

T  
620.11223  
012



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
**Facultad de Ingeniería en Mecánica**



**Corrosión en Armaduras de Hormigón  
para Postes de Alumbrado Eléctrico de  
la Ciudad de Guayaquil**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECANICO**

Presentado por:

**HUGO VICENTE LOBANDO SALVATIERRA**



GUAYAQUIL

AÑO  
1994

ECUADOR



BIBLIOTECA

DEDICATORIA

A DIOS.

A MI PADRE.

A MI MADRE.

A MIS TIOS Y FAMILIARES.

## AGRADECIMIENTO

Al Ing. Julián Peña,  
Dr. David Choez, Sr.  
Julio García, Jorge Luis  
Salvatierra, y demás  
personas por su ayuda y  
colaboración para la  
realización de este  
trabajo.






---

Dr. Alfredo Barriga  
DECANO DE LA FIM



---

Ing. Julián Peña  
DIRECTOR DE TESIS



---

Ing. José Pacheco  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



---

Dr. Wolfgang Garske  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



DECLARACION EXPRESA

" LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS EXPUESTOS EN ESTA TESIS, ME CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE; Y EL PATRIMONIO DE LA MISMA, A LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL ".

(REGLAMENTO DE EXAMENES Y TITULOS PROFESIONALES DE LA ESPOL)



---

HUGO VICENTE OBANDO SALVATIERRA

## RESUMEN

Los graves problemas, tanto de tipo económico como de seguridad a la comunidad, originados por la reposición muy frecuente de postes de alumbrado público, han conllevado al desarrollo de este estudio.

En esta tesis se investigará las causas de la corrosión en éstas estructuras, analizando y comparando los niveles de contaminación corrosiva entre hormigones recién conformados y hormigones en servicio.

Para tal propósito en el capítulo 1, se abarcará los fundamentos teóricos de la corrosión en estructuras de concreto, para luego en el capítulo 2 efectuar pruebas de propiedades físicas, químicas y electroquímicas, para conocer el comportamiento activo o pasivo de la estructura; y en el capítulo 3 se hará análisis de los ensayos físicos, químicos y electroquímicos y la incidencia económica que este problema provoca.

Finalmente, se harán evaluaciones entre el hormigón recién fabricado respecto al hormigón que está en servicio, para luego hacer recomendaciones a el fabricante con el objeto de mejorar la calidad de su hormigón.

Este trabajo esperamos que sirva además como una guía teórica y práctica para futuras investigaciones sobre la corrosión en otros tipos de estructuras de hormigón.

## INDICE GENERAL

	PAG
RESUMEN.....	6
INDICE GENERAL.....	3
INDICE DE FIGURAS.....	11
INDICE DE TABLAS.....	15
NOMENCLATURA.....	17
INTRODUCCION.....	19
CAPITULO 1	
<b>1. CORROSION EN ARMADURAS DE HORMIGON.</b>	
1.1 Corrosividad y deterioro de los postes de alumbrado público en la ciudad de Guayaquil.....	21
1.2 Causas de la corrosión en las armaduras.....	32
1.3 Mecanismos de la corrosión de armaduras en el hormigón.....	38
1.4 Factores desencadenantes de la corrosión en las armaduras.....	41
1.4.1 Corrosión localizada.....	41
1.4.2 Corrosión generalizada.....	51
1.5 Factores acelerantes.....	55
1.5.1 Contenido de humedad.....	56



1.5.2	Proporción de cloruros.....	60
1.5.3	Temperatura.....	61
1.5.4	Macropores galvánicos.....	62
1.6	Protección y durabilidad de las armaduras en el hormigón.....	64

**CAPITULO 2**

**2. INVESTIGACION DE LOS AGENTES CORROSIVOS EN LOS POSTES DE ALUMBRADO ELECTRICO.**

2.1	Metodología.....	67
2.2	Pruebas de propiedades en el hormigón.....	71
2.2.1	Resistencia mecánica del hormigón.....	71
2.2.2	Prueba de porosidad y densidad.....	83
2.2.3	Determinación del contenido de humedad.....	89
2.3	Pruebas químicas.....	93
2.3.1	Contenido de cloruros.....	93
2.3.2	Contenido de sulfatos.....	104
2.3.3	Profundidad de carbonatación.....	114
2.4	Pruebas electroquímicas.....	119
2.4.1	Técnica Potenciostática.....	119

**CAPITULO 3**

**3. ANALISIS DEL ESTUDIO**

3.1	Análisis de propiedades del hormigón.....	129
3.2	Análisis químico.....	137
3.3	Análisis electroquímico.....	145

3.4 Incidencia económica.....	150
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>153</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>158</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>163</b>

## INDICE DE FIGURAS

	PAG
1. Poste cambiados en la ciudad de Guayaquil.....	24
2. Zonas urbanas afectadas por el cambio de postes.....	25
3. Clases de postes más repuestos en la ciudad.....	26
4. Muestra fotográfica de la parroquia Febres Cordero...27	
5. Sector de la ciudadela La Pradera.....	28
6. Muestra de la ciudadela La Floresta.....	29
7. Poste deteriorado en la ciudadela Santa Cecilia.....	30
8. Postes en mal estado existentes en la ciudadela Los Ceibos.....	31
9. Tipos de corrosión de armaduras y factores que los provocan.....	35
10. Modelo de vida útil de Tuutti.....	37
11. Factores que provocan corrosión localizada.....	42
12. Esquema de variación del contenido crítico de cloruros en función de la calidad del hormigón y la humedad ambiental.....	45
13. Visualización simplificada de la red de poros del hormigón.....	47
14. Corrosión en fisuras transversales y longitudinales.	50



15. Caso real de poste agrietado longitudinalmente.....	51
16. Carbonatación del recubrimiento y relación del espesor carbonatado con el tiempo y con la humedad ambiental.....	52
17. Caso real de corrosión generalizada y localizada (cloruros y carbonatación).....	54
18. Simplificación del fenómeno de intercambio de humedad entre el recubrimiento de hormigón y el medio ambiente.....	57
19. Contenido de humedad de los poros de hormigón en función de la humedad ambiental.....	58
20. Funcionamiento esquemático de un macropar generado por corrosión de las armaduras superiores debido a la penetración de cloruros desde el exterior.....	63
21. Armaduras embebidas en un hormigón sin contaminar....	66
22. Mezcladora de materiales para conformación del hormigón.....	72
23. Máquina hidráulica para ensayos de compresión.....	73
24. Moldes cilíndricos.....	77
25. Cilindros de hormigón nuevo listos a ser ensayados...	79
26. Moldes llenos de hormigón de fábrica para ensayos de porosidad.....	84
27. Probetas de hormigón para determinar su porosidad....	85
28. Trituradora de quijada.....	94



29. Molino de rodillos...	95
30. Clasificadora rotativa (ROTAP) y tamiz N°16.	96
31. Muestras trituradas en el laboratorio listas a ser ensayadas.	98
32. Muestras de hormigón nuevo y viejo disueltas en agua destilada y calentándose en estufa.	99
33. Filtrado reaccionando con solución de nitrato de plata.	101
34. Balanza electrónica y muestras trituradas para ensayos de contenido de sulfatos.	107
35. Muestras de hormigón nuevo y viejo en polvo diluidos en agua destilada y calentándose en estufa.	109
36. Filtrado de muestras.	110
37. Muestra #1 de hormigón carbonatado.	117
38. Muestra #2: grieta fresca carbonatada.	118
39. Muestra #3 de hormigón deteriorado.	118
40. Equipo Potencio/galvanostático 362-1 instalado.	120
41. Probeta cilíndrica de hormigón nuevo con varilla de acero estructural en su eje.	121
42. Celda de corrosión activada.	123
43. Gráfico del comportamiento de la resistencia mecánica.	132
44. Porosidad en probetas de hormigón.	134
45. Gráfico relacionador de humedades.	136

46. Contenido de cloruros de hormigones en estudio..	139
47. Gráfico comparativo de densidades.....	141
48. Contenido de sulfatos de hormigones en estudio...	142
49. Avance de carbonatación en hormigones con falla.....	144
50. Prueba potencioestática #1 (solución 4% ClNa).....	147
51. Prueba potencioestática #2 (solución 4% ClNa).....	148
52. Prueba potencioestática #3 (solución 4% ClNa). .....	149
53. Gastos económicos por tipo de postes reemplazados...	151
54. Incidencia económica por mes.....	152

## INDICE DE TABLAS

	PAG
I. Clasificación de la agresividad de los ambientes.	33
II. Contenido de cloruros límite propuestos por diversas normativas (% en peso de cemento).	44
III. Ensayos a realizar.	68
IV. Diseño básico al peso para postes de 9 metros.	74
V. Diseño básico al peso para postes de 11 metros.	74
VI. Resultados de las pruebas.	82
VII. Criterios de valorización de porosidad.	88
VIII. Resultados de las pruebas de porosidad.	91
IX. Criterios de valorización de la humedad.	91
X. Resultados de pruebas de humedad para muestras de hormigón nuevo.	91
XI. Resultados de pruebas de humedad para muestras de hormigón nuevo.	92
XII. Criterio de valorización de cloruros.	103
XIII. Contenido de cloruros.	103
XIV. Resultados de densidad en hormigón viejo.	106
XV. Resultados de densidad en hormigón nuevo.	106
XVI. Criterio de valorización de sulfatos.	113
XVII. Resultados del contenido de sulfatos.	113
XVIII. Criterio de valorización de fenolftaleína en	

	contacto con el hormigón. . . . .	116
XIX.	Resultados de la profundidad de carbonatación obtenida en hormigones en uso. . . . .	116
XX.	Resultado de técnica potencioestática, probeta #1 en 4% ClNa. . . . .	126
XXI.	Resultado de técnica potencioestática, probeta #2 en 4% ClNa. . . . .	127
XXII.	Resultado de técnica potencioestática, probeta #3 en 4% ClNa. . . . .	128



## NOMENCLATURA

a/c	:	Relación arena/cemento.
A <sub>t</sub>	:	Area transversal.
C <sub>titul</sub>	:	Centímetros cubicos de titulante.
δ <sub>m</sub>	:	Densidad de la muestra.
δ <sub>p</sub>	:	Densidad promedio.
e <sub>c</sub>	:	Espesor carbonatado.
E <sub>corr</sub>	:	Potencial de corrosión o equilibrio.
ECS	:	Electrodo de Calomel saturado.
F <sub>c</sub>	:	Fuerza de compresión.
HR	:	Humedad relativa.
i <sub>corr</sub>	:	Densidad de corrosión.
I <sub>corr</sub>	:	Corriente de corrosión.
M <sub>eq</sub>	:	Mil equivalente o peso molecular (gr) dividido para mil.
N <sub>titul</sub>	:	Normalidad del titulante.
pH	:	Potencial de Hidrógeno.
P <sub>seco</sub>	:	Peso de la muestra seca.
P <sub>sat</sub>	:	Peso de la muestra saturada.
P <sub>sumerg</sub>	:	Peso de la muestra sumergida.
P <sub>m</sub>	:	Peso de la muestra a humedad ambiental.
P <sub>1</sub>	:	Profundidad #1 de la muestra.
P <sub>2</sub>	:	Profundidad #2 de la muestra.
P <sub>3</sub>	:	Profundidad #3 de la muestra.

P<sub>prom</sub> : Profundidad promedio.  
R<sub>c</sub> : Resistencia a la compresión.  
t : Tiempo.  
x : Profundidad que alcanza los cloruros.



## INTRODUCCION

La corrosión del hormigón armado inducida por cloruros o por otras causas, es un problema preocupante que deriva muchos esfuerzos tanto humanos como materiales para mantener en buen estado la infraestructura de los postes de alumbrado público en la ciudad de Guayaquil.

En la actualidad no se han realizado investigaciones completas acerca de este problema, aunque la empresa que fabrica éstas estructuras y ciertas instituciones que adquieren estos postes se limitan a realizar determinadas pruebas de resistencia mecánica.

El presente estudio de la corrosión en armaduras de hormigón para postes de alumbrado eléctrico en la ciudad, se lo realiza motivado por conocer el origen del evidente deterioro de dichas estructuras, lo que compromete la seguridad de bienes públicos, privados y la vida de los habitantes de la comunidad.

Nuestro objetivo es realizar una investigación cabal a fin de diagnosticar si los hormigones salen de fábrica contaminados y activamente propensos a la corrosión, o es el medio ambiente que les induce los factores necesarios para su deterioro. Estableciendo así la calidad de los postes que salen de las empresas que los fabrican, las

propiedades y condiciones químicas en las que se encuentran en el sitio de utilización, las perspectivas de vida útil y las recomendaciones para la mejor fabricación de dichas estructuras.

La metodología consistirá en realizar pruebas de resistencia mecánica, porosidad y electroquímicas en muestras representativas de hormigones nuevos (21 días de fraguado) tomadas del fabricante de postes utilizados por la Empresa Eléctrica del Ecuador Inc., y pruebas de humedad, cloruros y sulfatos en muestras tanto de hormigón deteriorado como nuevo y profundidad de carbonatación a muestras tomadas de postes que han sufrido fallas en las zonas más afectadas de la urbe.

En el trabajo encontramos ciertas limitaciones como el no contar con una información estadística o porcentual en cuanto a seguimientos de postes después de salidos de fábrica o reemplazados por la Empresa Eléctrica; inconvenientes propios de trabajar con un material mixto moldeable y que requiere de tiempo de fraguado y curado.



## CAPITULO 1

### 1. CORROSION EN ARMADURAS HORMIGON

#### 1.1 LA CORROSIVIDAD Y DETERIORO DE LOS POSTES DE ALUMBRADO PUBLICO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

La posición geográfica de la metrópoli portuaria de Guayaquil la sitúa en una zona de alta corrosividad, enclavada en el Golfo del mismo nombre, rodeada por los ríos Guayas y Daule y por esteros como el Salado, Santa Ana, del Muerto y Cobina, a 4 metros sobre el nivel del mar, con una humedad relativa de aproximadamente un 80% , una alta salinidad atmosférica y nivel freático, son factores que facilitan deterioro más acelerado de las estructuras metálicas recubiertas o no con hormigón.

Por otro lado se han detectado postes

centrifugados deteriorados y cuya armadura metálica esta extremadamente corroída en sectores de la urbe en los cuales el terreno es rocoso y por ende altamente resistivo.

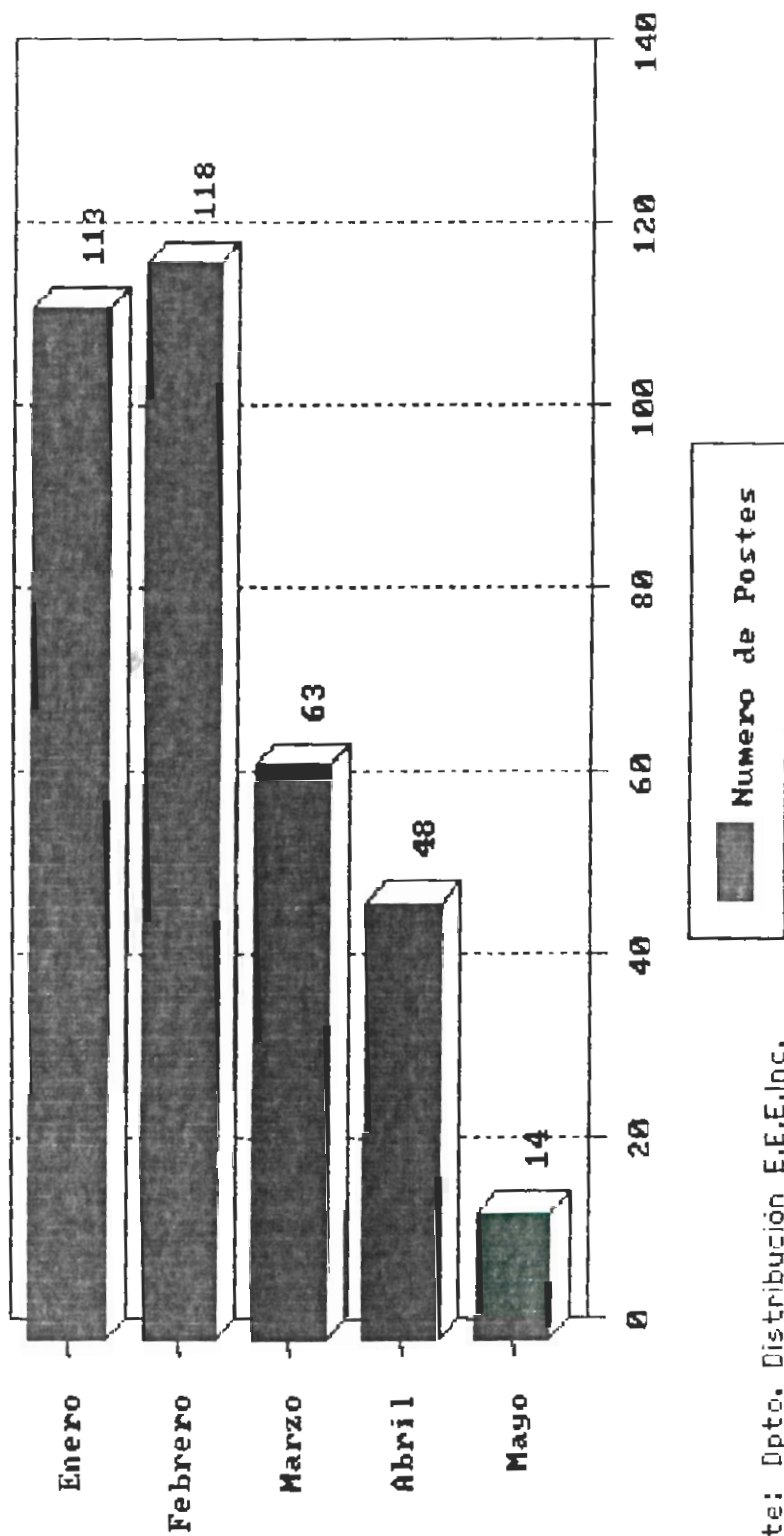
Una de las estructuras que más ha evidenciado reemplazo en la urbe son los postes de alumbrado público. Según datos proporcionados por la Empresa Eléctrica del Ecuador Inc., a través de los departamentos de Distribución y Construcciones, la empresa cambia un promedio aproximado a 15 postes diarios por varios motivos; según esta misma fuente, de los reportes diarios que ha ellos llegan, los postes son cambiados por deterioro de la base de la estructura, accidentes automovilísticos, reemplazo de postes de madera, por fallas en el terreno donde se asienta, por ampliación de nuevas líneas de energía eléctrica, entre otros motivos, sin tener registros de un porcentaje exacto de cada uno de los mismos.

Durante el período de enero al 10 de mayo de 1994, la empresa ha tenido que reponer 358 postes (ver figura N01) de hormigón, en varios sectores de la zona urbana de la ciudad, siendo los lugares más afectado la Parroquia Febres

Cordero, Guasmos Sur, Central, Norte y Oeste, Cerros de Mapasingue Oeste, vía a Daule, ciudadelas La Pradera, La Floresta, Los Esteros, entre otros sectores, como se puede apreciar claramente en diagrama de barras de la figura N<sup>o</sup> 2. Siendo los tipos de postes más reemplazados los centrifugados de 9 y 11 metros según cifras que se anotan en la figura N<sup>o</sup> 3.

# MOVILIZACION DE POSTES POR MES

## Entre Enero al 10 de Mayo de 1994



Fuente: Dpto. Distribución E.E.E.Inc.

Fig. No 1. Postes cambiados en la ciudad de Guayaquil.

# POSTES DE HORMIGON CAMBIADOS. Zonas más afectadas (Enero a Mayo 1994)

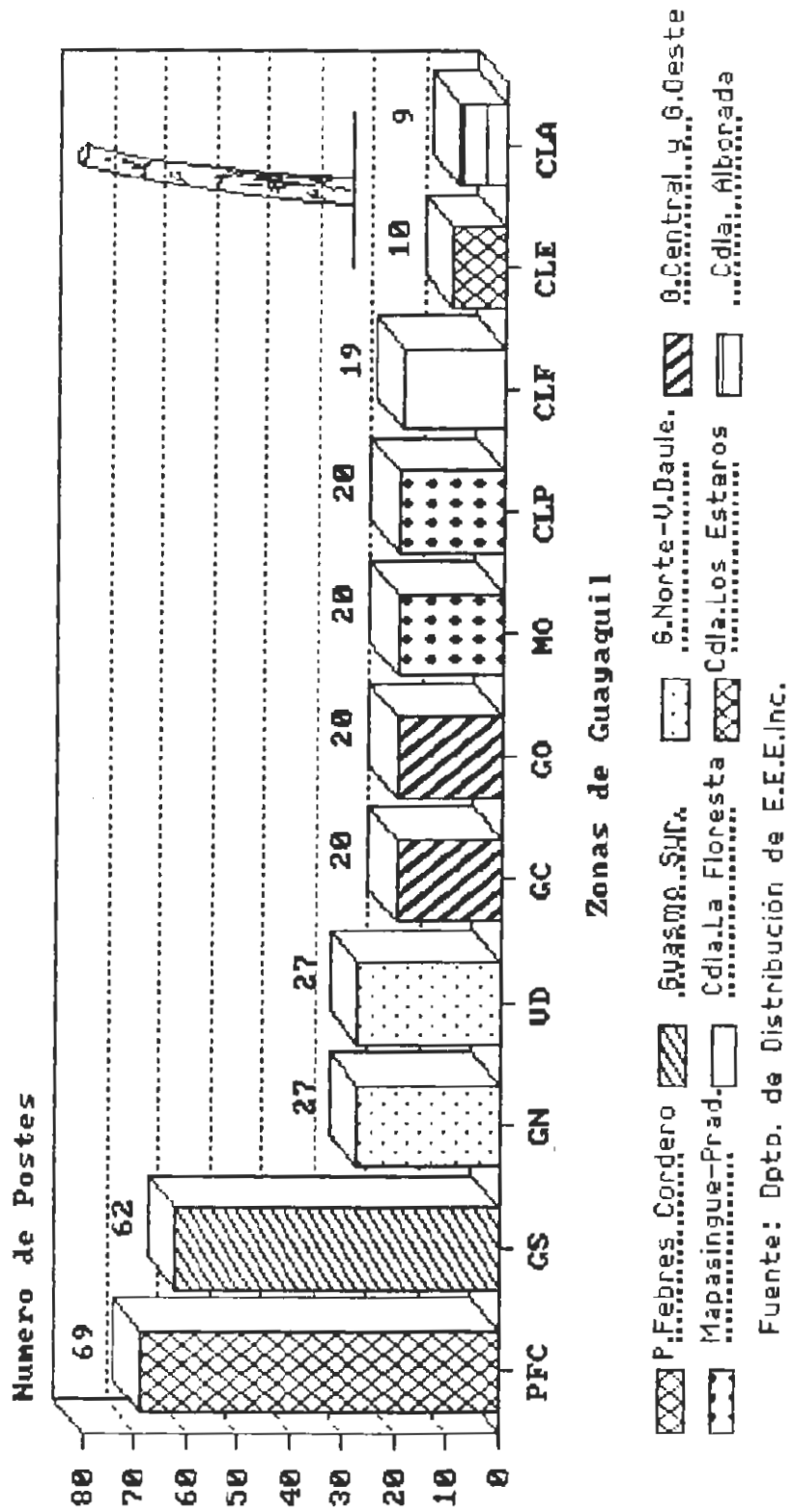


Fig. No 2. Zonas urbanas afectadas por el cambio de postes.

# TIPOS DE POSTES REEMPLAZADOS

## Datos de Enero a Mayo de 1994

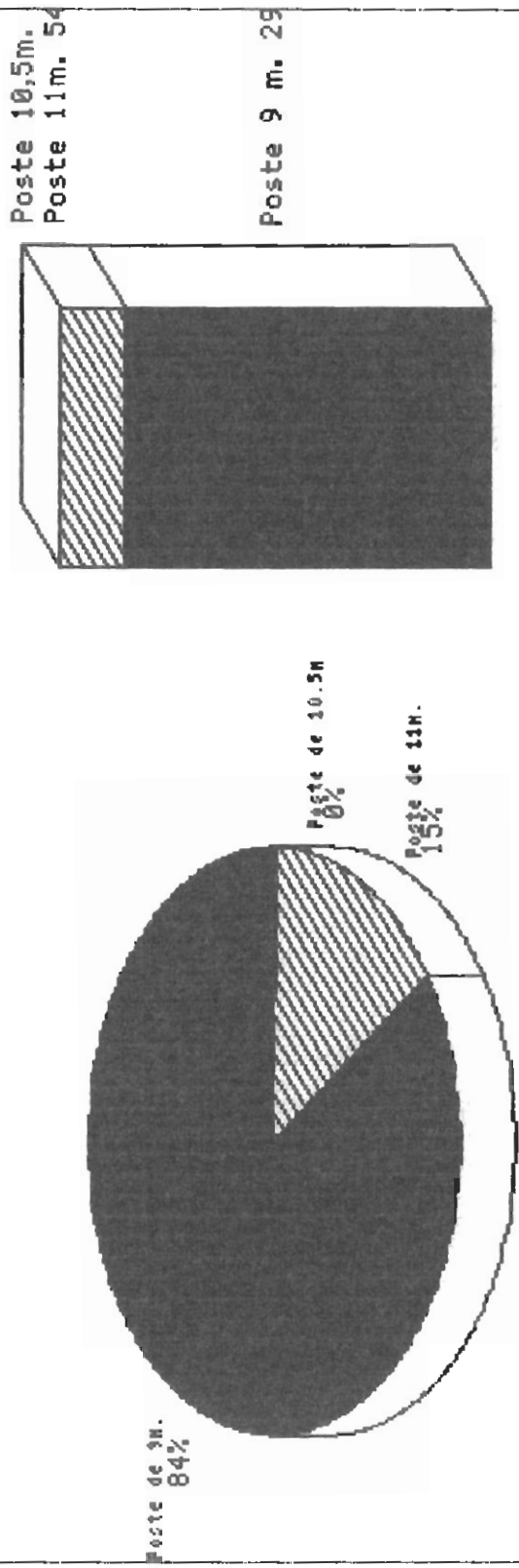


Fig. Nº 3. Clases de postes más respuestas en la ciudad.





Figura Nº 4. Muestra fotográfica de la parroquia Febres Cordero.

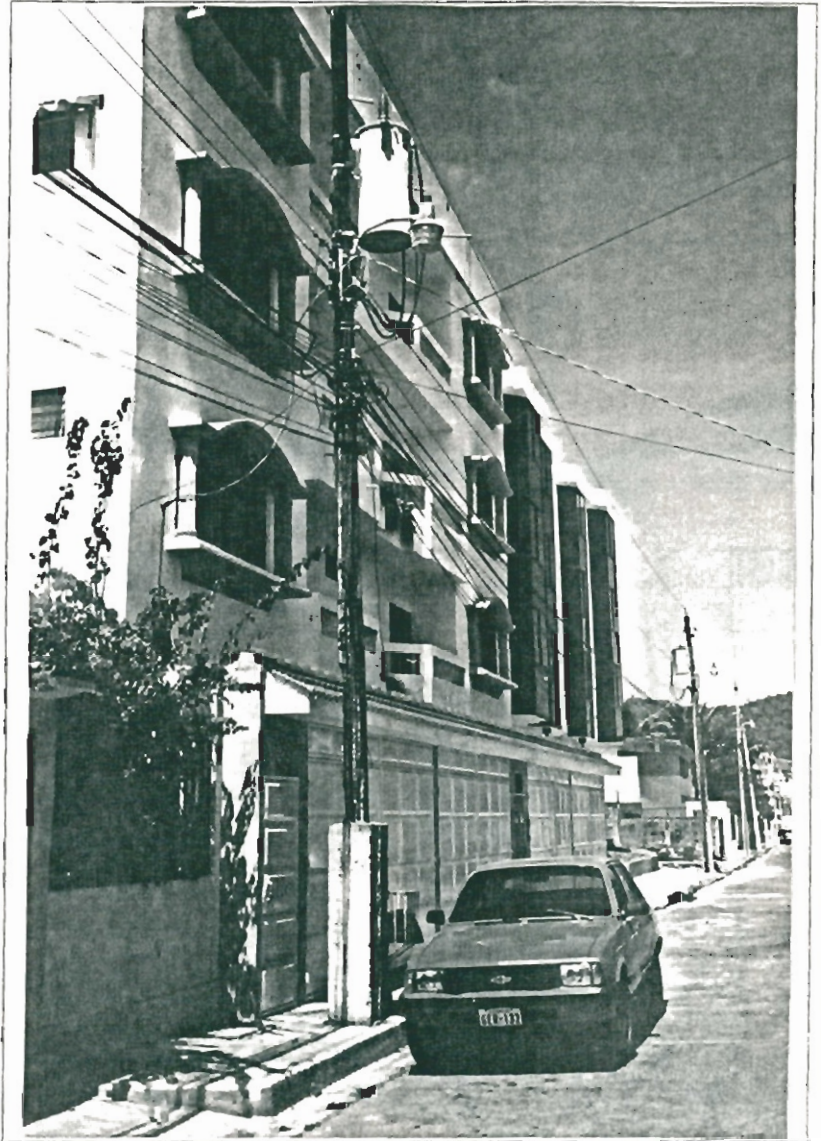


Figura Nº 5. Sector de la ciudadela La Pradera.







Figura Nº 6. Muestra de la ciudadela La Floresta.

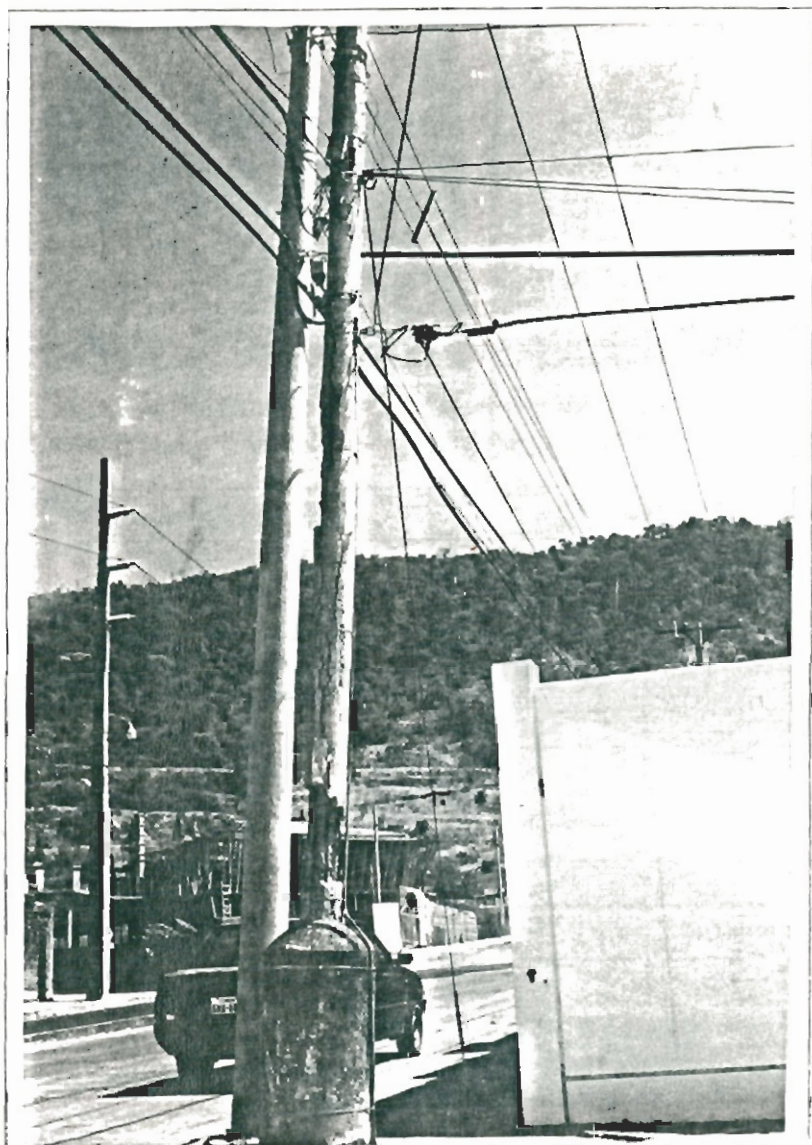


Figura Nº 7. Postes deteriorados en la ciudadela Santa Cecilia.

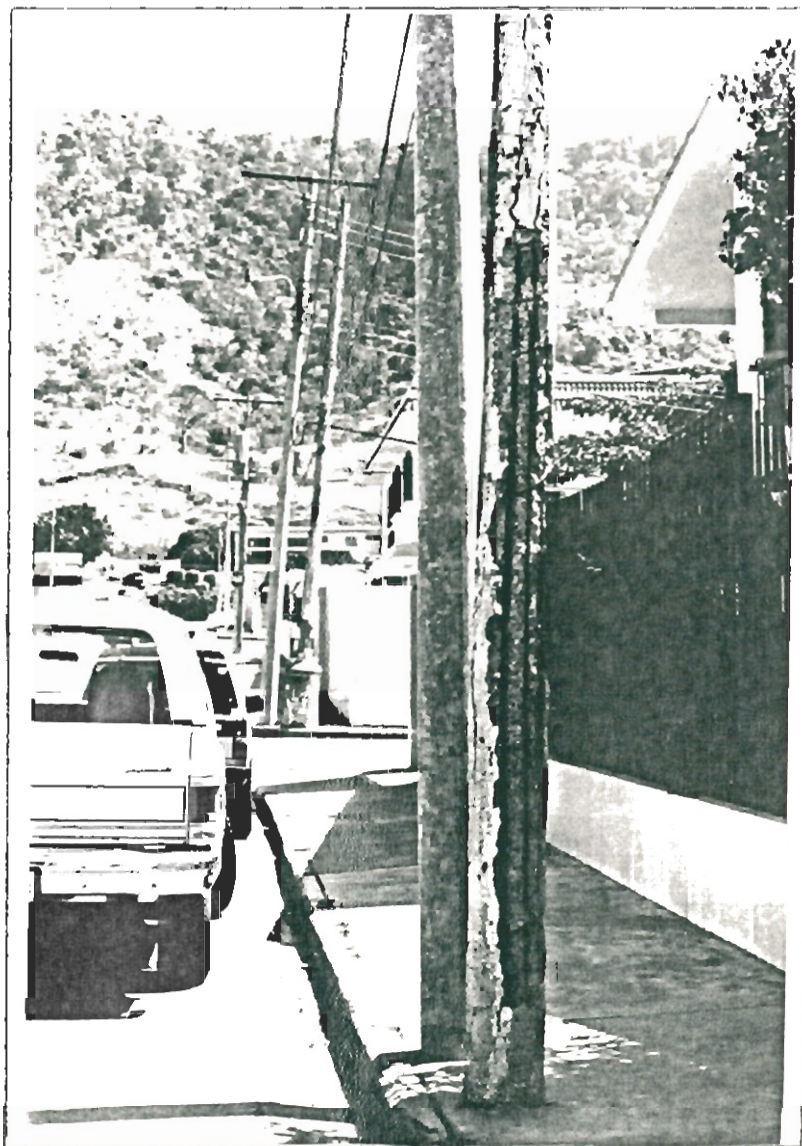


Figura NO 8. Postes en mal estado existentes en la ciudadela Los Ceibos.



## 1.2 CAUSAS DE LA CORROSION EN LAS ARMADURAS.

Existen ambientes agresivos o sustancias que se añaden durante el amasado, que pueden provocar a corrosión de armaduras. En la tabla Nº I se da la clasificación de agresividad ambiental según la propuesta de la norma PREN 206 (3).

Esencialmente son dos las causas que pueden dar lugar a la destrucción de la capa pasivante del acero:

- a) la presencia de una cantidad suficiente de cloruros (tanto porque se añadan durante el amasado como porque penetren desde el exterior), u otros iones despasivantes en contacto con la armadura, y
- b) la disminución de la alcalinidad de hormigón por reacción con sustancias ácidas del medio (carbonatación del recubrimiento).

Los efectos de la corrosión se manifiesta en tres vertientes:

- a) sobre el acero con una disminución de su capacidad mecánica.
- b) sobre el hormigón, cuando éste se fisura, y

**TABLA N.º I.**  
**Clasificación de la agresividad de los ambientes (3).**

<b>CONDICIONES AMBIENTALES</b>	
<b>CLASE DE EXPOSICION</b>	
(1) <b>AMBIENTE SECO</b>	* Interior de edificios para viviendas u oficinas.
(2) <b>AMBIENTE HUMEDO</b>	* Interior de edificios con HR (>60%). * Elementos exteriores. * Elementos en suelos o aguas no agresivas. * Elementos exteriores expuestos a la helada. * Elementos en suelos o aguas no agresivas expuestos a la helada. * Elementos interiores cuando la humedad es alta expuesto a la helada.
(3) <b>HUMEDAD+DESHIELO</b>	* Elementos interiores y exteriores expuestos a agentes deshelantes. * Elementos completa o parcialmente sumergidos en agua de mar. * Elementos en ambiente saturado de sales (zona oostera).
(4) <b>AMBIENTE MARINO</b>	* Elementos parcialmente sumergidos en agua de mar o en zona de mareas expuestos a la helada. * Elementos en ambiente saturado de sales y expuesto a la helada.
<b>LAS CLASES SIGUIENTES SE PUEDEN PRESENTAR SOLAS O EN COMBINACION CON LAS ANTERIORES:</b>	
(5) <b>AMBIENTE AGRESIVO</b>	* Ambiente químico ligeramente agresivo (gas, líquido o sólido). * Atmósfera industrial agresiva. * Ambiente industrial moderadamente agresivo (gas, líquido o sólido). * Ambiente químico altamente agresivo (gas, líquido o sólido).

c) sobre la adherencia acero/hormigón.

Como muestra la figura Nº 9, los iones despasivantes dan lugar a una corrosión de tipo localizado, mientras que la reducción del pH permite la disolución completa de la capa pasivante y por lo tanto da lugar a una corrosión de tipo generalizada. En esta figura se alude también a otro tipo de corrosión, la corrosión fisurante bajo tensión, que aparece sólo en el hormigón pretensado o postensado.

Las causas directas de que aparezcan fenómenos de corrosión bajo tensión no son aún bien conocidas, lo que hace que la inspección de obras de hormigón pre o postensado tenga una problemática muy particular que no se pretende abordar.

El fenómeno no se presenta en hormigones sanos y de buena calidad: en general, los fallos se han asociado siempre a hormigones de baja calidad o la presencia de iones (como los sulfuros o el tiocianato) promotores en el acero de este tipo de ataque, cuando el metal está sometido a tensiones elevadas.

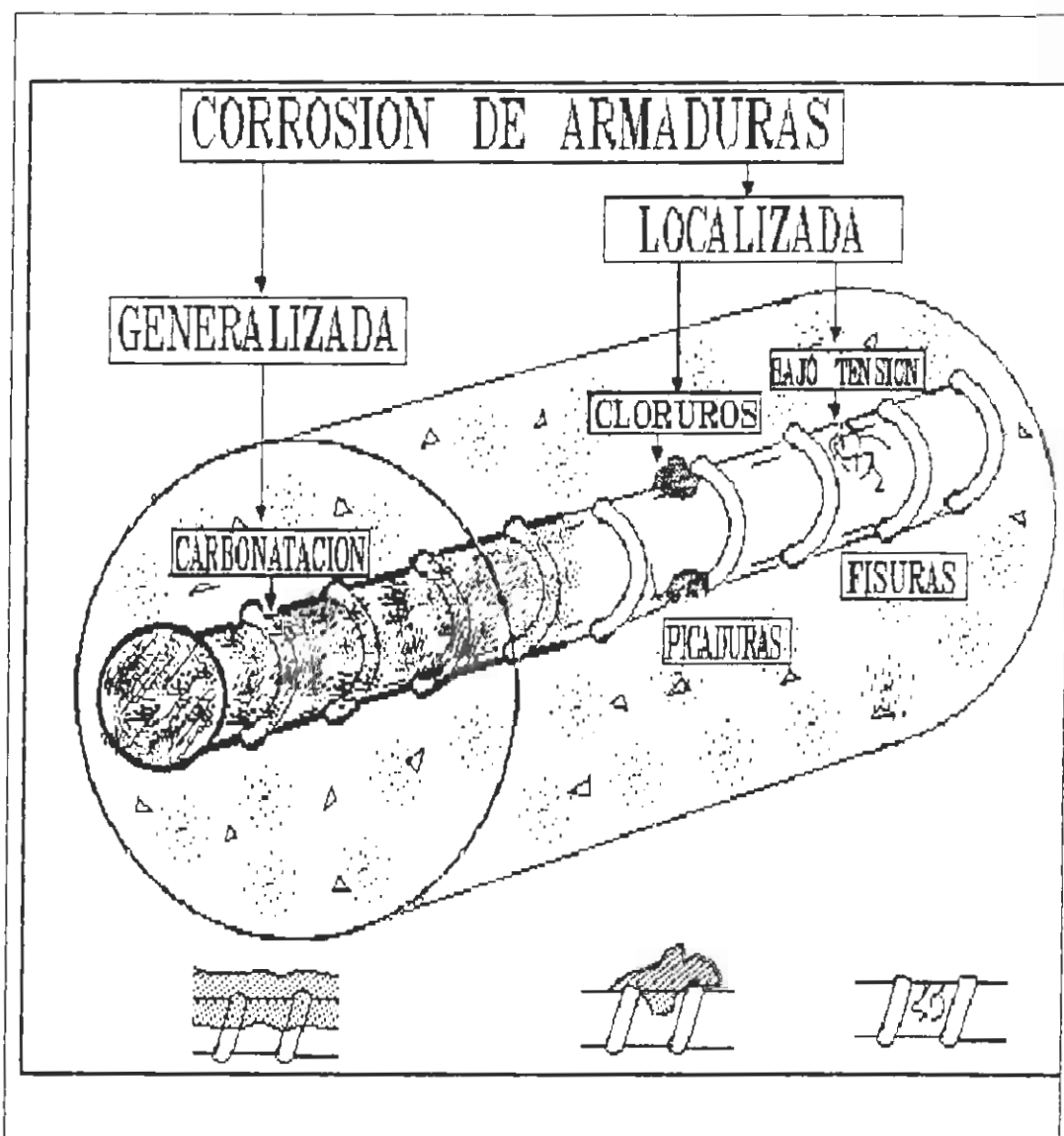


Figura No 9. Tipos de corrosión de armaduras y factores que los provocan.

## VIDA ÚTIL.

Son diversas las definiciones de lo que se entiende por vida útil. Una de ellas sería: que es aquella durante la cual la estructura conserva todas las características mínimas de funcionabilidad, resistencia y aspectos externos exigibles.

\* Relacionando con el posible ataque por corrosión de las armaduras. Tuutti propuso un modelo simplificado que se muestra en la figura Nº 10. En ella se representa en abscisas el tiempo y en ordenadas el grado de deterioro. Se define un periodo de iniciación que es el tiempo que tarda el agresivo en atravesar el recubrimiento, alcanzar la armadura y provocar su despasivación, y un periodo de propagación que comprende una acumulación progresiva del deterioro, hasta que se alcanza un nivel inaceptable del mismo. Este modelo es, por el momento, puramente cualitativo, aunque por su simplicidad descriptiva, es muy citado. \*

\* La presencia de cloruros y disminución de la alcalinidad son los factores que actúan durante el periodo de iniciación (factores



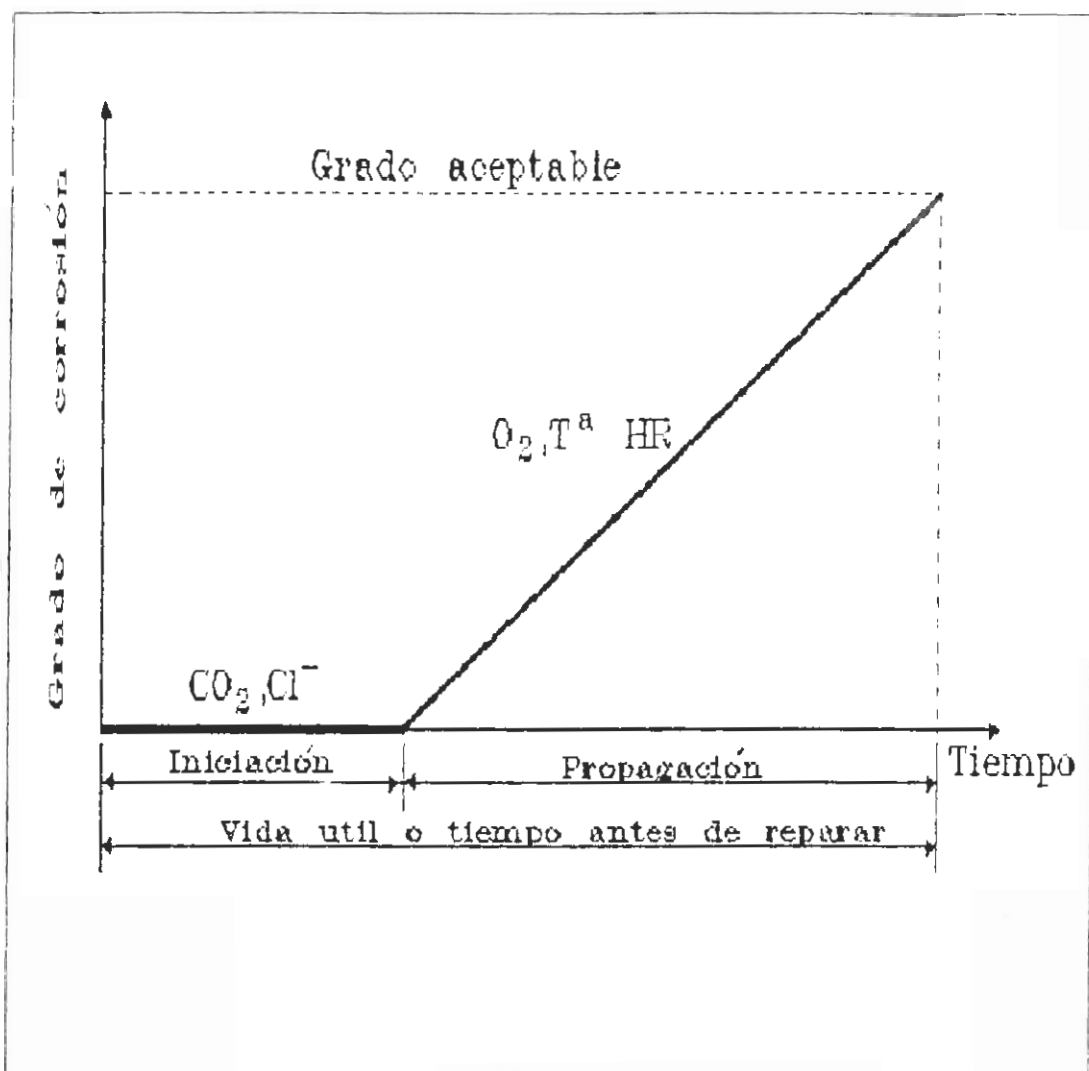


Figura Nº 10. Modelo de vida útil de Tuutti (1).

desencadenantes). Una vez que alcanzan la armadura, los factores que inciden en que el período de propagación sea más o menos rápido son el contenido de humedad y oxígeno (factores acelerantes) que rodean a la armadura. ✓

### 1.3 MECANISMOS DE LA CORROSION DE ARMADURAS EN EL HORMIGÓN.

La corrosión metálica en general, y la del hierro en el hormigón en particular, es considerada a veces como un "fenómeno aleatorio" en el que el potencial del metal varía de una forma errática, fijándose o no, y, en el caso de fijarse, haciéndolo durante más o menos tiempo, bien sea en la región de pasividad (ver anexo N°4), bien en la de la corrosión activa o bien en la de óxido-reducción reversible (2).

Ello es debido a que el hierro está casi en equilibrio con el agua en circunstancias normales y ordinarias, es decir, a que la energía libre de la reacción entre ambos es muy pequeña. Por ello, el hierro frente al agua es siempre más o menos pasivo en las citadas circunstancias, y casi nunca total y perfectamente activo, y por eso su potencial es caprichosamente variable e inestable.

Los "seudo-potenciales" que en las condiciones se miden tienen un carácter tanto más aleatorio cuanto más profunda es la



pasividad, y recíprocamente: la observación de potenciales muy variables lleva a pensar, en primer lugar, en un fenómeno de pasividad.

Si se hace extensiva esta idea al caso de metales distintos, se llega a la conclusión de que la serie electromotriz normal de los metales no debe utilizarse para predecir el comportamiento de éstos desde el punto de vista de la corrosión, sino que, en su lugar, deben utilizarse las series galvánicas prácticas y, aun así no siempre hay garantía de coincidencia entre la predicción y la realidad, como demuestra sobradamente la experiencia. En todo caso la probabilidad de corrosión por formación de pilas galvánicas será tanto menor cuanto más próximos estén los metales en las series y cuanto mayor sea la relación superficial de ánodo a cátodo, para que la densidad de corriente anódica sea lo menor posible.

En el caso del hierro, los potenciales próximos a cero\* son los más estables y representativos, pero resultan peligrosos desde el punto de vista de la corrosión, tanto si se

---

\*Potenciales referidos al semielemento de calomelanos saturado.

consiguen natural como artificialmente, pues de existir una zona mucho más negativa en el mismo metal, se establecería una corriente de corrosión. Por otra parte potenciales estables no se observan más que en medios alcalinos puros exentos de iones salinos (cal pura) y son los que se dan en la protección catódica del hierro, por apartamiento o ausencia de aniones salinos (concretamente del anión cloruro  $\text{Cl}^-$ ).

En el hormigón de cemento portland, que es un medio de pH 12 teóricamente, no se observan estos potenciales tan estables, sino otros correspondientes a la zona de pasividad. Así, pues, la alcalinidad de los hormigones supone una circunstancia ventajosa para la protección de las armaduras, pues a causa de ella el hormigón se comporta frente al acero como un *inhibidor anódico*, ya que da lugar a la deposición de un recubrimiento protector sobre el metal y dificulta la difusión de oxígeno hacia el mismo, impidiendo la reacción catódica normal y, por lo tanto, el proceso completo, incluida la reacción anódica de corrosión. Pero, si por una circunstancia cualquiera el pH disminuye, puede alcanzarse un *potencial activo de disolución o corrosión* del hierro.

Los aniones salinos, y concretamente el anión cloruro  $\text{Cl}^-$ , pueden, por regreso a las zonas catódicas después de una interrupción de la corriente de protección catódica cuando se utiliza este método protector, o por disminución del pH, dar al traste con la pasividad y provocar la corrosión de las armaduras.

#### 1.4 FACTORES DESENCADENANTES DE LA CORROSION DE LAS ARMADURAS.

##### 1.4.1 Corrosión localizada.

En el cuadro adjunto (figura Nº 11) se resume las circunstancias que pueden dar lugar a corrosión de tipo localizado. La situación más agresiva con diferencia y que es la responsable del mayor número de casos de corrosión de armaduras, es la presencia de cloruros. Los iones sulfuro y sulfato son también despasivantes, pero mucho menos frecuentes y peligrosos que los cloruros. El resto de las circunstancias enumeradas, tienen una incidencia limitada, aunque



responsables en ocasiones de importantes deterioros.



Figura Nº 11. Factores que provocan corrosión localizada.

### Cloruros.

Estos iones tienen la propiedad de destruir de forma puntual la capa pasivante (Figura Nº 9), lo que provoca una corrosión conocida con el nombre de "por picaduras". Estos cráteres son el ánodo de la pila de corrosión, por lo que progresan en profundidad, pudiendo llegar a producir la rotura puntual de las barras.

\* Los cloruros pueden estar en el hormigón, bien porque se añadan con sus componentes (aditivos, agua, etc.), bien porque penetren desde el exterior a través de la red de poros. Esta última situación en la que se da en ambientes marinos o cuando se utilizan sales de deshielo en carreteras o puentes, en climas fríos.\*

\* Todas las normativas limitan el contenido en cloruros en el hormigón fresco, que varían de unos países a otros (véase en tabla Nº II). \*



TABLA Nº II  
 CONTENIDO DE CLORUROS LIMITE PROPUESTO POR DIVERSAS  
 NORMATIVAS (% EN PESO DE CEMENTO) (3).

HORMIGON	EN MASA	ARMALO	PRETENSADO
EH-88	1.5 - 2	0.4	-
PREN-206	1	0.4 0.1*	0.2
BS-8110-1985	-	0.2- 0.4**	0.1
ACI-318-83	-	0.15 - 0.3	0.06
FIP-1985 (Desig of concrete sea structures)	-	-	0.1

Ello es debido a la dificultad de establecer un límite seguro, por debajo del cual no exista riesgo de despasivación del acero, ya que este límite depende de numerosas variables, algunas de las cuales son: tipo de cemento (finura, contenido de yeso, contenido en aluminato tricálcico, etc.), proporción de cemento, relación a/c, contenido en humedad, etc.

En la Figura Nº 12 se resume las condiciones que pueden afectar al límite de cloruros capaz de despasivar las

---

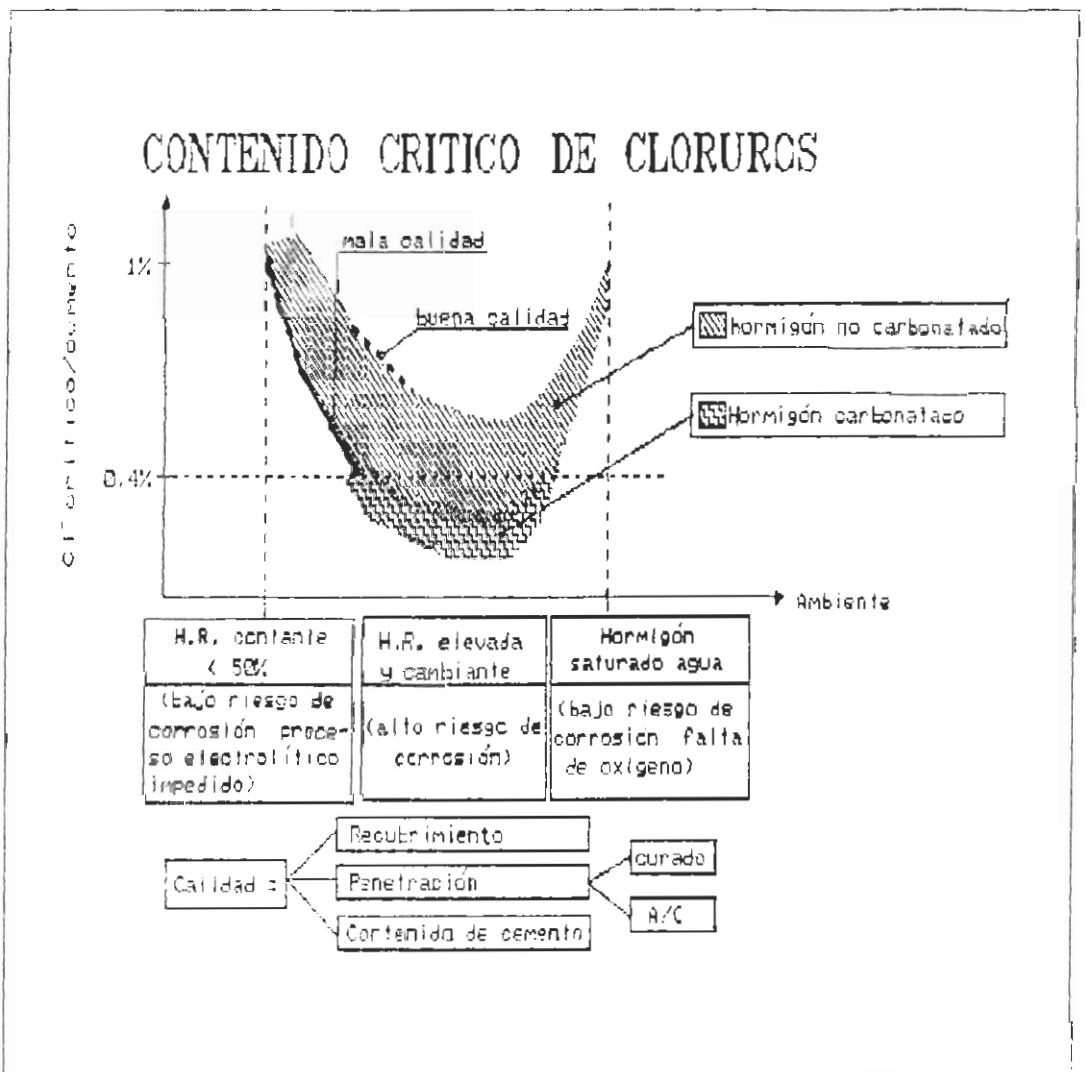
\*Porcentaje límite en relación al peso del hormigón.

\*\*El límite varía en función del tipo de cemento.



armaduras. Un valor medio generalmente aceptado es el de 0,4% en relación al peso de cemento ó 0,05 - 0,1% en relación al peso de hormigón. \*

\* En relación al limite de cloruros es necesario recordar que parte de los



**Figura Nº 12.** Esquema de variación del contenido crítico de cloruros en función de la calidad del hormigón y la humedad ambiental.

cloruros presentes en el momento del amasado se combinan con las fases aluminoferríticas para dar principalmente cloroaluminatos, que quedan formando parte de las fases sólidas del cemento hidratado. Sólo resultan peligrosos los cloruros que quedan disueltos en la fase acuosa de los poros. De todas formas, las normativas se refieren siempre al límite de cloruros totales, por que los cloruros combinados pueden volver a la disolución por efecto de procesos como la carbonatación. \*

Aunque el hormigón no contenga cloruros inicialmente éstos pueden llegar hasta la armadura a través de la red de poros (véase en la **figura Nº 13**), si la estructura está situada en ambientes marinos o si se añaden sobre la superficie del hormigón para evitar su helada. En estos casos la cantidad de cloruros se va incrementado con el tiempo, pudiendo llegar a atacar toda la superficie de la armadura y provocar velocidades de corrosión muy peligrosas.



Figura Nº 13. Visualización simplificada de la red de poros del hormigón.

• Además de por un mecanismo de difusión que es relativamente lento, los cloruros y en general todas las sales pueden penetrar mucho más rápidamente por un mecanismo de transporte por fuerzas capilares, muy propio de ambientes de "niebla salina" existente en climas cálidos marinos, en los que los cloruros están suspendidos en

las gotitas de humedad del aire. En este fenómeno influyen mucho la dirección predominante del viento y la insolación.»

El tiempo que tardan los cloruros en llegar hasta la armadura o «*período de iniciación*» en el modelo de Tuutti, dependerá principalmente de:

- a) concentración de cloruros en el medio exterior.
- b) naturaleza del catión que acompaña al cloruro.
- c) calidad del hormigón: tipo de cemento, proporción de aluminato tricálcico, relación a/c, etc.,
- d) temperatura, y
- e) ancho y cuantía de las fisuras.

La profundidad que alcanzarán los cloruros cuando penetran por difusión en un determinado momento se ajusta aproximadamente a la ley:  $x = K \sqrt{t}$  en la que  $x$  es la profundidad que alcanzan los cloruros en un tiempo  $t$ . La constante  $K$  depende de los factores recién enumeradas.  $x$

### Influencia de las fisuras.

Las grietas inherentes al hormigón armado constituyen un camino rápido de penetración de los agresivos hasta la armadura. Como muestra la figura Nº 14. cuando éstos la alcanzan se empiezan a corroer las zonas no recubiertas de hormigón que actúan de ánodo frente a las adyacentes que se comportan como cátodo.

Las normativas de los diferentes países y por tanto también la española EH-88 contemplan un ancho máximo admisible de las fisuras en la superficie que se sitúa entre 0,3 - 0,4 mm para ambientes no agresivos y en 0,1 mm en los agresivos. Sin embargo, estudios recientes han mostrado que no existen diferencias significativas en el comportamiento de las fisuras siempre que éstas tengan anchos inferiores alrededor de 0,4 mm, ya que en general estas fisuras se obturan con los propios productos de corrosión y no suponen un riesgo significativo en términos de la vida útil de la estructura. En cambio, factores como relación de

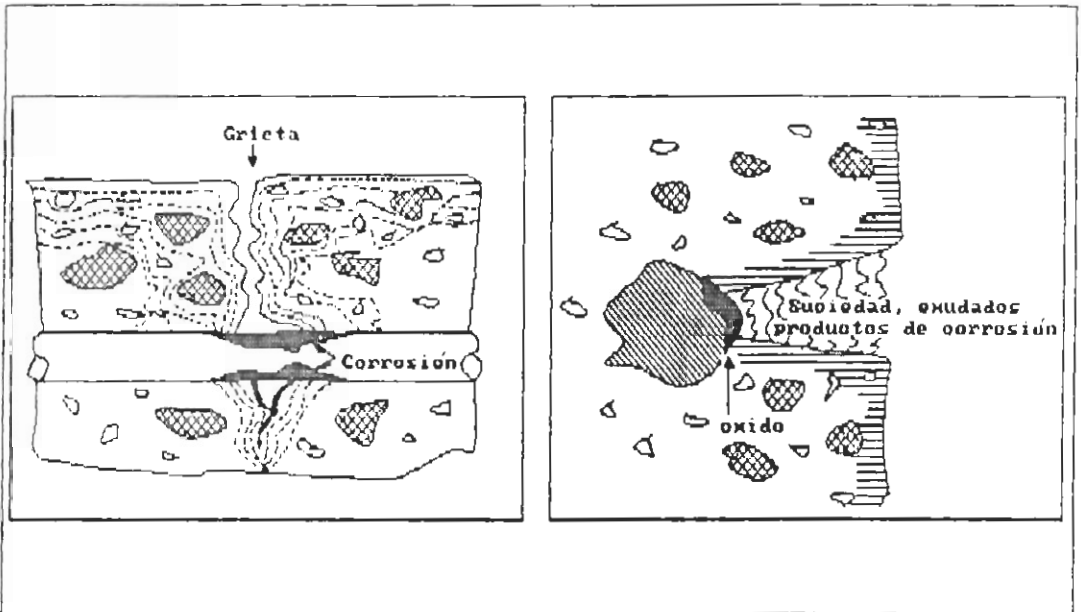


Figura Nº 14. Corrosión en fisuras transversales y longitudinales.

recubrimiento/diámetro de la armadura y calidad del recubrimiento, han resultado decisivos en algunos trabajos. .

Así, pues, mientras las fisuras no superan anchos de alrededor de 0,4 mm, aunque suponen un cambio más corto para que los agresivos alcancen la armadura, en términos de vida útil no parece que supongan un factor que la acorte significativamente.

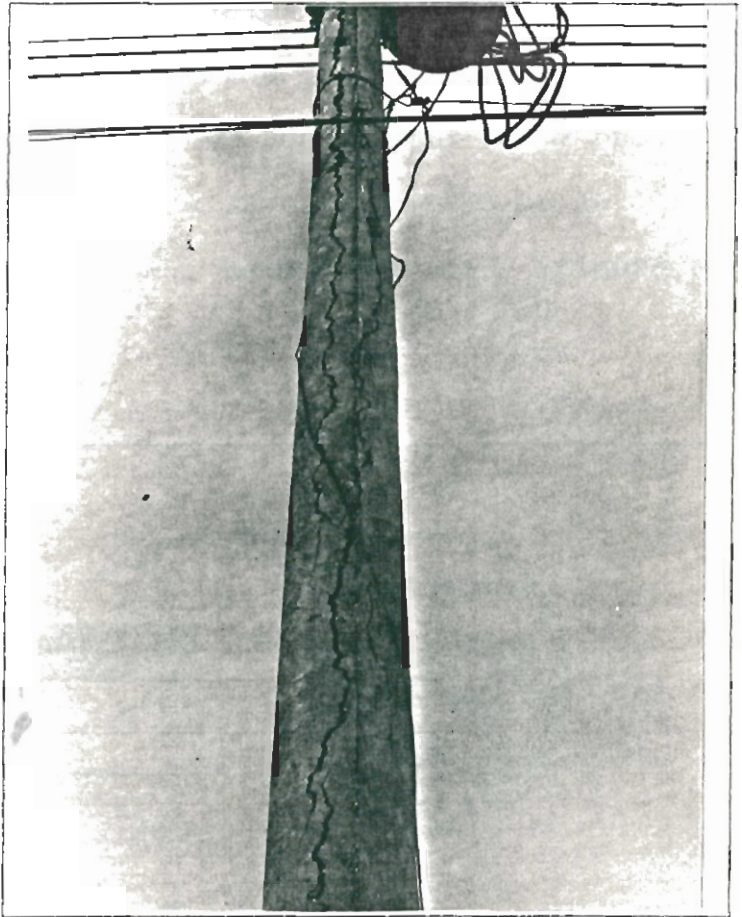


Figura Nº 15. Caso real de poste agrietado longitudinalmente.

#### 1.4.2 Corrosión generalizada.

«Se produce por un descenso de la alcalinidad del hormigón que puede ser debido a un "deslavado" por circulación de aguas puras o ligeramente ácidas o por reacción de los compuestos de carácter básico  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$  y  $\text{Ca(OH)}_2$  de la fase acuosa del hormigón con los componentes ácidos de la atmósfera dióxido de carbono



( $CO_2$ ) y de azufre ( $SO_2$ ) para dar carbonatos-sulfatos y agua. El que más abunda es el  $CO_2$  por lo que este proceso de reducción de la alcalinidad se le llama genéricamente "*carbonatación*" (figura N<sup>o</sup> 16).

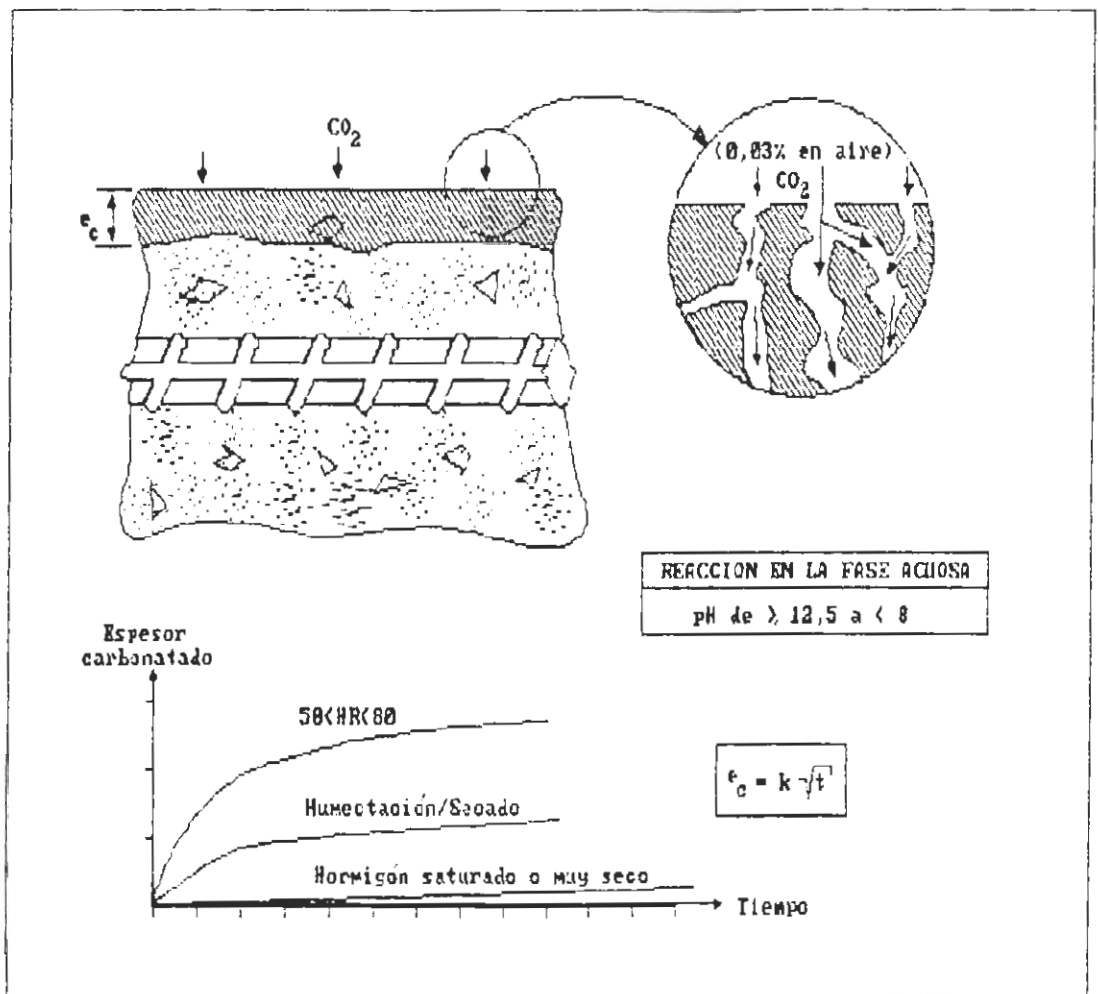
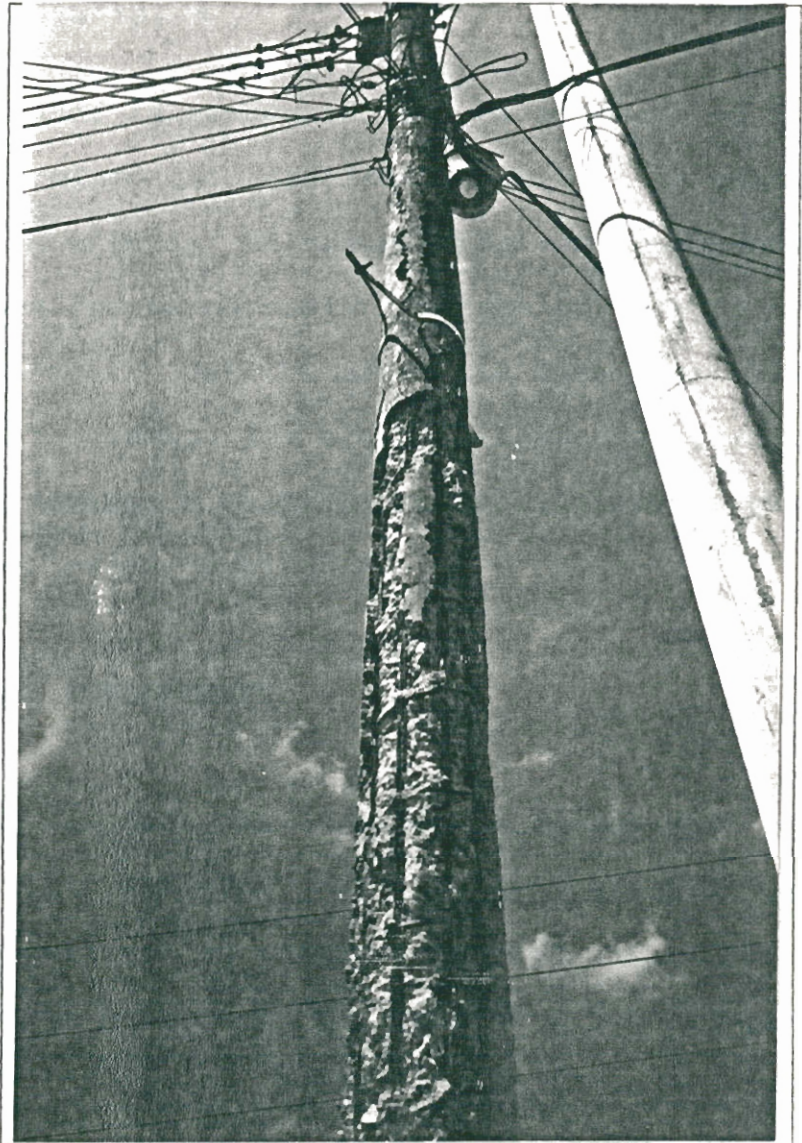


Figura N<sup>o</sup> 16. Carbonatación del recubrimiento y relación del espesor carbonatado con el tiempo y con la humedad ambiental.



- Una característica de este proceso es la existencia de un *frente* de avance del proceso que separa las dos zonas con pH muy diferente, una con  $\text{pH} > 13$  y la otra con  $\text{pH} < 8$ . Este *frente* se puede visualizar mediante un indicador apropiado como es la fenolftaleína que se torna incolora en la zona carbonatada y toma un color rojo-púrpura en la que permanece alcalina. <
- El tiempo que tarda en llegar el frente carbonatado hasta la armadura es a su vez el *periodo de iniciación* de este tipo de proceso, ya que una vez que alcanza el acero, la capa pasiva de éste no es estable en los valores próximos a 7, típicos de un hormigón carbonatado. Desaparecida la capa pasivante, el acero se corroe de forma generalizada, tal y como si estuviera simplemente expuesto a la atmósfera sin ninguna protección (figura Nº 17), pero con el agravante de



**Figura Nº 17.** Caso real de corrosión generalizada y localizada (cloruros y carbonatación).

que la humedad permanece en el interior del hormigón y por lo tanto en contacto con la armadura mucho más tiempo que si ésta estuviera libremente expuesta al aire, ya que el hormigón absorbe humedad muy rápidamente, pero se seca muy

despacio. \*

Cuando la carbonatación se produce en un hormigón que contiene cloruros, se suman los efectos de ambos agresivos provocando una fuerte corrosión. Además por efecto de la acción del  $CO_2$  sobre las fases sólidas del cemento, los cloroaluminatos se pueden disgregar y dejar libre a los cloruros que mantenían combinados.

#### 1.5 FACTORES ACELERANTES.

Una vez iniciada la corrosión y despasivado el acero la velocidad del deterioro sólo es significativa, en términos de vida útil, para una oferta suficiente de oxígeno y por encima de un mínimo de humedad. Los factores que fijan la cinética del proceso de corrosión de las armaduras son:

- a) el contenido en humedad (oferta de electrólito), que a su vez fija la disponibilidad de oxígeno en las cercanías de la armadura y la resistividad del hormigón.
- b) la proporción de cloruros.

- c) la temperatura,
- d) la existencia de macropores galvánicos.

#### 1.5.1 Contenido en Humedad.

El hormigón es un material que absorbe con facilidad la humedad ambiental, pero en cambio se seca muy despacio. Cuando la humedad exterior es constante, se llega a establecer un equilibrio entre el contenido en humedad en el interior y la humedad relativa, HR, ambiental, pero cuando la humedad exterior oscila, el interior del hormigón no puede seguir los cambios a la misma velocidad, dando como resultado que sólo la capa exterior de la estructura es la que mantiene un equilibrio con la HR exterior (véase figura Nº 18), lo que ha llevado a decir que sólo respira la piel del hormigón. Esta circunstancia tiene diversas consecuencias que será necesario tener en cuenta a la hora de valorar el estado en que se encuentran unas armaduras situadas a una determinada profundidad.

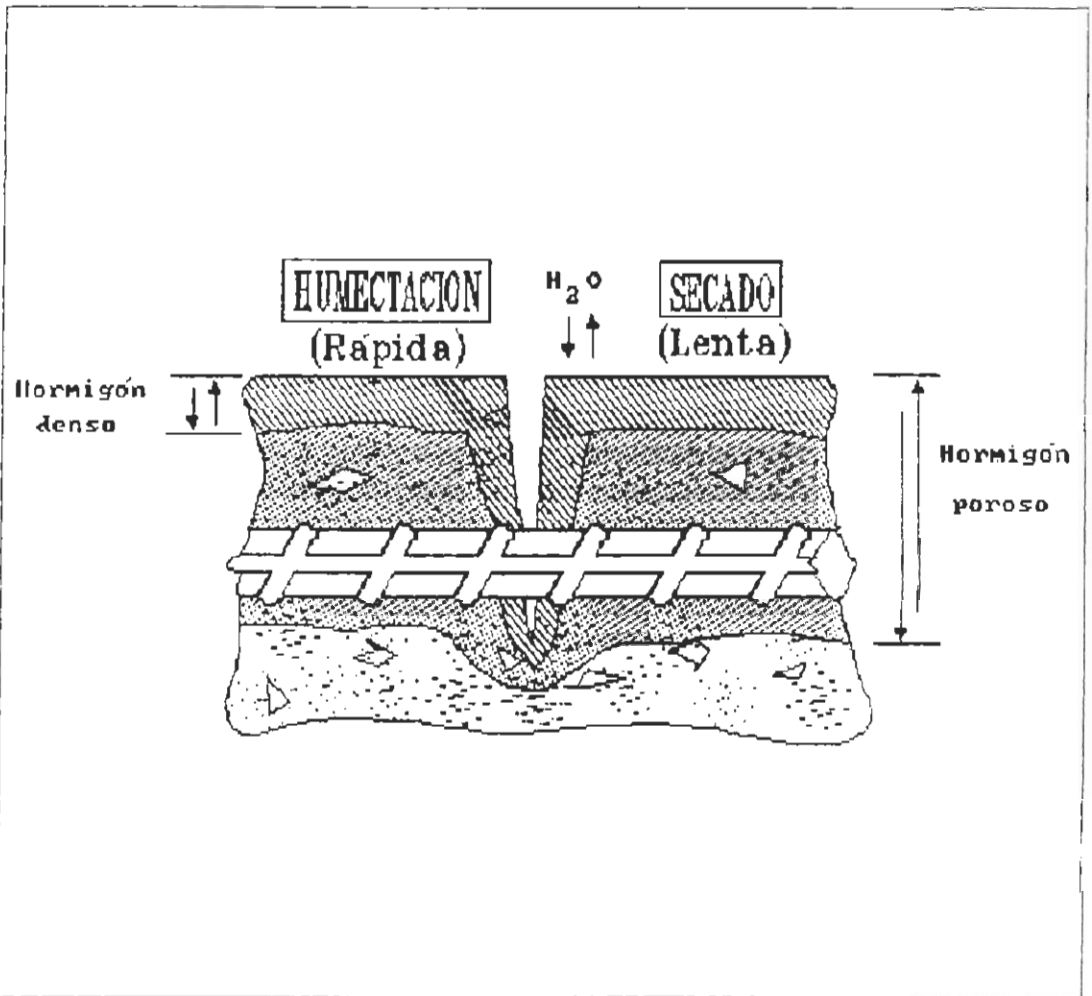
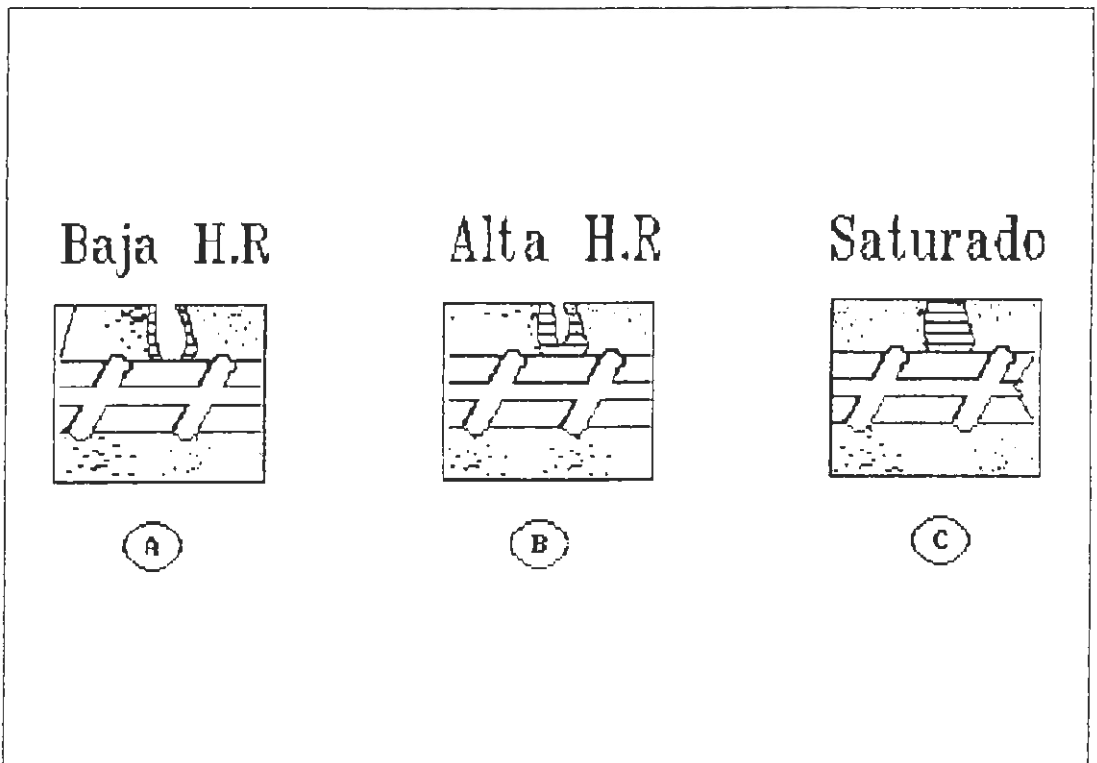


Figura Nº 18. Simplificación del fenómeno de intercambio de humedad entre el recubrimiento de hormigón y el medio ambiente.

El contenido en humedad es el factor que más influye en la velocidad de corrosión. Si los poros están saturados de humedad, como es el caso c) de la figura Nº 19, entonces la resistividad será la menor posible y por tanto la pila de corrosión estará muy facilitada, el oxígeno tendrá primero que disolverse en el agua para

poder alcanzar la armadura. En estas condiciones se dice que el proceso *está controlado por el acceso de oxígeno*, y las velocidades de corrosión no serán las más elevadas sino moderadas e incluso muy bajas, como es el caso de las estructuras situadas en los mares a cierta profundidad.



**Figura Nº 19.** Contenido de humedad de los poros de hormigón en función de la humedad ambiental.

Cuando los poros contienen muy poca humedad, entonces la resistividad es muy elevada y el proceso de corrosión se



encuentra muy dificultado. En este caso la velocidad de corrosión también será baja, aunque el hormigón se encuentre carbonatado y contaminado de cloruros (figura Nº 19A).

Las velocidades de corrosión máximas se dan en hormigones con contenido en humedad altos, pero sin saturar los poros. En este caso el oxígeno llega libremente hasta la armadura y la resistividad es lo suficientemente baja para permitir elevadas velocidades de corrosión (figura Nº 19B).

Existe una relación inversa entre la intensidad de corrosión,  $I_{corr}$ , y la resistividad del hormigón (que a su vez es función directa del contenido en humedad). Valores de  $I_{corr}$  por debajo de 0,1 - 0,2  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  indican una corrosión insignificante, en términos de vida útil en la estructura, estos valores aparecen en hormigones muy secos, con resistividades muy altas. Valores hasta 10  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  (equivalentes a 0,11 mm/año de penetración del ataque) se pueden medir en



hormigones carbonatados húmedos (aunque no saturados) y en hormigones con contenidos medios de cloruros. Y velocidades de corrosión entre 10 y 100  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  (esta última es la máxima velocidad de corrosión medida en hormigón sin actuación de corrientes galvánicas) se aprecia en hormigones altamente contaminados de cloruros.

#### 1.5.2 Proporción de cloruros.

Aunque todavía no se ha establecido una relación cualitativa entre proporción de cloruros o relación  $\text{Cl}^-/\text{OH}$  y velocidad de corrosión, si se ha constatado un aumento de velocidad de corrosión con el incremento de la proporción de  $\text{Cl}^-$ . Después de un período donde la corrosión se sitúa por debajo de 0.1  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  indicando que los cloruros no han llegado a la armadura en cantidad suficiente, se produce un incremento brusco (despasivación) y luego uno paulatino y constante. Los valores finales al cabo de 5 años en la barra situada a 1.5 cm son ya muy elevados. Al estar la probeta



sumergida en agua de mar, su resistencia óhmica al cabo de un año permanece prácticamente constante, aunque en cambio la  $I_{corr}$  crece constantemente, lo que lleva a deducir que cantidades crecientes de cloruros hacen aumentar la velocidad de corrosión.

### 1.5.3 Temperatura.

La temperatura juega un papel doble en los procesos de deterioro. Por un lado su incremento, promueve un aumento de la velocidad de corrosión y de la movilidad de los iones, pero por otro, su disminución puede dar lugar a condensaciones, que a su vez pueden producir incrementos locales de contenidos en humedad.

Es importante destacar que la humedad, el oxígeno y la temperatura pueden tener efectos contrapuestos. Así por ejemplo, una mayor humedad facilita la corrosión pero impide el acceso de oxígeno, o bien un incremento de temperatura, acelera la corrosión, pero disminuye la condensación.

Este efecto *inversor* puede dar lugar a interpretaciones erróneas.

#### I.5.4 Macropares galvánicos.

× Se entiende como tales a las pilas de corrosión que se pueden generar entre dos áreas distanciadas un máximo de algunos decímetros, una de las cuales está corroída y actúa de ánodo y otra se mantiene pasiva y lo hace de cátodo. ×

Un ejemplo se muestra en la figura Nº 20 y es el típico caso de viga de un tablero de puente, a la que puede acceder los cloruros de las sales contra heladas por la parte superior, la macropila se formará a través de los estribos, entre la trama superior de armaduras que se empezará a corroer cuando le lleguen los cloruros y la inferior que permanecerá pasiva más largo tiempo.

Cuando una situación como ésta se produce, a la corrosión propia de las micropilas (debido al ataque por cloruros) se suma la acción de la macropila, incrementando la velocidad de corrosión. El incremento que produzca depende de los potenciales de

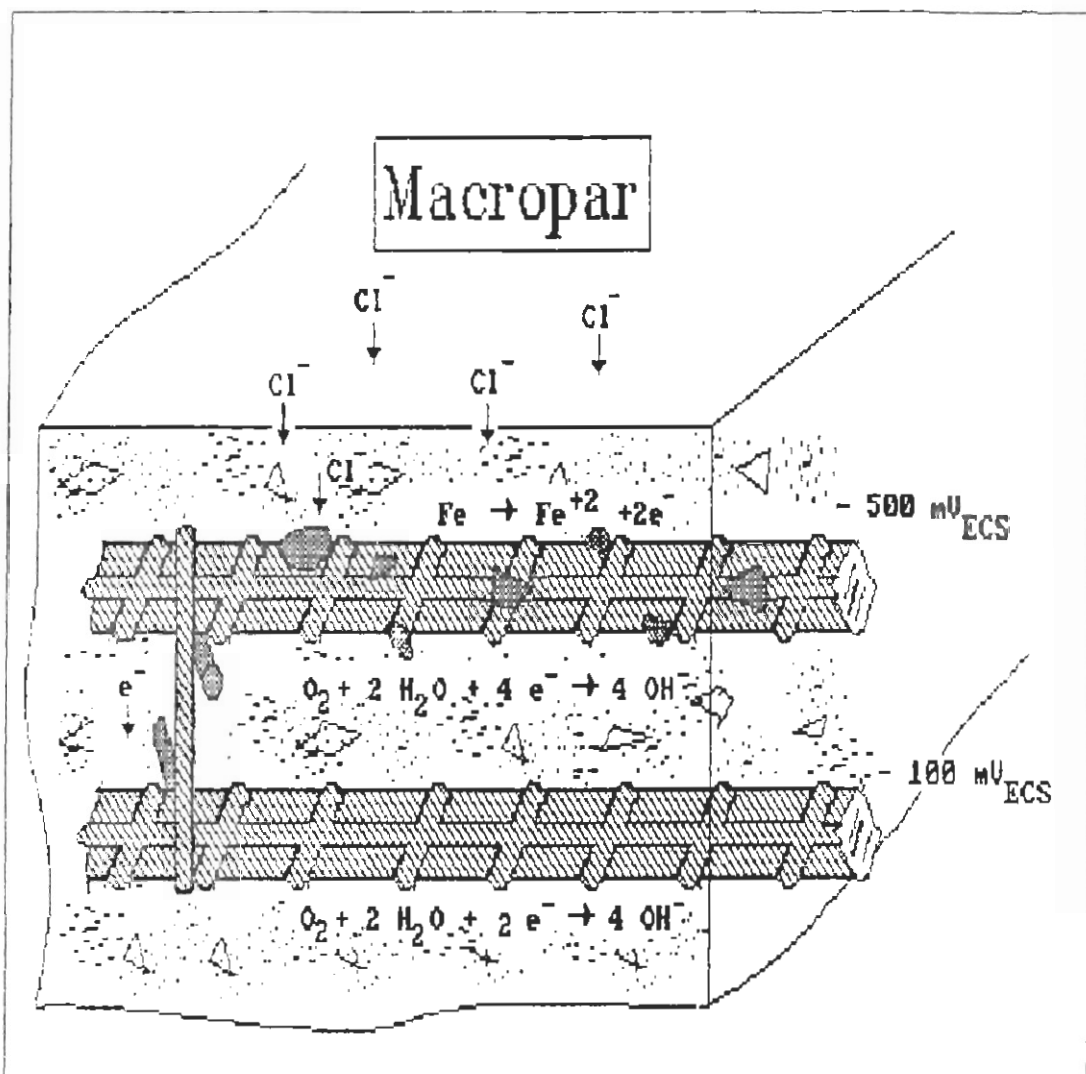


Figura Nº 20. Funcionamiento esquemático de un macropar generado por corrosión de las armaduras superiores debido a la penetración de cloruros desde el exterior.

corrosión del ánodo y del cátodo en el momento de comenzar la acción de la macropila y de la resistencia óhmica entre ambos. Aunque anteriormente se pensaba que la acción de esta macropilas podía ser muy importante e incluso podían actuar a metros de distancia ahora se ha constatado

que esto no es posible, ya que la corrosión se sustenta fundamentalmente por la acción de las micropilas, y ejercen su acción en un radio mucho más limitado, en el que es fundamental identificar la existencia de un electrolito continuo entre el ánodo y el cátodo.

#### 1.6 PROTECCION Y DURABILIDAD DE LAS ARMADURAS EN EL HORMIGON.

El hormigón armado, además de aportar unas prestaciones mecánicas muy amplias, ha demostrado poseer una durabilidad adecuada para la mayoría de los usos a los que se le destina. Esta durabilidad de las armaduras de hormigón armado es el resultado natural de la acción protectora, de doble naturaleza, que el hormigón ejerce sobre el acero:

- a) el recubrimiento de hormigón supone una barrera física.
- b) la elevada alcalinidad del hormigón desarrolla sobre el acero una capa pasivante que lo mantiene inalterado por tiempo indefinido.

Cuando el cemento se mezcla con el agua, sus distintos componentes se hidratan, formando un

conglomerado sólido, constituido por las fases hidratadas del cemento y una fase acuosa que proviene del exceso de agua de amasado necesaria para la mezcla adecuada de todos sus componentes. El hormigón resulta, pues, un sólido compacto y denso, pero poroso. La red de poros, un entramado de canaliculos y capilares, no siempre comunicados entre si, pero que permiten que el hormigón presente una cierta permeabilidad a los líquidos y los gases. Así, aunque el recubrimiento de las armaduras suponen una barrera física, ésta es permeable en cierta medida y permite el acceso de elementos agresivos hasta el acero.

+La alcalinidad del hormigón es debida principalmente al hidróxido cálcico que se forma durante la hidratación de los silicatos del cemento y a los alcalis que pueden estar incorporados como sulfatos en el clinker. Estas sustancias sitúan el pH de la fase acuosa contenida en los poros en valores entre 12 a 14, es decir, en el extremo más alcalino de la escala pH. A estos valores de pH y en presencia de una cierta cantidad de oxígeno, el acero de las armaduras se encuentra pasivado, es decir,





recubierto de un capa de óxidos transparentes, compacta y continua que lo mantiene protegido por periodos indefinidos, aún en presencia de humedades elevadas en el hormigón. ✕

En la figura Nº 21 se visualiza la situación habitual de las armaduras embebidas en hormigón.

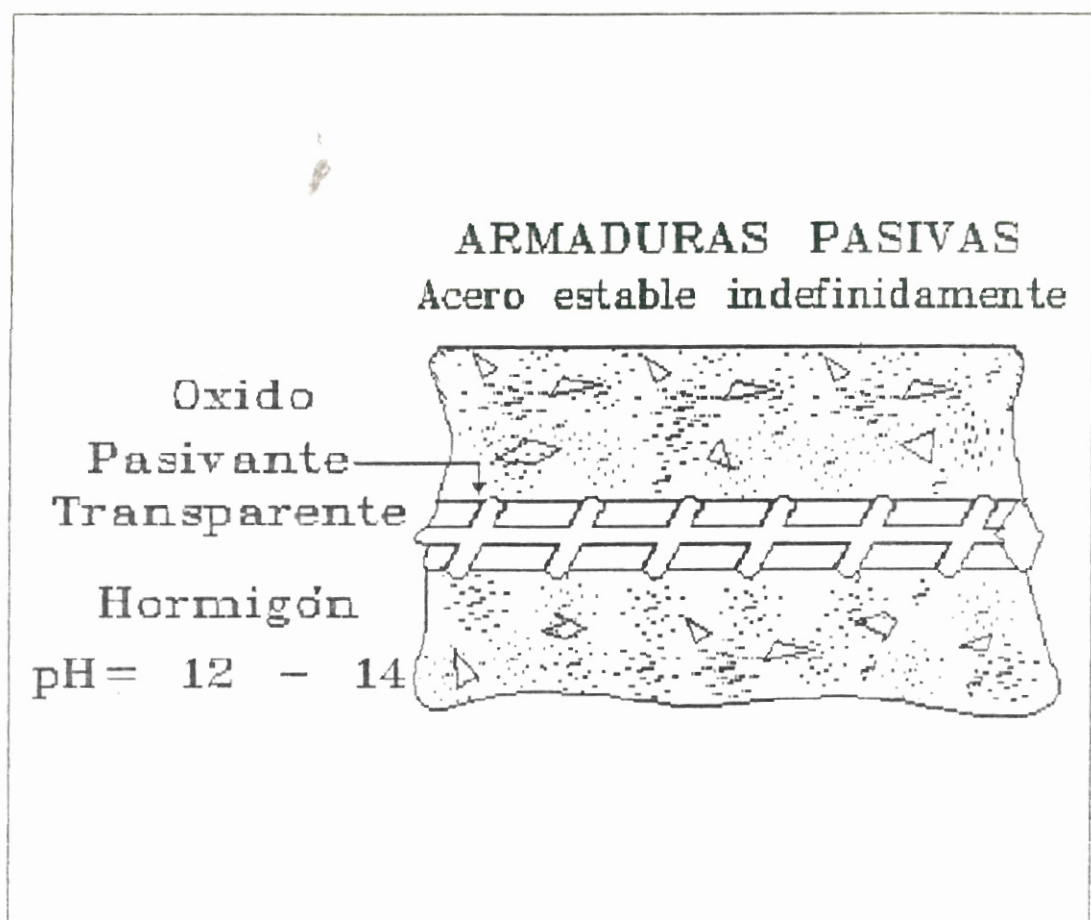


Figura Nº 21. Armaduras embebidas en un hormigón sin contaminar.

## CAPITULO 2

### 2. INVESTIGACION DE LOS AGENTES CORROSIVOS EN LOS POSTES DE ALUMBRADO ELECTRICO.

#### 2.1 METODOLOGIA.

Las pruebas ha realizarse, constituyen los indicativos suficientes y necesarios recomendados por la mayoría de los investigadores de la calidad del hormigón a nivel mundial, ya que a través de ellas se comprueban las propiedades físicas y químicas para que la estructura pueda cumplir con las condiciones de operabilidad y fiabilidad requeridas. Las pruebas a efectuarse serán las que indica la tabla Nº III.

**TABLA N° III**  
**ENSAYOS A REALIZAR**

<b>TIPO DE PRUEBA</b>		<b>CLASE DE HORMIGON</b>
<i>Propiedades Físicas</i>	1. Resistencia Mecánica.	Nuevo o de fábrica.
	2. Porosidad.	Nuevo.
	3. Contenido de Humedad.	Nuevo y viejo o deteriorado.
<i>Químicas.</i>	1. Contenido de Cloruros.	Nuevo y viejo.
	2. Contenido de sulfatos.	Nuevo y deteriorado.
	3. Carbonatación.	Viejo.
<i>Electroquímicas.</i>	1. Potenciostática.	Nuevo.

El 55.6% de los postes reemplazados en la ciudad de Guayaquil, corresponden a zonas suburbanas o invasiones asentadas en áreas de relleno donde hace pocos años atrás habían manglares, aldañas a esteros, es decir en lugares con alta salinidad y humedad relativa; si los ambientes donde se usan los postes son muy agresivos, éstos se corroerán y disminuirá su vida útil; si logramos determinar en donde se adquiere mayor **contenido de cloruros** (en el amasado o por penetración desde el exterior) y si su contenido es considerable, sabremos que es un factor a combatir para evitar el deterioro del hormigón armado; de la misma manera nos enteraremos si los **sulfatos** han conllevado o no, al aumento de la permeabilidad y por ende menor protección a la armadura.

Si hay presencia de **carbonatación** en el concreto en uso, se podría afirmar que ha bajado la alcalinidad del hormigón y por consecuencia una disolución de la capa pasivante y corrosión generalizada.

Es necesario comprobar que el hormigón ha alcanzado la **resistencia a la compresión** de diseño para que soporte las cargas a que será

sometido, lo cual lo comprobaremos con los ensayos a la compresión.

Si obtenemos altos contenidos de humedad, entonces podremos afirmar que ésta ha contribuido a la disminución de la resistividad y al incremento de la velocidad de corrosión de la estructura.

Haciendo uso de la técnica potencioestática, podremos analizar el comportamiento anódico y catódico de probetas, lo que no podríamos averiguar con otras técnicas electroquímicas, así como la calidad del recubrimiento de hormigón y la velocidad de corrosión de la armadura de estructuras de hormigón de fábrica: cabe anotar que estas pruebas se realizarán con especímenes de material mixto, compuesto de cemento y acero estructural, lo cual no se había experimentado anteriormente.

El porcentaje de porosidad es un indicativo de la calidad del hormigón y puede ser un índice indirecto de su permeabilidad.

Con estas pruebas se espera obtener parámetros demostrativos que nos lleven a encontrar las causas probables del deterioro de estas

estructuras y así poder formular las recomendaciones pertinentes y aplicar los correctivos que ameriten.

## 2.2 PRUEBA DE PROPIEDADES EN EL HORMIGÓN.

### 2.2.1 Resistencia Mecánica del Hormigón.

#### A. Generalidades.

A continuación se describe la preparación y curado de los especímenes en el sitio de fabricación de los postes centrifugados para los ensayos de compresión.

#### B. Equipo.

- Balanza.
- Varilla para apisonar el hormigón, de 5/8" de diámetro y 60 cms. de longitud.
- Moldes para los especímenes que han de usarse en los ensayos de compresión: cilindros de 6" de diámetro y 12" de longitud. con placa de soporte.
- Cuarto húmedo para el curado de especímenes.
- Máquina mezcladora para preparación del concreto.

- Prensa hidráulica para ensayos de compresión (capacidad 300 000 lb. precisión 250 lbs. marca: SOILTEST).

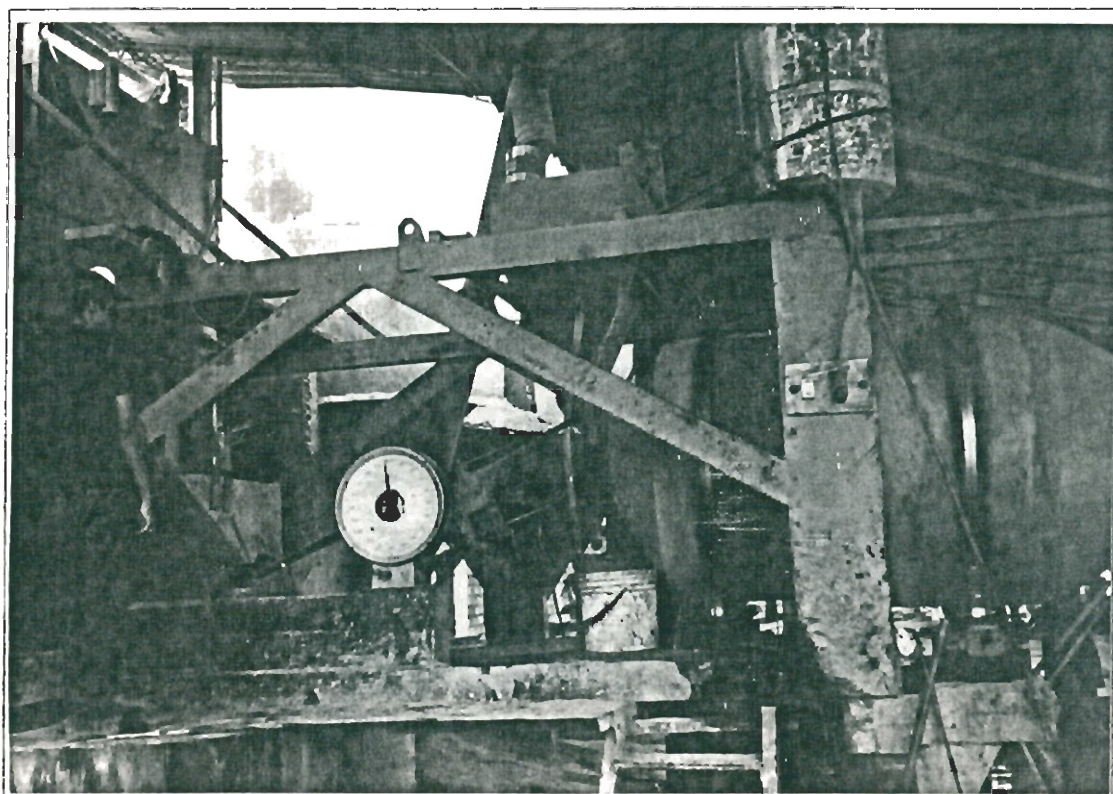


Figura N022. Mezcladora de materiales para conformación del hormigón.



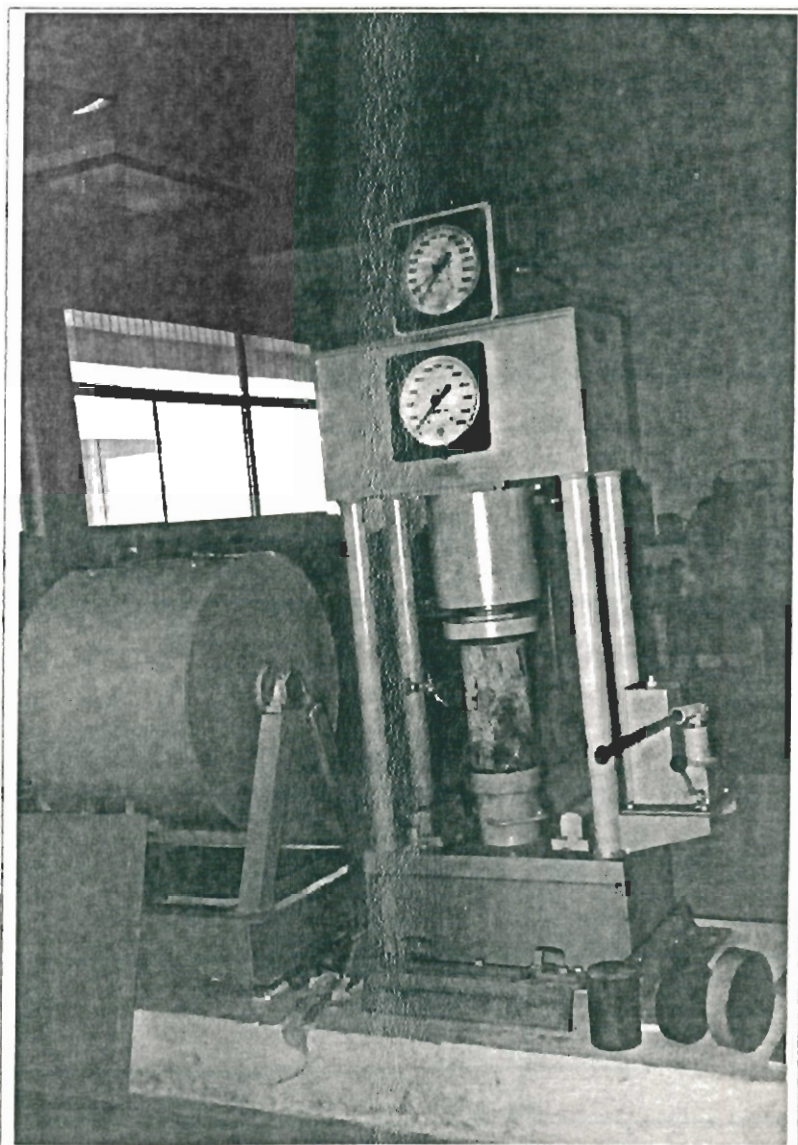


Figura N<sup>o</sup>23. Máquina Hidráulica para ensayos de compresión.

### C. Materiales.

Los materiales deben estar a la temperatura ambiente (aproximadamente entre 18° y 24° C). La dosificación de los materiales por parte de los fabricantes se la mostrada en las tablas N<sup>o</sup> IV y V.

TABLA Nº IV

DISEÑO BASICO AL PESO PARA POSTES DE 9 METROS

MATERIAL	DOSIFICACION
CEMENTO	145 Kg
PIEDRA CHISPA	222 Kg
POLVO DE PIEDRA	25 Kg
ARENA	158 Kg
PLASTIFICANTE (ADITIVO)	360 cms/saco

TABLA Nº V

DISEÑO BASICO AL PESO PARA POSTES DE 11 METROS

MATERIALES	DOSIFICACION
CEMENTO	196 Kg
PIEDRA CHISPA	300 Kg
POLVO DE PIEDRA	35 Kg
ARENA	214 Kg
PLASTIFICANTE (ADITIVO)	360 cms/saco

Se prepararán 3 especímenes de tres mezclas diferentes en tres fechas elegidas al azar.

#### D. Procedimiento.

1. Los materiales se pueden mezclar ya sea manualmente o por medio de una mezcladora; la cantidad de hormigón que se prepare debe ser tal que sobre aproximadamente un 10% después de llenar los moldes.

2. La mezcla se hace en un recipiente de metal que no deje escapar el agua, los fabricantes utilizan una mezcladora automática para dicho efecto.

3. Los materiales ingresan a la mezcladora de acuerdo al diseño básico al peso, agregándosele agua a los materiales hasta obtener una mezcla homogénea de la consistencia deseada. Se deberá desechar el hormigón obtenido cuando haya habido necesidad de alargar por mucho tiempo el periodo de mezcla con el fin de obtener la consistencia deseada (4).

E. Preparación de especímenes para el ensayo de compresión (\*).

1. El diámetro máximo de las partículas de agregado grueso usadas en las mezclas para moldes de 6" de diámetro por 12" de altura no deben ser mayor de 2".
2. Las superficies de los moldes y de la base metálica que entren en contacto con las muestra mientras fragua, deben ser ligeramente aceitadas.
3. El material se coloca dentro del molde en tres capas, cada una de las cuales debe tener cuatro pulgadas de espesor. Cada capa debe ser apisonada con 25 golpes de la varilla, repartidos uniformemente. La superficie de la última capa se empareja con el palustre y se cubre el molde para evitar la evaporación (ver figura N924).
4. Es importante en la preparación de estos especímenes cilindricos que las bases queden paralelas. Generalmente, dichas bases pueden ser emparejadas con

---

\* Norma ASTM C-78-44



una capa delgada de pasta de cemento,  
entre dos y cuatro horas después de tener  
el hormigón en el molde.



Figura Nº 24. Moldes cilindricos.

λ E. Curado de especímenes para ensayo de compresión (\*).

1. Durante las primeras 24 horas los especímenes se deben guardar en una caja de madera, la cual debe conservarse a una temperatura que puede variar entre 16° y 27°C.

2. Los especímenes que se fabriquen con el fin de verificar la resistencia del hormigón usado en la obra, se deberán sacar de los moldes al cabo de 24 horas y almacenar en un sitio húmedo, en donde la superficie de los especímenes este constantemente expuesta a la humedad. La temperatura debe permanecer entre 16° y 24°C.

3. Los especímenes se deben curar empleando los mismos métodos que se usan para curar el hormigón en sitio: los cilindros que van a ser ensayados al cabo de 21 días, no se deben enviar al laboratorio sino 7 días antes de ser ensayados. Una vez en el laboratorio,



deberán mantenerse a la temperatura ambiente, y uno o dos días antes de ensayarlos, se sumergirán en agua en donde deberán permanecer hasta el momento en que se inicie el ensayo.

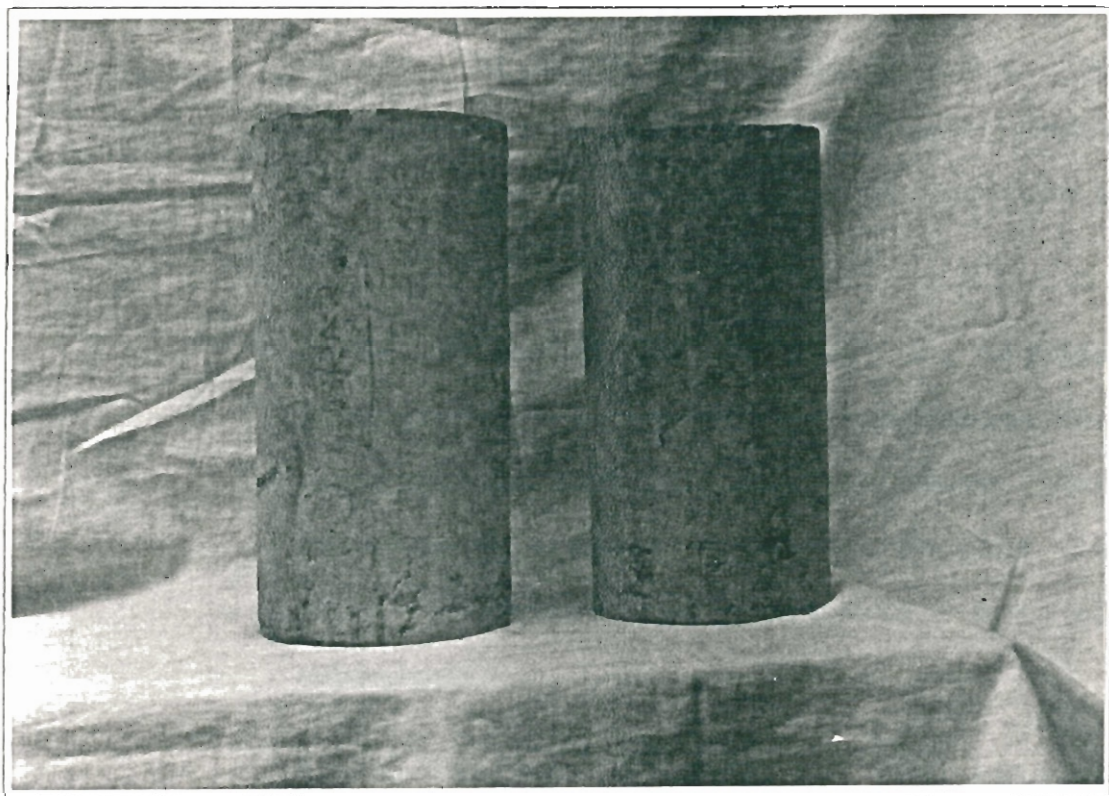


Figura NO 25. Cilindros de hormigón nuevo listos a ser ensayados.



x G. Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón (\*).

1. Los especímenes de una misma fecha serán ensayados a los 7, 14 y 21 días respectivamente.

2. Se debe verificar que las bases de los cilindros de muestra estén planas dentro de una variación permitida de 0.002", de lo contrario se deberán aplanar por medio de una capa de una mezcla de hormigón y otro material apropiado.

3. Se coloca el cilindro en una máquina hidráulica para ensayos de compresión con capacidad de 300 000 lbs. se centra con relación a la placa superior. Se pone la placa superior en contacto con el espécimen.

4. Se aplica la carga a una rata de aumento constante y uniforme, más o menos entre 20 y 50 psi/seg.

5. Se aumenta la carga hasta que el

espécimen falle. Se debe anotar esta carga máxima aplicada, lo mismo que el tipo de fractura del cilindro.

6. Finalmente se calcula la resistencia a la compresión dividiendo la carga máxima aplicada para el área del cilindro, calculada con el diámetro obtenido antes de aplicar la carga.

Los resultado obtenidos fueron los que muestra la tabla Nº VI, donde:  $F_c$  = fuerza de compresión,  $R_c$  = resistencia a la compresión,  $A_t$  = área transversal ( $A_t=28.27 \text{ pulg}^2$ ).

**TABLA N° VI**  
**RESULTADOS DE LAS PRUEBAS**

Muestreo N°	Fecha de muestreo	7 días		14 días		21 días	
		F <sub>c</sub> [Lbs]	R <sub>c</sub> [Lb/pulg <sup>2</sup> ]	F <sub>c</sub> [Lbs]	R <sub>c</sub> [Lb/pulg <sup>2</sup> ]	F <sub>c</sub> [Lbs]	R <sub>c</sub> [Lb/pulg <sup>2</sup> ]
1	Mayo 16	75000	2652.58	150000	5305.16	178000	6295.46
2	Mayo 23	145000	5128.33	148000	5234.43	176000	6224.73
3	Mayo 27	131000	4633.18	146000	5163.69	175000	6189.36

## 2.2.2 Prueba de Porosidad.

### A. Generalidades.

La medida de la porosidad de un hormigón se puede obtener mediante un método no destructivo que nos permitirá conocer el porcentaje de porosidad total. La prueba se realizará con bloques de hormigón nuevo tomados directamente de la mezcla del concreto empleado para fundir los postes en estudio.

### B. Equipos.

- Horno de temperatura controlada.
- Vasos de 1 Lt. de capacidad.
- Balanza electrónica.
- Pinzas.

### C. Materiales.

- 3 probetas de hormigón de 5 x 5 x 10 cm.
- Agua potable.

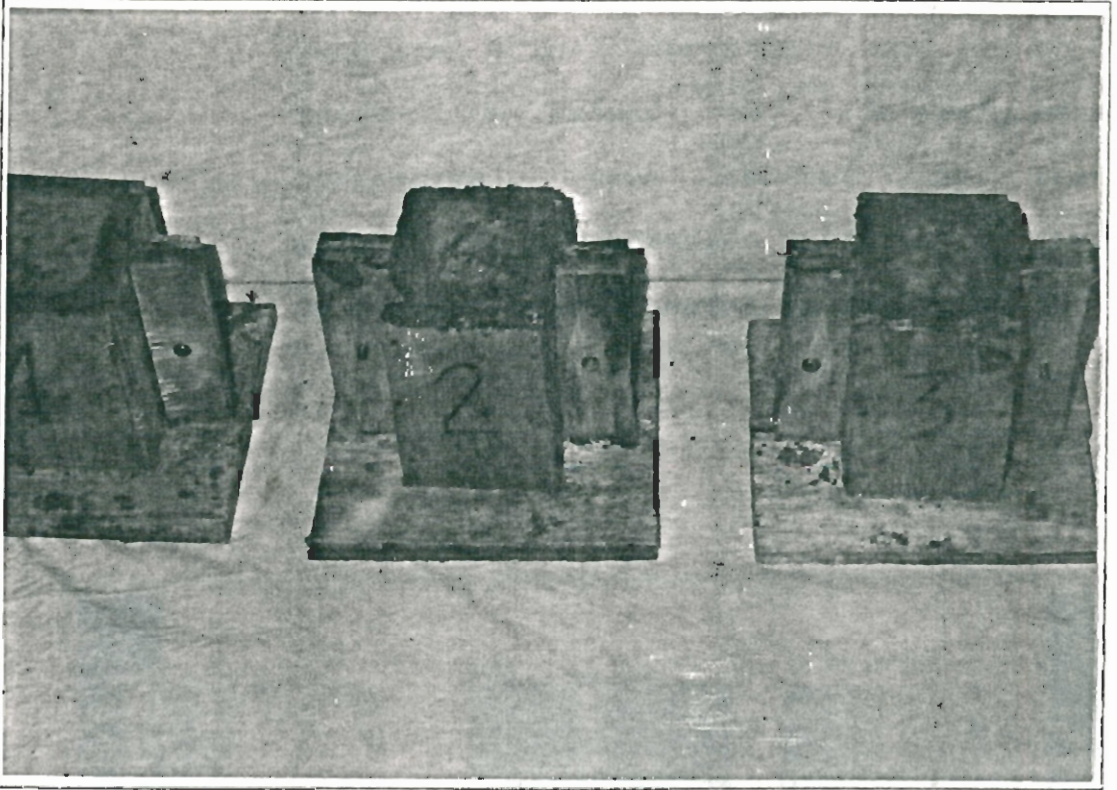


Figura Nº 26. Moldes llenos de hormigón de fábrica para ensayos de porosidad.

#### D. Procedimiento.

1. De la misma mezcla preparada como indica el ensayo anterior (resistencia mecánica a la compresión), se llenan 3 moldes de 5x5x10 cm. (de mezclas diferentes), para obtener así tres especímenes de hormigón íntegros y libre de grietas, como muestra la figura Nº 27.

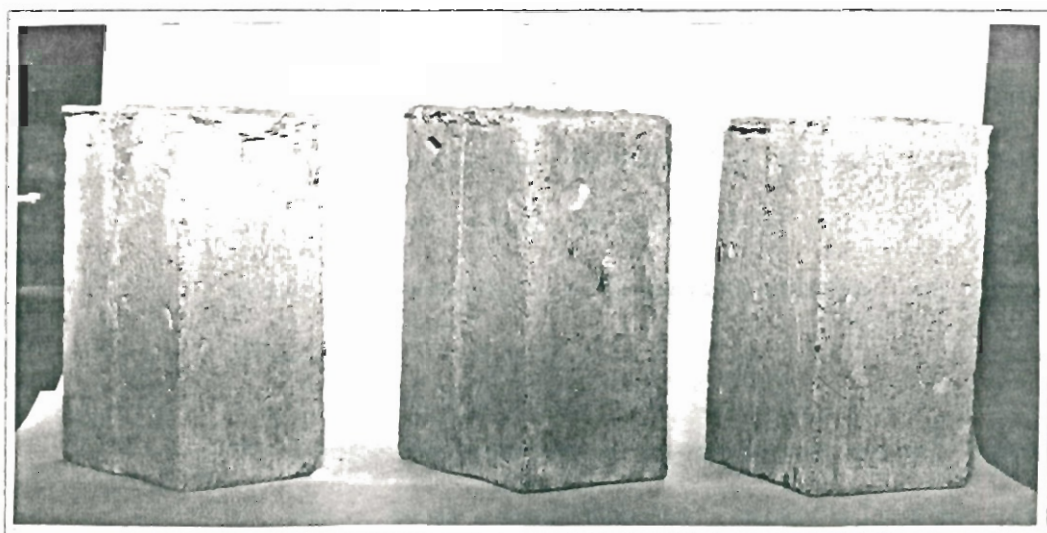


Figura Nº 27. Probetas de hormigón para determinar su porosidad.

2. Al cabo de 24 horas las muestras se desmoldan y mantienen en un recipiente a temperatura entre 16 a 27°C, hasta el momento del ensayo en el laboratorio.
3. La porción a ensayar se deseca en una estufa a 105°C hasta peso constante, luego se introduce en un desecador hasta que adquiere la temperatura ambiente y en estas condiciones se pesa ( $P_{seco}$ ).
4. Después se sumerge en un vaso con suficiente cantidad de agua hasta que la cubra por completo.
5. Se hierve la muestra durante 2 horas, se deja enfriar durante 12 horas y luego se seca el agua superficial con un paño poco absorbente e inmediatamente se pesa ( $P_{sat}$ ).
6. Luego se vuelve a introducir en el agua y se pesa nuevamente suspendiendo la muestra directamente en la balanza sin extraerla del vaso con agua ( $P_{sumerg}$ ).
7. La porosidad por volumen del hormigón se calcula mediante la expresión siguiente:



$$\text{Porosidad (\%)} = \frac{P_{\text{sat}} - P_{\text{seco}}}{P_{\text{sat}} - P_{\text{sumerg}}}$$

(ec. 1)

Donde:

$P_{\text{sat}}$  = peso de la probeta saturada  
(después del vacío o hervido).

$P_{\text{seco}}$  = peso de la probeta seca.

$P_{\text{sumerg}}$  = peso de la probeta saturada y  
sumergida en agua.

Todos los pesos se darán en gramos.

7. Finalmente se valoriza, a través de la tabla N<sup>o</sup> VII, los resultados mostrados en la tabla N<sup>o</sup> VIII.

TABLA Nº VII  
CRITERIOS DE VALORIZACION DE POROSIDAD (3)

POROSIDAD [%]	INDICATIVO
< 10 %	Hormigón de buena calidad y compacto.
10% < P < 15%	Hormigón bueno pero permeable y no adecuado para ambientes agresivos.
> 15 %	Hormigón muy permeable e inadecuado para proteger a la armadura a largo plazo.

TABLA Nº VIII  
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE POROSIDAD

Muestra #	P <sub>aeco</sub> [gr]	P <sub>sat</sub> [gr]	P <sub>sumerg</sub> [gr]	Porosidad [%]
1	698.1	712.4	711.6	17.89
2	736.6	749.5	749.7	64.50
3	679.3	692.4	691.0	9.36

### 2.2.3 Determinación del contenido de humedad.

#### A. Generalidades.

El contenido en humedad del hormigón es la variable que controla tanto el acceso de oxígeno u otros gases (carbónico, sulfuroso, etc), hasta la armadura, como la resistividad del hormigón, es decir es la variable que incide más directamente sobre la velocidad de corrosión. Se efectuarán pruebas para conocer el contenido de humedad tanto en hormigón nuevo como en hormigón en uso.

#### B. Equipos.

- Balanza electrónica (precisión= 0.0001 gr.)
- Horno con temperatura controlada.

#### C. Materiales.

- 3 muestras de hormigón nuevo.
- 3 muestras de hormigón extraído de estructura con falla (viejo).

#### D. Procedimiento.

- 1) La muestra extraída de la estructura o nueva, se debe introducir inmediatamente un frasco hermético.
- 2) La muestra con humedad ambiental se pesará dentro del frasco (Pm).
- 3) Luego se extraerá de él y tanto la muestra como el frasco destapado y su tapa se meterán en una estufa a 105°C durante 24 horas o en la cámara de vacío (el frasco debe ser de un material que no se altere con la temperatura en el caso de la estufa).
- 4) Se pesarán finalmente para hallar el contenido en humedad evaporada de los poros de la muestra (Pseca).
- 5) El contenido en humedad de un hormigón se calcula mediante la simple diferencia entre el Pm (peso de la muestra a la humedad del ensayo) y Pseca (peso después de desecar a 105°C).

TABLA Nº IX

CRITERIO DE VALORIZACION DE LA HUMEDAD (%)

MUESTRA Nº 1		MUESTRA Nº 2	
Paso 1		Paso 1	
Paso 2		Paso 2	
Paso 3		Paso 3	
Paso 4		Paso 4	
Paso 5		Paso 5	
Paso 6		Paso 6	
Paso 7		Paso 7	
Paso 8		Paso 8	
Paso 9		Paso 9	
Paso 10		Paso 10	
Paso 11		Paso 11	
Paso 12		Paso 12	
Paso 13		Paso 13	
Paso 14		Paso 14	
Paso 15		Paso 15	
Paso 16		Paso 16	
Paso 17		Paso 17	
Paso 18		Paso 18	
Paso 19		Paso 19	
Paso 20		Paso 20	
Paso 21		Paso 21	
Paso 22		Paso 22	
Paso 23		Paso 23	
Paso 24		Paso 24	
Paso 25		Paso 25	
Paso 26		Paso 26	
Paso 27		Paso 27	
Paso 28		Paso 28	
Paso 29		Paso 29	
Paso 30		Paso 30	
Paso 31		Paso 31	
Paso 32		Paso 32	
Paso 33		Paso 33	
Paso 34		Paso 34	
Paso 35		Paso 35	
Paso 36		Paso 36	
Paso 37		Paso 37	
Paso 38		Paso 38	
Paso 39		Paso 39	
Paso 40		Paso 40	
Paso 41		Paso 41	
Paso 42		Paso 42	
Paso 43		Paso 43	
Paso 44		Paso 44	
Paso 45		Paso 45	
Paso 46		Paso 46	
Paso 47		Paso 47	
Paso 48		Paso 48	
Paso 49		Paso 49	
Paso 50		Paso 50	
Paso 51		Paso 51	
Paso 52		Paso 52	
Paso 53		Paso 53	
Paso 54		Paso 54	
Paso 55		Paso 55	
Paso 56		Paso 56	
Paso 57		Paso 57	
Paso 58		Paso 58	
Paso 59		Paso 59	
Paso 60		Paso 60	
Paso 61		Paso 61	
Paso 62		Paso 62	
Paso 63		Paso 63	
Paso 64		Paso 64	
Paso 65		Paso 65	
Paso 66		Paso 66	
Paso 67		Paso 67	
Paso 68		Paso 68	
Paso 69		Paso 69	
Paso 70		Paso 70	
Paso 71		Paso 71	
Paso 72		Paso 72	
Paso 73		Paso 73	
Paso 74		Paso 74	
Paso 75		Paso 75	
Paso 76		Paso 76	
Paso 77		Paso 77	
Paso 78		Paso 78	
Paso 79		Paso 79	
Paso 80		Paso 80	
Paso 81		Paso 81	
Paso 82		Paso 82	
Paso 83		Paso 83	
Paso 84		Paso 84	
Paso 85		Paso 85	
Paso 86		Paso 86	
Paso 87		Paso 87	
Paso 88		Paso 88	
Paso 89		Paso 89	
Paso 90		Paso 90	
Paso 91		Paso 91	
Paso 92		Paso 92	
Paso 93		Paso 93	
Paso 94		Paso 94	
Paso 95		Paso 95	
Paso 96		Paso 96	
Paso 97		Paso 97	
Paso 98		Paso 98	
Paso 99		Paso 99	
Paso 100		Paso 100	

TABLA Nº X

RESULTADOS DE PRUEBAS DE HUMEDAD PARA MUESTRAS DE HORMIGON EN USO.

Muestra P	P <sub>m</sub> (gr)	P <sub>sec</sub> (gr)	Humedad (gr)	Humedad [%]
1	1114,5	1114,5	126,421	11,3
2	1114,5	1114,5	126,421	11,2
3	1114,5	1114,5	127,04	11,3

TABLA NO XI  
RESULTADOS DE PRUEBAS DE HUMEDAD PARA MUESTRAS DE  
HORMIGON NUEVO.

Muestra #	P <sub>m</sub> [gr]	P <sub>sec</sub> [gr]	Humedad [gr]	Humedad [%]
1	51.1973	50.3758	0.8215	1.6
2	37.1037	36.2364	0.8673	2.3
3	60.7192	59.7384	0.9808	1.6

HUMEDAD PROMEDIO = 1.8 %



## X2.3 PRUEBAS QUÍMICAS.

### 2.3.1 Contenido en cloruros.

#### A. Generalidades.

En la presente prueba se determinará el contenido en *cloruros libres o solubles por método de Mohr*. Los *cloruros libres*, es decir en forma de iones en el agua contenida en los poros, son los que pueden ser agresivos y producir corrosión en las armaduras. Emplearemos este método de solubilidad en agua, ya que consideramos que es más sensitivo a los procedimientos de ensayo: las normativas establecen un límite de cloruros en forma de cloruros solubles y esto nos ayuda a hacer estimaciones por comparación, del grado de contaminación del hormigón.

#### B. Equipos.

- Trituradora de quijada (ver fig. N°28).
- Molino de rodillo (ver fig. N°29).
- Clasificadora rotativa (ROTAP).
- Tamiz N° 16.
- Estufa.



- Balanza electrónica.
- Vasos Erlenmeyer (capacidad 500 ml.).

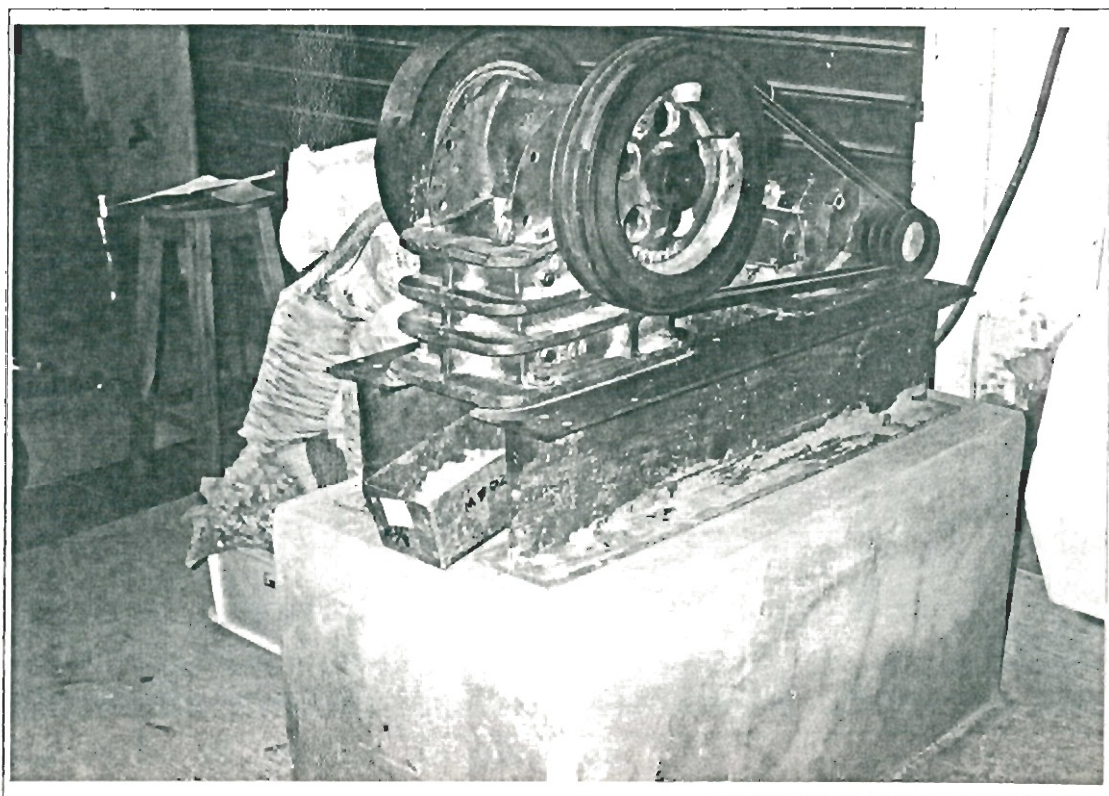


Figura Nº 28. Trituradora de quijada.

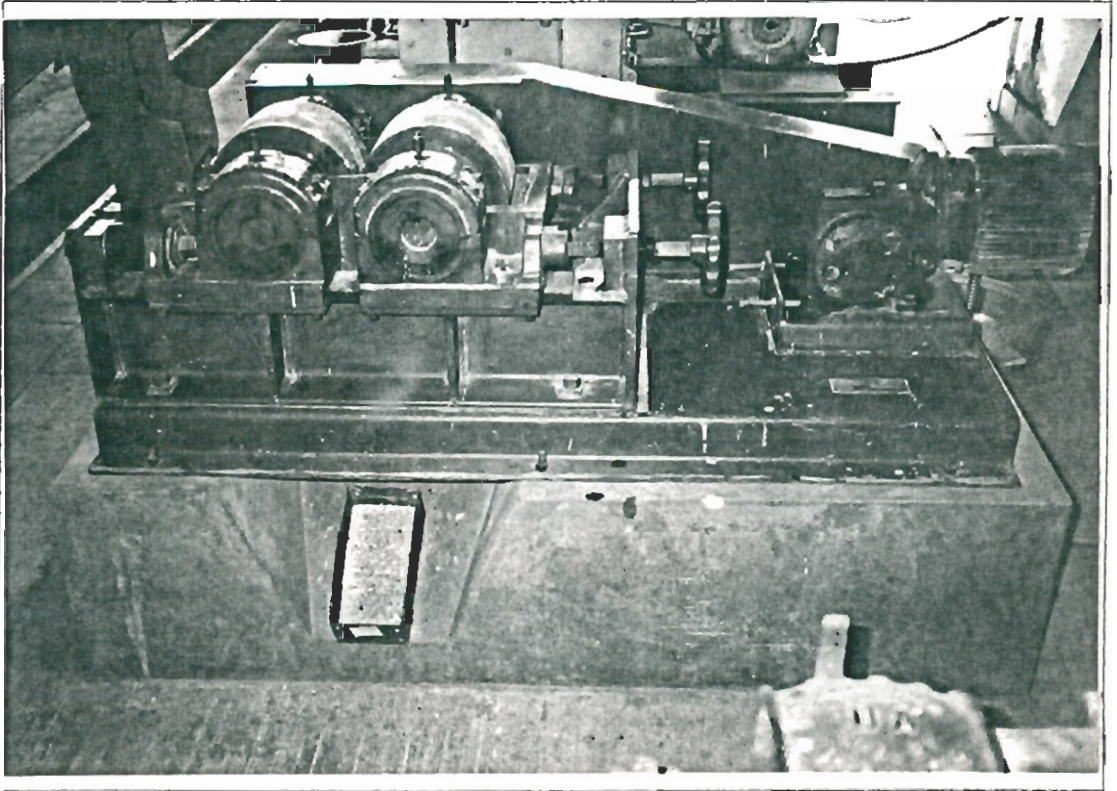


Figura N<sup>o</sup> 29. Molino de rodillos.

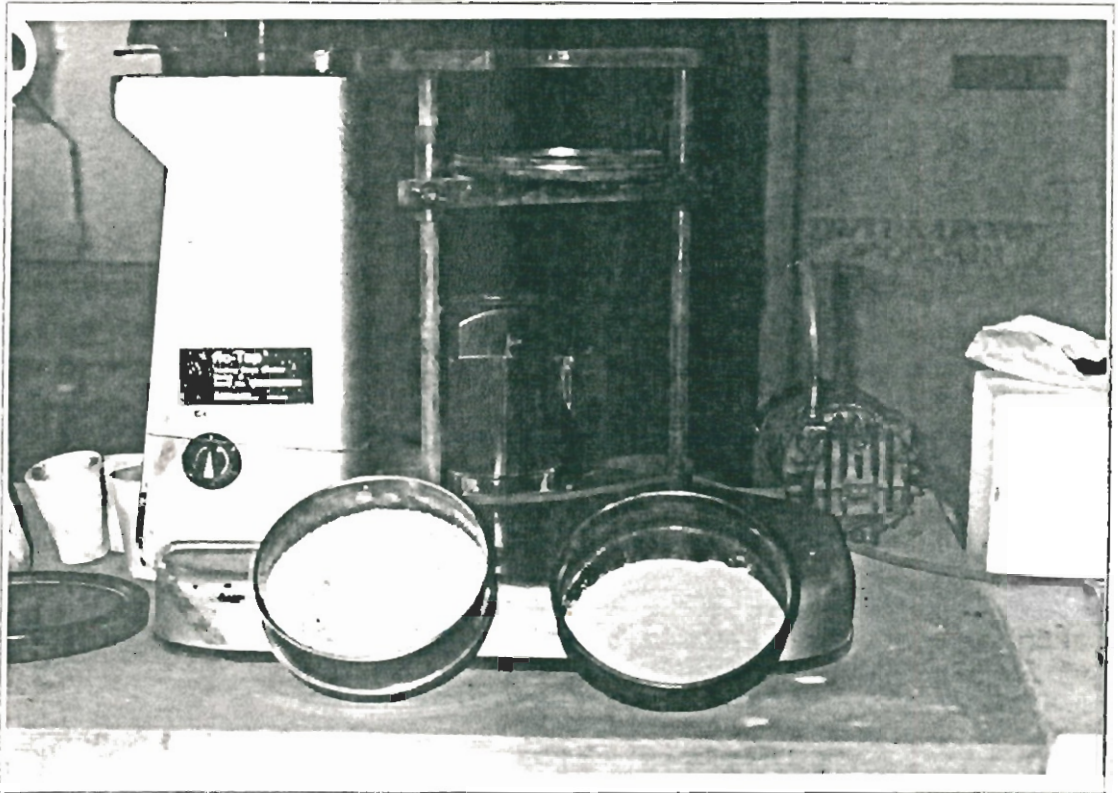


Figura Nº 30. Clasificadora rotativa (ROTAP) y tamiz Nº16.

### C. Materiales.

- 3 Muestras de hormigón triturado (polvo).
- Agua destilada.
- Papel filtro (porosidad media).
- Cromato de Potasio ( $K_2CrO_4$ ) al 5%.
- Nitrato de Plata ( $AgNO_3$ ).

### D. Procedimiento.

#### Determinación de cloruros libres (\*)

- 1) Al menos 100 gr. de muestra seca, se tritura hasta que pase por el tamiz Nº 16.
- 2) Posteriormente se homogeniza cuidadosamente y se vuelve a secar en estufa a  $105^{\circ}C$ .
- 3) Se toma mediante cuarteo de la muestra triturada y seca, una porción de unos 5 gr. pesados con aproximación de 1 mg.
- 4) Introducir en un Erlenmeyer de 500 ml. provisto de boca esmerilada. Se adicionan a la muestra unos 50 ml. de agua

---

\*Norma ASTM D 1411.



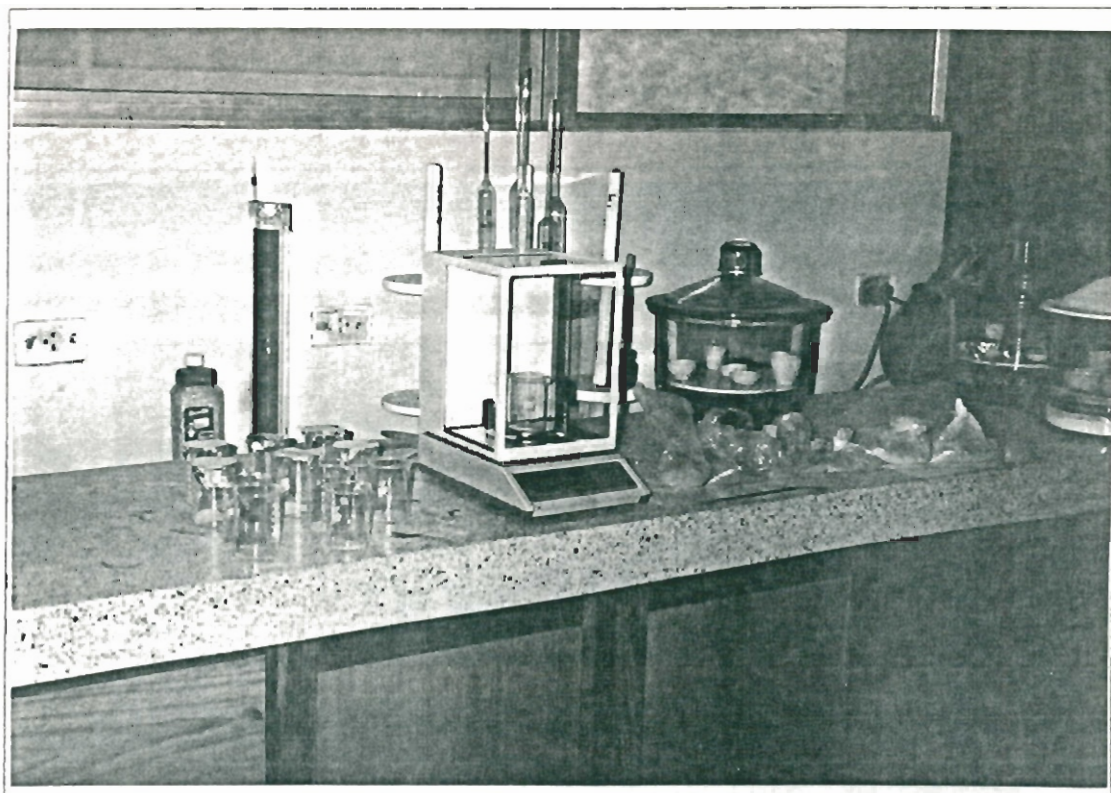


Figura NO 31. Muestras trituradas en el laboratorio listas a ser ensayadas.

destilada. Se agita bien durante 1 hora hasta disolver la muestra lo más posible.

5) Luego se calienta en la estufa durante aproximadamente media hora.

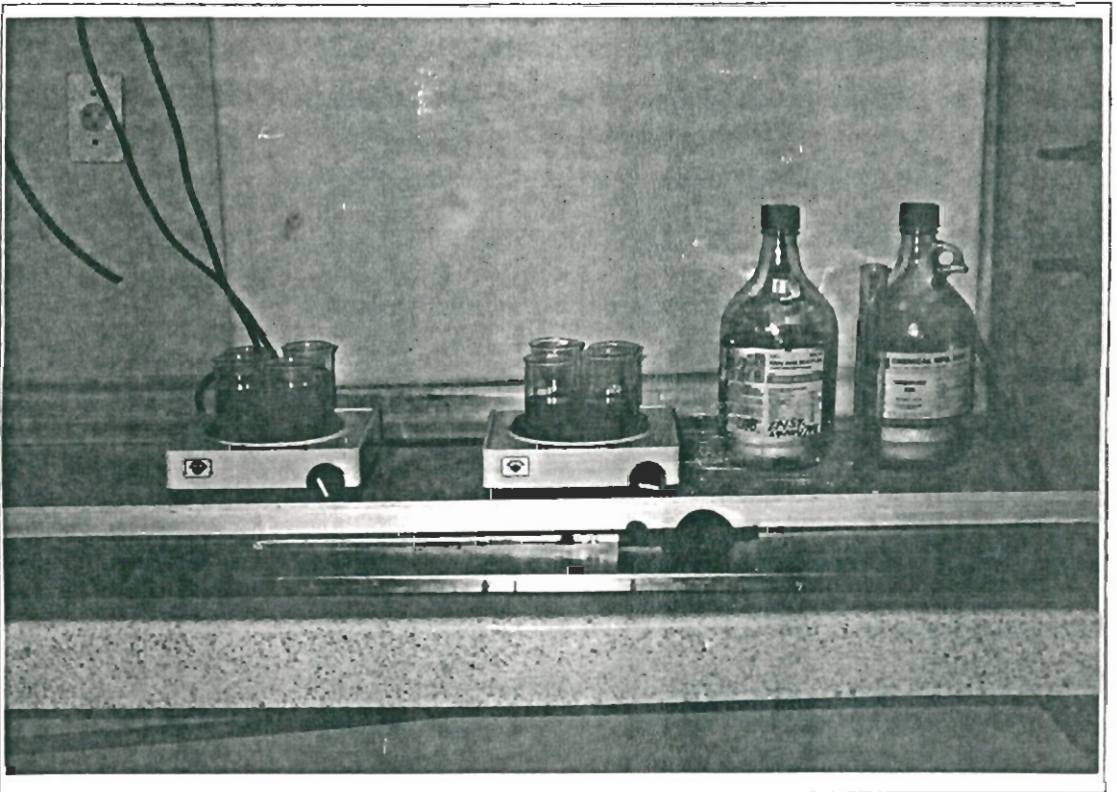
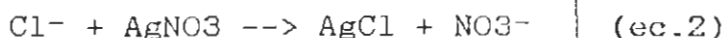


Figura NO 32. Muestras de hormigón nuevo y viejo disueltas en agua destilada y calentándose en estufa.

6) Se filtra la mezcla usando papel filtro de porosidad media y se mide el volumen de filtrado.

7) Luego se le agrega cromato de potasio ( $K_2CrO_4$ ) que va a actuar como indicador, tornando de un color amarillenta la solución.

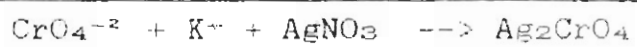
8) A continuación se añade una solución de Nitrato de Plata ( $AgNO_3$ , 0.014N), de baja normalidad ya que se utilizó una muestra de solo 5 gr, la que la hace más sensible; se produce la siguiente reacción:



Primeramente la plata del  $AgNO_3$  reacciona con todos los cloruros (insolubles) formando el cloruro de plata ( $AgCl$ ), que se lo puede apreciar visualmente como un precipitado blanco. Cuando todos los  $AgCl$  se han precipitado de forma inmediata, los iones cromatos reaccionan con la  $Ag$  del  $AgNO_3$  para formar cromato de plata ( $Ag_2CrO_4$ ), formando un precipitado de color rojo pardo, lo que nos indica que es el



final de la titulación, es decir:



(ec-3)

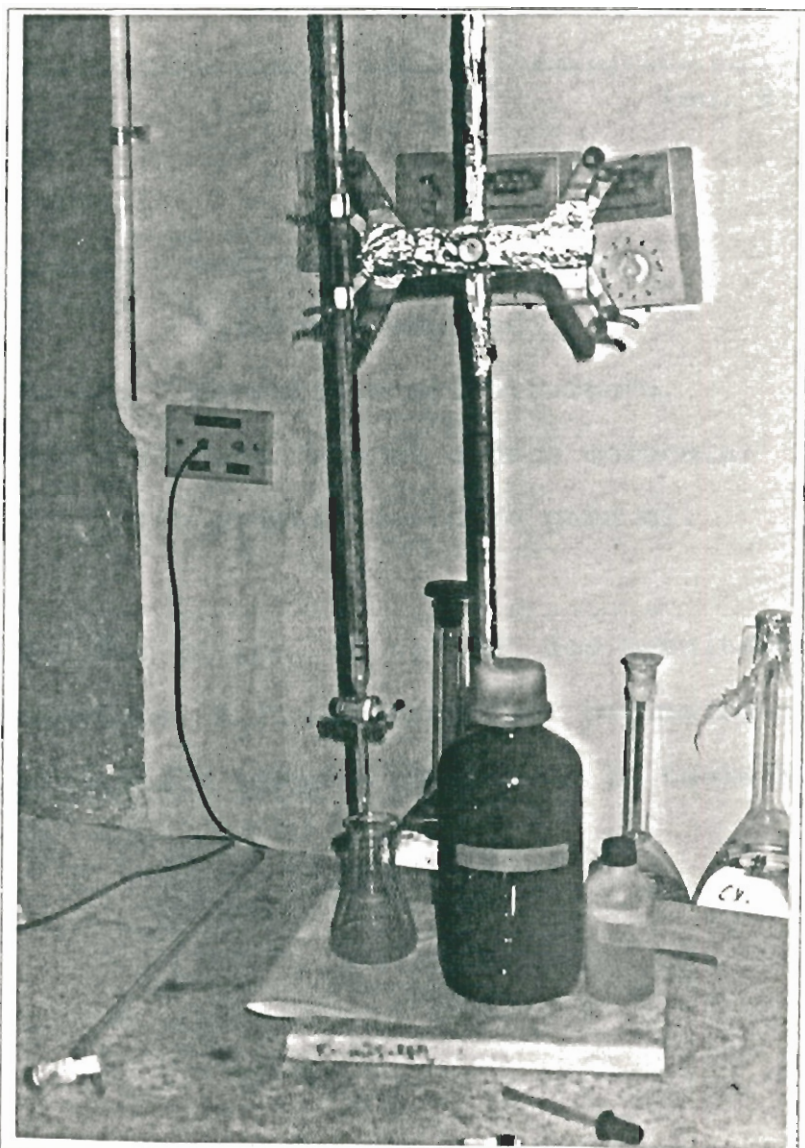


Figura Nº 33. Filtrado reaccionando con la solución de nitrato de plata.

9) Se toma anotación de los mililitros de titulante empleados para fines de cálculo, aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{C}_{\text{titul}} + \text{N}_{\text{titul}} + \text{Meq} + \frac{\text{ml agua destilada}}{\text{ml Alicuota}} = \text{mgCloruro}$$

(ec. 4)

Donde:

$\text{C}_{\text{titul}}$  = centímetros cúbicos del  
titulante empleado.

$\text{N}_{\text{titul}}$  = normalidad del titulante.

$\text{Meq}$  = mil equivalente o peso molecular  
(en gramos) dividido para mil.

10) Por último se valora los resultados obtenidos. A fin de tener un parámetro de comparación podemos considerar la tabla Nº XII.

TABLA Nº XII  
CRITERIOS DE VALORIZACION DE CLORUROS (3)

CONTENIDO DE CLORUROS [%]	INDICATIVO
* > 0.1% en relación al peso del hormigón.	Cantidades suficientes de cloruros para despasivar el acero.

TABLA Nº XIII  
CONTENIDO DE CLORUROS [ % ]

MUESTRA	HORMIGON NUEVO	HORMIGON VIEJO
1	0.10	0.04
2	0.12	0.07
3	0.11	0.06

CLORUROS EN HORMIGON NUEVO = 0.11 %

CLORUROS EN HORMIGON VIEJO = 0.06 %

### A.2.3.2 Contenido en sulfatos.

#### A. Generalidades.

Previo a la determinación del contenido de sulfatos es necesario, clasificar al hormigón en función de la densidad. Por lo tanto, a continuación se describe la densidad de las muestras. Para obtener la densidad de muestras de hormigón tanto viejo como nuevo, seguimos los siguientes pasos:

1. Tomamos 3 muestras de hormigón nuevo y en uso respectivamente, las pesamos en la balanza electrónica ( $P_m$ : peso de la muestra a la humedad de ensayo).

2. En tubos volumétricos con un determinado volumen de agua inicial, sumergimos cada muestra, anotando el volumen inicial y final respectivo; restamos ambos y obtenemos el volumen de la muestra  $V_m$ .

3. Calculamos la densidad de la muestra ( $\delta_m$ ) y sacamos la densidad promedio  $\delta$ . Los resultados son los mostrados en las tablas NO XIV y XV.

TABLA Nº XIV  
 RESULTADOS DE DENSIDAD EN HORMIGON VIEJO

MUESTRA	$P_m$ [gr]	$V_m$ [cm <sup>3</sup> ]	$\delta_m$ [gr/cm <sup>3</sup> ]	$\delta_P$ [gr/cm <sup>3</sup> ]
1	16.5108	7.8	2.1168	2.2954
2	14.9513	6.0	2.4919	
3	9.1102	4.0	2.2776	

TABLA Nº XV  
 RESULTADOS DE DENSIDAD EN HORMIGON NUEVO

MUESTRA	$P_m$ [gr]	$V_m$ [cm <sup>3</sup> ]	$\delta_m$ [gr/cm <sup>3</sup> ]	$\delta_P$ [gr/cm <sup>3</sup> ]
1	11.6374	5.0	2.3275	2.5690
2	8.6499	3.0	2.8833	
3	9.9849	4.0	2.4962	

Una vez obtenida la densidad de los concretos se procede a encontrar el contenido de sulfatos de tres muestras de hormigón trituradas de la misma forma que para el ensayo de cloruros, tanto de hormigón nuevo como de hormigón en uso (defectuoso) (\*).

#### B. Equipos.

- Trituradora de quijada.
- Molino de rodillo.
- Clasificadora rotativa (ROTAP).
- Estufa.
- Balanza electrónica.
- Vasos Erlenmeyer (capacidad 250 ml.).
- Crisol de porcelana.

#### C. Materiales.

- 3 Muestras de hormigón triturado (polvo).
- Agua destilada.
- Papel filtro (porosidad media).
- Estufa.
- Cloruro de Bario al 10% ( $\text{BaCl}_2$ ).

---

\*Norma ASTM UNE 83-120.

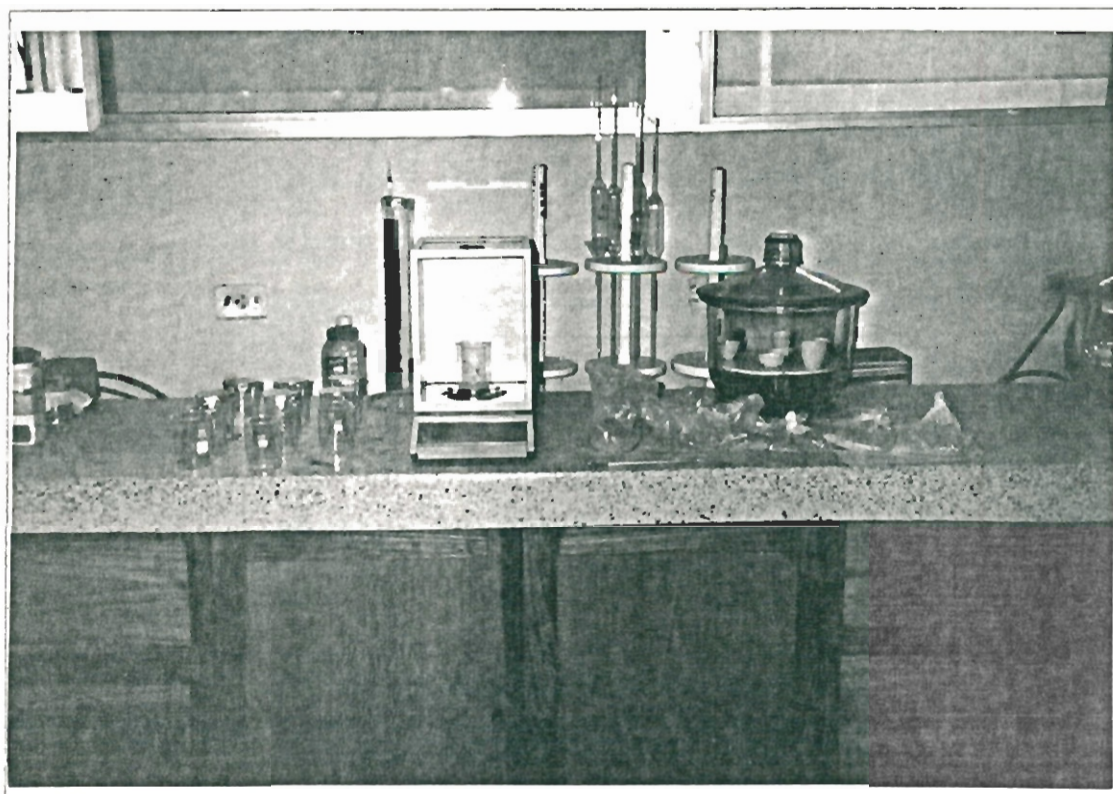


Figura Nº 34. Balanza electrónica y muestras trituradas para ensayo de contenido de sulfatos.



#### D. Procedimiento.

Determinación cuantitativa de sulfatos con el método gravimétrico por precipitación de cloruro de bario al 10 % ( $\text{BaCl}_2$ ).

1) La muestra para determinar el contenido de sulfatos debe obtenerse de la misma forma que se indicó para la determinación de los cloruros; por tanto, puede utilizarse una parte de la misma triturada y seca.

2) Se pesa entonces, con aproximación de 1 mg. una porción de unos 5 gr. de dicha muestra triturada y seca en un vaso de 250 ml.

3) Se añaden 25 ml. de agua destilada fría y 10 ml. de  $\text{HCl}$  concentrado, poco a poco y removiendo con varilla de vidrio.

4) Se calienta el baño, y se remueve de vez en cuando hasta que se observe un ataque completo (cesa burbujeo).

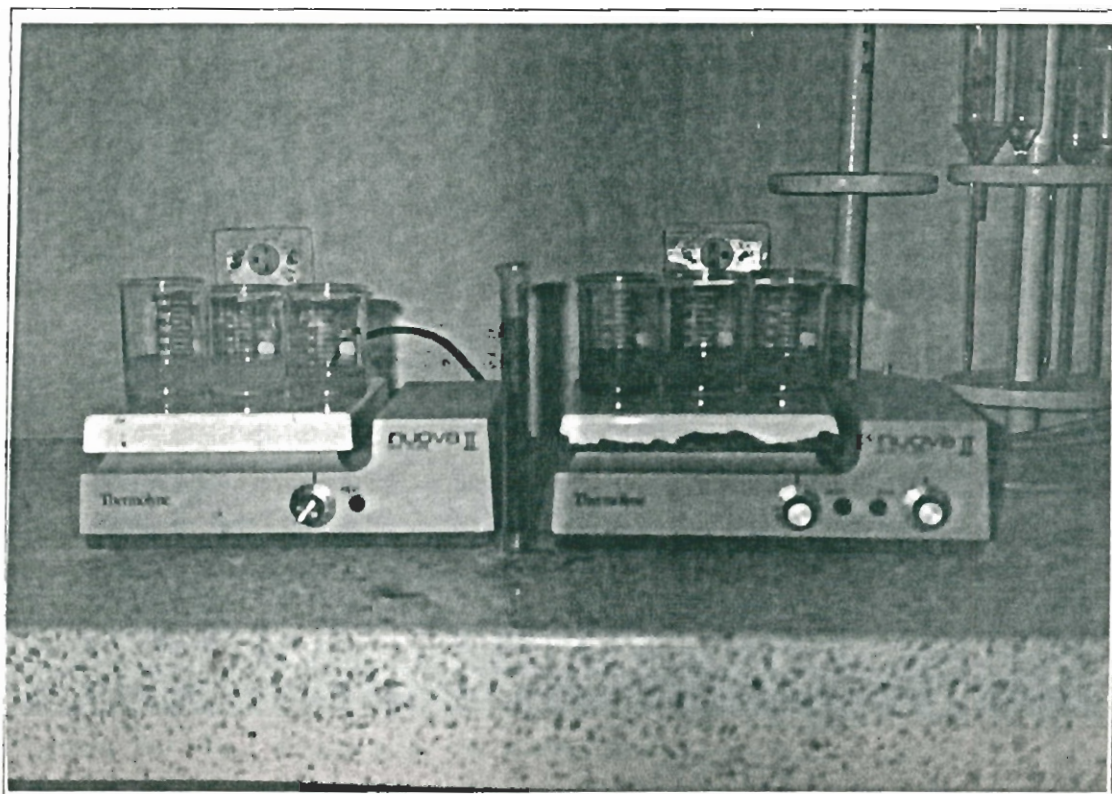


Figura NO 35. Muestras de hormigón nuevo y viejo en polvo, diluidos en agua destilada y calentándose en estufa.

5) Se diluye con 50 ml. de agua destilada caliente y se deja en digestión sobre el baño durante 15 minutos.

6) Se filtra en caliente utilizando papel de filtro de porosidad media y se lava varias veces con agua caliente.

7) El filtrado, llevado a 250 ml. se calienta a ebullición y se añaden gota a

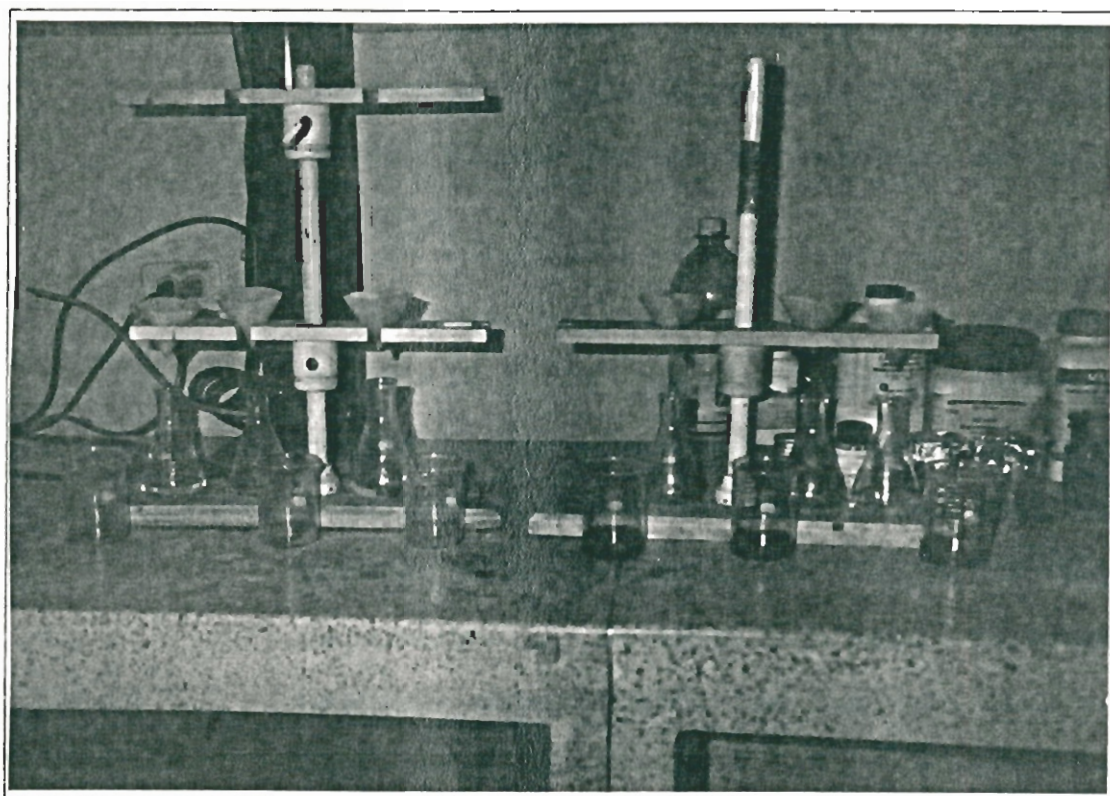
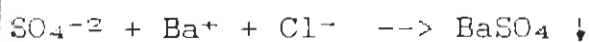


Figura Nº 36. Filtrado de muestras.

gota 10 ml. de disolución caliente de  $\text{BaCl}_2$  al 10% y se continúa la ebullición unos minutos, produciéndose la siguiente reacción.



(ec. 5)

Se deja asentar el precipitado unos 5 minutos y se agrega unas gotas más de  $\text{BaCl}_2$  para verificar precipitación total.

de no estario se le agrega 10 ml. más; formándose un precipitado insoluble de color blanco que es el sulfato de bario ( $BaSO_4$ ).

8) Se deja el vaso tapado, en digestión, entre 12 y 14 horas, transcurridas las cuales se filtra el precipitado, utilizando papel de baja porosidad (no deberá dejar residuos de ceniza al ser calcinado), y se lava con agua caliente hasta la desaparición de los cloruros en las aguas de lavado; se comprueba la existencia de cloruros en las aguas de lavado, agregado a éstas una solución de nitrato de plata ( $AgNO_3$ ), si hay cloruros se enturbia el agua tornándose blanca, se sigue lavando hasta que el líquido filtrado no enturbie, lo que nos indicará que han desaparecido los cloruros y así evitaremos que en la calcinación del polvo retenido se incremente el peso por la presencia de cloruros y se produzca una coloración negra.

9) El precipitado (polvo retenido y papel filtro) se calienta entre  $900$  y  $1000^\circ C$  en

crisol previamente tratado (lavado, calcinado y pesado) por una hora y se pesa el crisol con el contenido de sulfatos.

10) La diferencia entre el crisol vacío y el crisol con muestra es el contenido de sulfato de Bario (peso en gramos). Se lo multiplica por un factor de conversión (0.4116) para transformarlo en peso de sulfato (SO<sub>4</sub>).

$$\frac{\text{SO}_4}{\text{BaSO}_4} = \frac{96}{96 + 137} = 0.4116$$

(ec. 6)

Pesos moleculares:

$$\text{S} = 32 ; \text{O} = 16 \times 4 = 64 ; \text{Ba} = 137.$$

Finalmente obtenemos el porcentaje de sulfatos a través de la siguiente expresión:

$$\% \text{SO}_4 = \frac{\text{Peso SO}_4}{\text{Peso muestra de hormigón}} \times 100$$

(ec. 7)

TABLA Nº XVI  
CRITERIOS DE VALORIZACION DE SULFATOS (3)

CONTENIDO DE SULFATOS [%]	INDICATIVO
* Límite superior de sulfatos 0.19 para hormigones de densidades hasta 2.5 g/cm <sup>3</sup> y 145 Kg de cemento/m <sup>3</sup> .	Contenido máximo de sulfatos.
* Límite superior de sulfatos 0.22 para hormigones con densidad hasta 2.8 g/cm <sup>3</sup> y 145 kg de cemento/m <sup>3</sup> .	

TABLA Nº XVII  
RESULTADOS DEL CONTENIDO DE SULFATOS [ % ]

MUESTRA	HORMIGON NUEVO	HORMIGON VIEJO
1	0.53	0.07
2	0.45	0.21
3	0.50	0.21

SULFATOS PROMEDIO EN HORMIGON NUEVO = 0.49 %

SULFATOS PROMEDIO EN HORMIGON VIEJO = 0.16 %



### \* 2.3.3 Profundidad de carbonatación.

#### A. Generalidades.

Se va a determinar la presencia de carbonatación y su profundidad en muestras de hormigón extraído de estructura con falla, empleado para tal propósito un método visual con la aplicación de fenolftaleína, la reducción de su pH se hace visible por el cambio de color del indicador.

#### B. Equipos.

- Spray pulverizador.
- Cámara fotográfica.

#### C. Materiales.

- 3 muestras de hormigón defectuoso.
- 3 recipientes estancos.
- Solución de 1% de fenolftaleína en alcohol etílico.



#### D. Procedimiento.

1. Se toma 3 muestras de hormigón en uso tomando en cuenta lo siguiente: las porciones de hormigón deberán abarcar un fractura fresca perpendicular a la superficie de la estructura objeto de estudio, la extracción se debe realizar en seco, no es necesario que las porciones tengan una geometría particular basta que tengan dimensiones suficientes.

2. Los especímenes se colocan en recipientes estancos con la menor cantidad de aire posible ya que las superficies se carbonatan rápidamente.

3. En el laboratorio se sacan las muestras y en una fractura reciente y perpendicular a la superficie del elemento de hormigón, se pulveriza la solución de fenoftaleína al 1%.

4. Pasados 1 ó 2 minutos para que tome color el indicador se mide el espesor de la capa incolora con una precisión de 0.5 mm.

Si el color no es rojo púrpura sino

rosado. se anota esta eventualidad, así como su profundidad y frecuencia. Las fotografías son una ayuda complementaria muy valiosa en estas medidas.

TABLA Nº XVIII

CRITERIO DE VALORIZACION DE FENOLFTALEINA EN CONTACTO CON EL HORMIGON (3)

COLORACION	INDICATIVO
Incolora	pH < 8
Rosado a rojo púrpura	pH entre 8 y 9.5
Rojo púrpura	pH > 9.5

TABLA Nº XIX

RESULTADOS DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACION OBTENIDA EN HORMIGONES EN USO

MUESTRA	P1 [cm]	P2 [cm]	P3 [cm]	P <sub>prom</sub> [cm]
1	3.0	2.5	2.3	2.6
2	2.8	3.0	2.7	2.8
3	2.9	2.8	3.0	2.9

PROFUNDIDAD DE CARBONATACION PROMEDIO = 2.8 cm.



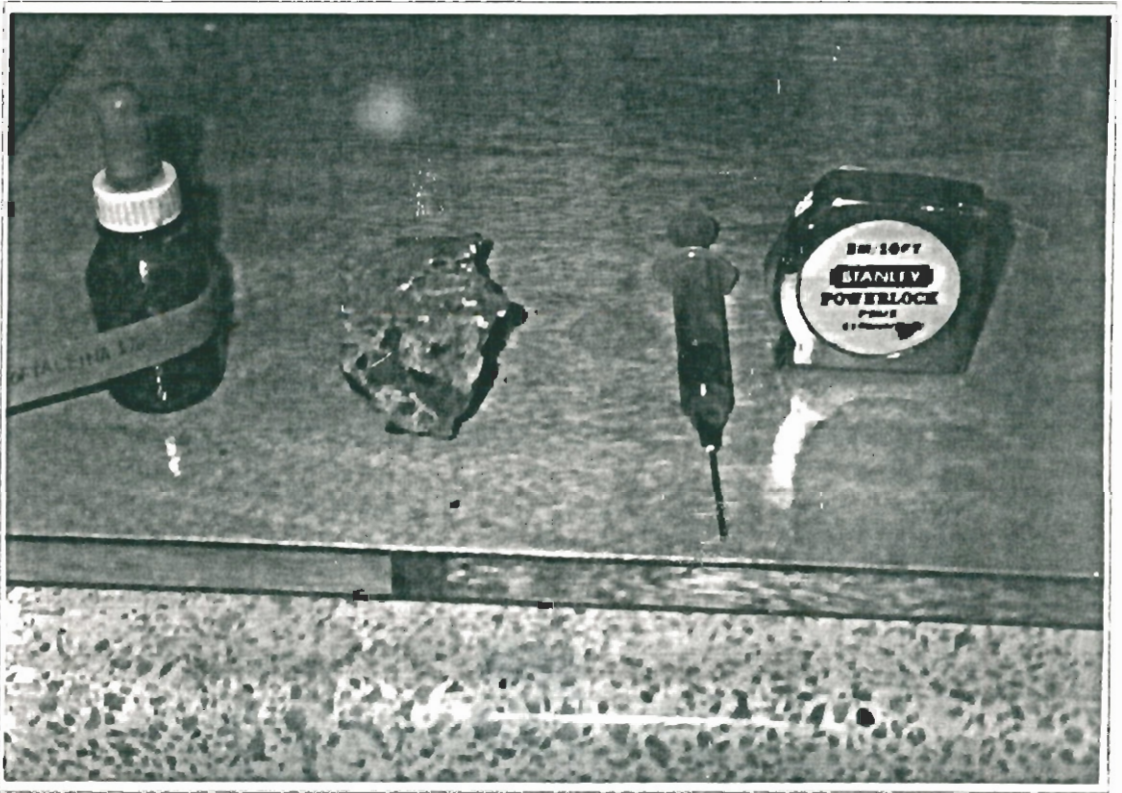


Figura N<sup>o</sup> 37. Muestra # 1 de hormigón carbonatado.

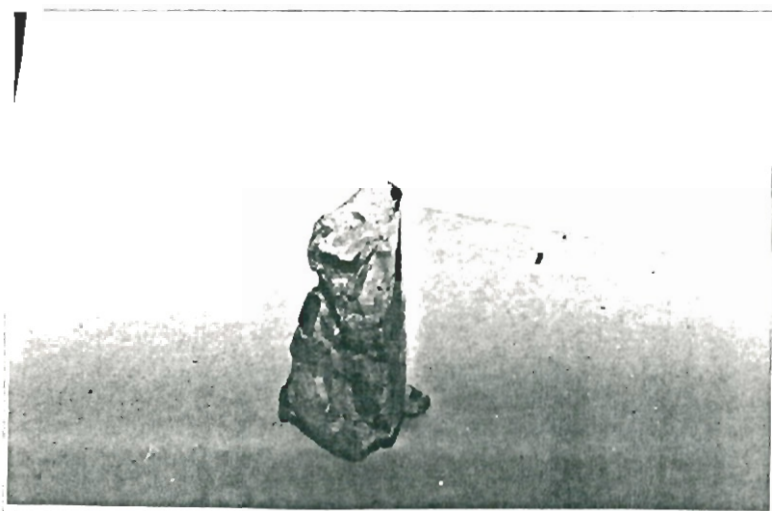


Figura NO 38. Muestra # 2 : grieta fresca carbonatada.

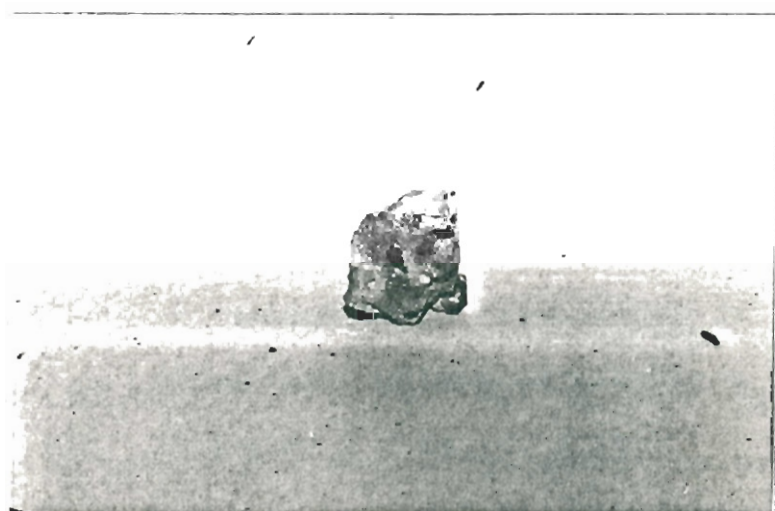


Figura NO 39. Muestra # 3 de hormigón deteriorado.

## \* 2.4 PRUEBAS ELECTROQUIMICAS.

### 2.4.1 Técnica Potenciostática (6).

#### A. Generalidades.

A continuación se describirá la manera de aplicar esta técnica a fin de obtener a través de curvas de potenciostáticas, densidades de corrosión ( $i_{corr}$ ) y velocidades de corrosión lo que nos llevará a poder establecer si el hormigón de fábrica está pasivado o no.

#### B. Equipos:

- Potencio/galvanostato modelo 362-1, con todos sus accesorios y partes constitutivas (figura Nº 40).
- Moldes para especímenes de hormigón a ensayarse: cilindros plásticos de 3 cm. de diámetro y 5 cm. de altura.

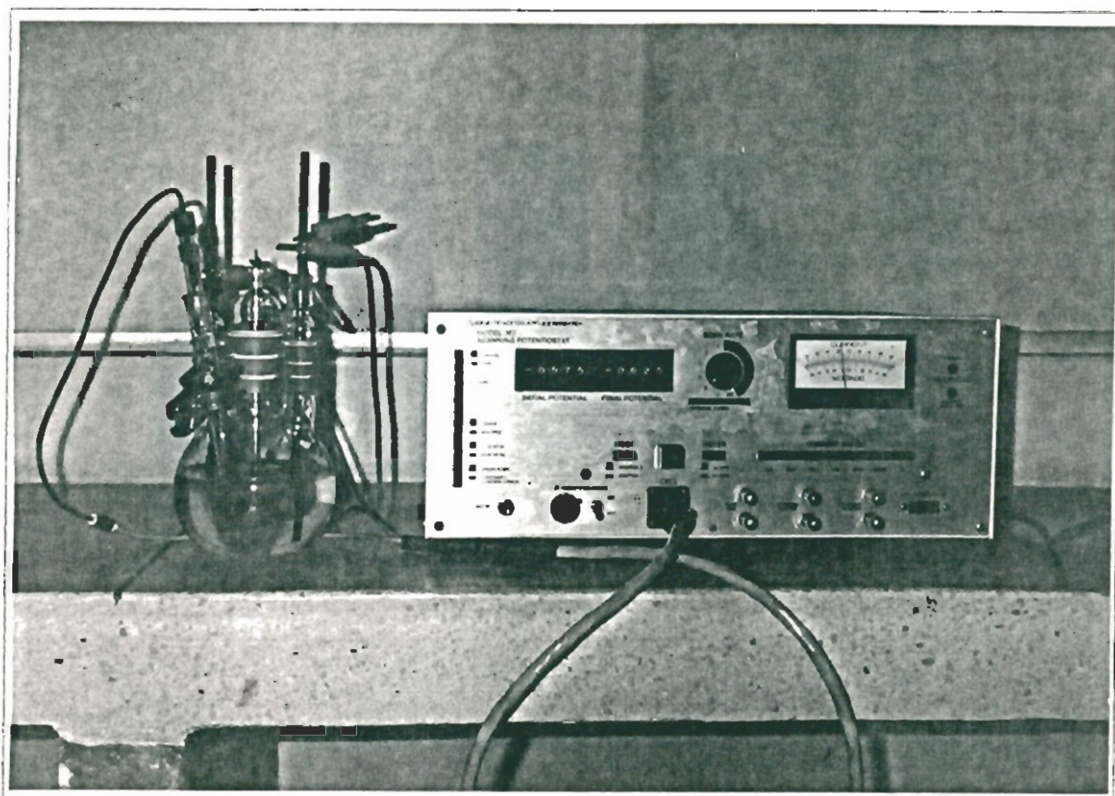


Figura Nº 40. Equipo Potencio/galvanostático 362-1 instalado.

#### C. Materiales:

- Porción de mezcla de hormigón fresco sacada de la masa con que se está conformado los postes centrifugados.
- Pedazo de varilla de hierro de 5 cm., empleado en la construcción de la armadura.
- Solución de 600 ml de agua al 4% de NaCl en peso (medio electrolítico).





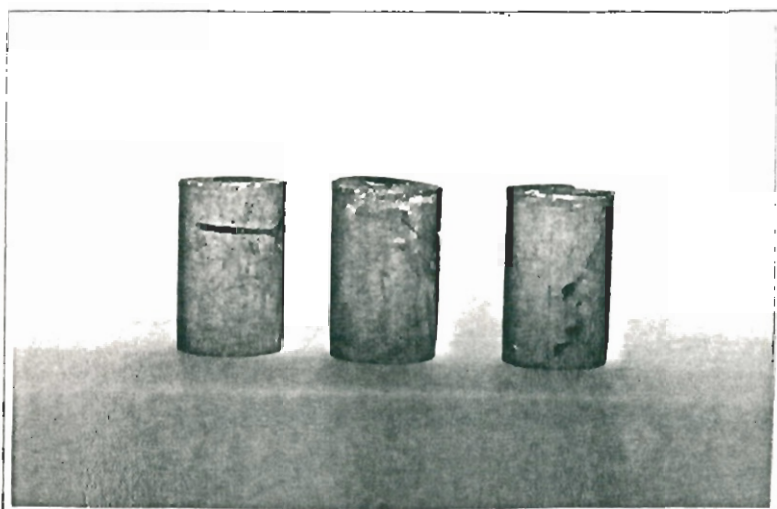


Figura N<sup>o</sup> 41. Probetas cilíndricas de hormigón nuevo con varilla de acero estructural en su eje.

#### D. Procedimiento:

1. Procedemos a la conformación de la muestra en el molde: en el eje central del cilindro plástico se coloca el pedazo de varilla de hierro y se lo rellena de hormigón (muestra tomada de la mezcla con que se construyen los postes) en los alrededores, quedando la base de la varilla al ras con el hormigón (simulando una modelo de estructura de hormigón armado). A las 24 hrs., se lo desmolda y se lo mantiene en un sitio húmedo en donde se lo deja generalmente 7 a 14 días hasta que el espécimen este curado.



2. Antes de empezar el ensayo se procede al armaje del equipo potencio/galvanostato 362-1 (S) y a la preparación de su correspondiente celda electroquímica, como se aprecia en la figura Nº 42. La conexión de los terminales del cable celda es la siguiente: cable rojo a los electrodos de grafito, cable verde al electrodo de trabajo y cable blanco al electrodo de referencia.

3. Luego se hace la limpieza del área transversal de la varilla (va a estar en contacto con electrodo de referencia): removiendo las impurezas con lijas 240 y 600, a continuación aplicándole agua, alcohol y secadora, en ese orden.

4. Una vez montado el espécimen, se procede a determinar el potencial de equilibrio: con el interruptor de la celda en OFF, el botón MODO en CONTROL E. METER en E y el interruptor principal AI en ON, leemos en la pantalla indicadora el potencial de equilibrio ( $E_{\text{eq}}$ ) que señala la aguja en la escala de voltaje.

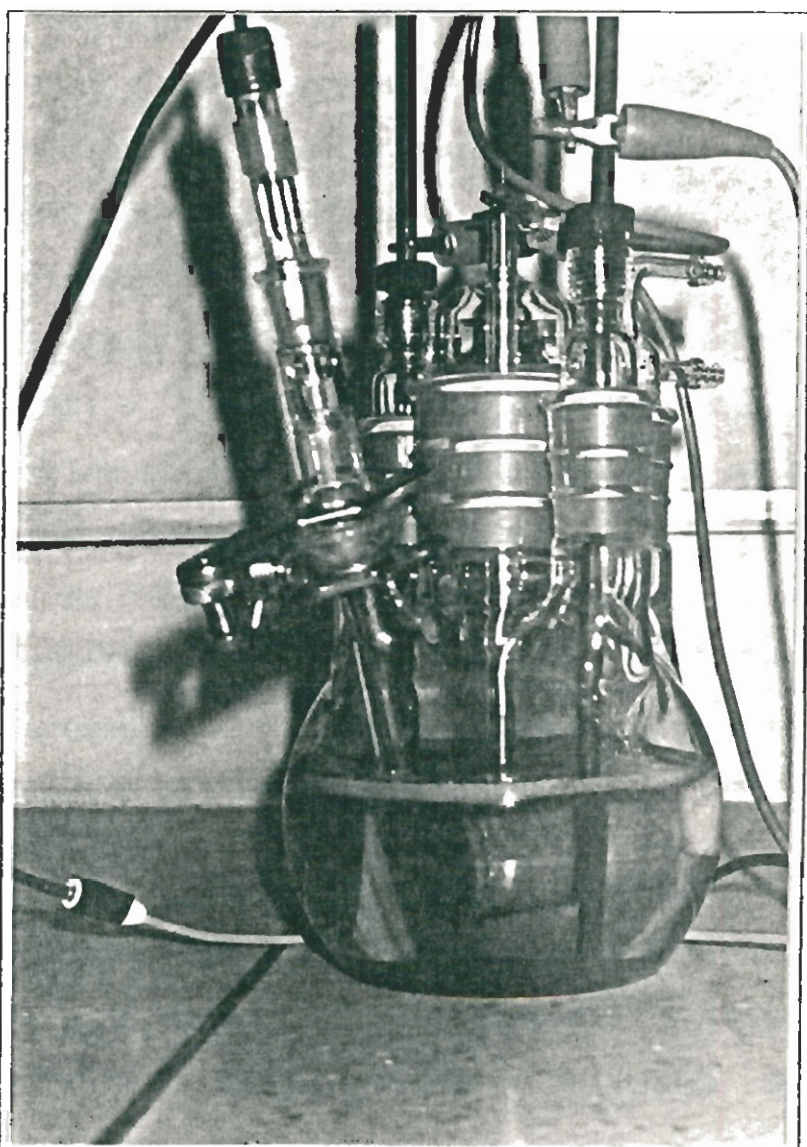


Figura N°42. Celda de corrosión activada.

5. Seleccionamos el MODO en CONTROL, E y el  
METER en I, ya que vamos a ir fijando  
valores de potencial inicial y final y  
leer el correspondiente valor de  
corriente.

6. Realizaremos un barrido anódico de 300 mv por encima del potencial de equilibrio y luego un barrido catódico de igual rango por debajo del potencial de equilibrio; para lo cual primeramente activamos la celda (interruptor principal en ON) y colocamos el límite inferior del barrido anódico en el potencial inicial y damos incrementos potenciales de 50 mv en 50 mv cada 10 minutos, tomando la respectiva lectura de corriente para cada incremento (\*), hasta llegar al límite superior del barrido catódico.

7. Para cada lectura de corriente seleccionamos el rango de corriente adecuado, inicialmente 1 amperio y luego se tantea hasta obtener un rango de corriente apropiado.

8. Después que el barrido se ha efectuado por completo hasta el potencial final, se construye el gráfico voltaje vs. densidad de corriente (corriente dividido para el área de metal atacado).

---

\*Norma ASTM G5.

$$i_{\text{corr}} [\mu\text{A}/\text{cm}^2] = I_{\text{corr}} / A \quad (\text{ec. 8})$$

9. La densidad de corriente de corrosión ( $i_{\text{corr}}$ ) la encontramos de la intersección de la pendiente de la curva catódica y la recta horizontal que pasa por el punto del potencial de equilibrio (5). Los resultados obtenidos son expuestos en las siguientes tablas.

TABLA Nº XX  
 RESULTADOS DE TECNICA POTENCIOSTATICA  
 PROBETA # 1 EN 4% ClNa

VOLTAJE [mV]	CORRIENTE [mA]	DENSIDAD [mA/cm <sup>2</sup> ]
- 350	260	114.95
- 400	230	101.68
- 450	190	84.0
- 500	160	70.74
- 550	110	48.63
- 600	70	30.95
- 650	40	17.68
- 700	10	4.42
- 750	0	0
- 800	- 2.1	0.93
- 850	- 2.5	1.11
- 900	- 2.8	1.24
- 950	- 3.0	1.33

TABLA Nº XXI  
 RESULTADOS DE TECNICA POTENCIOSTATICA  
 PROBETA # 2 EN 4% ClNa

VOLTAJE [mV]	CORRIENTE [mA]	DENSIDAD [mA/cm <sup>2</sup> ]
- 150	580	256.42
- 200	440	194.52
- 250	350	154.73
- 300	400	176.84
- 350	310	137.05
- 400	260	114.95
- 450	210	92.84
- 500	160	70.74
- 550	120	53.05
- 600	80	35.37
- 650	50	22.10
- 700	15	6.63
- 750	0.3	0.13
- 800	0	0
- 850	- 2.9	- 1.28
- 900	- 2.5	- 1.11
- 950	- 3.0	- 1.33
- 1000	- 3.6	- 1.59



TABLA Nº XXII

RESULTADOS DE TÉCNICA POTENCIOSTÁTICA  
 PROBETA # 3 EN 4% ClNa

VOLTAJE [mV]	CORRIENTE [mA]	DENSIDAD [mA/cm <sup>2</sup> ]
- 250	540	238.73
- 300	410	181.26
- 350	330	145.89
- 400	270	119.37
- 450	240	106.10
- 500	190	84.0
- 550	140	61.89
- 600	80	35.37
- 650	30	13.26
- 700	10	4.42
- 750	0	0
- 800	- 2.4	1.06
- 850	- 2.8	1.24
- 900	- 3.0	1.33
- 950	- 3.5	1.55

## CAPITULO 3

### 3. ANALISIS DEL ESTUDIO.

Una vez culminada la fase de experimentación, en que se realizó los diversos ensayos descritos en el capítulo anterior, se procede a efectuar análisis pormenorizados de dichas pruebas, los mismos que nos llevarán a determinar comportamientos comunes de daños.

#### 3.1 ANALISIS DE PROPIEDADES DEL HORMIGON.

##### *A. Prueba de Resistencia a la Compresión.*

Realizamos tres muestreos en fechas diferentes, tomando tres cilindros en cada una de ellas, para ser ensayados a los 7, 14 y 21 días, encontrándose el siguiente comportamiento (esquemmatizado en la figura Nº 43):

Resistencia a los 7 días: las muestras # 1 y # 2 superan en un 75% y 58% respectivamente, el valor

normado que debe alcanzar a los 7 días (2915 lbs/pulg<sup>2</sup> equivalente al 55% de la carga de diseño (5300)); no así la muestra # 1 que consiguió un 90% del valor esperado. comparándolo con las otras dos muestras podríamos presumir que hubo fallas en el ensayo de este cilindro.

Resistencia a los 14 días: las probetas logran valores similares siendo mayor la muestra # 1. luego la # 2 y finalmente la # 3: todas superan el valor estándar de resistencia (4240 Lbs/pulg<sup>2</sup> equivalente al 80% de la carga de diseño (5300)), en un 25% (muestra #1), 23% (muestra #2) y 21% (muestra #3).

Resistencia a los 21 días: Transcurrido este periodo de tiempo se espera que las muestras alcancen el valor de resistencia de diseño (5300 Lbs/pulg<sup>2</sup>). todas las muestras superan dicho valor en un 18%, 17% y 16% para las muestras #1, #2 y #3 respectivamente.

Debemos anotar que existieron varios factores que pudieron afectar a las pruebas como son: homogeneidad en la conformación y llenado de los moldes con hormigón. paralelismo de las caras superior e inferior del cilindro (influye en la normal distribución de las fuerzas).

compresión). tiempo de ejecución del ensayo,  
tiempo de fraguado. humectación de los cilindros  
en el periodo comprendido entre después del  
desmolde y antes de efectuar el ensayo.

# RESISTENCIA MECANICA DEL HORMIGON

## Resistencia de Compresion vs. Tiempo

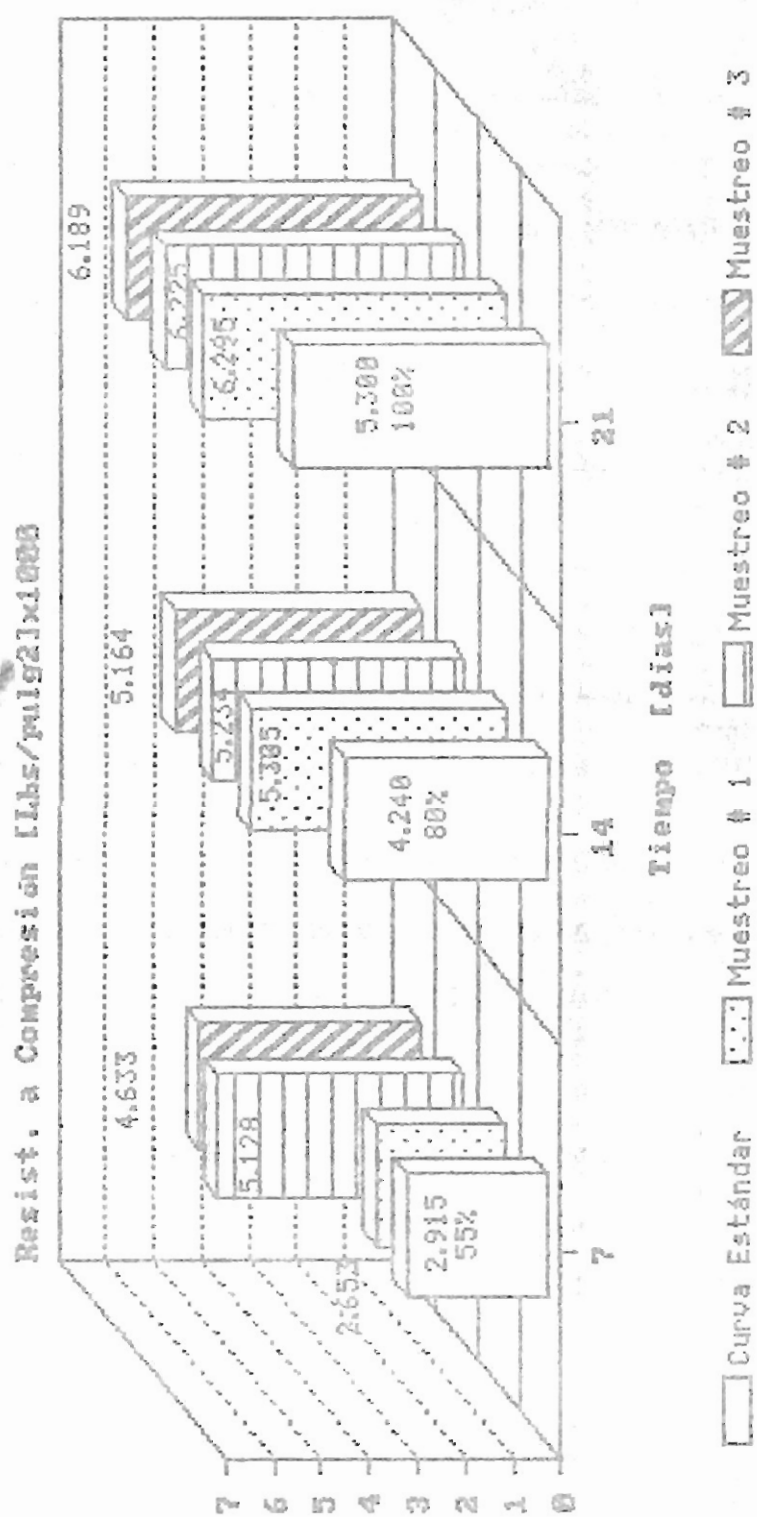


Fig. 43. Gráfico del comportamiento de la resist. mecánica.

## *B. Prueba de Porosidad.*

Se efectuó tres ensayos de porosidad a probetas de hormigón recién conformado, por lo que los resultados de los mismos (ver figura N<sup>o</sup> 44), serán un indicativo de la calidad del hormigón salido de fábrica.

En las probetas ensayadas se encontró una dispersión de resultados; obteniéndose en la primera muestra un porcentaje de porosidad de 17.89%, es decir 2.89% por encima del límite; en la segunda probeta se obtuvo un valor muy elevado de aproximadamente de 64.5%, y finalmente la última probeta encontramos una cifra de 9.36%, o sea 5.64% por debajo del límite permisible.

Por lo variado de los resultados y el número de probetas ensayadas, se torna impreciso referirnos a un promedio de porosidad.

Cabe anotar que hay varios factores que pudieron haber afectado al ensayo de porosidad como lo son: buena conformación de la probeta, material del molde, tiempo de curado, heterogeneidad de la materia prima, humectación de la probeta antes del ensayo en el laboratorio.

# POROSIDAD EN HORMIGÓN DE FABRICA

## Porcentaje de porosidad por probeta

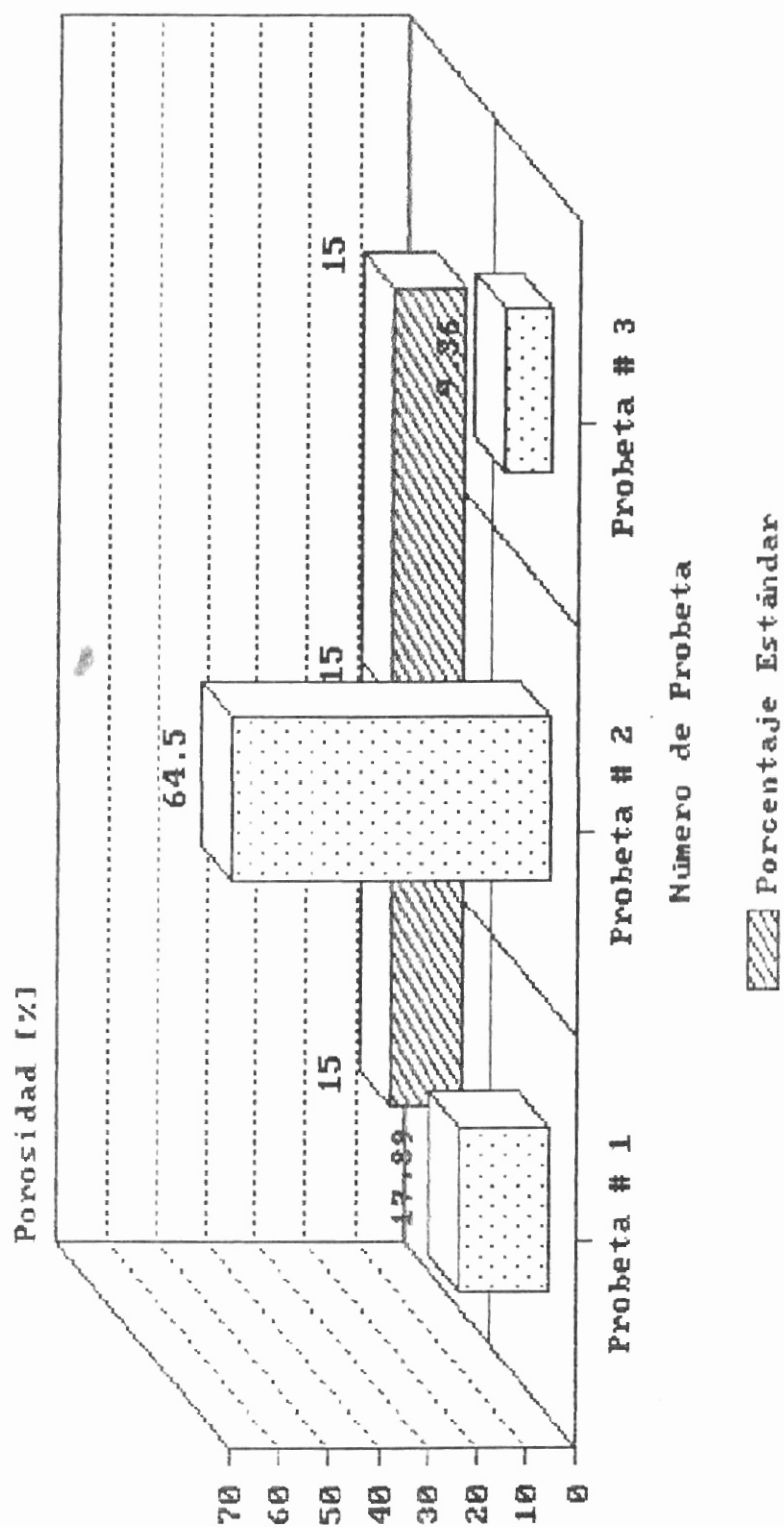


Fig. Nº 44. Porosidad en probetas de hormigón.



### *C. Prueba de Humedad.*

En éstas pruebas encontramos que dos de las tres muestras de hormigón deteriorado coinciden en 1.5% y la restante a 1.4%, para resultar un promedio de 1.4% (ver fig. Nº 45); comparándolos éstos valores con la humedad estándar (1.6%) para concreto con tiempo de vida mayor a dos años (e), notamos que en ningún caso superan éste valor.

En los ensayos con muestras de hormigón nuevo vemos que la primera y tercera muestra alcanzan un valor igual a 1.6%, por debajo de la humedad estándar (1.8%) para hormigones cuyo tiempo de vida es menor a dos años (e); solamente la tercera muestra (2.3%) sobrepasa esta norma; si consideramos el promedio, notamos que éste llega a la cifra estándar.

El hormigón muestreado de estructuras con fallas son más propensos a la penetración de gas carbónico, sulfuroso u oxígeno, que contribuyen al proceso de corrosión en la armadura pero por otro lado un hormigón seco tiene una alta resistividad lo que conllevará a tener bajas velocidades de corrosión.

Entonces el concreto nuevo, con alta humedad en comparación con el concreto viejo, tendría resistividades bajas, lo que implica la facilitación de la pila de corrosión y por ende elevadas velocidades de corrosión.

# HUMEDADES DE HORMIGONES USADOS Y NUEVO

## Humedad por muestra

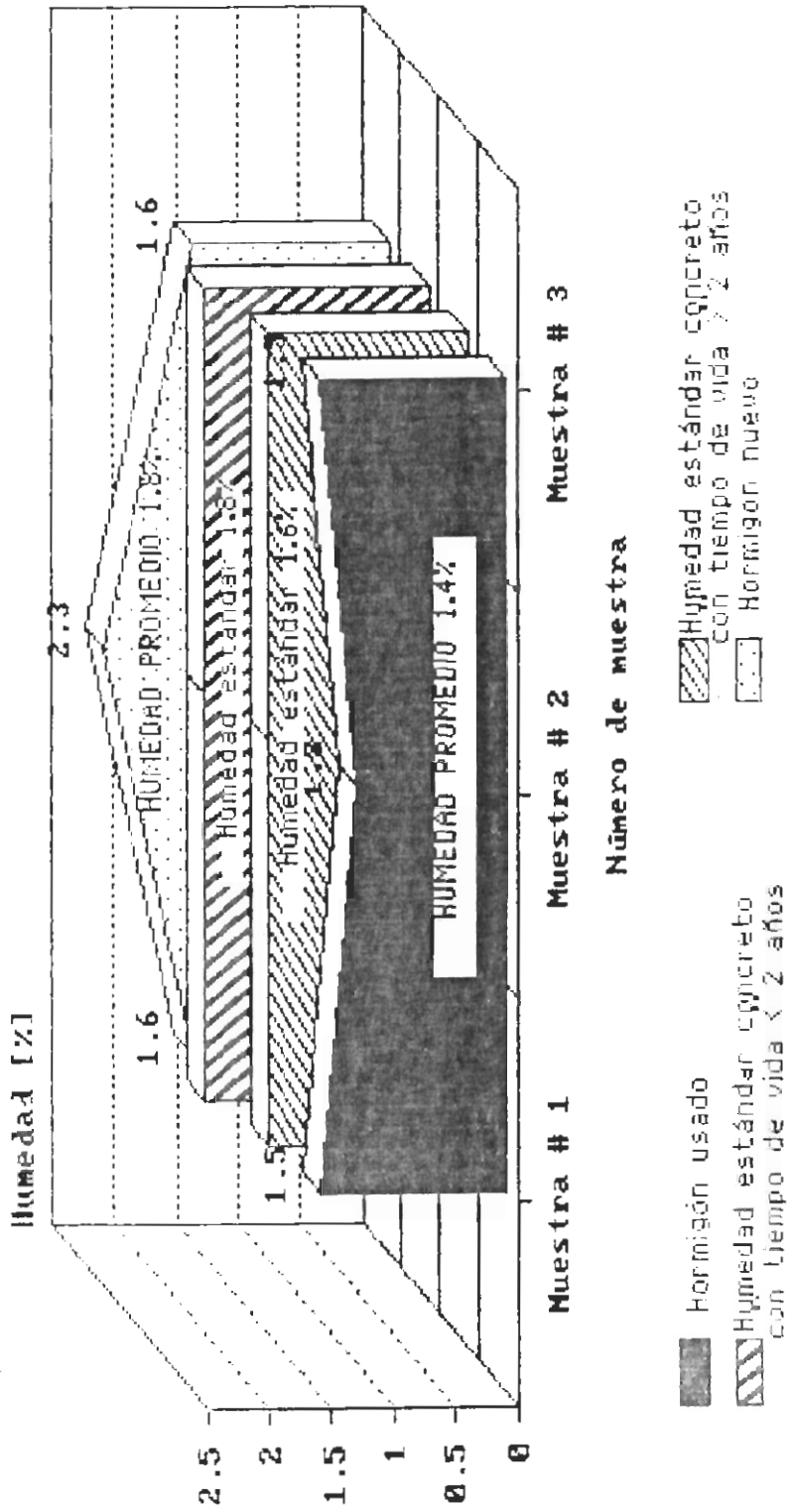


Figura Nº 45. Gráfico relacionador de humedades.

### 3.2 ANALISIS QUIMICO.

#### *A. Prueba de cloruros*

El contenido de cloruros en hormigones nuevos es mayor en un 0.05% al porcentaje de cloruros en hormigones defectuosos; comparándolos estos valores con respecto al límite máximo de cloruros estandarizado, notamos en la figura N° 46, que los contenidos de cloruros de todas las muestras de hormigón viejo están por debajo del límite, mientras que solo una muestra de hormigón nuevo sobrepasa este estándar, las restantes muestras bordean el límite.

El porcentaje de cloruros promedio obtenido para hormigones de fábrica (0.11%) representan un indicativo de que este hormigón contiene cantidades de cloruros 0.01% superiores al límite máximo, lo que a futuro podría activar la corrosión en la armadura de acero.

Mientras que el contenido de cloruros en hormigones en uso no alcanza cifras que impliquen despasivación del acero.

Seguramente hubieron varios factores que influyeron a que el hormigón en uso tenga un contenido de cloruros no críticos: el porcentaje

de cloruros en hormigones deteriorados es relativamente menor con respecto a los hormigones salidos de fábrica debido a que éstos agentes corrosivos ya han provocado su efecto durante el período de iniciación y propagación; inicialmente es elevado el porcentaje de los iones despasivantes, una gran parte de los cuales provocan la corrosión localizada, formándose los productos de corrosión, pero con el transcurso de este proceso sus contenidos disminuyen como los comprobamos experimentalmente.

# CLORUROS EN HORMIGONES NUEVOS Y USADOS

## Porcentaje de cloruros por muestra

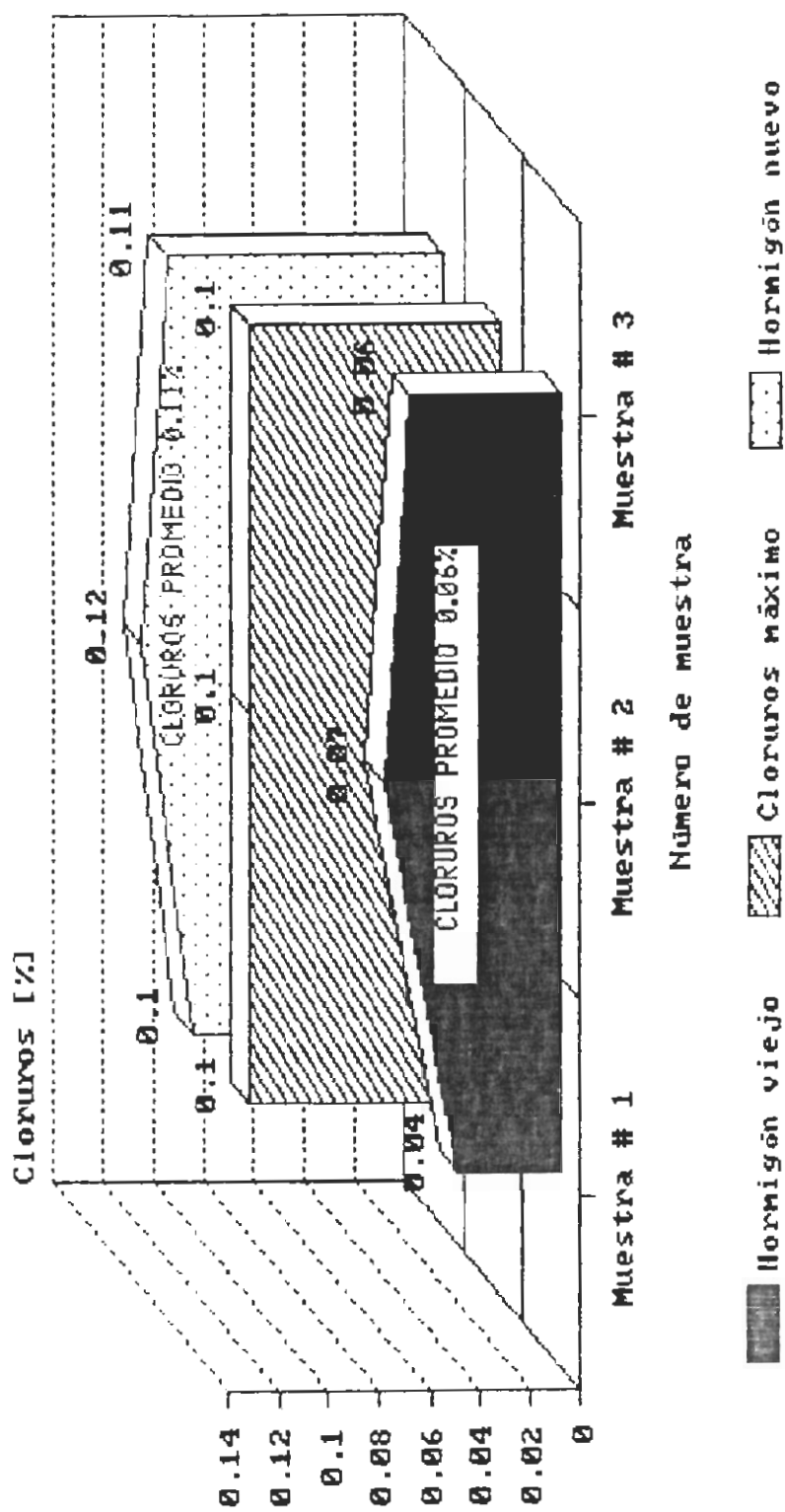


Fig. N° 46. Contenido de cloruros de hormigones en estudio.

### B. Prueba de Sulfatos.

En base a las pruebas de densidad, clasificamos al hormigón para saber que limite de sulfatos considerar (véase tabla NO XVII). Para el hormigón viejo obtuvimos una densidad promedio de  $2.3 \text{ gr/cm}^3$  (figura NO 47), es decir menor a  $2.5 \text{ gr/cm}^3$ , por lo tanto consideraremos el limite máximo de sulfatos de 0.19%. Para las muestras de concreto nuevo, el limite a considerar será de 0.22%, ya que su densidad resultó de  $2.6 \text{ gr/cm}^3$ , encontrándose en el rango menor a  $2.8 \text{ gr/cm}^3$ .

Los porcentajes de sulfatos de todas las muestras de hormigón de fábrica están individual y en promedio (0.49%) por encima del limite máximo de sulfatos (0.22%), obsérvese figura NO 48. Mientras que el contenido de sulfatos promedio en el hormigón en uso (0.16%) está muy cercano al limite de sulfatos permitido (0.19%), aunque dos muestras (#2 y #3) están 0.02% por arriba del limite, la muestra #1 altera la tendencia.

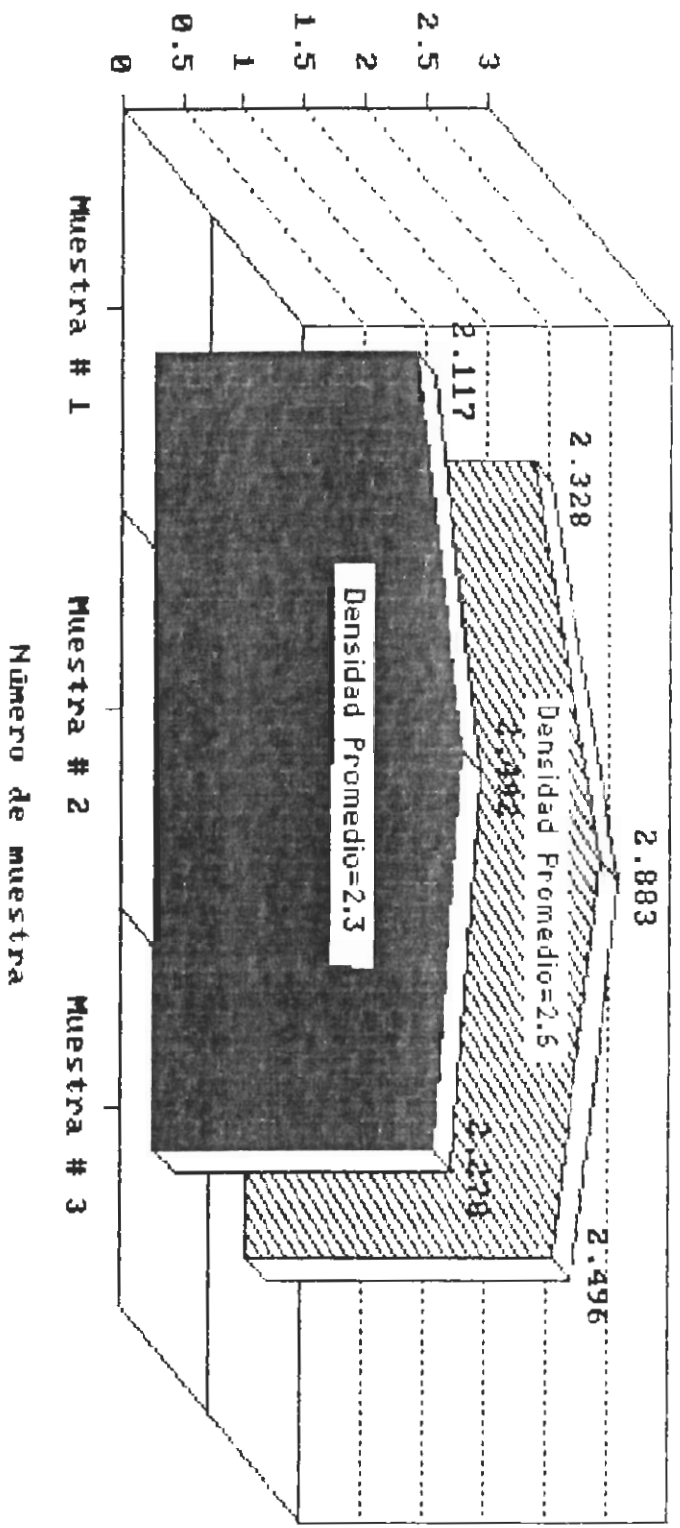
Todas las densidades de las muestras de hormigón nuevo fueron mayores a las correspondientes muestras de hormigón con defectos.

Encontramos superior el porcentaje promedio del contenido de sulfatos en el hormigón nuevo, en comparación con el hormigón defectuoso (0.33% de diferencia).

# DENSIDADES EN HORMIGONES NUEVOS Y EN USO

Densidad por muestra

Densidad [gr/cm<sup>3</sup>]



■ Hormigón Viejo    ▨ Hormigón Nuevo

Fig. 47. Gráfico comparativo de densidades.



# SULFATOS EN HORMIGONES VIEJOS Y NUEVOS

## Porcentaje de sulfatos por muestra

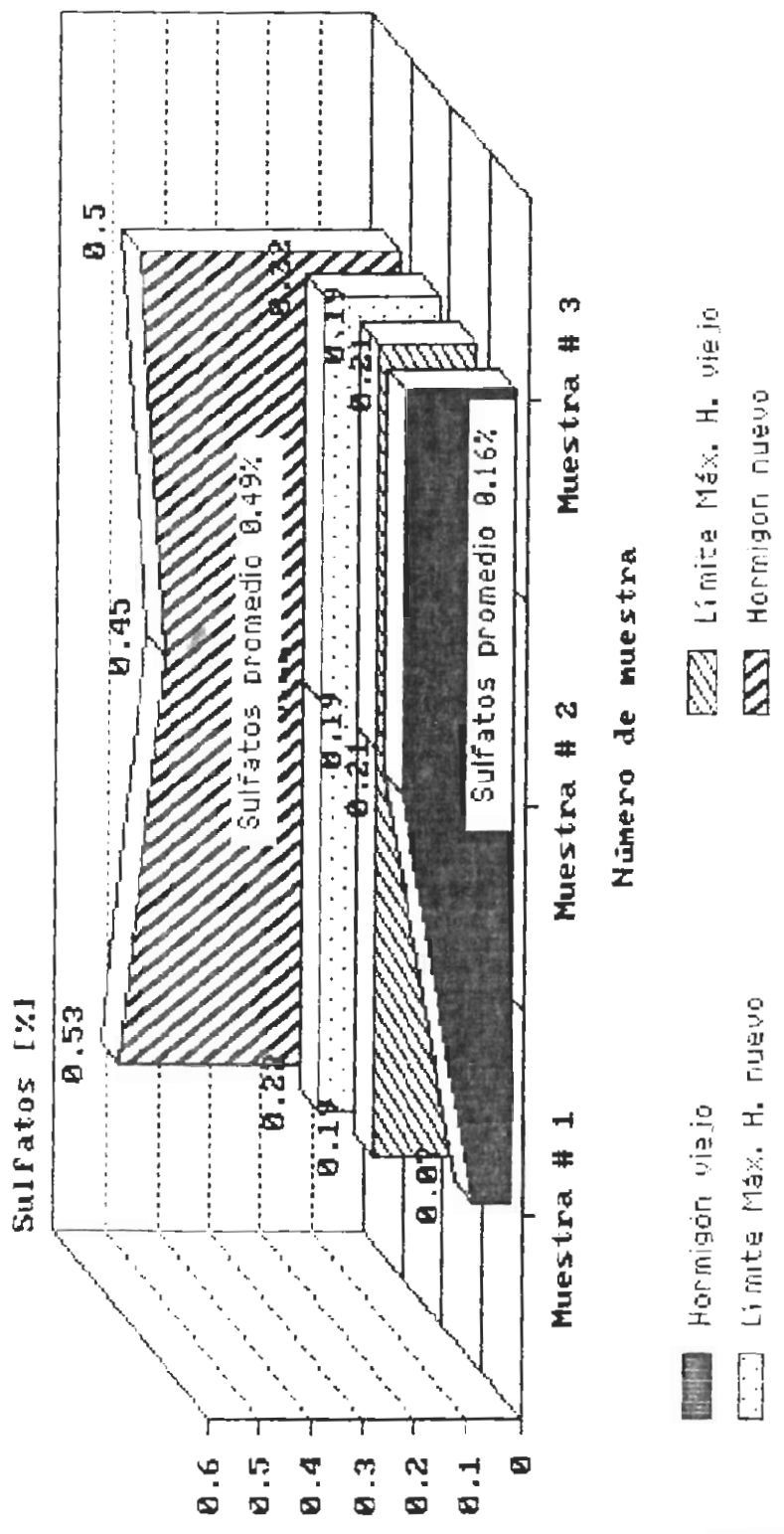


Fig. No 48. Contenido de sulfatos de hormigones en estudio.



### *C. Prueba de Carbonatación.*

La primera muestra de hormigón deteriorado muestra en la sección transversal de la fractura fresca, pequeñas áreas con una coloración entre rosado y rojo púrpura producidos después de varios minutos de haber sido pulverizada la fenolftaleína (ver figura N<sup>o</sup> 37). lo que nos indica que el pH se encuentra entre 8 y 9.5: notamos que la mayor parte no presenta coloración, por lo tanto el hormigón está carbonatado ( $\text{pH} < 8$ ). llegando la capa carbonatada a los 2.6 cm aproximadamente.

En la muestra #2 son muy escasas las pigmentaciones rosadas (observar figura N<sup>o</sup> 38), casi la totalidad del hormigón se presenta incolora, o sea, carbonatado, llegando esta zona a una profundidad de 2.7 cm, alcanzando de esta manera la estructura metálica.

Con respecto a la muestra #3 (figura N<sup>o</sup> 39), se aprecia claramente la amplia zona de carbonatación en la grieta, extendiéndose desde la superficie libre una profundidad de 2.9 cm; al final y muy cercana a la mancha de la varilla de acero, se nota un franja rojo púrpura, indicativa de que el pH oscila entre 9 a 9.5.

En la figura N<sup>o</sup> 40, comparamos las profundidades de carbonatación: la mayor corresponde a la muestra #3 y la menor a la muestra #1, para un promedio de 2.9 cm.

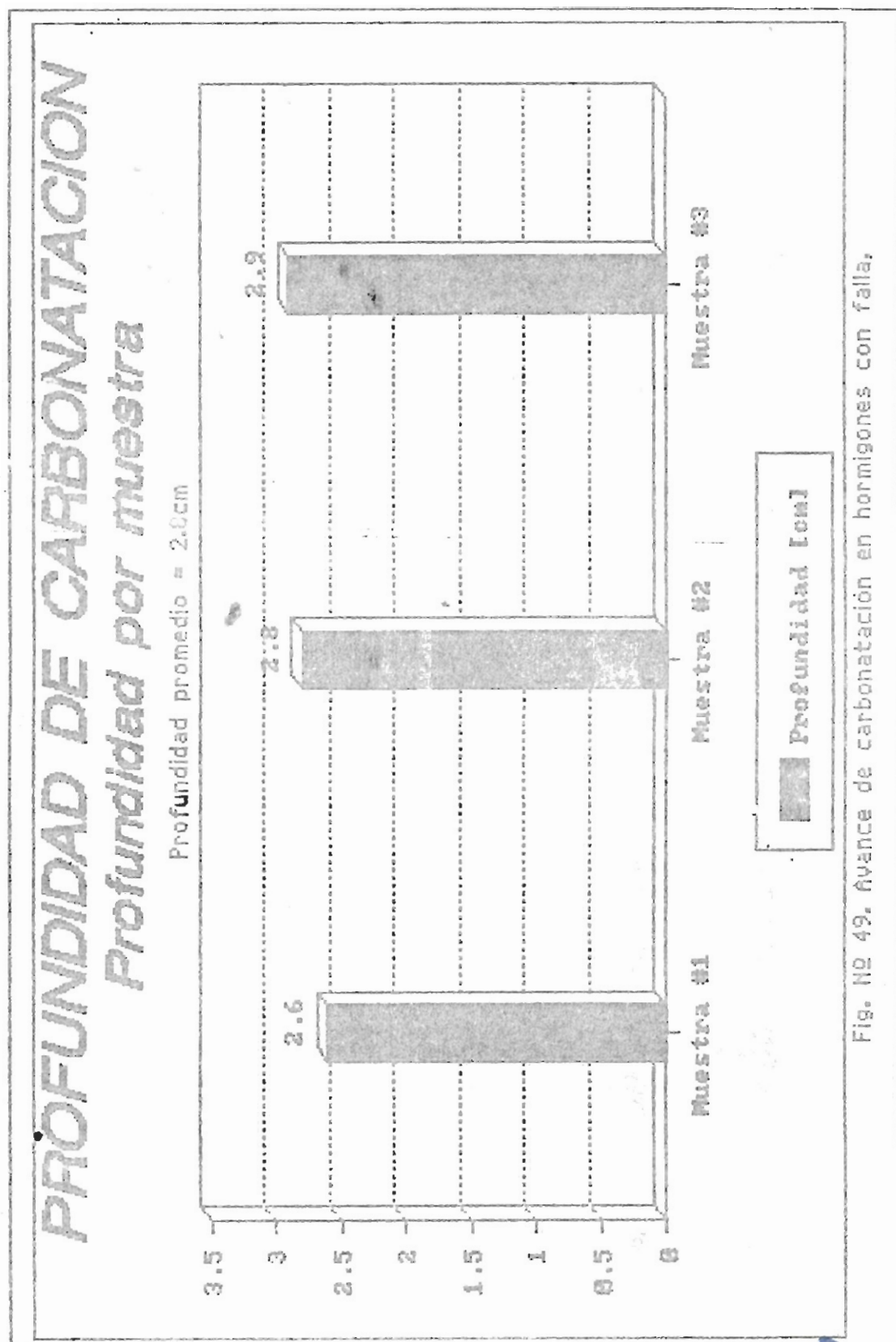


Fig. N° 49. Avance de carbonatación en hormigones con falla.

### 3.3 ANALISIS ELECTROQUIMICO.

En forma general apreciando las figuras Nº 50 a 52. se puede indicar que el comportamiento electroquímico de las probetas es muy similar. No se aprecian fases pasivas en el hormigón, lo que nos lleva a pensar en una acelerada degradación de las varillas, posiblemente por influencia de otras variables analizadas, tales como: alta porosidad, carbonatación, alta humedad y presencia de cloruros y sulfatos.

#### A. Pruebas Potenciostáticas.

Analizando la figura Nº 50 notamos que la curva anódica se presenta una prolongada zona de actividad, sin indicios de pasividad. En cambio la curva catódica se muestra corta y se precipita rápidamente lo que conduce a encontrar la más alta corriente de corrosión ( $0.95 \text{ mA/cm}^2$ ).

De la figura Nº 51 apreciamos una amplia franja de actividad, luego una pequeña zona de pasividad al finalizar la curva anódica; se produce una considerable densidad de corrosión de aproximadamente a  $0.89 \text{ mA/cm}^2$ .

En el figura Nº 52 vemos un notable aumento del potencial anódico (aumento de velocidad de

oxidación) y cierta manifestación de pasivación: la curva catódica se presenta de igual forma que en los otros ensayos y comparandola con las pruebas anteriores encontramos la más baja densidad de corrosión ( $0.83 \text{ mA/cm}^2$ ).

El recubrimiento de hormigón en una varilla de acero estructural obligaron a inyectar altas corrientes de corrosión por lo que se obtuvieron altas velocidades de corrosión promedio ( $435,27 \text{ MPY}$ ). Si bien es cierto que teóricamente el hormigón debe proteger a la varilla de los agentes corrosivos externos, notamos que la corrosión se generaliza en las probetas debido a que la red de poros permite que se filtren agentes líquidos y gaseosos que activan la corrosión galvánica.

# Curva Potenciostática N° 1

Probeta # 1

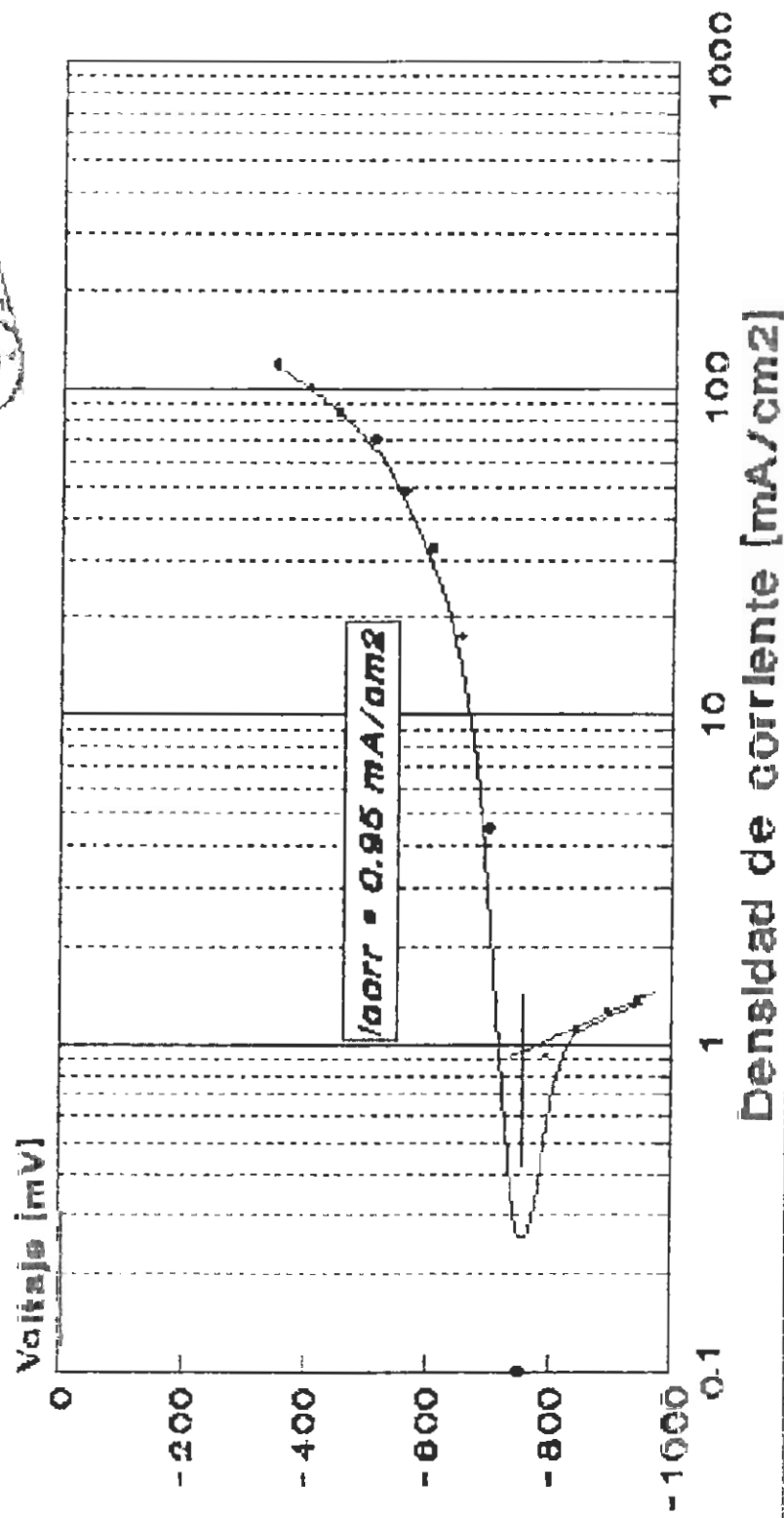


Fig. N° 60. Prueba Potenciostática #1 (evolución 4% ClNa).

# Curva Potenciostática N° 2

## Probeta # 2

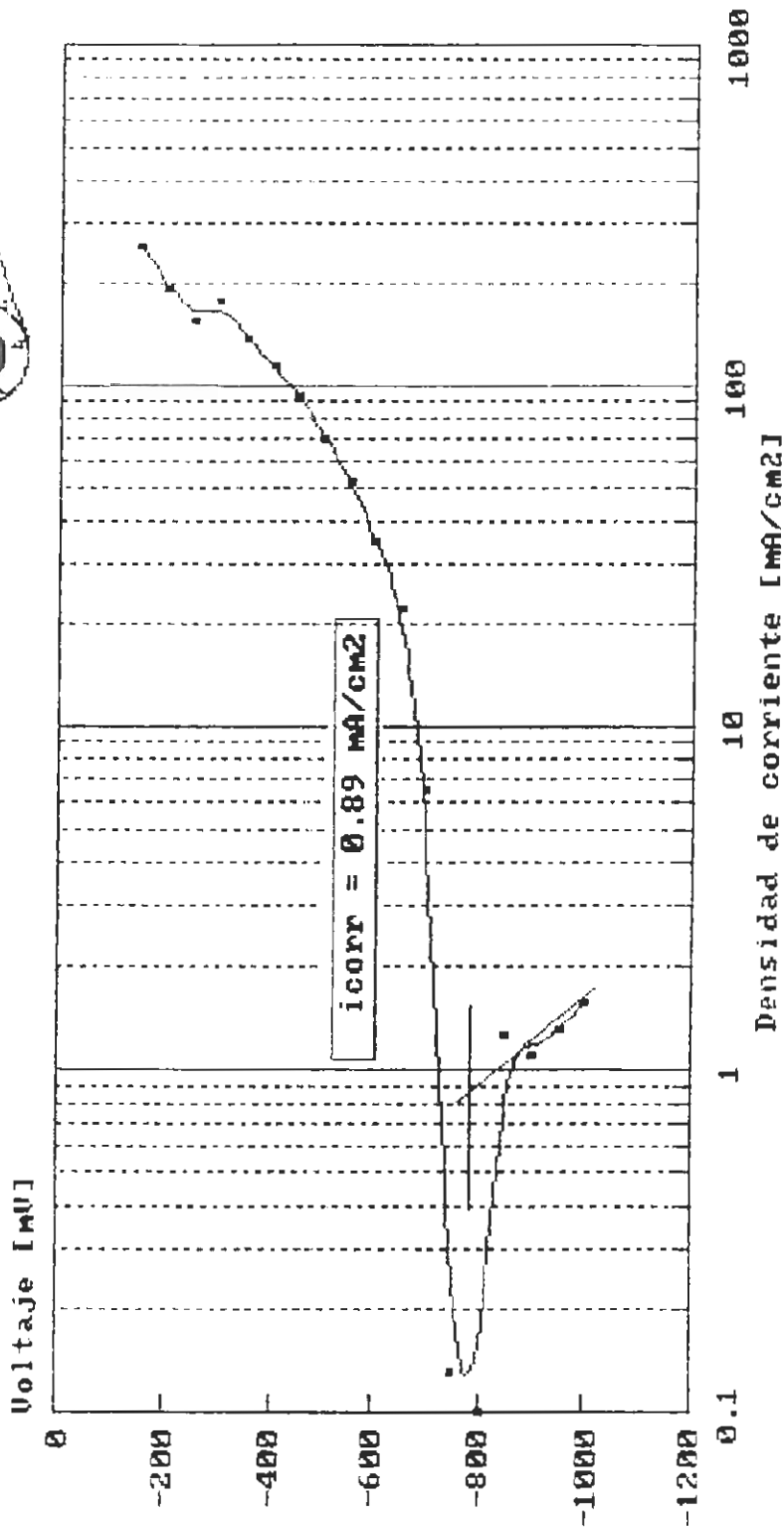


Fig. N° 51. Prueba Potenciostática # 2. (solución 4% ClNa).



# Curva Potenciostática N° 3

## Probeta # 3

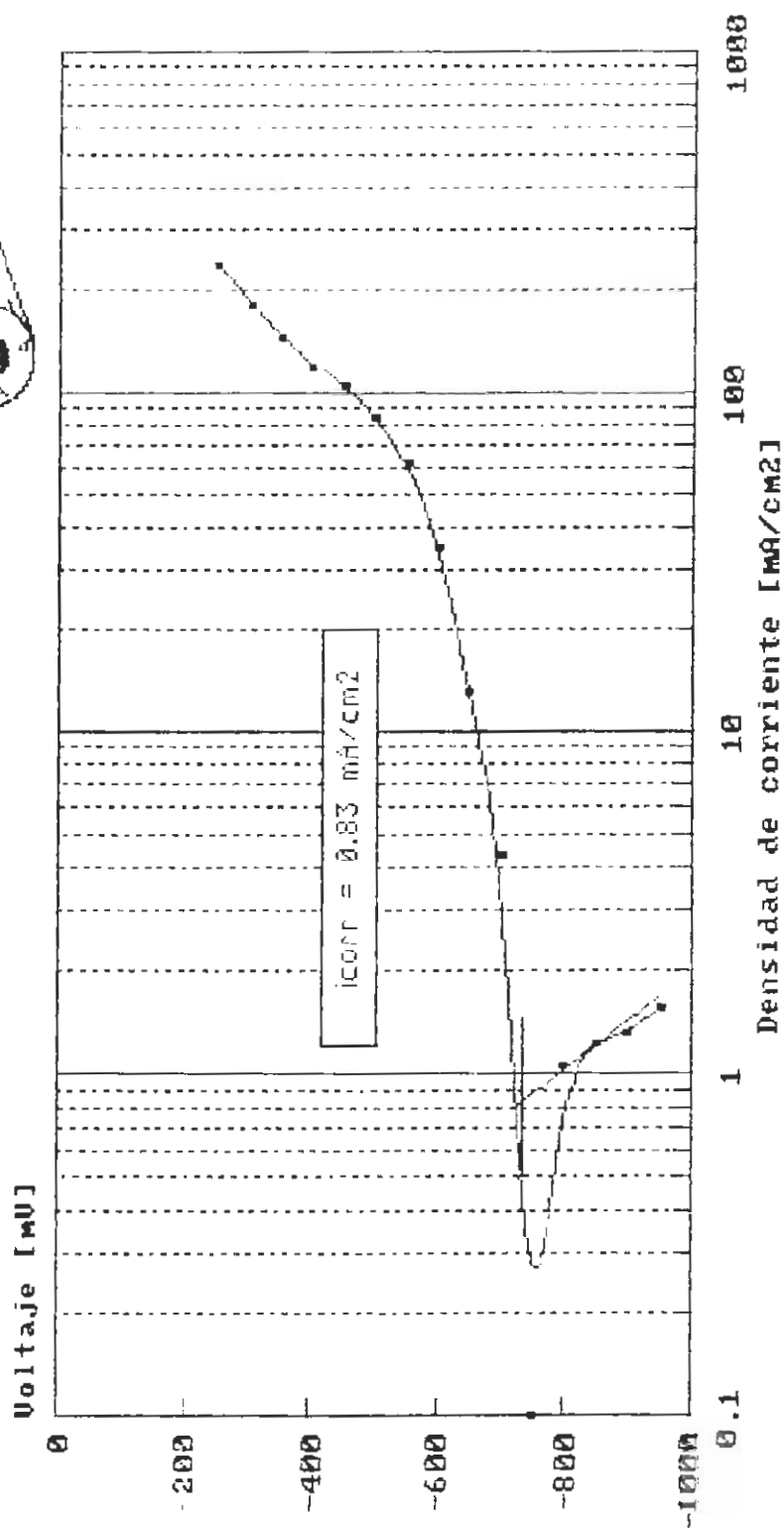


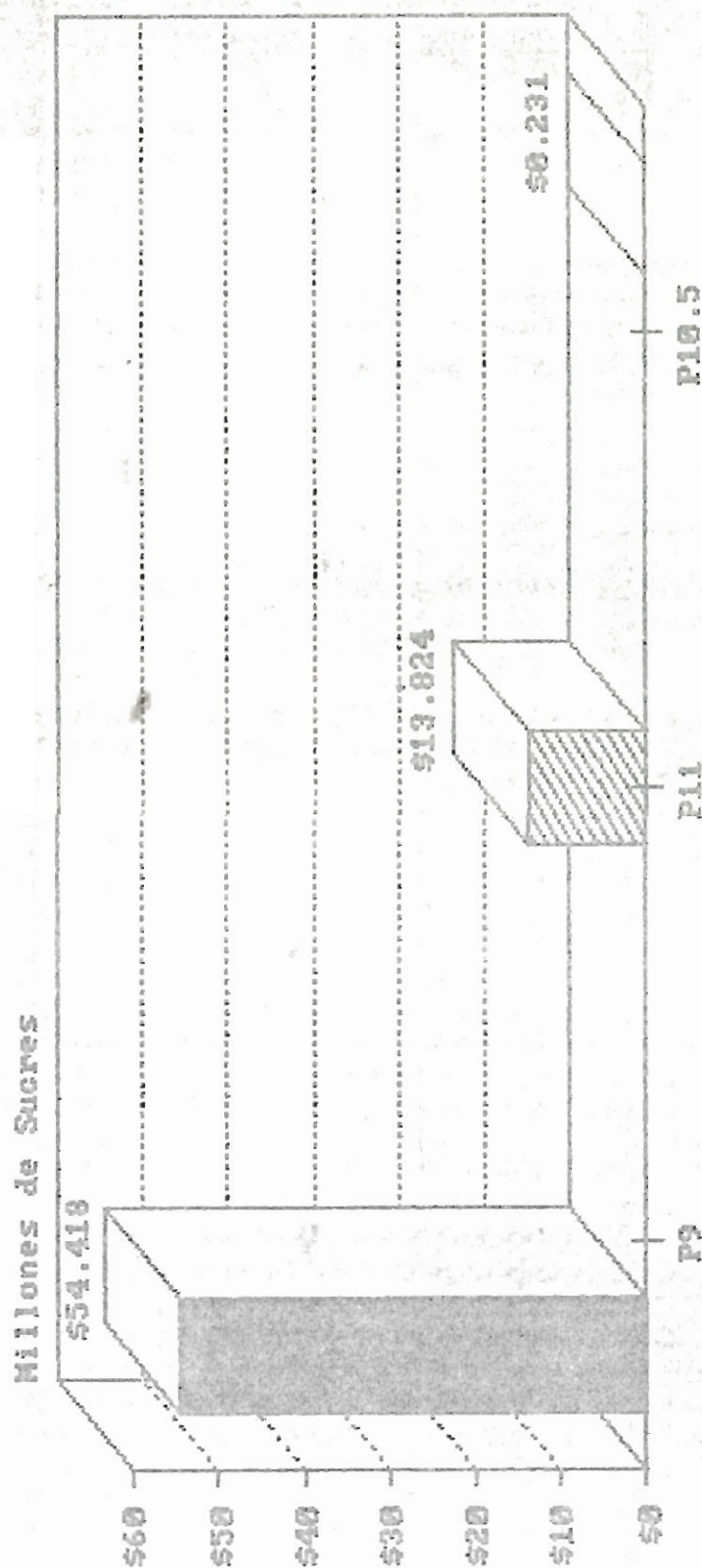
Fig. N° 52. Prueba Potenciostática # 3 (solución 4% ClNa).

### 3.4 INCIDENCIA ECONOMICA.

Según información proporcionada por el Departamento de Distribución de la Empresa Eléctrica de Guayaquil hay un promedio de 15 postes de alumbrado público que son reemplazados diariamente en la ciudad, por diversas causas, una de las cuales es el deterioro o falla de la estructura, lo que implica ingentes gastos a la Empresa Eléctrica de Guayaquil tanto en compra de postes a las Hormigoneras como costos de mano de obra y movilización.

Las figuras Nº 53 y Nº 54 muestran la incidencia económica por tipo de poste como por mes respectivamente, debido a reemplazo de estas estructuras durante el período de Enero a Mayo de 1994. El monto más elevado lo alcanza los postes centrifugados de 9 metros (54'418.000,00 sucres), una cifra mucho menor le corresponde a los postes de 11 m. y una cantidad irrelevante a los de 10.5 m. La mayor cifra por mes la alcanza Febrero con 21'476.000,00 sucres, seguido por el mes de Enero con 20'566.000,00 sucres, decayendo en los demás meses: cabe anotar que pudo ser consecuencia de la época invernal durante la cual dan en mayor escala los agentes corrosivos.

# Costo Total por cambio de Postes



Tipos de poste (Enero a Mayo 1994)

■ Poste Cilind. 9m    ▨ Poste Cilind. 11m    □ Poste Cilind. 10,5m  
Fuente: Dpto. Distribución E.E.E. Inc.

Fig. N° 53 Gastos económicos por tipo de postes reemplazados

# Gastos de Postes por mes.

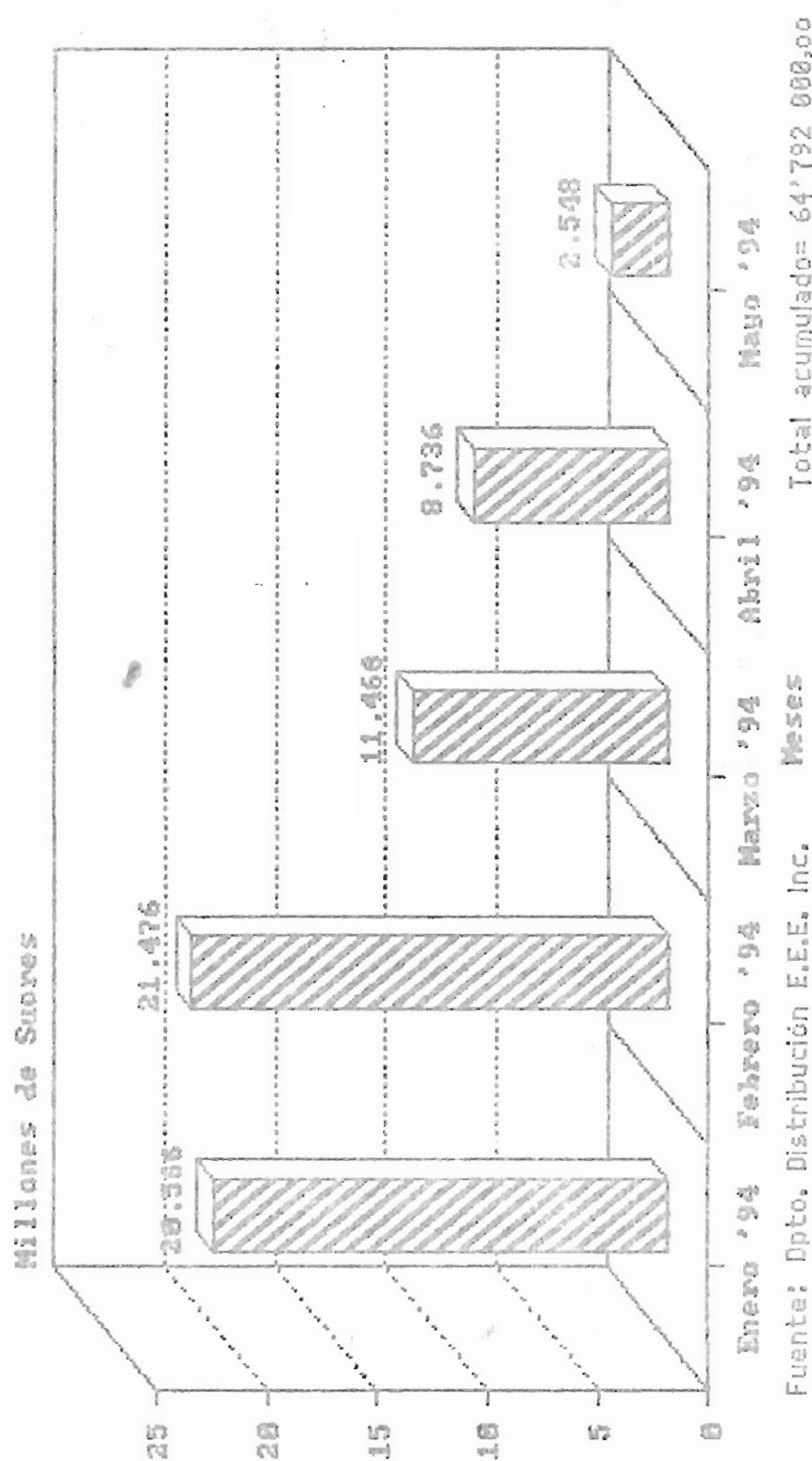


Figura Nº 54 Incidencia económica por mes.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Se concluye lo siguiente:

1) El hormigón con que actualmente se construye los postes de alumbrado eléctrico se lo encuentra con las siguientes características:

a. La resistencia mecánica a la compresión promedio (6236 lbs/pulg<sup>2</sup>) es superior a la resistencia de diseño (5300 lbs/pulg<sup>2</sup>), lo cual garantiza que el hormigón fabricado es muy resistente, por lo que soportaría las tensiones a que sería sometido.

b. En los ensayos de porosidad encontramos resultados dispersos y tomando en cuenta el reducido número de muestras ensayadas, vemos que no es factible dar una conclusión específica de esta variable.

c. La humedad promedio hallada en hormigones nuevos, alcanza el límite de la humedad máxima para hormigones con tiempo de vida menor a 2 años; por lo tanto el hormigón nuevo resulta húmedo y propenso al deterioro por corrosión.

d. Hay un perjudicial contenido de cloruros en el concreto nuevo, el origen de este agente está en el agua empleada en el proceso la mezcla o amasado de los

componentes de hormigón. Este fenómeno conlleva a despasivar el acero, factor importante en la falta de alcalinidad.

e. El alto porcentaje de sulfatos que adquiere el hormigón con que se construye los postes centrifugados se suma a los factores desencadenantes del proceso corrosivo. La fuente de donde proviene este agente esta en la composición del cemento Portland tipo I (utilizado para la fabricación de los postes), ver anexo N°1, quedando descartado que estuviera en la composición química de otras materias primas como los aditivos (ver anexo N° 2) o la arena (ver anexo N°3). El hormigón nuevo se presentaría a mediano plazo más permeable y estas iones sulfatos atacarían a la armadura produciéndose expansiones del metal y agrietamiento del concreto.

f. A través de la prueba potencioestática se obtuvo altas velocidades de corrosión, lo que implica que no hay protección eficiente al metal; esto es evidenciado en las curvas potencioestáticas, en que se aprecia que el metal esta activo, sin una marcada pasividad.

2. El hormigón con que se fabrican los postes de alumbrado publico para la ciudad de Guayaquil, salen contaminados por agentes despasivantes principalmente los iones cloruros.



3. Los hormigones en servicio (deteriorados), presentan las peculiaridades que a continuación se mencionan:

a. La humedad encontrada en hormigones deteriorados, está 0.2% por debajo del valor límite de humedad para estructuras de concreto con tiempo de vida mayor a 10 años: cifra que lo ubica como un hormigón con nivel de humedad no crítico, aunque su humedad puede variar dependiendo de la humedad relativa.

b. El contenido de cloruros en estos hormigones no alcanzan cifras que impliquen despasivación del acero a futuro, es decir que si los iones cloruros ya cumplieron su efecto y ya no pueden causar más daño.

c. Los sulfatos encontrados no revisten peligro de contribución a mayor corrosión que la ya producida.

d. Las muestras de hormigón viejo se encontraron carbonatadas con una profundidad promedio de 2,8 cm., por lo tanto el frente carbonatado alcanza el acero, lo que lleva a la conclusión que dicho hormigón tiene una estructura metálica despasivada con valores de pH próximos a 8. El caso se agrava más considerando la humedad promedio (1.4%) que el hormigón retiene y pone en contacto directo con el acero.

Se recomienda lo siguiente:

1) Que el fabricante de postes de alumbrado público:



controle la calidad del agua y demás materias primas que usa en el amasado de los materiales que conforma el hormigón, a través de tratamientos fisico-químicos. Realizar periódicos análisis de sus características, ya que la fuente de los iones cloruros está en el agua, todo esto llevará a mejorar la calidad del hormigón.

2) EMELEC debería exigir a los proveedores, que implementen un sistema de calidad apegado a las normas ISO 9000.

3) Las hormigoneras deben hacer regularmente pruebas completas de calidad del concreto, tanto mecánicas como físicas y químicas, y no limitarse solamente a pruebas mecánicas como actualmente se lo hace.

4) Se sugiere el reajuste de las dosificaciones de arena/cemento para contrarrestar el hormigón denso y poco permeable. De igual forma se debe verificar por parte de los fabricantes la cantidad de agua empleada en la mezcla ya que el hormigón está resultando húmedo.

5) Para las pruebas de resistencia mecánica, se sugiere que los fabricantes se rijan a las normativas de curado que se utilizan para tal propósito en los probetas cilíndricas.

6) Recomendamos a la E.E.F. implementar una base de datos

estadística, para analizar la variación de la reposición de estas estructuras en la época invernal y su incidencia económica.

7) Sugerimos para próximas investigaciones, considerar aspectos estadísticos que otorguen mayor confiabilidad en muestras tomadas al azar, si se trata de una población heterogénea, para efectos de análisis en el laboratorio.

A N E X O S

COMPONENTES MINERALOGICOS DEL CEMENTO

Tipo de Cemento	I y IA	II y IIA	III y IIIA	IV	V
Residuos insolubles	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Silicato Tricálcico (C <sub>3</sub> S)*, % max	.....	.....	.....	35	.....
Silicato Dicálcico (C <sub>2</sub> S)*, % min	.....	.....	.....	40	.....
Aluminato Tricálcico (C <sub>3</sub> A)*, % max	.....	8	15	7	8
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ), % max	3.0	3.0	3.5	3.0	3.0
Cuando (C <sub>3</sub> A)* es 8% o menos	3.5	.....	4.5	.....	.....
Cuando (C <sub>3</sub> A)* es mayor a 8%	.....	.....	.....	.....	.....
Óxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), % max	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Óxido de Manganeso (MnO), % max	.....	0.0	.....	.....	.....
Óxido de Calcio (CaO), % max	.....	.....	.....	.....	.....

\* Los componentes: C=C<sub>2</sub>O, S=SO<sub>2</sub>, A=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, F=Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Elaborado por el Instituto Nacional.

ANEXO Nº 2

COMPOSICION QUIMICA DE SISTEMAS DE AGREGADOS COMPUESTOS  
DEL CONCRETO

Composición particular:

Elastómeros termoplásticos (elastómeros en polímeros termoplásticos).

SiC en Al

W en Cu

Mo en Cu

WC en Co

W en NiFe

Dispersión-fortalecida metálica

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en Al

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en Cu

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en Fe

ThO<sub>2</sub> en Ni

### ANEXO Nº 3

#### COMPOSICION QUIMICA DE LA ARENA UTILIZADA EN EL HORMIGON

Componentes típicos de la arena de río:

Granos de cuarzo (bióxido de silicio).

Arcilla (silicato hidratado de aluminio).

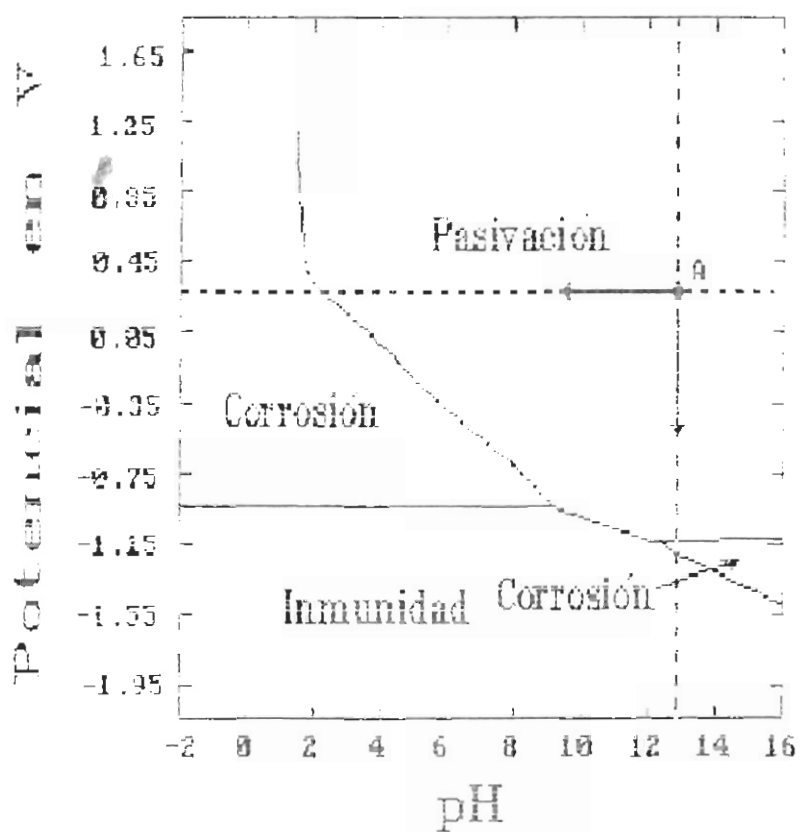
Silice.

Mica.

Feldespatos.

ANEXO 4

DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE POURBAIX (Cu/CuSO<sub>4</sub>).





## BIBLIOGRAFIA

1. ASTM. ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS. PART 10. Philadelphia-USA: Staff, 1982. Ensayos C-78-44, C-39-44 y C-31-44. pp. 26-36.
2. CALLEJA, J. CORROSION DE ARMADURAS EN LOS HORMIGONES ARMADOS Y PRETENSADOS. Monografía. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, España. 1966. pp. 25-26.
3. FELIU, S. LA CORROSION EN EL HORMIGON ARMADO Y PRE-ESFORZADO. Seminario auspiciado por la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPOL y el Centro Experimental para el Control de la Corrosión. 2da.ed. Guayaquil, Ecuador. 1990. pp. 16-35. 65-73.
4. MANUAL DE SUELOS, AGREGADOS, CEMENTO Y HORMIGON. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. 2da. ed. Guayaquil. Ecuador. 1990. pp. 89-100.
5. ROVAYO, E. TECNICAS ELECTROQUIMICAS. Tesis. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil. Ecuador. 1993. 150 pp.
6. Urquhart, L. PROYECTO Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON. Ed. Reverte S.A. Barcelona. España. 1957. Capítulo 1. pp. 30-35.