 ñ marzo 2012)	UNS (Lab. de Química General)	Muelle la Ramada (Hospital)	Complejo 27 de octubre (Pesquera CFG)
3	1 022,10	2 179,68	1 431,29
6	1 493,31	3 012,83	2 172,45
9	1 864,11	3 640,90	2 773,04
12	2 181,80	4 164,43	3 297,38
15	2 465,04	4 621,82	3 771,46



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

DE RESULTADOS:

Los valores mostrados en las tablas N° 1 y N° 2 para la velocidad de deposición mensual de SO_2 y Cl^{-1} , indican que: Las concentraciones de SO_2 y Cl^{-1} son muy variables en los tres puntos. La concentración de SO_2 en la zona del laboratorio de química general (UNS) alcanza un máximo de 10,54 mg/día, comparado con el máximo valor de 120,03 mg/día para la concentración de SO_2 en la zona del muelle la Ramada, existe una diferencia muy grande para la concentración de SO_2 (de 109,49 mg/día) entre estos dos puntos, debido principalmente a las emisiones atmosféricas de SO_2 provenientes de las operaciones metalúrgicas de Sider-Perú y que se hacinan directamente como brisa marina en el puerto. Igualmente, las concentraciones de Cl^{-1} tienen una diferencia muy grande entre estos dos puntos, en la zona de laboratorio de química general alcanza un valor máximo de 303,9 mg/día y de 1197 mg/día para la zona del muelle artesanal, esta diferencia de 883,1 mg/día se debe a una densa niebla marina con un alto contenido de NaCl acuoso en las inmediaciones del muelle. Sin embargo, pese de haber obtenido valores mínimos para las concentraciones de SO_2 y Cl^{-1} en alguno de los meses, en las tres estaciones de control, ninguno de estos valores encontrados se aproximan a los límites máximos permisibles en la atmósfera, tanto para la concentración del SO_2 que debe alcanzar un máximo de 0,365 mg/día, como para la concentración de Cl^{-1} que se admite un máximo de 0,230 mg/día.



ustra a la temperatura y a la humedad relativa como factores importantes. El índice de variación de la temperatura alcanza mas o menos un valor constante para las tres estaciones como se puede observar en la tabla, sin embargo el índice de variación para la humedad relativa es distinto, el máximo valor promedio se registra en el muelle artesanal (85 %), pero existe una diferencia significativa del promedio de humedad en la zona de laboratorio de química general (80 %) con la humedad de la zona del complejo 27 de octubre (66%), este último valor de humedad relativa contrasta contradictoriamente con la ubicación de la zona 27 de octubre, pese a encontrarse muy próximo al litoral marino, el lugar debiera tener un mayor humedad relativa, lo que conlleva a deducir que la fuerte humectación en la zona de la UNS se debe la orientación de la brisa por los vientos dominantes N-NE, aumentando en valor promedio la humedad relativa en esta zona.

En cuanto a la acidez del agua depositada, la tabla N° 4 muestra los valores medios de pH mensual muy próximo a la neutralidad. En el laboratorio de química general el agua depositada en la muestra es ligeramente básica ($\text{pH} = 7,61$), mientras que el agua depositada en las muestras ubicadas en el muelle la Ramada y el Complejo 27 de octubre es ligeramente ácida, se registraron valores medios de pH mensual de 6,75 y 6,48 respectivamente. Sin embargo, estos valores medios de pH mensual registrado en cada estación inciden significativamente en los valores de acidez húmeda depositada, cuyo valor máximo mensual es proporcional a la concentración de SO_2 y Cl^{-1} depositados en las muestras de cada punto de control, tal como se observa en la tabla 5.



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

a las velocidades de corrosión en las muestras, indica que éstos van disminuyendo a medida que aumenta el período de exposición en cada una de las estaciones de control, debido a que el área de exposición de cada muestra se ve reducida en cada período ascendente al aumentar la velocidad de deposición los agentes corrosivos (SO_2 y Cl^{-1}); sin embargo en promedio, la mayor velocidad de corrosión se registra en la muestra del muelle la Ramada ($15,20 \text{ mg/dm}^2.\text{d}$) y que concuerda con la mayor velocidad de deposición de SO_2 y Cl^{-1} en este punto. En cuanto a la pérdida de peso de las muestras, los valores mostrados en la tabla N° 7 indican que, al aumentar los períodos de exposición también aumenta el peso perdido para cada una de las muestras; es decir, el peso perdido está relacionado directamente con la mayor concentración de SO_2 y Cl^{-1} depositados, donde también influyen la incidencia de los factores climáticos, siendo la muestra del metal de acero mayor afectada aquella ubicada en el muelle artesanal, cuyo peso perdido en promedio en 15 meses fue de $3\,524 \text{ mg/dm}^2$, frente a las muestras de las otras dos estaciones, la zona de la UNS y del Complejo 27 de octubre, el peso perdido en dichas muestras fueron en promedio de $1805,27$ y $2689,12 \text{ mg/dm}^2$ respectivamente.



IONES:

El ambiente del Laboratorio de Química General e inorgánica de la UNS es una zona medianamente urbana donde la humedad relativa media es del 80 %, con una contaminación de cloruros relativamente baja (50,58), al igual que la contaminación por SO_2 (6,50). Se observa que el aumento en la concentración de Cl^{-1} es despreciable con la velocidad de corrosión y que ésta va disminuyendo a medida que transcurre el tiempo de exposición de la muestra. En cuanto a la concentración de SO_2 también es muy pequeña, el efecto en la velocidad de corrosión es despreciable, aunque al aumentar la concentración de SO_2 en el tiempo, tiende a aumentar la velocidad de corrosión.

- El Muelle artesanal “La Ramada”, es una zona de carácter marino con un alto contenido de brisa y además influenciada por una contaminación producida por los barcos que atracan en el Puerto. En esta zona la humedad relativa media del 85 %, con una contaminación debida a las nieblas marinas de influencia destacable, y a la alta concentración de SO_2 (53,67) y Cl^{-1} (175,60). En el análisis de la ecuación obtenida se puede deducir que el efecto producido por la contaminación del NaCl y del SO_2 , afecta drásticamente la pérdida del metal de acero, en un promedio de pérdida de peso de 3 524 mg en 15 meses de exposición de la muestra, siendo el NaCl el que afecta en mayor medida.



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

- El Complejo Pesquero “27 de octubre” , es una zona marcada por una importante contaminación, con una humedad relativa media del 66 %, la contaminación por nieblas marinas es medianamente alta, producida por las concentraciones de SO_2 (20,08) y del Cl^{-1} (65,01). Igualmente estas concentraciones afectan significativamente la pérdida de peso del metal expuesto, 2 689,12 mg en promedio, durante todo el período de estudio considerado.



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

RECOMENDACIONES:

Se debe seleccionar mayor número de estaciones o puntos de control en toda la trayectoria del litoral de la Bahía el Ferrol y otros puntos circundantes, para un mejor monitoreo de exposición de las muestras. Así mismo elegir mayores períodos de tiempo de exposición de los materiales al aire libre para que los resultados de los análisis sean más completos y confiables,

Seleccionar muestras cuya composición química sea experimentalmente de fácil manejo y confiable para los análisis. Para consolidar los resultados de los análisis para este tipo de trabajo se deben realizar ensayos alternos eligiendo otros métodos para el tratamiento de materiales susceptibles de corrosión, utilizando lo mejor que sea posible programas o softwares estadísticos en los cuales se puedan incluir otras variables y obtener mejores resultados.

Para determinar mejor aun, los indicadores de contaminación atmosférica asociados a la corrosión de materiales, se recomienda utilizar instrumentos de medición que están relacionados directamente con la ciencia del medioambiente en la cual intervienen otros indicadores de la contaminación ambiental que inciden en mayor grado sobre el deterioro de los materiales de uso en general.



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Gracias

