



CIB - ESPOL

T
620.112
GON
f. 2



Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la
Producción

“Inspección y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado para Aplicaciones Portuarias”

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada Por:

Jimmy Rubén Gonzalez Armijos

Guayaquil - Ecuador

Año 2003



CIB - ESPOL



CIB -

AGRADECIMIENTO



CIB - ESPOL

A todas las personas que de uno y otro modo colaboraron en la realización de este trabajo, a A.P.P.B. en la persona del Ing. Franco Samaniego, y especialmente en el Ing. Julián Peña Director de Tesis, por su invaluable ayuda.

DEDICATORIA



CIB - ESPOL

MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS AMIGOS (3)

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



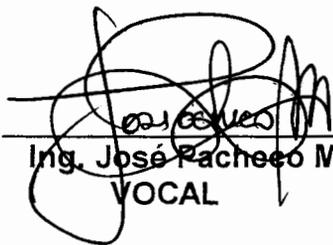
Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Julián Peña E.
DIRECTOR DE TESIS



CIB - ESPOL



Ing. José Pacheco M.
VOCAL



Ing. Omar Serrano V.
VOCAL



CIB - ESPOL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jimmy Rubén González Armijos", is written over a horizontal line.

Jimmy Rubén González Armijos

RESUMEN



CIB - ESPOL

Como material para la construcción se pensó que el hormigón armado tenía una vida útil ilimitada, pero hoy en día se reportan un número creciente de estructuras deterioradas por la corrosión del acero embebido en el hormigón. Para el caso de estructuras armadas en hormigón para aplicaciones portuarias, el agua de mar contribuye a acelerar los procesos de corrosión debido principalmente a la concentración de cloruros en el hormigón y/o carbonatación del mismo, resultados de un ambiente agresivo propio del agua de mar.

El objetivo de esta tesis se concentra, primordialmente, en la inspección y diagnóstico de las estructuras de hormigón armado para aplicaciones portuarias, donde el agua de mar y la atmósfera marina juegan un papel muy importante. Así, se tiene que la aplicación de la tesis se realizará en las pantallas de protección del Muelle Espigón, propiedad de Autoridad Portuaria de Puerto Bolívar. Ubicado perpendicularmente a la corriente, aún con la existencia de remolcadores, se registran colisiones, obligando a varias reparaciones puntuales en el año debido a las enormes fuerzas de atraque



desarrolladas durante la entrada de buques a puerto, razón por la cual, es imprescindible una inspección de dichas pantallas desde el punto de vista de la corrosión, si se conoce de antemano que jamás se ha realizado esta clase de inspección en los aproximadamente 25 años de existencia de los mencionados muros de contención. Las pantallas totalizan un número de 14 hacia el lado Norte y de 28 hacia el lado Sur.

Para llevar a cabo el desarrollo del presente trabajo, se empleará una metodología en la cual se analizará si las pantallas necesitan inspección preliminar o detallada. Realizar cualquiera de las dos inspecciones dependerá de la cantidad de información requerida para conocer el origen o las causas de la corrosión de la armadura. En ambos tipos de inspecciones se elaborarán ensayos y mediciones tanto del agua de mar, hormigón y armadura embebida con la ayuda de equipos especializados y/o de laboratorios. Por último, se registran los resultados obtenidos para el posterior diagnóstico de la estructura armada en hormigón.

Como es de esperar, los resultados que producirán las pruebas o ensayos realizados tanto en la estructura como en el agua de mar conllevarán a determinar el estado actual de las pantallas de protección. Así, se espera, proporcionar herramientas básicas para una correcta reparación y/o rehabilitación de la misma, si es el caso.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	II
ÍNDICE GENERAL	IV
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE PLANOS	XV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	
1. ESTUDIO Y MÉTODOS DE PREVENCIÓN DE LA	
CORROSIÓN EN LAS ARMADURAS DE HORMIGÓN	
PARA APLICACIONES PORTUARIAS	
1.1. Generalidades	3
1.2. Cementos: Tipos, Características y Aplicaciones	5
1.3. Tipos de Corrosión del Acero Embebido en Ambientes	
Marinos	13
1.4. Zonas de Corrosión en Ambiente Marino	17
1.5. Factores que afectan la Corrosión del Acero Embebido	
en el Hormigón	20



CIB - ESPOL

1.6. Mecanismos Desencadenantes de la Corrosión del Acero Embebido en el Hormigón	25
1.7. Vida Útil y Vida Residual	36
1.7.1. Definiciones	36
1.7.2. Estimación de Vida Útil	38
1.8. Métodos de Prevención contra la Corrosión	39



CIB - ESPOL

CAPÍTULO 2

2. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS DE INSPECCIÓN.-

PANTALLAS MUELLE DE ESPIGÓN - AUTORIDAD

PORTUARIA DE PUERTO BOLÍVAR	49
2.1. Metodología	49
2.1.1. Inspección Preliminar	59
2.1.2. Inspección Detallada.....	64
2.2. Análisis del Agua de Mar	67
2.2.1. Medición del pH, Salinidad y Densidad	67
2.2.2. Resistividad Eléctrica	73
2.2.3. Concentración de Cloruros	76
2.2.4. Concentración de Sulfatos	81
2.3. Análisis Físico-Químico del Hormigón	88
2.3.1. Ultrasonido	88
2.3.2. Profundidad de Carbonatación	96

2.3.3. Concentración de Cloruros	103
2.3.4. Concentración de Sulfatos	111
2.4. Ensayos con Respecto al Acero Embebido	117
2.4.1. Medición de Potenciales	117



CIB - ESPOL

CAPÍTULO 3

3. DIAGNÓSTICO DE PANTALLAS DEL MUELLE DE ESPIGÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA CORROSIÓN	130
3.1. Diagnóstico de la Inspección Visual de la Estructura	136
3.2. Diagnóstico de los Ensayos del Agua de Mar	144
3.3. Diagnóstico de los Ensayos Físico-Químico del Hormigón	147
3.4. Diagnóstico de los Ensayos del Acero Embebido	170

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	178
--	------------

APÉNDICES

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

A.C.I.	Asociación Internacional del Concreto
A.P.P.B.	Autoridad Portuaria de Puerto Bolívar
a/c	Relación agua – cemento
C.F.	Cara Frontal
C.F.D.	Cara Frontal Derecha
C.F.I.	Cara Frontal Izquierda
C.IN.	Cara Interior
C.IN.D.	Cara Interior Derecha
C.IN.I.	Cara Interior Izquierda
C.L.D.	Cara Lateral Derecha
C.L.I.	Cara Lateral Izquierda
C.S.	Cara Superior
CEM	Cemento
Conc.	Concentración
D	Altura en centímetros de la sección transversal de la caja
D.C.	Corriente Directa
HR	Humedad Relativa del Medio Ambiente
M.R.	Cemento Resistente al Agua de Mar
M.S.N.R.	Metros sobre el Nivel de Referencia
MA	Marea Alta
MB	Marea Baja
pH	Potencial Hidrógeno
POT.	Potencial
R	Resistividad Eléctrica del agua de mar en Ohmio - centímetros
S.R.	Cemento Resistente a los Sulfatos
SPC	Sistema de Protección Catódica
U.T.	Ultrasonido
UNE	Unión de Normalización Española
W	Distancia en centímetros del ancho de la sección transversal de la caja de prueba



CIB - ESPOL

SIMBOLOGÍA

σ_k	Resistencia del Hormigón
A/m^2	Amperio por metro cuadrado
$Ag_2 CrO_4$	Cromato de Plata
$AgNO_3$	Nitrato de Plata
Al	Aluminio
C_3A	Aluminato Tricálcico
C_4AF	Ferritoaluminato Tetracálcico
$Ca(OH)_2$	Hidróxido de Calcio
Cl^-	Ión Cloruro
CO_2	Dióxido de Carbono
CrO_4^{-2}	Anión Cromato
e_c	Espesor de Hormigón donde se ubica la Armadura
Fe	Hierro
gr/ml	Gramos por mililitro
H^+	Ión Hidrógeno
H_2S	Sulfuro de Hidrógeno
HCO_3	Carbonato
K^+	Catión Potasio
K_{Cl}	Constante que depende del Medio y del Hormigón
K_{CO_2}	Constante de Carbonatación
Kg/m^3	Kilogramo por metro cúbico
KOH	Hidróxido de Potasio
L	Distancia entre Transductores
m/s	Metros por segundo
ml	Mililitro
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascales
N/mm^2	Newtons por milímetro cuadrado
NaOH	Hidróxido de Sodio
OH^-	Oxidrilos
Ohm – cm	Ohmio por centímetro
Ohm – m	Ohmio por metro
ppm	Partes por millón
S^{-2}	Sulfitos
SO_3^{-2}	Sulfatos
t	Tiempo de vuelo de la Onda entre Transductores
t_0	Tiempo de Carbonatación



CIB - ESPOL

V	Velocidad de la Onda en el Hormigón
X_{Cl^-}	Profundidad alcanzada por cierta cantidad de cloruros
X_{CO_2}	Profundidad de Carbonatación
Zn	Zinc



CIB - ESPOL

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1.1.	Gráfico de Pourbaix para el Acero4
Figura 1.3.1.	Esquematación del Proceso de Corrosión Galvánica 13
Figura 1.3.2.	Esquematación del Proceso de Corrosión Generalizado14
Figura 1.3.3.	Ataque de Cloruros en Muelle14
Figura 1.3.4.	Esquematación de Proceso de Corrosión por Picaduras 15
Figura 1.4.1.	Zonas de Ambiente Marino 16
Figura 1.4.2.	Zonas de Ambiente Marino: Se evidencia Corrosión en zona de salpique20
Figura 1.4.3.	Zonas de Ambiente Marino: Se evidencia Corrosión en zona de salpique20
Figura 1.6.1.	Grado de Saturación de los poros en la pasta Hormigón26
Figura 1.6.2.	Ataque de salpique de cloruros de agua de mar En pasamanos del Malecón de Puerto Bolívar28
Figura 1.6.3.	Frente carbonatado en el Hormigón33
Figura 1.6.4.	Pilote de Hormigón carbonatado. Corrosión Generalizada se observa 34
Figura 1.7.1.	Modelo de Tutti – Vida Útil de una Estructura37
Figura 1.7.2.	Vida Residual de una Estructura37
Figura 1.8.1.	Esquema del SPC por corrientes impresas 41
Figura 1.8.2.	Reparaciones por bacheo en losas de pantallas de protección del Muelle de Espigón, A.P.P.B.....43
Figura 1.8.3.	Proceso de Realcalinización de Hormigón45
Figura 1.8.4.	Proceso de Desalinización del Hormigón47
Figura 1.8.5.	Efecto de un Inhibidor comercial (derecha) en una barra de acero sumergida en una solución de cloruros48
Figura 2.1.1.	Vista lateral: 28 Pantallas del lado sur del Muelle de Espigón, A.P.P.B..... 50
Figura 2.1.2.	Leyendas de Tipificación de daños63
Figura 2.2.1.	pH – meter, ACCUMET 950 68
Figura 2.2.2.	Salt Refractometer69
Figura 2.2.3.	Equipo Vibroground, caja de prueba y conectores eléctricos74



Figura 2.2.4.	Solución estable de 50 ml, lista para titulación, para ensayo de cloruros	78
Figura 2.2.5.	Solución reaccionando con el Nitrato de Plata Se observa coloración pardo rojizo	80
Figura 2.2.6.	Balanza electrónica – Pesaje de muestras de Sulfatos calcinados	82
Figura 2.2.7.	Reacción del Cloruro de Bario con la solución. Se observa el precipitado blanco	83
Figura 2.2.8.	Proceso de filtrado de sulfatos de la solución	84
Figura 2.3.1.	Equipo completo de U.T. constan: Equipo, Transductores, cables, pasta y bloque de Calibración	89
Figura 2.3.2.	Tipos de medición de U.T. en el Hormigón	90
Figura 2.3.3.	Extracción de Hormigón en Pantalla No. 20, lado Sur, cota +2.400 MSNR, cara interior	97
Figura 2.3.4.	Prueba con Fenolftaleína en Pantalla No. 20, lado Sur, cota +2.400 MSNR, cara interior	98
Figura 2.3.5.	Extracción de Hormigón para ensayo en Pantalla No. 4, lado sur, cota +0.900 MSNR, caras Interiores derecha e izquierda	105
Figura 2.3.6.	Solución de Hormigón con agua destilada en estufa...	107
Figura 2.3.7.	Multímetro, electrodo de referencia para concreto Cu/CuSO ₄ y esponja	118
Figura 2.3.8.	Toma de potenciales naturales en Pantalla No. 20, Lado sur, cota +1.200 MSNR, cara lateral izquierda ..	119
Figura 3.1.1.	Vista lateral: 14 Pantallas de Protección , lado Norte	136
Figura 3.1.2.	Vista lateral: 28 Pantallas de Protección, lado Sur	137
Figura 3.1.3.	Vista frontal: 2 Pantallas curvas, lado oeste	137
Figura 3.3.1.	Ensayo de U.T. en Pantalla No. 20	148
Figura 3.3.2.	Ensayo de U.T. en Pantalla No. 4	150
Figura 3.3.3.	Ensayo de U.T. en Pantalla Curva Frontal Izquierda..	151
Figura 3.3.4.	Predicción del tiempo de carbonatación de la Armadura	155
Figura 3.3.5.	Perfil de cloruros en Pantalla No. 20	157
Figura 3.3.6.	Perfil de cloruros en Pantalla No. 4..	158
Figura 3.3.7.	Perfil de cloruros en Pantalla Frontal Curva	159
Figura 3.3.8.	Perfil de cloruros a diferentes alturas con respecto al nivel de referencia, Pantalla No. 20	161
Figura 3.3.9.	Perfil de cloruros a diferentes alturas con respecto al nivel de referencia, Pantalla No. 4..	162
Figura 3.3.10.	Perfil de cloruros a diferentes alturas con respecto al nivel de referencia, Pantalla Curva	163

Figura 3.3.11.	Perfil de Sulfatos en Pantalla No. 20	165
Figura 3.3.12.	Perfil de Sulfatos en Pantalla No. 4..	166
Figura 3.3.13.	Perfil de Sulfatos en Pantalla Frontal Curva	167
Figura 3.3.14.	Perfil de sulfatos a diferentes alturas con respecto al nivel de referencia, Pantalla Curva	169
Figura 3.4.1.	Lecturas de potenciales en Pantalla No. 20, cara Interior	171
Figura 3.4.2.	Lecturas de potenciales en Pantalla No. 20, cara Frontal.	172
Figura 3.4.3.	Lecturas de potenciales en Pantalla No. 4, C.F.I.....	175
Figura 3.4.4.	Lecturas de potenciales en Pantalla Curva, C.F.I.....	176



ÍNDICE DE TABLAS

CIB - ESPOL

	Pág.
Tabla 1.2.1.	Tipos de Cemento según UNE..... 4
Tabla 1.2.2.	Tipos de Adiciones en Cementos7
Tabla 1.2.3.	Tipos y subtipos de Cemento8
Tabla 1.2.4.	Principales aplicaciones de los cementos comunes9
Tabla 1.2.5.	Cementos resistentes al agua de mar y sulfatos11
Tabla 1.5.1.	Espesor de recubrimiento de Hormigón23
Tabla 1.5.2.	Espesor de recubrimiento de Hormigón – Norma ACI 31824
Tabla 1.6.1.	Normas Internacionales con respecto al límite de cloruros29
Tabla 1.6.2.	Grado de peligrosidad de los sulfatos31
Tabla 1.6.3.	Ancho permisible de grietas – ACI 24435
Tabla 2.1.1.	Matriz de evaluación de riesgo51
Tabla 2.1.2.	Probabilidad de falla – cloruros51
Tabla 2.1.3.	Probabilidad de falla – sulfatos52
Tabla 2.1.4.	Probabilidad de falla – carbonatación.....52
Tabla 2.1.5.	Probabilidad de falla – Lixiviación de aguas blandas..52
Tabla 2.1.6.	Probabilidad de falla – Selección del sistema de Protección contra agentes externos53
Tabla 2.1.7.	Consecuencia de falla – Impacto en la Producción53
Tabla 2.1.8.	Consecuencia de falla – Riesgo de vidas humanas ...54
Tabla 2.1.9.	Consecuencia de falla – Daño a instalaciones o Navieras cercanas54
Tabla 2.1.10.	Consecuencia de falla – Daño a ecosistema54
Tabla 2.1.11.	Consecuencia de Rango55
Tabla 2.1.12.	Formulario del agua de mar y atmósfera61
Tabla 2.1.13.	Planificación de trabajo65
Tabla 2.2.1.	Resultados del nivel de pH del agua de mar71
Tabla 2.2.2.	Resultados de salinidad y densidad del agua de Mar.....71
Tabla 2.2.3.	Resultados de resistividad eléctrica del agua de mar75
Tabla 2.2.4.	Resultados del ensayo de cloruros en agua de mar ..80
Tabla 2.2.5.	Parámetros de agresividad del agua de mar86
Tabla 2.2.6.	Resultados del porcentaje de sulfatos del agua de mar.....87
Tabla 2.3.1.	Criterios de evaluación del Hormigón en U.T.....92
Tabla 2.3.2.	Resultados del ensayo U.T. en el Hormigón93

Tabla 2.3.3.	Criterio de evaluación del ensayo de carbonatación	99
Tabla 2.3.4.	Resultados del ensayo de carbonatación	101
Tabla 2.3.5.	Resultados de la velocidad de carbonatación	102
Tabla 2.3.6.	Especificaciones de cloruros para cementos UNE 2001	107
Tabla 2.3.7.	Resultados del ensayo de Cl ⁻ en el Hormigón.....	108
Tabla 2.3.8.	Criterios de evaluación de SO ₃ ⁻² en el Hormigón UNE 2001	113
Tabla 2.3.9.	Resultados del ensayo de SO ₃ ⁻² en el Hormigón	114
Tabla 2.3.10.	Criterios de evaluación de potenciales ASTM C876	121
Tabla 2.3.11.	Criterios de evaluación de potenciales DURAR	121
Tabla 2.3.12.	Resultados de potenciales en Pantalla No. 20	122
Tabla 2.3.13.	Resultados de potenciales en Pantalla No. 4	125
Tabla 2.3.14.	Resultados de potenciales en Pantalla Curva	127
Tabla 3.1.1.	Formulario de antecedentes y descripción de la Estructura armada (resultados)	132
Tabla 3.2.1.	Formulario del agua de mar y atmósfera (resultados).....	144



CIB - ESPOL

ÍNDICE DE PLANOS

Plano V – 0	Vista General de Muelle de Espigón
Plano V – 1	Detalles de Ubicación del Refuerzo
Plano V – 2	Detalles de Ubicación del Refuerzo
Plano V – 3	Detalle de Pantallas en Muelle
Plano V – 4	Posición del Refuerzo en Pantallas
Plano V – 5	Detalles de Inspección Visual
Plano V – 6	Detalles de Inspección Visual
Plano V – 7	Detalles de Inspección Visual
Plano V – 8	Detalles de Inspección Visual
Plano V – 9	Detalles de Inspección Visual
Plano I – 1	Pantalla No. 20 – lado sur
Plano I – 2	Pantalla No. 20 – lado sur
Plano I – 3	Pantalla No. 20 – lado sur
Plano I – 4	Pantalla No. 20 – lado sur
Plano I – 5	Pantalla No. 20 – lado sur
Plano I – 6	Pantalla No. 4 – lado norte
Plano I – 7	Pantalla No. 4 – lado norte
Plano I – 8	Pantalla No. 4 – lado norte
Plano I – 9	Pantalla No. 4 – lado norte
Plano I – 10	Pantalla No. 4 – lado norte
Plano I – 11	Pantalla Curva Frontal Izquierda
Plano I – 12	Pantalla Curva Frontal Izquierda
Plano I – 13	Pantalla Curva Frontal Izquierda
Plano I – 14	Pantalla Curva Frontal Izquierda
Plano I – 15	Pantalla Curva Frontal Izquierda



CIB - ESPOL

INTRODUCCIÓN

Autoridad Portuaria de Puerto Bolívar, es una Institución que presta servicios al Estado, poniendo a su disposición dos muelles para exportación de productos como son el Muelle Marginal y el Muelle de Espigón. El uno ubicado paralelo a la costa y, el otro perpendicular a la misma, respectivamente, presentan varias reparaciones puntuales debido a la colisión de navieras durante su atraque. El Muelle de Espigón tiene un promedio de 6 reparaciones al año.

El Muelle de Espigón se encuentra de dirección Este – Oeste, perpendicular al Estero Santa Rosa, con una extensión de 260 m. y, un canal de profundidad en marea baja de 11.50 m., cuenta con pantallas de protección construidas en 1984, totalizando un número de 28 hacia el lado norte, 14 hacia el lado sur y 2 frontales curvas.

Dada la ubicación, función y permanente reparaciones de las pantallas del sistema de defensa del muelle, conociendo de antemano que jamás se ha realizado una inspección, desde el punto de vista de la corrosión, de dichas pantallas; dadas las condiciones del medio en las que se encuentran instaladas éstas estructuras armadas, obligan a que se realice este tipo de

inspección, para proveer suficiente información, de manera que se pueda predecir el deterioro causado por la corrosión, si es que existiere.



CIB - ESPOL

CAPITULO 1

1. ESTUDIO Y MÉTODOS DE PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN EN LAS ARMADURAS DE HORMIGÓN PARA APLICACIONES PORTUARIAS

1.1. Generalidades

El hormigón reforzado es el material de construcción más utilizado en el mundo de la construcción, debido a que confiere una protección de doble naturaleza al acero embebido: 1) Proporciona una barrera física que separa al acero del medio ambiente (agua de mar) y 2) El líquido encerrado en los poros, solución acuosa OH^- , forma junto con el ión Fe^{2+} una capa delgada de óxido protector (pasivación) sobre la superficie del acero, figura 1.1.1. La solución acuosa constituida

principalmente por OH^- , confiere la alta alcalinidad al hormigón. Los elementos formados durante el curado del hormigón: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ junto con KOH y NaOH , originan la alta alcalinidad en valores de $\text{pH} \approx 12.5$ y $\text{pH} \approx 13 - 14$, respectivamente.

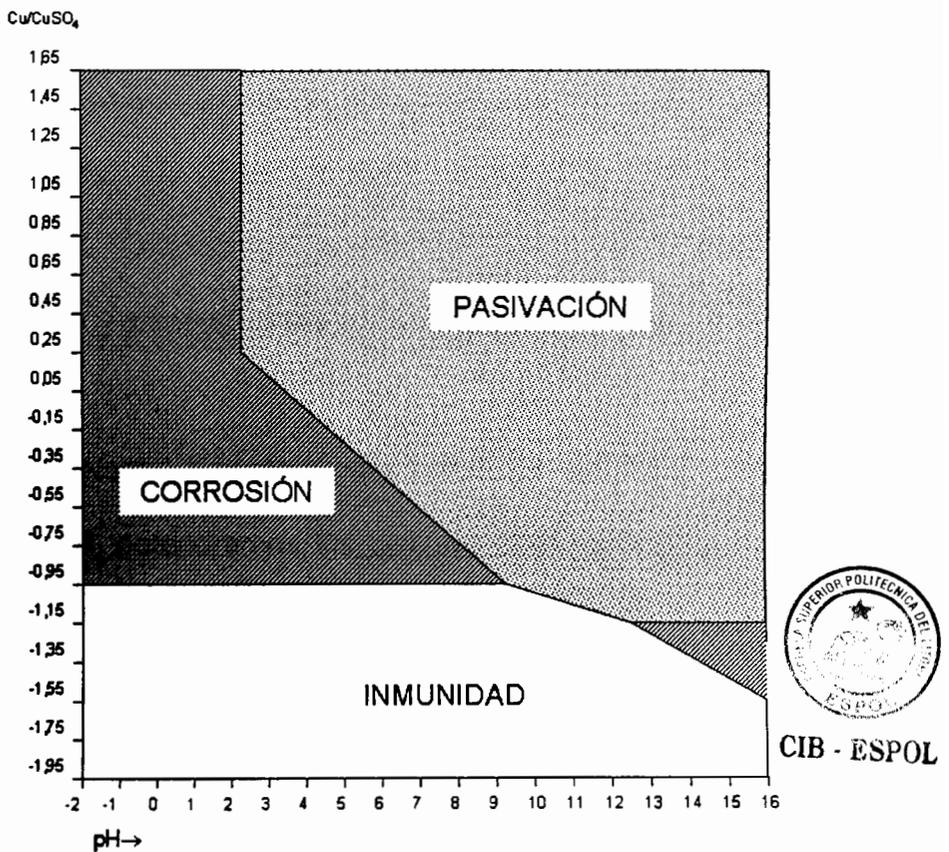


FIGURA 1.1.1. GRAFICO DE POURBAIX PARA EL ACERO⁽⁷⁾

Mientras el hormigón sea de buena calidad, exista un diseño correcto y cabal del mismo, y no varíe sus características físico-químicas por la acción exterior, su elevada alcalinidad lo



protegerá contra la corrosión. Por tanto, existen mecanismos de corrosión que alteran el estado del acero embebido. A continuación procederemos a su estudio.

1.2. Cementos: Tipos, Características y Aplicaciones

El concreto, llamado también hormigón, es una mezcla de dos componentes: pasta y agregados. La pasta de concreto se compone de cemento, agua, aditivos y aire atrapado y/o incluido. Los agregados (áridos) son conocidos como finos (arena) y gruesos (grava).

De la Norma Española para cementos del 2002, con carácter general, obtendremos los distintos tipos, subtipos y clases de los cementos, denominación y designación de los mismos, su composición y, en su caso, las características especiales o adicionales de los cementos MR, de dicha Norma.

De la Norma UNE-EN 197-1:2000⁽⁴⁾

Comprende los cementos comunes utilizados con carácter general en morteros y hormigones de toda clase, agrupados en los siguientes tipos, con sus respectivas denominaciones y designaciones, tabla 1.2.1.

TABLA 1.2.1.
TIPOS DE CEMENTO SEGÚN UNE ⁽⁴⁾

Tipos de Cemento	Denominaciones	Designaciones
I	CEM I	Cemento Portland
II	CEM II	Cemento Portland con adiciones
III	CEM III	Cemento Portland con escorias de horno alto
IV	CEM IV	Cemento puzolánico
V	CEM V	Cemento compuesto

Algunos de estos tipos se subdividen en subtipos, según el contenido de la adición o mezcla de adiciones presentes en el cemento. Estos subtipos, según dicho contenido creciente, pueden ser A, B o C. Y las adiciones acompañantes en todo caso del Clínter Portland, designado por "K", pueden ser, con sus denominaciones y designaciones las presentes en la tabla 1.2.2.

TABLA 1.2.2.
TIPOS DE ADICIONES EN CEMENTOS ⁽⁴⁾

Adiciones	
Denominaciones	Designaciones
Escoria de horno alto	S
Humo de sílice	D
Puzolana natural	P
Puzolana natural calcinada	Q
Ceniza volante silíceo	V
Ceniza volante calcárea	W
Esquisto calcinado	T
Caliza L	L
Caliza LL	LL

De este modo, los tipos y subtipos de los cementos, en función de las adiciones que contengan, quedan constituidos como muestra la tabla 1.2.3., con sus respectivas denominaciones y designaciones. En la tabla del Apéndice A, se especifican componentes principales y secundarios de los cementos.



TABLA 1.2.3.

CIB - ESPOL

TIPOS Y SUBTIPOS DE CEMENTO ⁽⁴⁾

Tipo de Cemento	Subtipo	Denominación	Designación
CEM I	Sin subtipo	Cemento Portland	CEM I
CEM II	A B	Cemento Portland con escoria de horno alto	CEM II/A-S CEM II/B-S
	Sólo A	Cemento Portland con humo de sílice	CEM II/A-D
	A B	Cemento Portland con puzolana natural	CEM II/A-P CEM II/B-P
	A B	Cemento Portland con puzolana natural calcinada	CEM II/A-Q CEM II/B-Q
	A B	Cemento Portland con ceniza volante silícea	CEM II/A-V CEM II/B-V
	A B	Cemento Portland con ceniza volante calcárea	CEM II/A-W CEM II/B-W
	A B	Cemento Portland con esquisto calcinado	CEM II/A-T CEM II/B-T
	A B	Cemento Portland con caliza L	CEM II/A-L CEM II/B-L
	A B	Cemento Portland con caliza LL	CEM II/A-LL CEM II/B-LL
	A B	Cemento Portland mixto con todas las adiciones	CEM II/A-M CEM II/B-M
CEM III	A B C	Cemento con escoria de horno alto	CEM III/A CEM III/B CEM III/C
CEM IV	A B	Cemento puzolánico con D, P, Q, V, W	CEM IV/A CEM IV/B
CEM V	A B	Cemento compuesto con S, P, Q, V	CEM V/A CEM V/B

Características y Aplicaciones de los Cementos Comunes

Todos los cementos, en general, tienen sus aplicaciones prácticas y son útiles para un sinnúmero de actividades. A continuación, en la tabla 1.2.4. presentaremos las aplicaciones de los “cementos comunes”, para luego analizar aquellos utilizados en agua de mar según la Norma UNE.

TABLA 1.2.4.

PRINCIPALES APLICACIONES DE LOS CEMENTOS COMUNES ⁽⁴⁾

Cementos de la Norma UNE-EN 197-1: 2000	
Tipos Aplicaciones	
CEM I	<ul style="list-style-type: none"> • Aptos para hormigones de muy altas resistencias. • Para obras públicas especiales en hormigón pretensado. • Para prefabricación de elementos de hormigón.
CEM II	<ul style="list-style-type: none"> • Aptos para hormigones y morteros en general.
CEM III	<ul style="list-style-type: none"> • Aptos para hormigones en ambientes agresivos por: <ol style="list-style-type: none"> 1) Sulfatos de terrenos 2) Agua de mar (Particularmente si responden a UNE 80 303-1 ó 2)
CEM IV	<ul style="list-style-type: none"> • Aptos para hormigones y morteros en general, en ambientes ácidos moderadamente agresivos. • Para obras hidráulicas. (Especialmente si responden a UNE 80 303-3)
CEM V	<ul style="list-style-type: none"> • Aptos para estabilización de suelos y terrenos. • En bases tratadas para carreteras y para firmes de hormigón. • Para grandes macizos de hormigón de presas. (hormigón compactado con rodillo)

De la Norma UNE 80303-2:2001⁽⁴⁾

En la tabla 1.2.5., se exponen los cementos resistentes al agua de mar (MR), siempre que sus clínkeres respectivos satisfacen, en lo que respecta a sus contenidos porcentuales en masa de aluminato tricálcico C_3A , y de suma de éste con ferritoaluminato tetracálcico C_4AF , los límites indicados en la tabla 1.2.5. Nótese que aquí no se señala límite alguno en el caso de los cementos III/B y III/C, debido a que son siempre resistentes al agua de mar. El orden de preferencia, en cuanto a resistencia con respecto al agua de mar, en este caso podría aproximarse así: CEM I; CEM III/A-D; CEM II-S; CEM II/A-V o CEM II/A-P; CEM III; CEM V; CEM IV.

A continuación, en la tabla 1.2.5. exponemos los cementos resistentes al agua de mar y sulfatos, con sus respectivos porcentajes de aluminato tricálcico y ferritoaluminato tetracálcico.



CIB - ESPOL

TABLA 1.2.5.

CEMENTOS RESISTENTES AL AGUA DE MAR Y SULFATOS ⁽⁴⁾

Tipos	Denominaciones	Subtipos (Designaciones)	Especificaciones del clínker de los cementos SR		Especificaciones del clínker de los cementos MR	
			C ₃ A %	C ₃ A + C ₄ AF %	C ₃ A %	C ₃ A + C ₄ AF %
I	Cementos Portland resistentes a los sulfatos y agua de mar	I	≤5	≤22	≤5	≤22
		II/A-S				
II	Cementos Portland con adiciones resistentes a sulfatos y agua de mar	II/B-S				
		II/A-D				
	Con escoria de horno alto (S)	II/A-P	≤6	≤22	≤8	≤25
		II/B-P				
	Con humo de sílice (D)	III/A-V				
		III/B-V				
Con ceniza volante (V)						



III	Cementos con adiciones, resistentes a los sulfatos y agua de mar	Con escoria de horno alto (S)	III/A	≤8	≤25	≤10	≤25
			III/B	Ninguna (1)	Ninguna (1)	Ninguna (1)	
			III/C				
IV	Cementos puzolánicos (D+P+V)	IV/A	≤6	≤22	≤8	≤25	
		IV/B	≤8	≤25	≤10	≤25	
V	Cementos compuestos (S+P+V)	V/A					

NOTA PARA CEMENTOS SR.- Los tipos y subtipos de los cementos se refieren a los homólogos definidos en la Norma UNE-EN 197-1.

1) Los cementos CEM III/B y CEM III/C siempre son resistentes a los sulfatos.

NOTA PARA CEMENTOS MR.- Los tipos y subtipos de los cementos se refieren a los homólogos definidos en la Norma UNE-EN 197-1.

1) Los cementos CEM III/B y CEM III/C siempre son resistentes al agua de mar.

1.3. Tipos de Corrosión del Acero Embebido en Ambientes

Marinos

Corrosión Galvánica

Siempre y cuando existan dos metales diferentes en un medio electrolítico, a una corta distancia de algunos decímetros, ocurrirá este tipo de corrosión. En el caso del acero en el hormigón, es factible esta situación cuando alguna zona se dañe o no se forme la película pasiva característica. Los cloruros son los principales agentes agresivos formadores de las microceldas, figura 1.3.1.

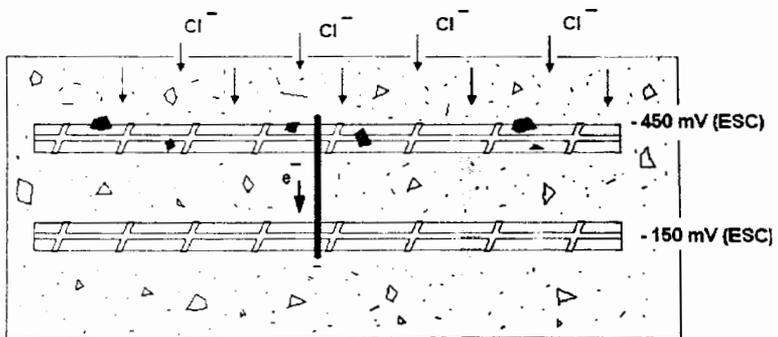
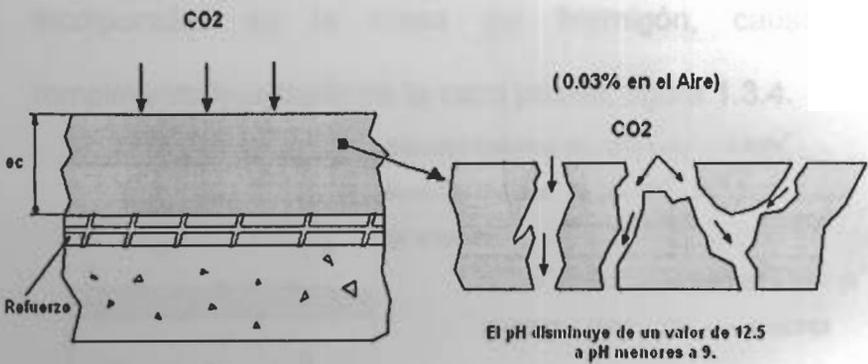
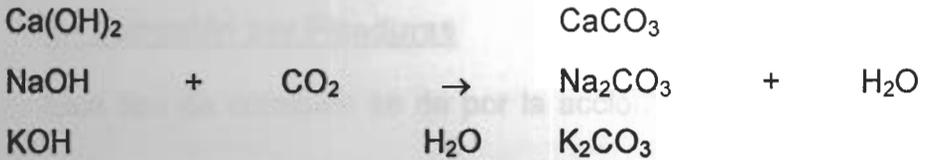


FIGURA 1.3.1. ESQUEMATIZACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN GALVÁNICA

Corrosión Generalizada

La corrosión generalizada ocurre por la pérdida de la película pasiva, consecuencia de la disminución de la alcalinidad por

carbonatación del hormigón y/o la presencia excesiva de iones cloruro, figura 1.3.2 y 1.3.3. Las reacciones que se dan en la fase acuosa son las siguientes:



CIB - ESPOL



FIGURA 1.3.2. Y 1.3.3. ESQUEMATIZACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN GENERALIZADA. ATAQUE DE CLORUROS EN MUELLE.

Corrosión Localizada

Son tres los tipos de corrosión de esta clase:

1.- Corrosión por Picaduras

Este tipo de corrosión se da por la acción de los cloruros que ingresan desde el exterior o, debido a que ya fueron incorporados en la masa del hormigón, causando el rompimiento localizado de la capa pasiva, figura 1.3.4.

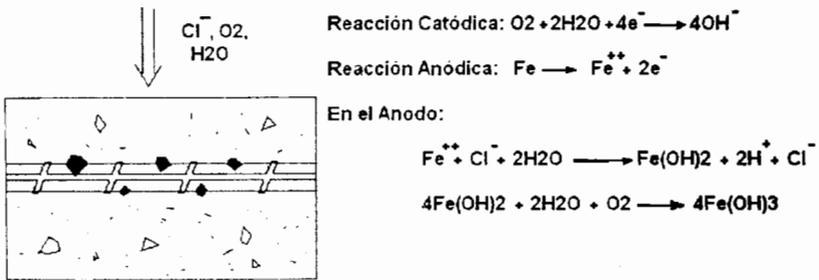


FIGURA 1.3.4. ESQUEMATIZACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN POR PICADURAS

2.- Corrosión Bajo Tensión

Cuando existen esfuerzos de tracción sobre el acero y un medio agresivo, se da este tipo de corrosión. En la mayoría de los casos, viene asociado con una mala calidad del hormigón o, a la presencia de ciertos iones, generalmente introducidos por adición de algunos aditivos. Es un ejemplo típico de los

hormigones pre o postensados. La falla de la estructura debido a la fragilización por hidrógeno puede ser confundido por una falla de este tipo. Un ensayo metalográfico de la estructura es la única manera de comprobar si el daño producido en el metal es debido a fragilización por hidrógeno o la corrosión bajo tensión.

3.- Corrosión por Corrientes de Interferencia

Cuando fluye corriente de una estructura que no forma parte del circuito eléctrico o celda electroquímica, a éste fenómeno se denomina corrientes de interferencia. Si el acero de refuerzo en el hormigón se encuentra pasivado, libre de la influencia de los iones Cl^- , las corrientes de interferencia no causan la corrosión del acero manteniéndolo pasivo o llevándolo a la zona de inmunidad. Pero si el hormigón está contaminado por cloruros, el efecto sobre la corrosión que tendrían éstas corrientes acelerarían muy rápidamente su proceso.

Corrosión Microbiológica

Las bacterias algunas veces pueden jugar un rol importante en el proceso de corrosión, tanto de materiales ferrosos como no ferrosos, madera y hormigón. Aunque en la naturaleza existen

bacterias muy diversas, la más importante de todas es la llamada **Bacteria Reductora de Sulfato** también llamada **Desulfovibrio Desulfuricans**⁽³⁾. Dicha bacteria deriva su nombre de su actividad microbiológica en la cual reduce inorgánicos sulfatos (SO^{-2}) a Sulfitos (S^{-2} y H_2S).

La bacteria reductora de sulfato causa la corrosión del acero en el hormigón en condiciones anaeróbicas. Además, generalmente, los efectos microbiológicos pueden originarse de algas, lodos y otros organismos que no estrictamente pueden llamarse bacterias. Estos efectos microbiológicos pueden afectar a la corrosión de las armaduras del hormigón en diferentes maneras:

- Creando un ambiente agresivo como un resultado del proceso metabólico, por ejemplo, produciendo productos ácidos.
- Producción de depósitos que pueden afectar la superficie del hormigón, como en la concentración de celdas de aireación.

1.4. Zonas de Corrosión en Ambientes Marinos

La corrosión del concreto reforzado en pilotes y pantallas de protección de obras portuarias expuestas al agua de mar es uno de los problemas más frecuentes debido al contacto directo con



el mar. En agua de mar se diferencian cuatro zonas, figura 1.4.1.

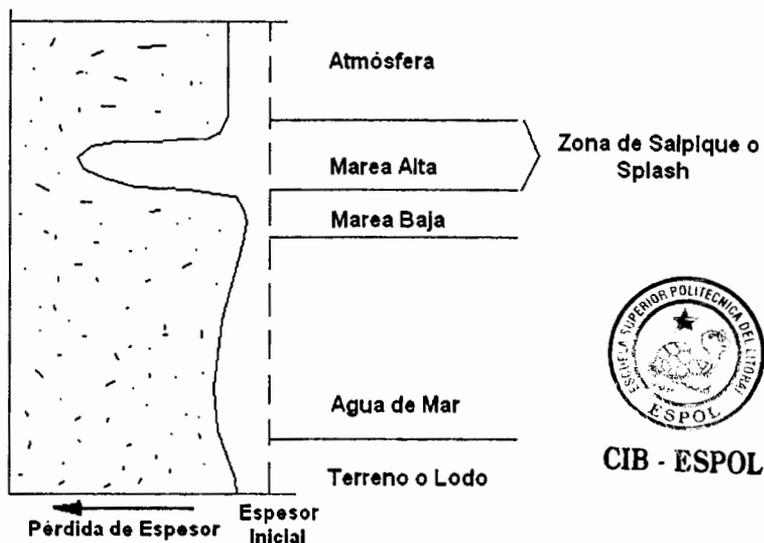


FIGURA 1.4.1. ZONAS DE AMBIENTE MARINO

- 1) Una zona completamente sumergida de la estructura, que puede presentar algún grado de corrosión no muy alto, donde el acero se corroe a muy baja rata. Aún cuando el nivel de cloruros en esta sección sumergida excede el límite requerido para iniciar la corrosión en el acero de refuerzo, la disponibilidad de oxígeno en la interfase concreto-acero se convierte en un factor de control. La difusión del oxígeno en concreto totalmente saturado es muy bajo y solo puede soportar bajas ratas de corrosión.

- 2) Una zona comprendida entre la alta y baja marea donde la rata de corrosión al principio puede ser considerable pero que con el tiempo adquiere protección por el crecimiento de densos corales que limitan el acceso de oxígeno y protegen a la estructura armada del oleaje.
- 3) Una zona intermedia, la más importante desde el punto de vista de la corrosión; comprendida justo después de la alta marea o **Zona de Salpique**. Un continuo humedecimiento seguido por un secamiento, provee al concreto tanto de altas concentraciones de cloruros como de suficiente oxígeno. Esta situación tiende a ser peor por el desarrollo de macrocélulas entre regiones altas de la estructura de concreto; las cuales aún no sufren de corrosión pero disponen de oxígeno en grandes cantidades y, con la presencia de cloruros terminan por corroer ésta zona. Un alto porcentaje de corrosión ocurre en la zona de salpique.
- 4) La zona inmediata arriba de la zona salpique generalmente presenta un menor grado de corrosión debido a dos causas:
 - a) los cloruros son transportados allí por el viento en menor cantidad y b) el contenido de humedad del concreto es bajo (ver figura 1.4.2 y 1.4.3).

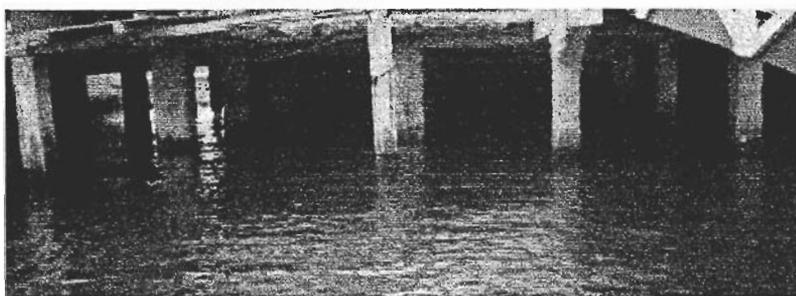


FIGURA 1.4.2. Y 1.4.3. ZONAS DE AMBIENTE MARINO: SE EVIDENCIA CORROSIÓN DEL PILOTE EN ZONA DE SALPIQUE.

1.5. Factores que afectan la Corrosión del Acero Embebido en el Hormigón

Dosificación del Hormigón

El método utilizado para la dosificación es determinante para su comportamiento futuro, garantiza su máxima compacidad (mínima cantidad de poros) y, por ende, cumple con las dos funciones de protección antes citadas. Para garantizar la



CIB - ESPOL

máxima compacidad y durabilidad del hormigón, se deben de tener presentes los siguiente aspectos:

- 1) La relación agua-cemento, la misma que puede ser mejorada por la adición de aditivos químicos.
- 2) El grado de hidratación del cemento, cumple un papel importante en la cantidad de poros del hormigón endurecido.
- 3) La forma de proporcionar y la influencia de los áridos que componen la mezcla, debe garantizar el menor volumen de vacío en la pasta de cemento endurecido y la calidad final del hormigón.
- 4) La cantidad de agua de la mezcla ejercerá un rol predominante en la consistencia del hormigón fresco.

Compacidad y Homogeneidad

La **compacidad** es la relación entre el volumen sólido (grava, arena y pasta de cemento endurecida) y el volumen aparente total. La compacidad depende, principalmente, de la calidad y cantidad de los materiales y de la correcta proporción entre ellos. Es la propiedad más importante en cuanto a protección brindada al hormigón reforzado contra agentes externos (ataque

de cloruros). Sin embargo, la compacidad del hormigón puede afectarse por:

- 1) Mal mezclado y mal transporte, propiciando la segregación de los materiales, dado que afecta a la homogeneidad del hormigón.
- 2) Mala práctica en la colación del hormigón y en el proceso de compactación.
- 3) Curado deficiente de la mezcla que impide la hidratación total del cemento, lo que provocará un incremento de porosidad. En las aplicaciones portuarias, se usan mezclas con relación a/c bajas, menores a 0.40 ó 0.35.

En cambio, la **homogeneidad** es la cualidad del hormigón por el cual todos sus componentes aparecen equitativamente distribuidos en toda la mezcla. Una buena práctica de transporte, colación y compactación asegurará la homogeneidad requerida.

Espesor de Recubrimiento del Hormigón

Una mala compactación, generalmente, se refleja en un hormigón poroso y no homogéneo. Por tanto, el espesor de la

capa de hormigón determinará el grado de protección del acero embebido en tales circunstancias. Dependiendo del tipo de agresividad ambiental, normas internacionales recomiendan espesores para la capa de hormigón, tabla 1.5.1. y 1.5.2. Las normas recomiendan que en ambientes agresivos (ver Apéndice B), como en las aplicaciones portuarias, el espesor varíe de 5 a 7.5 cm.



CIB - ESPOL

TABLA 1.5.1.

ESPEJOR DE RECUBRIMIENTO DE HORMIGÓN ⁽¹⁰⁾

Norma	Rango de Espesor (mm)
EH - 88	10.50 - 40.00
pr EN 206	20.00 - 55.00
BS 8110 - 1985	20.00 - 60.00
DIN 1045 - 1978	10.00 - 40.00
ACI - 318	10.00 - 60.00
JASS - 5 - 1986	25.00 - 60.00

TABLA 1.5.2.

ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DE HORMIGÓN - NORMA ACI 318 ⁽¹¹⁾

Caso	Espesor del Recubrimiento (cm)
Hormigón depositado contra el suelo	7.50
Hormigón expuesto al agua de mar	10.00
Hormigón para pilotes precolados en agua de mar	7.50
Hormigón expuesto a la intemperie o en contacto con el suelo, para varillas mayores del No. 5	5.00
Hormigón expuesto a la intemperie o en contacto con el suelo, para varillas No. 5 o menores	2.70
Losas o muros no expuestos para varillas no mayores del No. 5	0.20
Losas o muros no expuestos para varillas No. 5 o menores	0.12

**Estado Superficial de la Armadura**

CIB - ESPOL

El estado en el cual se presente la superficie del acero afectará las reacciones que tendrían lugar con el medio ambiente. Cuando el acero interactúa con el medio, debido al proceso de conformado, forma una cubierta de óxido en la superficie que lo hace menos reactivo que aquél cuya superficie esté libre. Sin embargo, existe la probabilidad de que los productos de la oxidación causados por el medio estén altamente contaminados con agentes agresivos, como el ión cloruro, lo que iniciaría la corrosión. Es importante acotar que toda la superficie del acero debe estar en contacto con el hormigón, caso contrario, se

crearían celdas diferenciales de aireación que serán el punto de partida del proceso de corrosión.

1.6. Mecanismos Desencadenantes de la Corrosión del Acero

Embebido en el Hormigón

Conociendo que las corrientes de interferencia y las macroceldas galvánicas también forman parte, se procederá a analizar los mecanismos por separado.

Humedad Ambiental

En un hormigón seco, la resistividad eléctrica es tan elevada que aún en ausencia de la película pasivante en el acero, se impediría su proceso de corrosión. El agua es necesaria para el movimiento de los iones en el medio electrolito. De esta manera, con un mínimo de contenido de humedad en los poros del hormigón, disminuirá la resistividad eléctrica y, por ende, se producirán el desarrollo de los procesos corrosivos.

La humedad relativa del medio ambiente, HR, no debe confundirse con la humedad del hormigón o relevante. En condiciones ambientales estables, la humedad relevante coincide con la humedad relativa, pero en condiciones

cambiantes es mayor la humedad relevante, porque pierde agua a menor velocidad de lo que gana por las tensiones capilares. En los hormigones para aplicaciones portuarias, éstos tienen a ser más densos y sólo a 1-2 cm desde la cara exterior estará saturado o casi saturados de humedad, en la mayoría de los casos. En otros hormigones, a 3-4 cm de su cara exterior estarán saturados o casi saturados, figura 1.6.1.

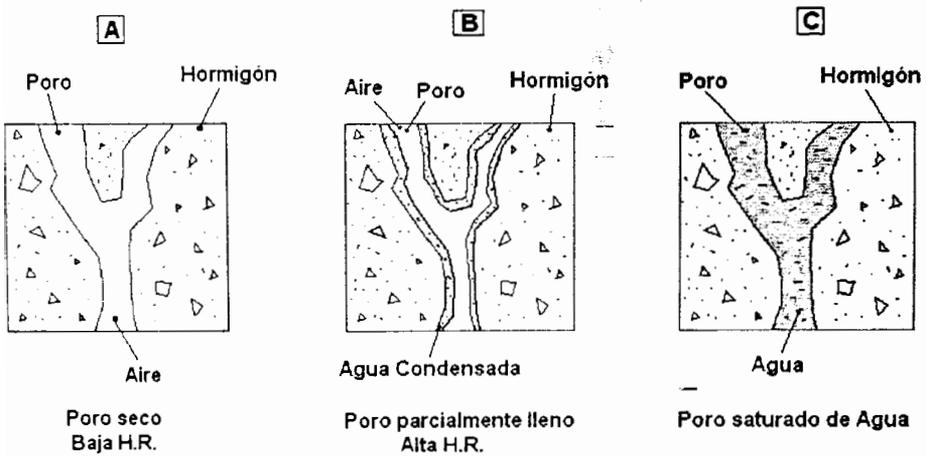


FIGURA 1.6.1. GRADO DE SATURACIÓN DE LOS POROS EN LA PASTA DE HORMIGÓN

Gases Disueltos

Cierta aireación en la estructura armada es necesario para el desarrollo de la corrosión. Por tanto, mayor velocidad de corrosión se presenta cuando los poros contienen agua, pero

sin llegar a saturarse, caso B de la figura 1.6.1. Cuando el hormigón está completamente saturado, caso C de la figura 1.6.1., el oxígeno se tiene que disolver en el agua antes de alcanzar la armadura. En hormigones densos y ambientes con humedad relativa media, los poros están saturados a partir de 3-4 cm del exterior.



CIB · ESPOL

Temperatura

En procesos de corrosión, la temperatura juega un doble papel. Se tiene que su incremento activa la movilidad de las moléculas facilitando el transporte de sustancias; por otro lado, su disminución da lugar a condensaciones que, al mismo tiempo, producen incrementos locales de la humedad del hormigón.

Es importante señalar que la humedad, oxígeno y la temperatura tienen efectos contrapuestos. De manera que, no es fácil predecir la evolución del proceso de corrosión a partir de uno de ellos. Por ejemplo, a mayor humedad se facilita la corrosión pero impide el acceso de oxígeno, o bien a mayor temperatura mayor velocidad de corrosión pero decae la condensación.

Cloruros (Cl⁻)

Estos iones son los causantes de la corrosión localizada por medio de picaduras. Los iones cloruro se encuentran en la mezcla por dos causas:

- 1) Porque penetran desde el medio exterior a la armadura, debido a la exposición de ésta a ambientes marinos o sales de deshielo.
- 2) Debido a que la materias primas como los aditivos, agua, cemento y áridos, los contengan (ver figura 1.6.2).



FIGURA 1.6.2. ATAQUE DEL SALPIQUE DE CLORUROS DE AGUA DE MAR EN PASAMANOS DEL MALECÓN DE PUERTO BOLÍVAR

Para evitar que iones de cloruro sean introducidos en el amasado del hormigón, existen códigos que restringen su contenido. La tabla 1.6.1. muestra los valores críticos en hormigones reforzados para los diferentes países.



TABLA 1.6.1.

NORMAS INTERNACIONALES CON RESPECTO AL LÍMITE DE CLORUROS ^{(10) (4)}

CIB - ESPOL

PAÍS	NORMA	LÍMITE MAX. DE CLORUROS	REFERIDO A
USA	ACI 318	≤ a 0.15% en ambiente de Cl	Cemento
USA	ACI 318	≤ a 0.30% en ambiente normal	Cemento
USA	ACI 318	≤ a 1% en ambiente seco	Cemento
INGLATERRA	CP - 110	≤ a 0.35% al menos en un 95% HR	Cemento
AUSTRALIA	AS 3600	≤ al 0.22%	Cemento
NORUEGA	NS 3474	≤ al 0.60%	Cemento
ESPAÑA	EH 91	≤ al 0.40% en ambiente normal	Cemento
ESPAÑA	UNE 2001	≤ al 0.10% en ambiente de Cl	Cemento
EUROPA	EUROCODIGO 2	≤ al 0.22%	Cemento
JAPÓN	JSCE - SP 2	≤ al 0.6 Kg/m ³	Hormigón
BRASIL	NBR 6118	≤ al 0.05%	Agua

Los iones cloruro pueden estar presentes en el concreto de tres maneras: enlazados, absorbidos y disueltos en el agua que se conserva en los poros. La combinación o no de éstos cloruros

dependen de su contenido en yeso, finura del cemento, temperatura durante el fraguado y humedad del hormigón.

En cuanto a iones que penetran desde el exterior, existen tres aspectos a tomarse en cuenta:

- 1) El tiempo que tardan en llegar al acero.
- 2) La cantidad que induce la despasivación.
- 3) La velocidad de corrosión que inducen al desencadenar dicho proceso.

Como en los procesos de difusión pura y los de absorción capilar, en general, siguen una ley potencial, se tiene que la velocidad de avance de los cloruros, es función de la raíz cuadrada del tiempo:

$$X_{Cl^-} = K_{Cl^-} \cdot \sqrt{t} \quad (10)$$



CIB - ESPOL

X_{Cl^-} : Profundidad alcanzada por cierta cantidad de cloruros

K_{Cl^-} : Constante que depende del medio y del hormigón

t : Tiempo

El cálculo de X_{Cl^-} depende de muchos parámetros: tipo de cemento, contaminación exterior, porosidad del hormigón,

contenido de humedad del hormigón, etc. Aunque existen otras fórmulas para calcular la velocidad de avance de los cloruros en el hormigón, para fines prácticos es más simple la presente fórmula, ya que involucra de forma aproximada todos los mecanismos posibles de corrosión.

Sulfatos (SO_4^{-2})

El ión sulfato degrada al hormigón. El ión sulfato suele estar presente en aguas residuales industriales y en aguas de subsuelo, preferentemente se lo encuentra en terrenos arcillosos o en sus capas freáticas. Cabe resaltar que el ión sulfato forma sales. En la tabla 1.6.2., se expone el grado de peligrosidad de los diferentes sulfatos.

TABLA 1.6.2.

GRADO DE PELIGROSIDAD DE LOS SULFATOS ⁽¹⁰⁾

SULFATOS	<ul style="list-style-type: none"> • Amónicos. • Cálcicos. • Magnésicos. • Sódicos. 	Son los más peligrosos.
	<ul style="list-style-type: none"> • Potásicos. • Cúpricos. • Alumínicos. 	Menos peligrosos que los anteriores.
	<ul style="list-style-type: none"> • Báricos. • El de Plomo. 	Inofensivos, por ser insolubles.

Entre los posibles daños que pueden causar se dan:

- 1) El ión sulfato en el agua puede causar la lixiviación de los componentes del cemento.
- 2) En determinadas circunstancias, el ión sulfato puede ocasionar la expansión, con presiones internas muy altas, debido a la formación de otros componentes estables en la pasta endurecida del cemento; la reacción del aluminato tricálcico del cemento (C_3A) con el yeso, provoca la degradación del hormigón.



CIB - ESPOL

Carbonatación

Es el proceso en el cual el CO_2 atmosférico reacciona con los compuestos alcalinos de la base acuosa del hormigón, causando la neutralización de todo el material, figura 1.3.2. En la figura 1.6.3., se encuentra lo que se denomina "frente carbonatado", producto de un cambio abrupto de pH. Si éste frente llega a la armadura, causa una despasivación generalizada.

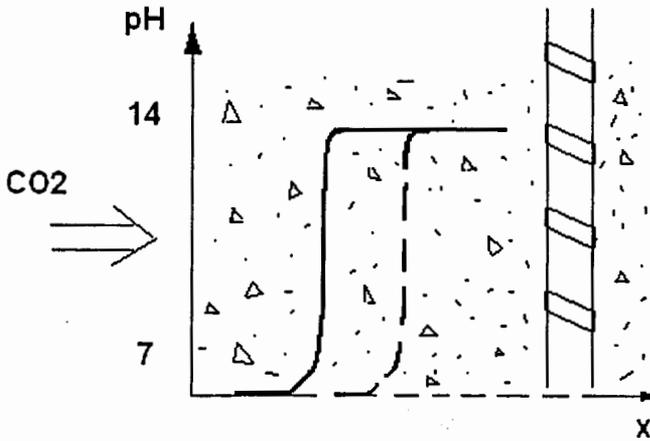


FIGURA 1.6.3. FRENTE CARBONATADO EN EL HORMIGÓN

Un factor importante a conocer es la velocidad de avance del frente carbonatado. Se tiene que la velocidad depende de:

- 1) El contenido de humedad del hormigón.
- 2) Porosidad.
- 3) El contenido en materia alcalina carbonatable.

Se ha evidenciado que el CO_2 no reacciona cuando los poros están completamente secos. La penetración del CO_2 es lentísima cuando los poros están completamente saturados, debido a la baja solubilidad del CO_2 en el agua. Como consecuencia, se da que las velocidades de corrosión por

carbonatación sean mucho menores que en el caso de cloruros (ver figura 1.6.4).



**FIGURA 1.6.4. PILOTE DE HORMIGÓN CARBONATADO.
CORROSIÓN GENERALIZADA SE OBSERVA.**

Cabe resaltar, que la velocidad de carbonatación es función de la raíz cuadrada del tiempo, así se tiene el modelo matemático:

$$X_{CO_2} = K_{CO_2} \sqrt{t} \quad (10).$$

Existencia de Fisuras

Las fisuras ocasionadas por diseño y resistencia mecánica, se colocan, en general, en planos perpendiculares a la armadura. De ésta manera, ayudan al hormigón a absorber las tensiones

de tracción y de flexión generadas, muchas de las veces, con cargas muy por debajo del nivel de servicio y, posiblemente aun antes de que actúen las cargas, a causa de la retracción restringida. Fisuras en dirección longitudinal a la armadura son producto de un proceso ya iniciado de corrosión o se originan por una mala práctica de construcción. Los códigos, como The European Concrete Committee, limitan el ancho de fisuras en valores de 0.3 mm, 0.2 mm y 0.1 mm⁽¹⁵⁾, para tres diferentes condiciones: interiores, exteriores y atmósfera altamente corrosiva, respectivamente. En cambio, la ACI 224, limita el ancho de las grietas de acuerdo a la siguiente tabla.

TABLA 1.6.3.

ANCHO PERMISIBLE DE GRIETAS - ACI 244 ⁽¹⁾

Condición de Exposición	Ancho tolerable de la Grieta mm.
Aire seco o membrana protectora	0.41
Humedad, aire húmedo, suelo	0.30
Químicos para deshielo	0.18
Agua de Mar y rocío de agua de mar: Humedecimiento y secado	0.15
Estructuras de contención de agua, se excluyen ductos sin presión	0.10

Lixiviación por Aguas Blandas

Aguas totalmente puras, aguas blandas con pocas impurezas, aguas de lluvia, aguas de condensación industrial, aguas pantanosas y aguas provenientes de grandes profundidades, causan la degradación del hormigón por la lixiviación del hidróxido de calcio, disminuyendo el contenido de CaO y, por ende, destruyendo los silicatos, aluminatos y ferritos hidratados. Así el hormigón pierde su resistencia y se desmorona.

1.7. Vida Útil y Vida Residual

1.7.1. Definiciones

Se puede definir como **vida útil** el período en el que la estructura conserva todos los requisitos de seguridad, funcionabilidad y estética, sin costos inesperados de mantenimiento.

Tutti plantea un modelo de vida útil de la armadura mostrado en la figura 1.7.1., donde se diferencian dos periodos: Uno de iniciación y otro de propagación



CIB - ESPOL

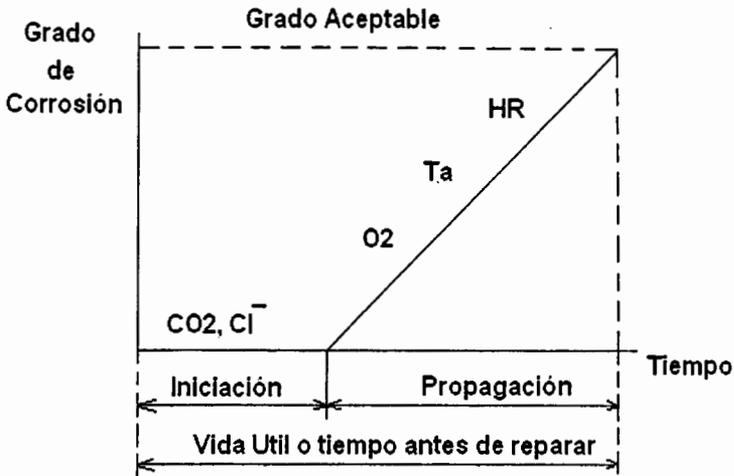


FIGURA 1.7.1. MODELO DE TUTTI-VIDA ÚTIL DE UNA ESTRUCTURA ⁽¹⁰⁾

Vida Residual es el tiempo a partir del cual la estructura alcanza un valor límite inaceptable. Durante este periodo residual se procede a realizar ciertas reparaciones. La figura 1.7.2. muestra un modelo de vida residual de una estructura armada.

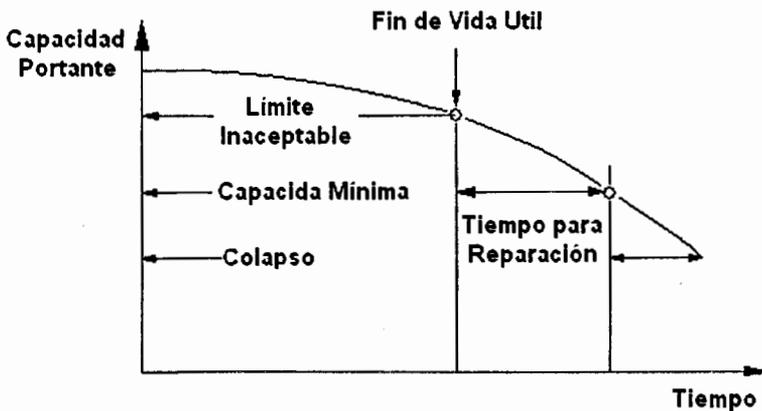


FIGURA 1.7.2. VIDA RESIDUAL DE UNA ESTRUCTURA ⁽¹⁰⁾

1.7.2. Estimación de la Vida Útil

Para realizar un cálculo de la estimación de la vida útil se deben tener en cuenta:

- a) Espesor del Recubrimiento.
- b) Agresividad del Medio Ambiente
- c) Resistencia a la penetración del agente agresivo.
- d) Límite inaceptable del deterioro.



CIB - ESPOL

El límite inaceptable de deterioro, su definición es clave y no se puede generalizar a toda clase de estructura. De esta manera, unas veces el límite inaceptable puede ser la despasivación del acero (carbonatación), mientras que otras, será el desprendimiento de pedazos de hormigón que puedan acometer contra la seguridad personal (ataque de cloruros).

Otro aspecto muy importante a tomar en cuenta es reconocer si la armadura tiene una corrosión uniforme o localizada. Si es corrosión localizada puede haber pérdidas de sección apreciables que no se pueden percibir desde el exterior. Así, parece ser aceptable, que

en el caso de la carbonatación, se considere un cierto periodo de propagación como parte de vida útil. Esto es inaceptable y muy riesgoso en el caso de ataques de cloruros, ya que causan corrosión localizada; por tanto, como no es posible predecir cuán localizada será la corrosión, se debe considerar que se alcanza el límite inaceptable cuando la armadura se despasiva.

1.8. Métodos de Prevención contra la Corrosión

Recubrimientos sobre el Acero

En términos de retardar o prevenir la corrosión, los recubrimientos de las barras de acero se pueden dividir en dos grupos: a) recubrimientos de barrera y b) recubrimientos anódicos. Entre los recubrimientos más usados tenemos los epóxicos y los galvanizados, respectivamente. El recubrimiento epóxico provoca una barrera de protección; un daño o poro sería perjudicial. Resultados poco satisfactorios se han obtenido con este método de protección.

En el caso de los recubrimientos anódicos, metales menos nobles que el acero sirven para el propósito. Para el caso del zinc, éste fundamentalmente protege al acero de la misma

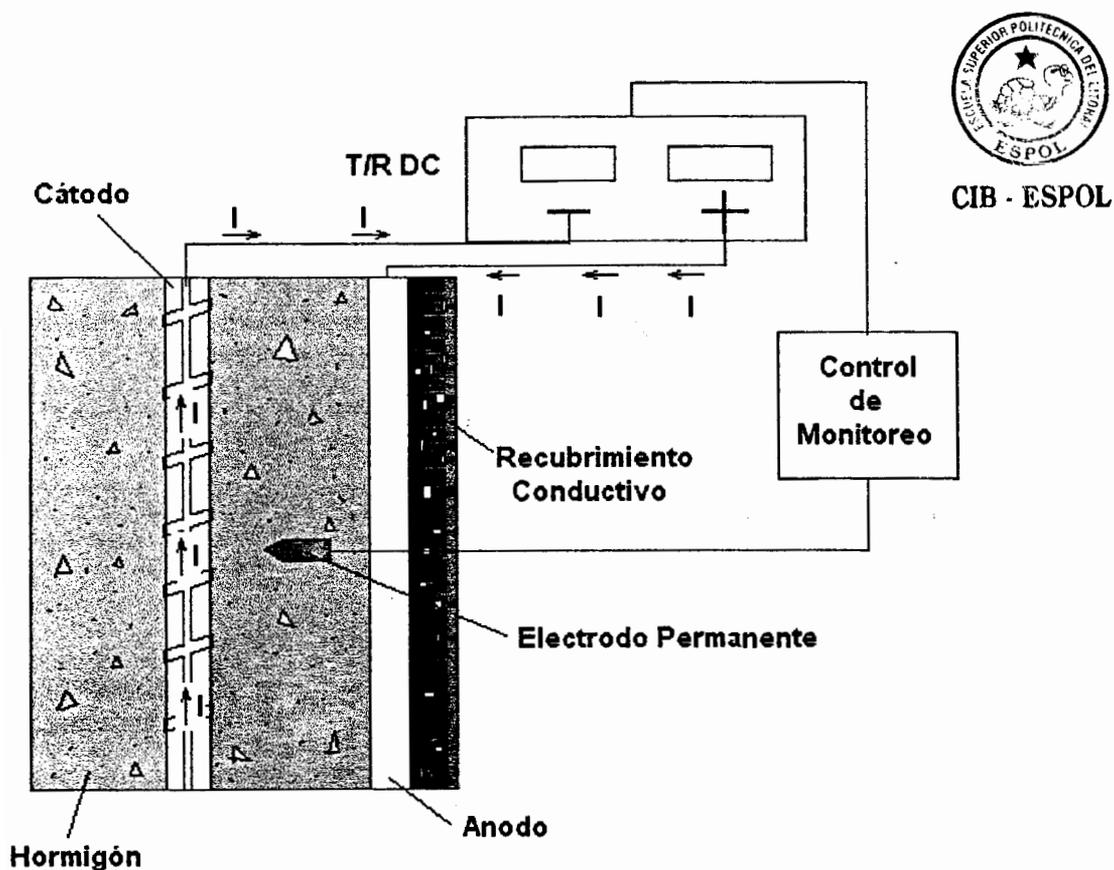
manera que los recubrimientos epóxicos, pero también mediante un mecanismo de sacrificio. Es importante recalcar que si existe riesgo a ataques de cloruros, la capa de Zn puro galvanizado debe tener un espesor mínimo de 50 μm , mientras que la capa Fe-Zn sea lo más pequeña posible. Resultados muy diversos se han evidenciado a lo largo de estudios realizados.

Protección Catódica

Se ha comprobado que éste método de protección es el único sistema que permite tener un verdadero control de la corrosión de la armadura. En la actualidad, existen normas internacionales que dan recomendaciones sobre la aplicación del SPC en hormigón armado. El SPC puede aplicarse de 2 maneras: 1) Por ánodos de sacrificio y 2) Por corrientes impresas.

Dada la alta resistividad del hormigón, es preferible el SPC por corrientes impresas, donde la armadura se convierte en cátodo y, con la ayuda de un transformador D.C., "ánodos inertes" intercambian corriente a través del medio electrolítico (hormigón) que asegura la protección de la armadura. De esta manera, se puede monitorear, tanto corrientes de protección

como voltajes, figura 1.8.1. En estructuras portuarias, una de las zonas en donde la protección catódica debe ser cuidadosamente analizada, es en la zona de salpique. Cabe señalar, que en la práctica, se ha encontrado que los ánodos de sacrificio de Zn y Al han demostrado gran efectividad en cuanto a resultados a tomar en cuenta.



CIB - ESPOL

FIGURA 1.8.1. ESQUEMA DEL SPC POR CORRIENTES IMPRESAS

Morteros de Reparación

Son mezclas constituidas de agregado fino seleccionado y de aglomerante cementante. Este aglomerante puede ser a base de cemento Pórtland u orgánico (acrílicos, epóxicos, poliuretanos o polímeros). Otros aditivos como microsíllica, ceniza volante, fibra sintética, etc, pueden ser agregados a éstos morteros.

Cuando se trata de reparaciones grandes, materiales a base de cemento Pórtland son preferibles; en cambio, cuando hay secciones delgadas que requieren ser reparadas, materiales a base de resina son preferibles.

Antes de realizar cualquier reparación, se debe remover todo el hormigón contaminado por cloruros, caso contrario, la reparación podría agravar el problema creando celdas locales de corrosión. Por ejemplo, si se utiliza material polimérico aislante, se crea una celda diferencial de oxígeno, donde la armadura por debajo de la reparación actuaría como ánodo, ya que en ésta zona no llega el oxígeno (ver figura 1.8.2).

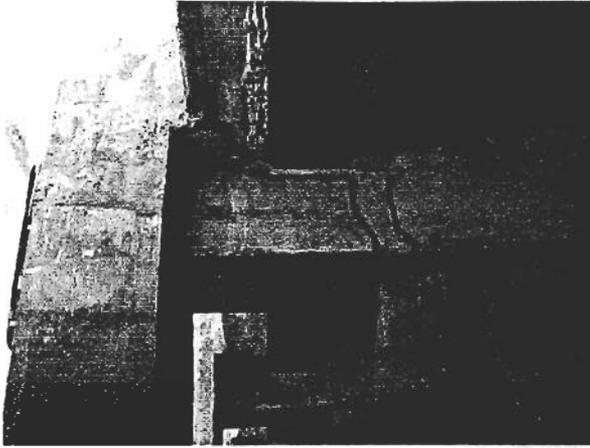


FIGURA 1.8.2. REPARACIONES POR BACHEO EN LOSAS DE PANTALLAS DE PROTECCIÓN DEL MUELLE DE ESPIGÓN, A.P.P.B.

Revestimientos para Hormigón

Estos revestimientos principalmente actúan como barrera física. Los revestimientos para el hormigón son de dos clases principalmente: a) Aquellos que proveen una barrera en la superficie para prevenir, o al menos retardar, la penetración del agua, iones cloruro, oxígeno y el CO_2 al interior del hormigón y b) Aquellos que penetran y sellan los poros capilares del hormigón, previniendo el ingreso de elementos corrosivos e inmovilizándolos a éstos. Entre los más importantes podemos citar:

- 1) **Revestimientos Hidrófugos:** Son materiales a base de silicona que repelen la humedad y resisten al desgaste.
- 2) **Membranas Orgánicas Prefabricadas:** Son usadas de manera temporal o permanente.
- 3) **Polímeros Impregnados sobre el Hormigón:** Son aplicados sobre el hormigón previo a una deshidratación del mismo. Estos se aplican penetrando aproximadamente a 1 – 3 cm desde la parte exterior, polimerizando luego y sellando los poros.
- 4) **Otros Revestimientos:** Tienen como principal ventaja retardar o evitar la carbonatación del hormigón, aunque también sirven para la estética de las estructuras. Entre los más importantes: epóxicos, acrílicos y poliuretanos.

Realcalinización

La Realcalinización es un método usado para detener y prevenir permanentemente la corrosión del acero embebido en el concreto, por incremento de su pH a valores más altos que 10.5, cuyo valor es suficiente para reestablecer y mantener una capa de óxido pasivo sobre el acero.

Para llevar a cabo este proceso, se conecta una fuente temporal DC entre el acero de refuerzo en el concreto y un ánodo colocado en el exterior. El ánodo está rodeado de un electrolito alcalino, normalmente una solución de carbonato de sodio, la cual es mantenida en un reservorio en contacto con el concreto. La densidad de corriente normalmente usada es 1 A/m^2 , el mismo que requiere un voltaje de 10 – 40 volts. Durante el tratamiento, la solución alcalina es transportada hacia el concreto carbonatado por medio de electro-osmosis. Simultáneamente, la electrolisis produce un ambiente muy alcalino en la superficie del acero. Su esquema se muestra en la figura 1.8.3.

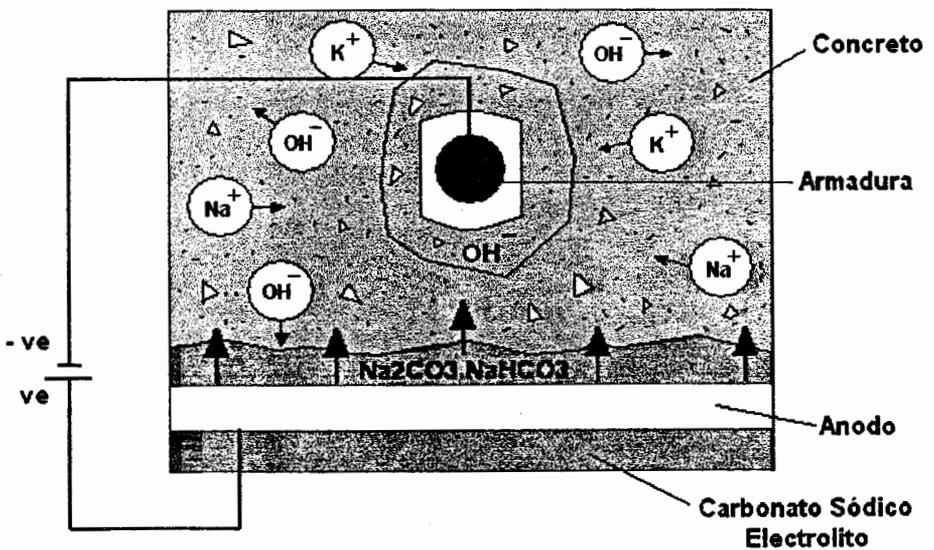


FIGURA 1.8.3. PROCESO DE REALCALINIZACIÓN EN EL HORMIGÓN

En algunos casos, electro-osmosis no es efectiva y, donde agregados alcalinos son susceptibles a reacciones (por incrementar el pH más de su valor inicial), la introducción de carbonato de sodio en el concreto puede no ser deseable. En esos casos, una variación del tratamiento permite la realcalinización por electrolisis únicamente. Es por ésta razón, que siempre en esta clase de tratamientos se cuenta con un control y monitoreo de pH en todo el concreto, a fin de no llegar a valores de pH más altos que el original.

El tiempo del tratamiento es típicamente 4 – 10 días. Para realcalinización sólo por electrolisis, normalmente se emplea un tiempo de 10 – 20 días.

Desalinización

La desalinización es un método empleado en armaduras embebidas en hormigón, que están sufriendo o, están en riesgo de corrosión, por la introducción de cloruros. El tiempo de duración del tratamiento es típicamente de 4 – 8 semanas y el montaje es similar al establecido en la realcalinización.



Durante el tratamiento, cloruros son transportados fuera del concreto, hacia un electrodo cargado positivamente en el exterior, y son recolectados en un reservorio. Al mismo tiempo, iones de hidróxido son producidos en la superficie de la armadura, repasivando el acero (ver figura 1.8.4). Entre los efectos benéficos del proceso se puede citar: la resistencia del concreto a la absorción del agua y la difusión de iones cloruro.

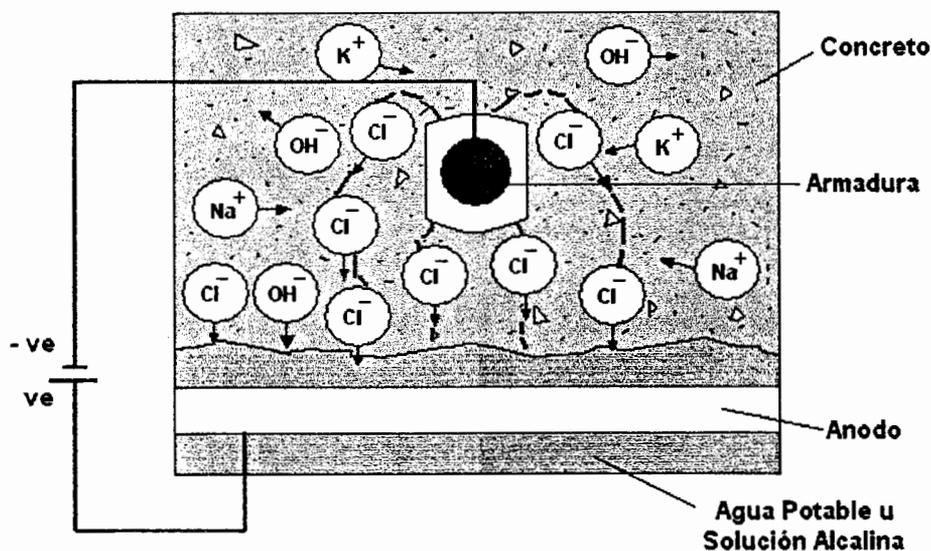


FIGURA 1.8.4. PROCESO DE DESALINIZACIÓN EN EL HORMIGÓN

Inhibidores

Adheridos a la mezcla del hormigón o aplicados durante el proceso de fraguado del mismo, sirven para proteger la

armadura contra el ataque corrosivo, pudiendo ir en perjuicio de las propiedades del hormigón. Son recomendables en los casos donde se ejecuta construcciones/repificaciones y en zonas de salpique marino.

Hoy en día existe un sinnúmero de tipos de inhibidores, cada uno con su aplicación diferente. Unos protegen al refuerzo de la corrosión impidiendo la penetración de oxígeno, mientras que otros, forman una capa de óxido, de manera que, establecen la pasivación del metal. Desafortunadamente su efectividad depende: 1) La concentración del inhibidor debe ser siempre la mínima requerida y 2) La concentración de iones de cloruro y sulfatos en el hormigón (ver figura 1.8.5).



FIGURA 1.8.5. EFECTO DE UN INHIBIDOR COMERCIAL(DERECHA) EN UNA BARRA DE ACERO SUMERGIDA EN UNA SOLUCIÓN DE CLORUROS

CAPITULO 2

2. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS DE INSPECCIÓN .- PANTALLAS MUELLE DE ESPIGÓN – AUTORIDAD PORTUARIA DE PUERTO BOLÍVAR

2.1. Metodología

La metodología empleada en la inspección de estructuras portuarias de hormigón armado, desde el punto de vista de la corrosión, implica una tarea muy sencilla en algunos casos, mientras que en otros, una tarea muy complicada. Así, se puede dividir la inspección en dos etapas según corresponda el caso de complejidad de la misma (ver figura 2.1.1).



FIGURA 2.1.1. VISTA LATERAL: 28 PANTALLAS DEL LADO SUR DEL MUELLE DE ESPIGÓN, A.P.P.B.

Para conocer el tipo de inspección que aplicaremos a las pantallas de protección del Muelle de Espigón, primero, analizaremos el riesgo al cual están sometidas dichas pantallas mediante un análisis **R.B.I. (RISK BASED INSPECTION)⁽¹⁶⁾**, antes de la inspección en sí, para tener en cuenta cuáles son las probabilidades de falla y las consecuencias que dicha falla provocaría. Seleccionado el riesgo sometido de la estructura armada, se planifica el tipo de inspección y el alcance/ensayos a realizarse en las pantallas de protección. Así, tenemos que para el estudio propuesto, nos serviremos de una matriz de 5 x 5⁽¹⁶⁾ donde evaluaremos el nivel de riesgo, tabla 2.1.1.

TABLA 2.1.1.
MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGO ⁽¹⁶⁾

R.B.I.		Probabilidad de Falla				
		Altamente Probable	Probable	Posible	Improbable	Muy Improbable
Consecuencia de Falla	Muy Alta	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Moderado	Bajo
	Alta	Muy Alto	Alto	Moderado	Bajo	Bajo
	Moderada	Alto	Moderado	Moderado	Bajo	Muy Bajo
	Baja	Moderado	Bajo	Bajo	Bajo	Muy Bajo
	Muy Baja	Bajo	Bajo	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo

Constituida nuestra tabla, procedemos a enumerar los posibles modos de falla, más comunes, de la estructura armada: 1) Cloruros, 2) Sulfatos, 3) Carbonatación, 4) Lixiviación de Aguas Blandas, y 5) Selección del sistema de protección de pantallas contra agentes externos.

Probabilidad de Falla

1) Cloruros (Cl⁻)



CIB - ESPOL

TABLA 2.1.2.
PROBABILIDAD DE FALLA – CLORUROS

RANGO	DESCRIPCIÓN
Altamente Probable	Límite permisible de Cl ⁻ - Alcanza hasta 6.5 cm de profundidad
Probable	Límite permisible de Cl ⁻ - Alcanza hasta 3 cm de profundidad
Posible	Límite permisible de Cl ⁻ - Alcanza hasta 1 cm de profundidad
Improbable	Ninguna experiencia de ataque de Cl ⁻ en similares estructuras
Muy Improbable	Considerado Insignificante

2) Sulfatos (SO_3^{-2})

TABLA 2.1.3.

PROBABILIDAD DE FALLA – SULFATOS

RANGO	DESCRIPCIÓN
Altamente Probable	Contenido de $\text{SO}_3^{-2} \geq$ al límite permisible, desmoronamiento
Probable	Contenido de $\text{SO}_3^{-2} <$ al 80% del límite permisible
Posible	Contenido de $\text{SO}_3^{-2} <$ al 60% del límite permisible
Improbable	Ninguna experiencia de ataque de SO_3^{-2} en similares estructuras
Muy Improbable	Considerado Insignificante

3) Carbonatación

TABLA 2.1.4.

PROBABILIDAD DE FALLA – CARBONATACIÓN

RANGO	DESCRIPCIÓN
Altamente Probable	Frente carbonatado - Alcanza hasta 6.5 cm de profundidad
Probable	Frente carbonatado - Alcanza hasta 3 cm de profundidad
Posible	Frente carbonatado - Alcanza hasta 1 cm de profundidad
Improbable	Ninguna experiencia de carbonatación en similares estructuras
Muy Improbable	Considerado Insignificante

4) Lixiviación de Aguas Blandas

TABLA 2.1.5.

PROBABILIDAD DE FALLA – LIXIVIACIÓN DE AGUAS BLANDAS

RANGO	DESCRIPCIÓN
Altamente Probable	Mucha experiencia de lixiviación en similares estructuras
Probable	Poca experiencia de lixiviación en similares estructuras
Posible	Muy poca experiencia de lixiviación en similares estructuras
Improbable	Ninguna experiencia de lixiviación en similares estructuras
Muy Improbable	Se considera insignificante

5) Selección del Sistema de Protección contra Agentes Externos

TABLA 2.1.6.

PROBABILIDAD DE FALLA – SELECCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA AGENTES EXTERNOS

RANGO	DESCRIPCIÓN
Altamente Probable	Excelente selección del sistema de protección de la estructura
Probable	Correcta selección del sistema de protección de la estructura
Posible	Mediocre selección del sistema de protección de la estructura
Improbable	Mala selección del sistema de protección de la estructura
Muy Improbable	Pésima selección del sistema de protección de la estructura

Ahora estudiaremos las consecuencias de dichas fallas

Consecuencia de la Falla

1) Impacto en la Producción



CIB - ESPOL

TABLA 2.1.7.

CONSECUENCIA DE FALLA – IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN

RANGO	DESCRIPCIÓN
4	Posible falla repentina - Prolongada reparación
3	Posible falla repentina – Corta reparación
2	Falla predecible – Reparación planeada
1	Continuación de actividades - poco o ningún impacto

2) Riesgo de Vidas Humanas

TABLA 2.1.8.

CONSECUENCIA DE FALLA – RIESGO DE VIDAS HUMANAS

RANGO	DESCRIPCIÓN
3	Altísimo
2	Mediano
1	Poco

3) Daño a Instalaciones o Navieras cercanas

TABLA 2.1.9.

CONSECUENCIA DE FALLA – DAÑO A INSTALACIONES O NAVIERAS CERCANAS

RANGO	DESCRIPCIÓN
3	Muy Riesgoso
2	Riesgoso
1	Despreciable

4) Daño a Ecosistema

TABLA 2.1.10.

CONSECUENCIA DE FALLA – DAÑO A ECOSISTEMA

RANGO	DESCRIPCIÓN
3	Perjudicial
2	Mediano
1	Despreciable

Consecuencia del Rango

TABLA 2.1.11.

CONSECUENCIA DEL RANGO

RANGO	DESCRIPCIÓN
Muy Alta	13 - 11
Alta	10 - 8
Moderada	7 - 5
Baja	4 - 2
Muy Baja	2 - 1

Establecido las fallas y sus posibles consecuencias, procedemos a evaluar el riesgo que tienen las pantallas de corroerse.

Probabilidad.-

- 1) **Cloruros.-** Debido al ambiente muy agresivo donde están instaladas las pantallas de protección, su vida en servicio (aprox. 20 años) y materiales/método de fabricación utilizados en la obra, se cree que el límite inaceptable de cloruros ha alcanzado 1 cm. de profundidad en la zona de secado y humedecimiento rápido, sin importar que se traten de caras externas, internas o laterales de las pantallas de protección. ∴ **Posible**



- 2) **Sulfatos.**- Similar al caso anterior, el agua de mar constituye un ambiente muy agresivo. Se cree que el contenido de sulfatos, en la pasta, ha alcanzado un valor menor al 80% del límite inaceptable. ∴ **Probable**
- 3) **Carbonatación.**- Asumiendo que tanto los materiales como el método de fabricación utilizado en la obra fueron basados en Normas, se cree que el frente carbonatado ha logrado penetrar 1 cm. ∴ **Posible**
- 4) **Lixiviación de Aguas Blandas.**- Para el presente caso, las aguas lluvias constituirían los únicos agentes externos capaces de causar lixiviación. ∴ **Posible**
- 5) **Selección del Sistema de Protección contra Agentes Externos.**- El sistema de protección contra la corrosión, utilizado en las pantallas de protección, son los inhibidores. Debido, a que no existe manera de monitorear la corrosión y, por ende, medir la efectividad del inhibidor utilizado, se cree que se trata de una selección mediocre del sistema de protección. ∴ **Posible**

∴ **Probabilidad del Rango: Posible**

Consecuencia.-

- 1) **Impacto en la Producción.-** Es improbable que ocurran fallas anticipadas en las pantallas de protección. ∴ 2
- 2) **Riesgo de Vidas Humanas.-** Se ha considerado como poco el riesgo que corren las personas. ∴ 1
- 3) **Daño a Instalaciones o Navieras cercanas.-** En caso de falla, los daños ocasionados a terceros podrían ser nefastos, la consecuencia se la considera riesgosa. ∴ 2
- 4) **Daño a Ecosistema.-** La reparación o falla de la estructura armada ocasionaría un daño despreciable al ecosistema. ∴ 1

∴ Consecuencia del Rango: 6 Moderado

Del cuadro 2.1.1., se concluye que el riesgo de todo el “rango” sería **Moderado**. Conociendo el riesgo al cual se exponen las pantallas de protección del Muelle de Espigón, se planifica una inspección tratando de obtener los suficientes datos que nos permitan poder evaluar el estado real de la estructura. Para nuestro caso y, conociendo que existen dos tipos de inspecciones, se cree que una **Inspección Preliminar** sería

**CIB - ESPOL**

suficiente. Para tomar ésta resolución también se ha considerado:

- 1) Vida en servicio del sistema de protección.
- 2) Materiales y Método de fabricación utilizados en las pantallas.
- 3) Historial de Inspecciones realizadas.
- 4) Número de Reparaciones al año y Tipo de Mantenimiento.
- 5) Visita previa: Inspección visual General de pantallas de protección.

Una vez seleccionado el tipo de inspección a llevar a cabo, se espera contar con datos necesarios para poder realizar un diagnóstico que permita conocer el estado real de las pantallas de protección. En caso de requerir más información para evaluar y emitir un diagnóstico de las pantallas, que permitan conocer el verdadero origen de la corrosión del refuerzo, en caso de evidenciárselo, se analizará el estudio de la factibilidad de una Inspección Detallada. Ahora estudiaremos los fundamentos de cada tipo de inspección para luego, con los datos obtenidos de los ensayos/mediciones en las pantallas de protección, reevaluar las probabilidades de fallas y reorientar el R.B.I.

2.1.1. Inspección Preliminar

La inspección preliminar se realiza normalmente para establecer la posible causa del deterioro y, para proveer información de la cual, una inspección detallada se puede llevar a cabo. En nuestro caso, podemos incluir los siguientes puntos:

- 1) Realización de Fichas de Antecedentes de las Estructuras (Pantallas) y del Agua de Mar.
- 2) Examen visual general de las pantallas.
- 3) Mediciones, ensayos y análisis físico-químicos en el hormigón o en la armadura.

Los puntos 1 y 2 son indispensables en la presente inspección, mientras que el punto 3 puede estar acompañado, típicamente, de ensayos de medición de profundidad de carbonatación y concentración de cloruros. Esto no impide que se puedan realizar otra clase de ensayos o mediciones en la armadura con la finalidad de establecer un diagnóstico de la estructura armada en algunos casos o, un pre-diagnóstico, en casos muy complejos.

El número total de elementos a ser sometidos a ensayos depende de la rigurosidad del caso. Para el nuestro, nos remitiremos a la Norma Civil ANSI/ASQC Z1.4⁽¹²⁾. Conociendo el número total de pantallas (42 pantallas laterales y 2 pantallas frontales curvas), el nivel de inspección a aplicar (I, II ó III) y el plan de muestreo a seguir (simple, doble ó múltiple), se procede a utilizar las tablas del Apéndice C y D, para seleccionar el tamaño de la muestra. Se seleccionó un nivel de inspección, de **muestreo simple – reducido** con un **nivel de inspección I**, cuya **letra código es C** (ver Apéndice C). Con la letra código, del Apéndice D, se escoge el tamaño de la muestra, el número aceptación y número de rechazo. El tamaño de la muestra será **3**.



CIB - ESPOL

Realización de Fichas de Antecedentes de la Estructura, del Agua de Mar y de la Atmósfera

En este punto se debe recoger la mayor información posible: edad de la armadura, puesta en servicio, materiales utilizados, compactación, composición del hormigón, fabricación, inicios de los problemas, reparaciones anteriores, inspecciones anteriores, etc.,

todo esto en cuanto a la **armadura**. En el Apéndice E, se resume los casos puestos a consideración.

En cuanto al **agua de mar y la atmósfera**, se requiere información que indique su agresividad. A continuación, se presenta un formulario en la tabla 2.1.12. con algunos de éstos aspectos.

TABLA 2.1.12.

FORMULARIO DEL AGUA DE MAR Y ATMÓSFERA ⁽¹⁰⁾

1. Propiedades Físicas y Químicas del Medio

Atmósfera	Agua
Humedad Ambiental: _____	Cloruros: _____
Temperatura: _____	Sulfatos: _____
Régimen de Vientos: _____	pH: _____
	Temperatura: _____
	Resistividad Eléct.: _____

2. Otros

Examen Visual General de la Estructura

En general, el deterioro por corrosión de las estructuras portuarias, se pueden dividir en tres etapas: a) la primera consiste en cambios en apariencia, tales como decoloración con defectos locales y manchas, b) la segunda afecta la textura y está marcada por grietas y c) la tercera se caracteriza por el desmoronamiento del hormigón.

Señales de pobre compactación del hormigón, manchas o decoloración, grietas o fisuras, desmoronamiento y erosión, debe ser observado y grabado por medio de un registro fotográfico. En las manchas de óxido: color, extensión y curso; en las fisuras: ubicación, dirección y dimensión; toda ésta información debe estar documentada.

La figura 2.1.2. y el Apéndice F (propuesta por la American Concrete Institute, ACI) presenta cómo puede realizarse la tipificación de los daños y una clasificación según los códigos.





FIGURA 2.1.2. LEYENDAS DE TIPIFICACIÓN DE DAÑOS ⁽¹⁰⁾

En el Apéndice G, presentamos la ficha para la inspección visual, puesta a consideración.

La inspección preliminar puede ser acompañada por los siguientes ensayos o mediciones, según se crea conveniente, para dar un diagnóstico más conciso y cabal, en este caso, de las pantallas de protección.

1) Profundidad de carbonatación.

- 2) Concentración de cloruros.
- 3) Concentración de sulfatos.
- 4) Ultrasonido.
- 5) Localización de las armaduras y medición de espesor de recubrimiento del hormigón.
- 6) Medición de potenciales electroquímicos.



CIB - ESPOL

2.1.2. Inspección Detallada

Usando la información de la inspección preliminar, un programa detallado basado en una inspección detallada puede ser llevado a cabo. Tal inspección, normalmente requiere entre un 10% y 20% ⁽¹⁴⁾ de los elementos que están en riesgo, sean seleccionados para la evaluación. Así, la inspección básicamente se compone de una **Planificación de Trabajo** y de la **Ejecución**.

Planificación de Trabajo

Con la información obtenida de la inspección preliminar, se procederá a implementar un plan de trabajo, que en general, se resume en la tabla 2.1.13.



TABLA 2.1.13.
PLANIFICACIÓN DE TRABAJO

CIB - ESPOL

Realización	Fichas y planos de levantamiento de daños.
	Plan de Muestreo de zonas.
	Tipificación de daños en tablas.
Selección	Ensayos, mediciones y análisis más convenientes.
	Zonas y el número de ensayos a ser efectuados.
Planificación	Materiales.
	Equipos.

Ejecución

Este punto comienza con una Inspección Visual de todos y cada uno de sus elementos, registrando las anomalías, tal y cual lo señala la ACI en la tipificación de daños. Este examen abarca la clasificación de las manchas de óxido (color, aspecto, orientación y extensión) y las causas posibles del ataque (corrosión uniforme o localizada).

Pueden elaborarse fichas para llevar un registro de los ensayos o mediciones realizadas tanto en el hormigón como en la armadura (pantallas de protección). Los ensayos a realizarse serán:

Agua de Mar:

- 1) Resistividad Eléctrica.
- 2) Concentración de Cloruros.
- 3) Concentración de Sulfatos.
- 4) Ensayo pH.

Hormigón:

- Resistividad Eléctrica.
- Ultrasonido.
- Densidad, Absorción y Porosidad.
- Profundidad de Carbonatación.
- Concentración de Cloruros.
- Concentración de Sulfatos.

Acero Embebido:

- 1) Ubicación y Localización de la Armadura.
- 2) Medición de la Velocidad de Corrosión.
- 3) Medición de Potenciales.

2.2. Análisis del Agua de Mar

2.2.1. Medición del pH, Salinidad y Densidad

A. Objetivos

- Determinación del nivel de pH, salinidad y densidad del Agua de Mar por medio de equipo pH-ímetro y refractómetro.

B. Definiciones

pH: Puesto que la concentración de H^+ en un solución acuosa suele ser muy pequeña, se puede expresar convenientemente en términos de pH. El pH se define como el logaritmo negativo en base 10 de la concentración molar de iones de hidrógeno.

$$pH = - \log [H^+]$$

Salinidad: Se denomina como tal a la cantidad de sales disueltas en el agua de mar. La salinidad puede ser calculada a partir de la concentración de cloruros del agua por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Salinidad} = 0.03 + (1.805 \times Cl^-)$$

Las unidades pueden ser en gr/ml o ppm.



CIB - ESPOL

Densidad: Íntimamente ligada a la concentración de cloruros del agua de mar, es una propiedad muy importante que puede variar por la temperatura.

C. Equipos

Con Respecto al nivel de pH.

- pH-meter, Accumet 950, con su respectivo electrodo de referencia (ver figura 2.2.1).
- Vasos de precipitación de 250 ml para las muestras.
- Vaso de precipitación de 250 ml para el agua destilada.



FIGURA 2.2.1. pH – meter, ACCUMET 950

Con Respecto a Salinidad y Densidad.

- Refractómetro manual: Salt Refractometer con escala de 0 a 100 ppm (ver figura 2.2.2).
- Vasos de precipitación para las muestras (ver figura 2.2.2).



FIGURA 2.2.2. SALT REFRACTOMETER

D. Materiales

Con Respecto al nivel de pH, Salinidad y Densidad.

- 5 Muestras de agua de mar, de 1 litro cada una, seleccionadas de la siguiente manera: 1) 3 muestras de 1 litro a un nivel de marea baja y a una temperatura de 20°C y, 2) 2 muestras de 1

litro a un nivel de marea alta y a una temperatura de 20°C.

- Agua destilada para calibrar el electrodo de referencia del pH-meter y el refractómetro.

E. Procedimiento

Con Respecto al nivel de pH.

- 1) Encendido y calibración del equipo con agua destilada.
- 2) Se toma 50 ml de muestra de agua de mar, en un vaso de precipitación, se introduce el electrodo de referencia en la muestra, y en pantalla se lee el valor de pH de la misma. Una vez estabilizado el valor pH, se registra en tabla (ver figura 2.2.1).



CIB - ESPOL

Con Respecto a Salinidad y Densidad.

- 1) El refractómetro consta de una escala graduada interior, en donde se leen los valores de salinidad en unidades de gr/ml y los valores de densidad relativa.
- 2) Con una gota de agua destilada, se procede a calibrar el equipo.

- 3) Luego, se limpia y se coloca una gota de muestra y se registra el valor de las dos escalas.

F. Criterios de Evaluación

El rango normal del valor del pH varía entre 8.1 – 8.3⁽¹³⁾. La temperatura tiende a variar el pH del agua de mar, por ejemplo, una elevación de la temperatura se traduce en una disminución del pH. La presencia de la bacteria reductora de sulfato tiende a hacer el agua ácida llevándola a valores de pH menores de 7⁽¹³⁾.

G. Resultados

Los resultados obtenidos serán presentados en las tablas 2.2.1. y 2.2.2.

TABLA 2.2.1.

RESULTADOS DEL NIVEL DE pH DEL AGUA DE MAR

INSPECCIÓN TÉCNICA			
Fecha: 20-05-03			
Temp. Promedio Amb.: 27°C			
No. Muestras	Nivel de Marea	pH	Promedio
1	MB	8.064	7.955
2	MB	7.950	
3	MB	7.852	
4	MA	7.146	7.170
5	MA	7.194	
PROMEDIO TOTAL			7.641



CIB - ESPOL

TABLA 2.2.2.

RESULTADOS DE SALINIDAD Y DENSIDAD DEL AGUA DE MAR

INSPECCIÓN TÉCNICA			
Fecha: 20-05-03			
Temp. Promedio Amb.: 27°C			
No. Muestras	Nivel de Marea	Salinidad gr/ml	Densidad Kg/m ³
1	MB	30.00	1020.00
2	MB	29.90	1019.00
3	MB	29.80	1018.00
4	MA	30.00	1020.00
5	MA	29.90	1019.00
PROMEDIO		29.92	1019.20

2.2.2. Resistividad Eléctrica

A. Objetivos

Mediante la técnica de resistencias eléctricas, determinar la resistividad eléctrica del agua de mar. De esta forma, se puede cuantificar el nivel de agresividad de este medio electrolítico.

B. Definiciones

La resistividad eléctrica es una propiedad que nos permite determinar la agresividad del electrolito. Generalmente cuando nos referimos al suelo o agua, sus unidades vienen dadas en Ohm – cm u Ohm – m.

C. Equipos

- Equipo Vibroground, modelo 293 (ver figura 2.2.3).
- Caja de Prueba, MC Miller Soil Box (ver figura 2.2.3).
- Conectores eléctricos (ver figura 2.2.3).

D. Materiales

- 3 muestras de agua de mar de ½ litro, a temperatura de 20°C.

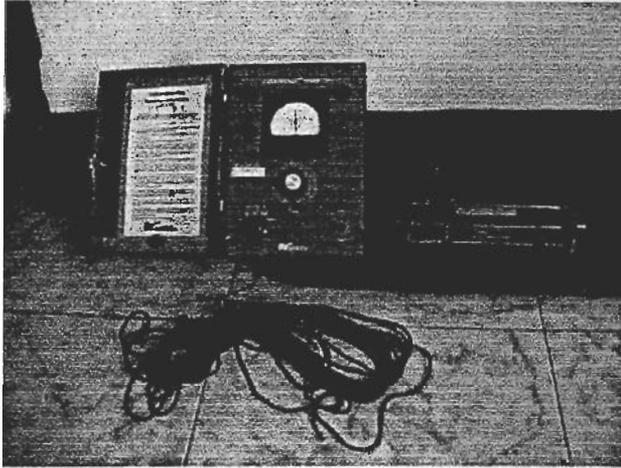


FIGURA 2.2.3. EQUIPO VIBROGROUND, CAJA DE PRUEBA Y CONECTORES ELÉCTRICOS

E. Procedimiento

- 1) Se realizan las respectivas conexiones de los conductores eléctricos, en la caja de prueba y en el equipo Vibroground.
- 2) Luego, se procede a medir la resistividad del agua de mar, manteniendo presionado el botón de test, del equipo vibroground, y calibrando la perilla giratoria hasta que la aguja marque el cero de referencia.
- 3) Posteriormente se anota el valor alcanzado, tomando en cuenta el factor o escala actual.

- 4) Finalmente se aplica la siguiente fórmula para valorar la resistividad.

$$\Rightarrow \rho = R \cdot W \cdot D / L \text{ (Ohm - cm)}^{(10)}$$

donde:

W: Distancia en cm del ancho de la sección transversal de la caja de prueba.

D: Altura en cm de la sección transversal de la caja.

L: Distancia en cm de la separación entre pines transversales.

F. Resultados

Los resultados se enlistan en la tabla 2.2.3.

TABLA 2.2.3.

RESULTADOS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA DE MAR

INSPECCIÓN TÉCNICA		
Fecha: 20-06-03		
Temp. Promedio: 28°C		
No. Muestras	R (Ohm)	ρ (Ohm - cm)
1	100.30	51.35
2	100.27	51.34
3	100.32	51.36
PROMEDIO TOTAL		51.35

2.2.3. Concentración de Cloruros (Cl⁻)

A. Objetivos

- Determinación del porcentaje de cloruros (Cl⁻) presentes en el agua de mar, de manera que se cuantifique y califique la agresividad de ésta sobre el hormigón.

B. Definiciones

El agua de mar contiene, entre otros componentes, iones cloruro que determinan el nivel de ataque sobre determinado material, y en este caso, sobre el hormigón. Dependiendo de cantidad de iones cloruro presentes en el agua de mar, nos podemos formar un perfil más claro de la agresividad al cual está expuesto el hormigón armado.

C. Equipos

- Vasos Erlenmeyer de 250 ml.
- Bureta graduada de 50 ml y soporte universal.
- Pipetas volumétricas de 50 ml para las muestras de agua de mar.
- Pipeta graduada de 50 ml.



D. Materiales

- Titulador de Nitrato de Plata (AgNO_3), 0.00976 N.
- Indicador de Cromato de Potasio (K_2CrO_4) en solución al 5% P/V.
- 5 muestras de agua de mar del ensayo 2.2.1.
- Agua Destilada, 70 ml.

E. Procedimiento

- 1) En una pipeta volumétrica, se toma $\frac{1}{2}$ ml de volumen alícuota de cada muestra, depositándolos en los vasos Erlenmeyer de 250 ml.
- 2) Con ayuda de la pipeta graduada, se toma un volumen de 50 ml de agua destilada. Se adiciona el agua destilada al $\frac{1}{2}$ ml de muestra de manera que formemos una solución estable de 50 ml (El agua destilada al estar libre de aniones y cationes no interfiere en la solución – ver figura 2.2.4).

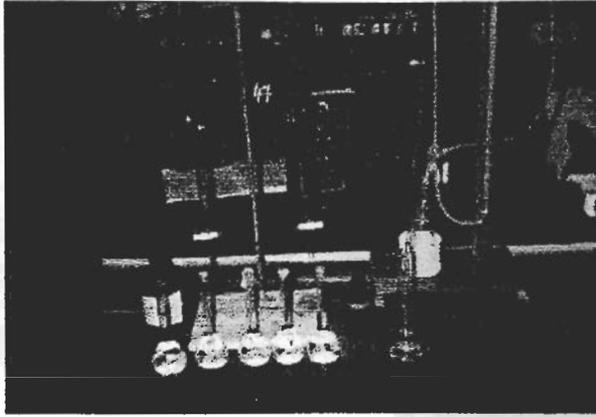


FIGURA 2.2.4. SOLUCIÓN ESTABLE DE 50 ml, LISTA PARA TITULACIÓN, PARA ENSAYO DE Cl^-

- 3) Se agregan 3 gotas del indicador de Cromato de Potasio (K_2CrO_4 , al 5% P/V), agitando la solución. En este punto la solución toma una coloración blanca.



CIB - ESPOL



- 4) Montada la bureta en su soporte universal, con 50 ml del titulador de Nitrato de Plata (AgNO_3 , 0.00976 N), se empieza a titular paulatinamente la solución hasta que ésta tome un color pardo rojizo, agitando mecánicamente (ver figura 2.2.5).

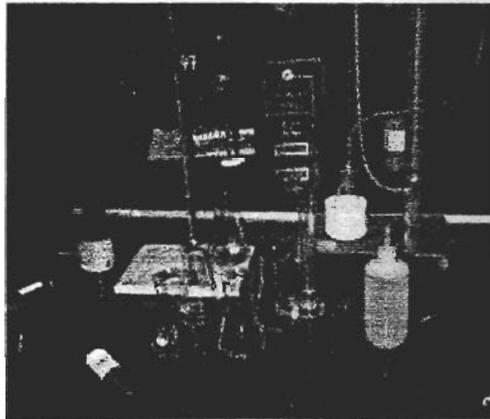
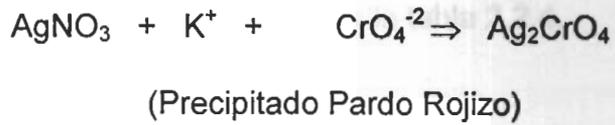


FIGURA No. 2.2.5. SOLUCIÓN REACCIONANDO CON EL NITRATO DE PLATA. SE OBSERVA COLORACIÓN PARDO ROJIZO

- 5) Se anotan los consumos del Nitrato de Plata (AgNO_3 , 0.00976 N) para realizar los cálculos pertinentes mediante la fórmula:

$$\frac{\text{Consumo } \text{AgNO}_3 \times \text{N} (\text{AgNO}_3) \times \text{Meq. Cl}^- \times 1000}{\text{Volumen de la muestra (ml)}}$$

Dando como resultado:

gr / l de Cl^-

F. Resultados

Se presentan los resultados en la tabla 2.2.4.

TABLA 2.2.4.

RESULTADOS DEL ENSAYO DE CLORUROS EN AGUA DE MAR

INSPECCIÓN TÉCNICA				
Fecha: 20-05-03				
Temp. Promedio: 29°C				
No. Muestras	Nivel de Marea	Proporción de Cl ⁻		Promedio ppm
		gr/l	ppm	
1	MB	14.9469	14946.85	14600.90
2	MB	14.6009	14608.60	
3	MB	14.2549	14254.87	
4	MA	14.2549	14254.87	14185.70
5	MA	14.1165	14116.47	
PROMEDIO TOTAL				14393.30



CIB - ESPOL

2.2.4. Concentración de Sulfatos (SO_4^{-2})

A. Objetivos

- Determinación, por medio de métodos Gravimétricos, el contenido de sulfatos (SO_4^{-2}) presentes en el agua de mar, de manera que, se pueda clasificar el medio que rodea el hormigón en función de su agresividad.

B. Definiciones

Los iones sulfato constituyen un componente más del agua de mar y suelos que determinan la agresividad de éstos sobre diferentes materiales como el acero, cobre, etc, y en este caso, sobre las pantallas de hormigón.

C. Equipos

- Balanza electrónica de alta precisión (ver figura 2.2.6).
- Reverbero para calentar las muestras.
- Pipetas volumétricas de 25 ml.
- Vasos de Precipitación de 250 ml.
- Crisoles para calcinación.
- Mechero Bunsen.

- Embudos de cristal.
- Desecador.
- Vasos Erlenmeyer de 250 ml.



CIB - ESPOL

FIGURA 2.2.6. BALANZA ELECTRÓNICA – PESAJE DE MUESTRAS DE SULFATO CALCINADOS

D. Materiales

- Papel filtro de poros estrechos, grado 391.
- Agua destilada.
- Cloruro de Bario al 10% ($BaCl_2$).
- 5 Muestras de agua de mar de 25 ml cada una (tomadas del ensayo 2.2.1.).

E. Procedimiento

- 1) Tomamos un volumen alícuota de la muestra de 25 ml, con ayuda de las pipetas volumétricas, y se los deposita en los vasos Erlenmeyer.
- 2) Las muestras en los vasos se calientan en el reverbero, hasta que la temperatura sea de 70°C.
- 3) Luego se agregan 10 ml de cloruro de bario al 10% ($BaCl_2$), continuándose la ebullición. Momento seguido se forma un precipitado de coloración blanca (ver figura 2.2.7), mediante ecuación:

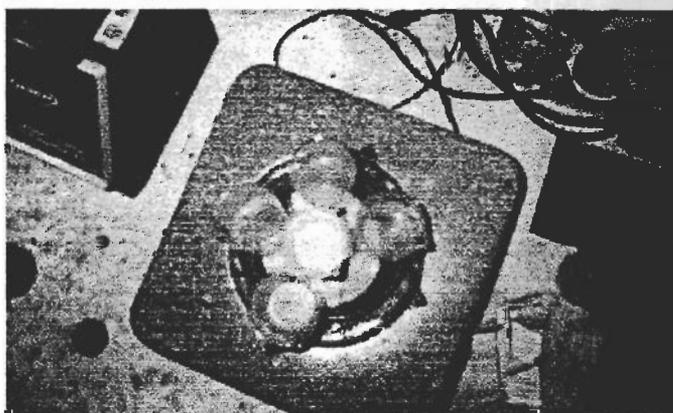


FIGURA 2.2.7. REACCIÓN DEL CLORURO DE BARIO CON LA SOLUCIÓN. SE OBSERVA EL PRECIPITADO BLANCO

- 4) Se continua la ebullición por unos 10 minutos más, de manera que se compruebe la precipitación total. Luego, se deja en reposo la solución durante 20 minutos.
- 5) Previamente colocado papel filtro de poros estrechos en los embudos de cristal, se procede a filtrar la solución (ver figura 2.2.8). En este punto se debe lavar bien con agua destilada hasta eliminar los cloruros presentes por el exceso de cloruro de bario. El proceso de escurrimiento en sí, debe durar entre 13 – 15 horas.



FIGURA 2.2.8. PROCESO DE FILTRADO DE SULFATOS DE LA SOLUCIÓN

- 6) El precipitado blanco retenido en el papel filtro, se coloca en un crisol (lavado, calcinado y pesado), para con ayuda del mechero Bunsen, proceder a calcinar hasta que en el crisol únicamente se encuentren sulfatos. Si existiese cenizas en el crisol, evidencia de cloruros presentes, se calcina hasta que desaparezca totalmente dicho residuo.
- 7) Terminado el proceso de calcinación, el crisol con el contenido de sulfato, se deja enfriar en un desecador. Enfriada la muestra, se pesa en la balanza electrónica, donde la diferencia de peso entre el crisol vacío y el crisol con la muestra, es el contenido de sulfato de bario. Para obtener el peso en sulfato se multiplica por un factor de 0.4116.



CIB - ESPOL

$$\left(\frac{SO_4}{BaSO_4} \right) \Rightarrow \left(\frac{96}{96+137} \right) \Rightarrow \text{Factor}(0.4116)$$

Donde:

$$S = 32; O = 16; Ba = 137$$

Finalmente obtenemos el contenido de sulfatos de la muestra de agua de mar mediante la siguiente fórmula:

$$SO_4^{-2} = \left(\frac{DfxFx1000}{ml \cdot muestra} \right)$$

Donde:

F = Factor 0.4116.

Df = Diferencia en peso del crisol vacío y el crisol con muestra calcinada.

F. Criterios de Evaluación

Los criterios de evaluación se presentan en la tabla 2.2.5.

TABLA 2.2.5.

PARÁMETROS DE AGRESIVIDAD DEL AGUA DE MAR (DIN 4030) ⁽⁸⁾

TIPO DE MEDIO	PARÁMETROS	TIPO DE EXPOSICIÓN		
		Qa	Qb	Qc
AGRESIVO		Ataque Débil	Ataque Medio	Ataque Fuerte
Agua	Valor del pH	6.5 - 5.5	5.5 - 4.5	< 4.5
	CO ₂ Agresivo mg/l	15 - 40	40 - 100	> 100
	Ión Amonio (NH ⁺⁴) mg/l	15 - 30	30 - 60	> 60
	Ión Magnesio (Mg ⁺²) mg/l	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
	Ión Sulfato (SO ₄ ⁻²) mg/l	200 - 600	600 - 3000	> 3000

Nota: Estas condiciones no se dan en la práctica

G. Resultados

TABLA 2.2.6.

RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE SULFATOS DEL AGUA DE MAR

INSPECCIÓN TÉCNICA			
Fecha: 20-05-03			
No. Muestras	Nivel de Marea	Proporción de SO_4^{-2}	
		gr/l	ppm
1	MB	2.3297	2329.66
2	MB	2.4367	2436.67
3	MB	2.5322	2532.16
4	MA	2.4202	2420.21
5	MA	2.6770	2677.05
PROMEDIO TOTAL (ppm o mg/l)			2479.15



CIB - ESPOL

2.3. Análisis Físico-Químico del Hormigón

2.3.1. Ultrasonido (ASTM C 597)⁽²⁾



CIB - ESPOL

A. Objetivos

- Determinación de la homogeneidad y calidad del hormigón. También, se determinará la profundidad de fisuras, en caso de evidenciarse.

B. Definiciones

Velocidad de Pulso.- La velocidad de pulso ultrasónico es la relación que existe entre la distancia de viaje a través del hormigón de una onda ultrasónica y el tiempo que tarda en recorrerla.

C. Equipos

- Equipo de Medición Ultrasónico TICO: Rango de Medición 15 a 6550 μs , Voltaje de pulso 1 kV, Rango de Temperatura -10° a $+60^{\circ}$ C (cumple requerimientos mínimos exigidos por la Norma – ver figura 2.3.1).
- Transductores de 54kHz, longitud 1.5 m (ver figura 2.3.1).

- Pasta (Grasa).
- Cámara Digital.
- Equipo de limpieza mecánica: Brochas, cinceles, picas, etc.
- Flexómetro.

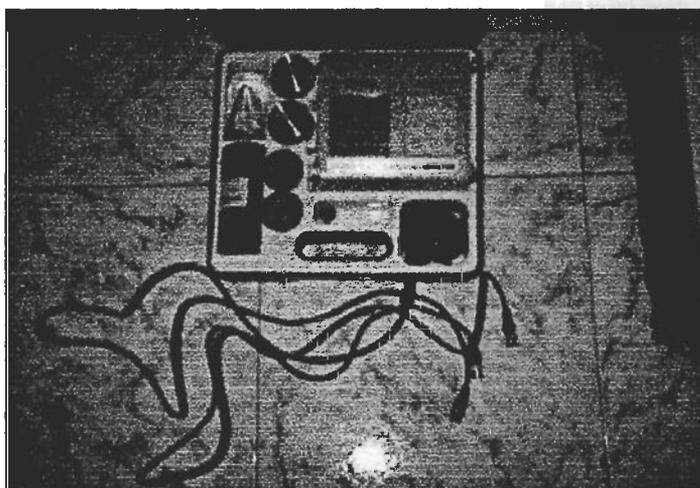


FIGURA 2.3.1. EQUIPO COMPLETO DE U.T., CONSTAN: EQUIPO, TRANSDUCTORES, CABLES, PASTA Y BLOQUE DE CALIBRACIÓN

D. Procedimiento

- 1) Se seleccionan las áreas: Preferentemente áreas donde la concentración de las armaduras en el sentido longitudinal sean las menores, debido a que la velocidad de propagación de la onda es mayor en el acero. Adicionalmente se medirán

profundidad de fisuras e en caso de ser evidenciadas.

2) Calibrar el equipo para el respectivo ensayo.

Existen tres maneras de obtener el valor deseado

(ver figura 2.3.2):

- **Transmisión Directa:** Con los transductores colocados de manera opuesta.
- **Transmisión Semi-indirecta:** Con los transductores colocados sobre caras perpendiculares del hormigón.
- **Transmisión Indirecta:** Con transductores colocados sobre una misma superficie.

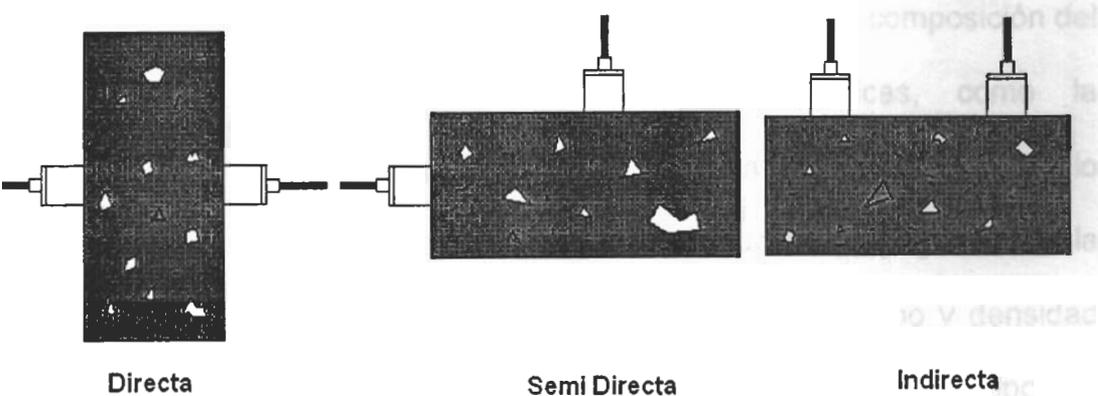


FIGURA 2.3.2. TIPOS DE MEDICIÓN DE U.T. EN EL HORMIGÓN

Es importante recalcar la frecuencia de los transductores, según la normativa, debe

comprender el rango entre 50 – 100 kHz. Para poder realizar la medición, se introduce el valor de la longitud de separación de los transductores con $\pm 1\%$ de error.

- 3) Se realiza una limpieza mecánica de la zona de interés. La zona de interés debe estar limpia, plana y libre de suciedad, que pueda perturbar el correcto funcionamiento del equipo.
- 4) Por último se anotan los valores obtenidos en tablas (ver Apéndice I).



CIB - ESPOL

E. Criterios de Evaluación

Existen varias maneras de evaluar la composición del hormigón. Herramientas estadísticas, como la desviación estándar, pueden ser utilizadas, para lo cual factores como el sentido de propagación de la onda, distancia entre transductores, tipo y densidad de los agregados, edad del hormigón, tipo de cemento y grado de hidratación, deben ser considerados. Son muchos los criterios de evaluación, pero el que se ha considerado es el siguiente:

TABLA 2.3.1.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL HORMIGÓN EN U.T.⁽¹⁰⁾

Velocidad de Propagación (m/s)	Calidad Del Hormigón	Resistencia Del Hormigón A la edad del Ensayo	Durabilidad del Hormigón
< 2000	Deficiente	> 45 MPa	Durables
2001 - 3000	Normal		
3001 - 4000	Alto	< 20 MPa	Baja Durabilidad
> 4000	Durable		

F. Resultados

Los resultados se presentan en la tabla 2.3.2.

TABLA 2.3.2.

RESULTADOS DE ENSAYO U.T. EN EL HORMIGÓN

INSPECCIÓN TÉCNICA							
Fecha de Inspección: (21-23)/06/03							
Temp. Amb.: 29°C				HR > 70 %			
Dimensiones: 4300 x 1800 x 700							
No. Ensayo	Cota MSNR	L (mm)	t (μs)	V (m/s)	σk (N/mm ²) (MPa)	Observaciones	
						Calidad del Hormigón	Durabilidad del Hormigón
PANTALLA No. 20 - LADO SUR							
CARA LATERAL DERECHA							
1	2.100	710	150.6	4710		Durable	
2	1.200	710	153.8	4620	36.9	Durable	Alta
CARA LATERAL IZQUIERDA							
1	2.100	710	199.0	3570		Alto	
2	2.100	710	156.1	4550	35.4	Durable	Alta
3	1.200	710	155.0	4581		Durable	
CARA SUPERIOR							
1	4.300	1770	512.0	3460		Alto	
2	4.300	1770	493.0	3590		Alto	
3	4.300	1770	450.0	3930	14.3	Alto	Baja
PANTALLA CURVA FRONTAL IZQUIERDA - LADO OESTE							
CARA LATERAL DERECHA							
1	2.100	710	156.0	4551		Durable	
2	1.200	710	155.8	4560	35.6	Durable	Alta
CARA LATERAL IZQUIERDA							
1	2.100	710	157.0	4522		Durable	
2	1.200	710	159.9	4440	32.7	Durable	Alta



CIB - ESPOL

Continuación tabla 2.3.2.....

INSPECCIÓN TÉCNICA							
Fecha de Inspección: (21-23)/06/03							
Temp. Amb.: 29°C				HR > 70 %			
Dimensiones: 4300 x 1800 x 700							
No. Ensayo	Cota MSNR	L (mm)	t (μs)	V (m/s)	σk (N/mm ²) (MPa)	Observaciones	
						Calidad del Hormigón	Durabilidad del Hormigón
CARA SUPERIOR							
1	4.300	300*	142.8	2100		Normal	
2	4.300	300*	124.8	2400		Normal	
3	4.300	300*	115.7	2590		Normal	
PANTALLA No. 4 - LADO NORTE							
CARA LATERAL DERECHA							
1	2.100	710	155.0	4581		Durable	
2	1.200	710	154.5	4600	36.5	Durable	Alta
CARA LATERAL IZQUIERDA							
1	2.100	710	160.0	4438	32.4	Durable	
2	1.200	710	159.0	4465		Durable	
CARA SUPERIOR							
1	4.300	1810	723.0	2500		Normal	
2	4.300	1810	462.0	3920	13.8	Alto	Baja
3	4.300	1810	518.0	3490		Alto	
PANTALLA No. 5 - LADO SUR							
CARA LATERAL DERECHA							
1	2.100	710	163.0	4356		Durable	
2	1.200	710	155.8	4560	35.6	Durable	Alta

Continuación tabla 2.3.2.....

INSPECCIÓN TÉCNICA							
Fecha de Inspección: (21-23)/06/03							
Temp. Amb.: 29°C				HR > 70 %			
Dimensiones: 4300 x 1800 x 700							
No. Ensayo	Cota MSNR	L (mm)	t (μs)	V (m/s)	σ _k (N/mm ²) (MPa)	Observaciones	
						Calidad del Hormigón	Durabilidad del Hormigón
CARA LATERAL IZQUIERDA							
1	2.100	710	172.0	4128		Durable	
2	1.200	710	162.0	4383		Durable	
CARA SUPERIOR							
1	4.300	1800	888.0	2030		Normal	
2	4.300	1800	826.0	2180		Normal	
PANTALLA No. 1 - LADO NORTE							
CARA SUPERIOR							
1	4.300	300*	116	2600		Normal	
2	4.300	300*	130	2310		Normal	

Nota: * Medición Indirecta

Donde:

L: Distancia entre transductores en mm.

t: Tiempo de vuelo de la onda entre los transductores en μs.

V: Velocidad de la onda en el hormigón en m/s.

σ_k: Resistencia del hormigón en N/mm² ó MPa.

2.3.2. Profundidad de Carbonatación

A. Objetivos

- Determinar el avance de la carbonatación en el hormigón, por el método de vía húmeda, con solución indicador ácido – base.

B. Definiciones

La carbonatación es la reducción de la alcalinidad normal del hormigón (pH entre 12 – 14), por efecto del CO_2 , que se difunde desde el ambiente que lo rodea.

C. Equipos

- Equipos para extracción de muestras: piquetas, taladros, martillo, cincel, etc.
- Spray pulverizador.
- Equipos de medición: Verniers, escalas milimétricas.
- Cámara Digital.

D. Materiales

- Solución indicadora ácido – base: fenolftaleína en 1% de solución en alcohol etílico.

E. Procedimiento

- 1) Selección de las áreas para el ensayo:
Preferentemente áreas que evidencien signos de corrosión: manchas de óxido, fisuras, y desde luego, concreto en buen estado.
- 2) Toma de testigos/probetas: Se extrae una porción de concreto la, cual no podrá excederse a 15 minutos de tiempo de exposición. En caso que no se pueda extraer un testigo o porción, se procederá a taladrar una o varias veces, mecánicamente, hasta la profundidad de interés (ver figura 2.3.3).



CIB - ESPOL



**FIGURA 2.3.3. EXTRACCIÓN DE HORMIGÓN EN PANTALLA No. 20,
LADO SUR, COTA + 2.400 MSNR, CARA INTERIOR**

- 3) Determinación de la profundidad de carbonatación: Se aplica la solución de fenolftaleína, en la porción o testigo, y antes de transcurridos 15 minutos, se procede a medir la zona incolora desde la superficie, determinándose los valores máximos/mínimos del frente incoloro. El procedimiento no debe excederse de 20 minutos (ver figura 2.3.4).



**FIGURA 2.3.4. PRUEBA CON FENOLFTALEÍNA EN PANTALLA No. 20,
LADO SUR, COTA + 2.400 MSNR, CARA INTERIOR**

- 4) Llevar un registro preciso de la ubicación de las probetas/testigos, tonalidad visualizada y

profundidad de carbonatación medida. Un registro fotográfico es necesario (ver Apéndice J).

F. Criterios de Evaluación

Nivel de pH.- En la tabla 2.3.3, exponemos el grado de valorización de la fenolftaleína en contacto con el hormigón.

TABLA 2.3.3.

CRITERIO DE EVALUACIÓN DEL ENSAYO DE CARBONATACIÓN ⁽¹⁰⁾

COLORACIÓN	INDICATIVO
Incoloro	pH < 8.2
Rosado a rojo púrpura	8.2 < pH < 9.8
Rojo púrpura	pH > 9.8

En este punto se considera que la película protectora se despasiva del acero cuando el pH que rodea la armadura tiene valores de menores a 9.5, mientras que otros autores señalan que el valor de pH para la despasivación debe ser menor a 9.

Cálculo de la velocidad de carbonatación.- En los capítulos anteriores, se demostró que con un modelo matemático muy sencillo, es posible predecir la velocidad de carbonatación del hormigón armado.



CIB - ESPOL

$$X_{CO_2} = K_{CO_2} \sqrt{t} \quad (10)$$

Donde:

X_{CO_2} : Profundidad de carbonatación, mm.

K_{CO_2} : Constante de carbonatación, mm / año^{0.5}

t_0 : Tiempo en años.

Despejando K_{CO_2} se tiene que el tiempo en el cual la carbonatación alcanzará la armadura será:

$$t = \left(\frac{e_c}{K_{CO_2}} \right)^2$$

Donde:

e_c : Espesor de concreto donde se ubica la armadura.

K_{CO_2} : Constante de carbonatación, mm / año^{0.5}

t : Tiempo en el cual el frente carbonatado llega a la armadura.

G. Resultados

Los resultados se enlistan en la tabla 2.3.4 y 2.3.5, tanto del ensayo de carbonatación en sí, como del cálculo de la velocidad del mismo.

TABLA 2.3.4.

RESULTADOS DEL ENSAYO DE CARBONATACIÓN

INSPECCIÓN TÉCNICA					
Fecha de Inspección: (1-23)/07/03					
Temp.Amb.: 29°C				HR > 70 %	
Dimensiones: 4300 x 1800 x 700					
No. Ensayo	Prof. (mm)	Cota MSNR	Coloración Observada	pH	Observación
PANTALLA No. 20 - LADO SUR, PANTALLA No.4 - LADO NORTE, PANTALLA CURVA FRONTAL IZQUIERDA - LADO OESTE					
CARA INTERIOR					
1	0-7	2.400	Rosado a rojo púrpura	9.0 - 8.2	Existe carbonato CO ₃ , Nada de CO ₂ libre, Nada de alcalinidad caústica OH ⁻ .
2	8-30	2.400	Rojo Púrpura	> 9.8	Nada de Bicarbonato HCO ₃ , Nada de Dióxido de Carbono CO ₂ .
3	31-60	2.400	Rojo Púrpura	> 9.8	Nada de Bicarbonato HCO ₃ , Nada de Dióxido de Carbono CO ₂ .
CARA FRONTAL					
1	0-7	1.200	Rosado a rojo púrpura	9.0 - 8.2	Existe carbonato CO ₃ , Nada de CO ₂ libre, Nada de alcalinidad caústica OH ⁻ .

Continuación tabla 2.3.4.....

No. Ensayo	Prof. (mm)	Cota MSNR	Coloración Observada	pH	Observación
2	8-30	1.200	Rojo Púrpura	> 9.8	Nada de Bicarbonato HCO_3 , Nada de Dióxido de Carbono CO_2 .
3	31-60	1.200	Rojo Púrpura	> 9.8	Nada de Bicarbonato HCO_3 , Nada de Dióxido de Carbono CO_2 .

TABLA 2.3.5.

RESULTADOS DE LA VELOCIDAD DE CARBONATACIÓN

Espesor Carbonatado X (mm)	Tiempo de Carbonatación t (años)	Constante de Carbonatación K (mm/año ^{0.5})	Espesor de Recubrimiento Armadura (mm)	Tiempo de Carbonat. Armadura (años).
7	19	1.60591	10	38.78
<p style="text-align: center;">PREDICCIÓN DE CARBONATACIÓN EN EL TIEMPO</p>			20	155.10
			30	348.98
			40	620.41
			50	969.39
			60	1395.92
			70	1900.00
			80	2481.63

2.3.3. Concentración de Cloruros (Cl⁻)

A. Objetivos

El objetivo de este ensayo es determinar la concentración de los cloruros libres, presentes en la masa de hormigón, a diferentes niveles de profundidad. Para lograr este objetivo, utilizaremos el método volumétrico de Morh.

B. Definiciones

Los cloruros libres son los solubles en agua, y éstos son los que afectan diferentes fases o compuestos de la pasta de cemento, de los cuales el principal es el aluminato tricálcico.

C. Equipos

- Vasos Erlenmeyer de 250 ml.
- Bureta graduada de 50 ml y soporte universal.
- Pipetas volumétricas de 50 ml para las muestras.
- Pipeta graduada de 50 ml.
- Trituradora de quijada.
- Tamiz No. 20 y 30.

D. Materiales

- Muestras de hormigón en polvo 10 – 20 gr.
- Agua destilada.
- Papel filtro (porosidad media).
- Cromato de Potasio (K_2CrO_4) al 5%.
- Nitrato de Plata ($AgNO_3$, 0.014N).
- Fundas herméticas.
- Waipe.

E. Procedimiento (ASTM C 1411)⁽²⁾

- 1) Selección de las áreas para el ensayo:
Preferentemente áreas que evidencien signos de corrosión: manchas de óxido, fisuras, y desde luego, concreto en buen estado.
- 2) Se extrae las muestras, con la ayuda de un martillo y cincel o un taladro. Las perforaciones avanzan gradualmente hasta alcanzar la armadura o hasta alcanzar una profundidad de interés. El avance entre perforaciones puede ser, dependiendo de la profundidad deseada, de 1 cm. a 3.2 cm. El total en peso del polvo o testigo debe ser de 10 - 20 gr.

- 3) Cada porción de polvo o testigo extraído, se almacena en fundas herméticas con todos los datos pertinentes: ubicación, fecha, etc., para posterior traslado a laboratorio. Es importante señalar, que cada vez que se realiza una perforación, se deberá limpiar el agujero con cualquier herramienta que evite la contaminación entre muestras extraídas. Si se utiliza un taladro, no usar lubricantes durante el taladrado (ver figura 2.3.5).



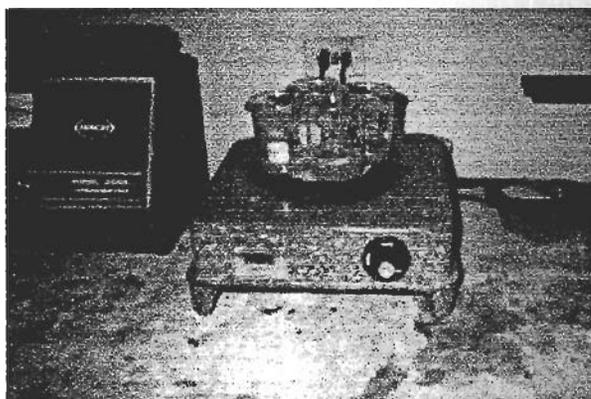
FIGURA 2.3.5. EXTRACCIÓN DE HORMIGÓN PARA ENSAYO EN PANTALLA No. 4, LADO SUR, COTA + 0.900 MSNR, CARAS INTERIORES DERECHA E IZQUIERDA

- 4) Una vez las muestras en laboratorio, previamente trituradas, cada muestra de 10 o 20 gramos, se las pasa por tamices No. 20 y No. 30., totalmente secas.
- 5) Luego, se toma una porción de 2 gr. pesados con una aproximación de 1 mg.
- 6) Se agrega unos 50 ml. de agua destilada en un vaso Erlenmeyer de 150 ml. Luego, se calienta en la estufa durante aproximadamente una hora, agitando manualmente hasta disolver la muestra lo más posible (ver figura 2.3.6).
- 7) Remítase al paso No. 3, 4 y 5, del procedimiento E, del Ensayo 2.2.3., Concentración de Cloruros. La concentración de cloruros en el hormigón se calcula por:

$$\frac{\text{Consumo } AgNO_3 \times N (AgNO_3) \times \text{Meq. } Cl^- \times 100}{\text{Peso Alícuota de muestra (gr)}}$$

Dando como resultado:

% Cl^- en peso de cemento



CIB - ESPOL

FIGURA 2.3.6. SOLUCIÓN DE HORMIGÓN CON AGUA DESTILADA EN ESTUFA

F. Criterios de Evaluación

Los criterios de evaluación se presentan en la tabla 2.3.6.

TABLA 2.3.6.

ESPECIFICACIONES DE CLORUROS PARA CEMENTOS – UNE 2001 ⁽⁴⁾

Normas	Cementos	Especificaciones Químicas
		(1) Cl ⁻ *
UNE 80303-1:2001	CEM I CFM III	≤0.1 %
UNE 80303-2:2001	CEM I CEM II CEM IV CEM V	
UNE 80303-3:2001	CEM III	
UNE 80305:2001	CEM III	
UNE 80307:2001	CFM IV	

Cl⁻ = Cloruros. Porcentajes en masa del cemento final.

Nota:

- 1) El cemento tipo CEM III puede contener más de 0.10 % de cloruros, consignándolo en envases y albaranes. Para hormigón pretensado el límite puede ser más bajo, consignándolo en los albaranes de entrega.

G. Resultados

Los resultados del ensayo de las pantallas constan en la tabla 2.3.7.

TABLA 2.3.7.

RESULTADOS DE ENSAYO DE Cl^- EN EL HORMIGÓN

INSPECCIÓN TÉCNICA				
Fecha de Inspección: (01-20)/07/03				
Temp. Amb.: 29°C		HR > 70 %		
Dimensiones: 4300 x 1800 x 700				
No. Muestra	Prof. (cm)	Cota MSNR	Conc. de Cl^- (% / cem)	Observaciones Porcentaje < 0.1% ?
PANTALLA No. 20 - LADO SUR				
CARA INTERIOR				
1	0.0-1.0	2.400	0.69514	NO
2	1.0-3.0	2.400	0.18567	NO
3	3.0-6.5	2.400	0.03413	SI
4	0.0-1.0	1.200	0.75777	NO
5	1.0-3.0	1.200	0.33258	NO
6	3.0-6.5	1.200	0.10777	NO
CARA FRONTAL				
1	0.0-1.0	1.200	0.82024	NO
2	1.0-3.0	1.200	0.42357	NO
3	3.0-6.5	1.200	0.18564	NO
CARA LATERAL DERECHA				
1	0.0-1.0	1.200	0.81365	NO
2	1.0-3.0	1.200	0.43255	NO
3	3.0-6.5	1.200	0.16585	NO
CARA LATERAL IZQUIERDA				
1	0.0-1.0	1.200	0.79124	NO



Continuación tabla 2.3.7.....

CIB - ESPOL

No. Muestra	Prof. (cm)	Cota MSNR	Conc. de Cl ⁻ (% / cem)	Observaciones Porcentaje < 0.1% ?
2	1.0-3.0	1.200	0.45214	NO
3	3.0-6.5	1.200	0.18457	NO
PANTALLA No. 4 - LADO NORTE				
CARA INTERIOR - IZQUIERDA				
1	0.0-1.0	2.400	0.98847	NO
2	1.0-3.0	2.400	0.68214	NO
3	3.0-6.5	2.400	0.43129	NO
4	0.0-1.0	0.900	1.14336	NO
5	1.0-3.0	0.900	0.70354	NO
6	3.0-6.5	0.900	0.49336	NO
CARA FRONTAL - DERECHA				
1	0.0-1.0	0.900	1.25133	NO
2	1.0-3.0	0.900	0.81255	NO
3	3.0-6.5	0.900	0.56421	NO
CARA LATERAL DERECHA				
1	0.0-1.0	0.900	1.15689	NO
2	1.0-3.0	0.900	0.85685	NO
3	3.0-6.5	0.900	0.60215	NO
CARA LATERAL IZQUIERDA				
1	0.0-1.0	0.900	1.12346	NO
2	1.0-3.0	0.900	0.82145	NO
3	3.0-6.5	0.900	0.59022	NO
PANTALLA CURVA FRONTAL IZQUIERDA - LADO OESTE				
CARA INTERIOR				
1	0.0-1.0	2.400	1.11046	NO
2	1.0-3.0	2.400	0.72315	NO
3	3.0-6.5	2.400	0.38125	NO
4	0.0-1.0	0.900	1.23518	NO

Continuación tabla 2.3.7.....

No. Muestra	Prof. (cm)	Cota MSNR	Conc. de Cl ⁻ (% / cem)	Observaciones Porcentaje < 0.1% ?
5	1.0-3.0	0.900	0.73867	NO
6	3.0-6.5	0.900	0.42135	NO
CARA FRONTAL				
1	0.0-1.0	0.900	1.25315	NO
2	1.0-3.0	0.900	0.82314	NO
3	3.0-6.5	0.900	0.48215	NO
CARA LATERAL DERECHA				
1	0.0-1.0	0.900	1.15202	NO
2	1.0-3.0	0.900	0.73788	NO
3	3.0-6.5	0.900	0.45210	NO
CARA LATERAL IZQUIERDA				
1	0.0-1.0	0.900	1.12346	NO
2	1.0-3.0	0.900	0.76012	NO
3	3.0-6.5	0.900	0.47125	NO

2.3.4. Concentración de Sulfatos (SO_3^{-2})

A. Objetivos

- Determinación, por medio de métodos Gravimétricos, del contenido de sulfatos (SO_3^{-2}), presentes en la masa de cemento, de manera que se pueda clasificar el medio que rodea el hormigón en función de su agresividad.

B. Definiciones

La combinación de los sulfatos (SO_3^{-2}) con hidratos del aluminato tricálcico (C_3A), en el hormigón endurecido, causa la formación de compuestos expansivos que deterioran el hormigón como etringita, yeso o thaumasita. La expansión provocada, principalmente, por la etringita causa el fisuramiento del hormigón. Esto, a su vez, acelera el ingreso de más agentes externos perjudiciales para la estructura armada, en un ambiente de humedecimiento y secado rápido propios del agua de mar.

C. Equipos

- Balanza electrónica de alta precisión.
- Reverbero para calentar las muestras.
- Pipetas volumétricas de 25 ml.
- Vasos de Precipitación de 250 ml.
- Crisoles para calcinación.
- Mechero Bunsen.
- Embudos de cristal.
- Desecador.
- Vasos Erlenmeyer de 250 ml.

D. Materiales

- Papel filtro de poros estrechos, grado 391.
- Agua destilada.
- Cloruro de Bario al 10% ($BaCl_2$).
- Muestras de hormigón en polvo 10 – 20 gr.
- Fundas herméticas.

E. Procedimiento

- 1) Remítase a los pasos 1, 2, 3, 4, 5 y 6, del procedimiento E, del ensayo 2.3.3., Concentración de Cloruros.

- 2) Remítase a los pasos 2, 3, 4, 5, 6 y 7, del procedimiento E, del ensayo 2.3.4., Concentración de Sulfatos. Los sulfatos en una muestra sólida se calcula por:

$$SO_4^{-2} = (Df \times F \times 100) / \text{Peso.Alicuota.Muestra.gr}$$

Donde:

F = Factor 0.4116.

Df = Diferencia en peso del crisol vacío y el crisol con muestra calcinada.



E. Criterios de Evaluación

CIB - ESPOL

Los criterios de evaluación se presentan en la tabla 2.3.8.

TABLA 2.3.8.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE SO_3^{-2} EN EL HORMIGÓN – UNE 2001 ⁽²⁾

Normas	Cementos	Especificaciones Químicas
		(1) (2) SO_3^{-2}
UNE 80303-1:2001	CEM I CFM III	
UNE 80303-2:2001	CEM I CEM II (2) CEM IV CEM V	≤3.5 %
UNE 80303-3:2001	CEM III (3)	
UNE 80305:2001	CEM IV	

SO_3 = Trióxido de azufre. Porcentajes en masa del cemento final. (Completo: núcleo del cemento + regulador de fraguado).

1) Determinación del residuo insoluble en ácido clorhídrico y carbonato de sodio.

2) El cemento tipo CEM II/B-T puede contener hasta 4.5 % de SO_3 en todas sus clases de resistencia.

3) El cemento CEM III/C puede contener hasta 4.5 % de SO_3 .



CIB - ESPOL

G. Resultados

Los resultados se enlistan en la tabla 2.3.9.

TABLA 2.3.9.**RESULTADOS DEL ENSAYO DE SO_3^{-2} EN EL HORMIGÓN**

INSPECCIÓN TÉCNICA					
Fecha de Inspección: (01-20)/07/03					
Temp. Amb.: 29°C			HR > 70 %		
Dimensiones: 4300 x 1800 x 700					
No. Muestra	Prof. (cm)	Cota MSNR	Conc. de SO_4^{-2} (% / CEM)	Conc. de SO_3^{-2} (% / CEM)	Observación. Porcentaje $\text{SO}_3^{-2} < 3.5\%$?
PANTALLA No. 20 - LADO SUR					
CARA INTERIOR					
1	0.0-1.0	2.400	1.26064	1.51884	SI
2	1.0-3.0	2.400	1.04381	1.25760	SI
3	3.0-6.5	2.400	0.28193	0.33968	SI
4	0.0-1.0	1.200	1.14888	1.38419	SI
5	1.0-3.0	1.200	0.99836	1.20284	SI
6	3.0-6.5	1.200	0.30255	0.36451	SI
CARA FRONTAL					
1	0.0-1.0	1.200	1.25216	1.50862	SI
2	1.0-3.0	1.200	1.08941	1.31254	SI
3	3.0-6.5	1.200	0.35645	0.42946	SI
CARA LATERAL DERECHA					
1	0.0-1.0	1.200	1.22322	1.47375	SI
2	1.0-3.0	1.200	1.10235	1.32814	SI

Continuación tabla 2.3.9.....

No. Muestra	Prof. (cm)	Cota MSNR	Conc. de SO_4^{-2} (% / CEM)	Conc. de SO_3^{-2} (% / CEM)	Observación. Porcentaje $\text{SO}_3^{-2} < 3.5\%$?
3	3.0-6.5	1.200	0.36456	0.43923	SI
CARA LATERAL IZQUIERDA					
1	0.0-1.0	1.200	1.18255	1.42475	SI
2	1.0-3.0	1.200	1.09542	1.31979	SI
3	3.0-6.5	1.200	0.37846	0.45598	SI
PANTALLA No. 4 - LADO NORTE					
CARA INTERIOR - IZQUIERDA					
1	0.0-1.0	2.400	0.73524	0.88583	SI
2	1.0-3.0	2.400	0.49817	0.60021	SI
3	3.0-6.5	2.400	0.42766	0.51526	SI
4	0.0-1.0	0.900	1.18636	1.42935	SI
5	1.0-3.0	0.900	0.63672	0.76713	SI
6	3.0-6.5	0.900	0.56238	0.67756	SI
CARA FRONTAL - DERECHA					
1	0.0-1.0	0.900	1.21025	1.45813	SI
2	1.0-3.0	0.900	0.73257	0.88261	SI
3	3.0-6.5	0.900	0.60245	0.72584	SI
CARA LATERAL DERECHA					
1	0.0-1.0	0.900	1.20125	1.44728	SI
2	1.0-3.0	0.900	0.73265	0.88272	SI
3	3.0-6.5	0.900	0.59249	0.71384	SI
CARA LATERAL IZQUIERDA					
1	0.0-1.0	0.900	1.21451	1.46327	SI
2	1.0-3.0	0.900	0.70246	0.84633	SI
3	3.0-6.5	0.900	0.58987	0.71069	SI



CIB · ESPOL

Continuación tabla 2.3.9.....

No. Muestra	Prof. (cm)	Cota MSNR	Conc. de SO_4^{-2} (% / CEM)	Conc. de SO_3^{-2} (% / CEM)	Observación. Porcentaje $\text{SO}_3^{-2} < 3.5\%$?
PANTALLA CURVA FRONTAL IZQUIERDA - LADO OESTE					
CARA INTERIOR					
1	0.0-1.0	2.400	0.50466	0.60802	SI
2	1.0-3.0	2.400	0.26155	0.31512	SI
3	3.0-6.5	2.400	0.11255	0.13560	SI
4	0.0-1.0	0.900	1.16590	1.40470	SI
5	1.0-3.0	0.900	0.70299	0.84697	SI
6	3.0-6.5	0.900	0.32155	0.38741	SI
CARA FRONTAL					
1	0.0-1.0	0.900	1.19879	1.44432	SI
2	1.0-3.0	0.900	0.95684	1.15282	SI
3	3.0-6.5	0.900	0.39012	0.47003	SI
CARA LATERAL DERECHA					
1	0.0-1.0	0.900	1.20125	1.44728	SI
2	1.0-3.0	0.900	0.98255	1.18380	SI
3	3.0-6.5	0.900	0.40215	0.48452	SI
CARA LATERAL IZQUIERDA					
1	0.0-1.0	0.900	1.19588	1.44082	SI
2	1.0-3.0	0.900	0.97849	1.17890	SI
3	3.0-6.5	0.900	0.42158	0.50793	SI

2.4. Ensayos con Respecto al Acero Embebido

2.4.3. Medición de Potenciales

A. Objetivos

- Determinación del potencial de la armadura del hormigón mediante el uso de electrodos de referencia.

B. Definiciones

Potencial Electroquímico: Es el potencial eléctrico de un metal, relativo a un electrodo de referencia, medido bajo condiciones de circuito abierto.

C. Equipos

- Electrodo de Referencia Cu/CuSO₄ (ver figura 2.3.7).
- Voltímetro de alta impedancia, no menor de 10 MΩ (ver figura 2.3.7).

D. Materiales

- Brocha, cepillos, lima y otras herramientas para limpieza manual/mecánica de la superficie.
- Cables y conectores.

- Esponja plana y agua potable para humedecer la superficie.



FIGURA 2.3.7. MULTÍMETRO, ELECTRODO DE REFERENCIA PARA CONCRETO Cu/CuSO_4 Y ESPONJA

E. Procedimiento (ASTM C 876 – 91)⁽⁴⁾

- 1) Proveerse de planos de la estructura a realizar el ensayo (ver Apéndice de planos).
- 2) Seleccionar las áreas para el ensayo. Estas áreas deben tener libre acceso a una sección de la armadura. En caso de no existir, deberá perforarse la estructura hasta descubrir el acero de refuerzo.

- 3) Limpiar las superficies seleccionadas, limpiar la superficie del acero expuesto para la conexión.
- 4) Una vez localizado el refuerzo, se procede a realizar la conexión del electrodo de referencia (Cu/CuSO₄) al positivo del voltímetro. El acero de refuerzo se conecta al negativo del voltímetro (ver figura 2.3.8).

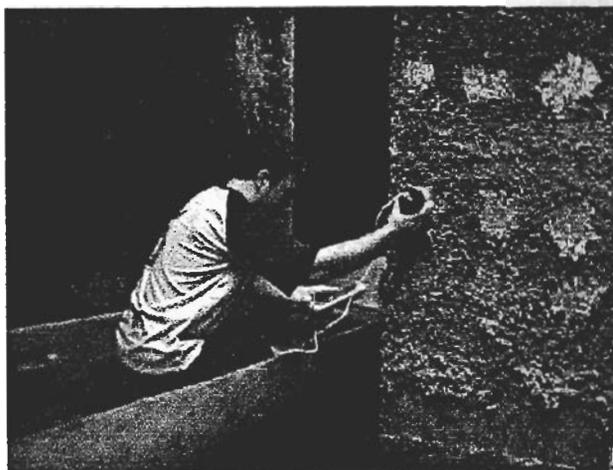


FIGURA 2.3.8. TOMA DE POTENCIALES NATURALES EN LA PANTALLA No. 20, LADO SUR, COTA +1.200 MSNR, CARA LATERAL IZQUIERDA

- 5) Se puede, en ciertos casos, trazar una cuadrícula sobre la superficie del hormigón con espaciamiento entre nodos uniformes. El espaciamiento entre nodos dependerá del área

seleccionada y de la rigurosidad de la inspección. Los nodos de la cuadrícula servirán de puntos de referencia para la ubicación del electrodo de referencia. Se colocará, bajo el electrodo de referencia, una esponja plana previamente humedecida con agua potable. Así, se mejora el contacto electrodo – hormigón.

- 6) Se efectúa la medida y se registra (ver Apéndice K).

F. Criterios de Evaluación

A continuación, expondremos dos criterios, bajo los cuáles evaluaremos el posible daño de corrosión que tendría lugar en el acero embebido. En primer lugar, exponemos el criterio de la ASTM C 876 que se indica en la tabla 2.3.10. En la tabla 2.3.11., contamos con el segundo criterio de evaluación.



CIB · ESPOL

TABLA 2.3.10.

CRITERIO DE EVALUACIÓN DE POTENCIALES – ASTM C876 ⁽²⁾

Cobre	Plata	Condiciones de Corrosión
Sulfato de Cobre	Cloruro de Plata	ASTM
> - 200 mV	> - 106 mV	Bajo (Riesgo de corrosión del 10%)
- 200 a – 350 mV	- 106 a – 256 mV	Riesgo intermedio de corrosión
< - 350 mV	< - 256 mV	Alto (Riesgo de corrosión > 90%)

TABLA 2.3.11.

CRITERIO DE EVALUACIÓN DE POTENCIALES - DURAR ⁽¹⁰⁾

CONDICIÓN	POTENCIAL Cu/CuSO ₄ (V)	OBSERVACIONES	RIESGO DE DAÑO
ESTADO PASIVO	+0.200 a -0.200	Ausencia de Cl ⁻ pH > 12.5 H ₂ O (HR↑)	Despreciable
CORROSIÓN LOCALIZADA	-0.200 a -0.600	Cl ⁻ , O ₂ , H ₂ O (HR↑)	Alto
CORROSIÓN UNIFORME	-0.150 a -0.600	Carbonatado O ₂ , H ₂ O, (HR↑)	Moderado Alto
	+0.200 a -0.150	Carbonatado O ₂ , Seco, (HR↓)	Bajo
	-0.400 a -0.600	Cl Elevado, H ₂ O ó Carbonatado H ₂ O, (HR↑)	Alto
CORROSIÓN UNIFORME	< -0.600	↑Cl ⁻ , ↑H ₂ O (sin O ₂)	Despreciable

G. Resultados

Presentamos los potenciales obtenidos en las pantallas No. 20, No. 4 y la pantalla curva frontal izquierda del Muelle de Espigón.

TABLA 2.3.12.

RESULTADOS DE POTENCIALES EN PANTALLA No. 20

INSPECCIÓN TÉCNICA						
Fecha de Inspección: 23-25/06/03						
Temp. Amb.: 29°C			HR > 70 %			
Dimensiones: 4300 x 1800 x 700						
No. Ensayo	Cota MSNR	POT. Vs Cu/CuSO ₄ (mV)				Observaciones Riesgo de Corrosión
		(C. IN.)	(C. F.)	(C. L. D.)	(C. L. I.)	
PANTALLA No. 20 - LADO SUR						
1	0.600	-462	-462	-480	-457	Alto, > 90%
2		-480	-482	-499	-438	Alto, > 90%
3		-483	-482	-506	-444	Alto, > 90%
4		-482	-491			Alto, > 90%
5		-485	-492			Alto, > 90%
6		-482	-490			Alto, > 90%
7	0.900	-450	-470	-445	-325	Alto, > 90%
8		-470	-443	-430	-370	Alto, > 90%
9		-441	-425	-480	-401	Alto, > 90%
10		-445	-330			Alto, > 90%
11		-452	-327			Alto, > 90%
12		-350	-316			Intermedio
13	1.200	-307	-320	-323	-374	Intermedio
14		-300	-327	-310	-346	Intermedio

Continuación tabla 2.3.12.....

No. Ensayo	Cota MSNR	POT. Vs Cu/CuSO ₄ (mV)				Observaciones Riesgo de Corrosión
		(C. IN.)	(C. F.)	(C. L. D.)	(C. L. I.)	
15	1.200	-328	-375	-313	-330	Intermedio
16		-325	-343			Intermedio
17		-311	-310			Intermedio
18		-303	-325			Intermedio
19	1.500	-264	-275	-274	-235	Intermedio
20		-255	-279	-254	-245	Intermedio
21		-275	-384	-238	-272	Intermedio
22		-276	-265			Intermedio
23		-268	-276			Intermedio
24		-275	-272			Intermedio
25	1.800	-272	-284	-266	-266	Intermedio
26		-291	-249	-285	-220	Intermedio
27		-268	-223	-264	-210	Intermedio
28		-275				Intermedio
29		-254				Intermedio
30		-272				Intermedio
31	2.100	-270	-279	-260	-280	Intermedio
32		-265	-240	-270	-262	Intermedio
33		-269	-251	-265	-279	Intermedio
34		-290	-280			Intermedio
35		-268	-295			Intermedio
36		-283	-203			Intermedio
37	2.400	-194	-170	-261	-261	Intermedio
38		-188	-168	-195	-195	Bajo, 10%
39		-214	-176	-251	-251	Intermedio
40		-215	-280			Intermedio
41		-267	-295			Intermedio



CIB - ESPOL

Continuación tabla 2.3.12.....

No. Ensayo	Cota MSNR	POT. Vs Cu/CuSO ₄ (mV)				Observaciones Riesgo de Corrosión
		(C. IN.)	(C. F.)	(C. L. D.)	(C. L. I.)	
42		-149	-283			Intermedio
43	2.700	-196	-215	-250	-260	Intermedio
44		-103	-165	-240	-241	Intermedio
45		-220	-144	-210	-275	Intermedio
46		-263	-290			Intermedio
47		-255	-294			Intermedio
48		-171	-296			Intermedio
49		3.000	-202	-279	-216	-273
50	-193		-144	-242	-283	Intermedio
51	-261		-110	-259	-268	Intermedio
52	-153		-285			Intermedio
53			-298			Intermedio
54			-300			Intermedio
55	3.300	-213	-219	-248	-282	Intermedio
56		-215	-176	-284	-280	Intermedio
57		-227	-122	-210	-233	Intermedio
58		-210	-282			Intermedio
59			-283			Intermedio
60			-298			Intermedio
61	3.600		-150	-133	-44	Bajo, 10%
62			-132	-124	-25	Bajo, 10%
63			-126	-54	-60	Bajo, 10%
64			-132			Bajo, 10%
65			-169			Bajo, 10%
66			-123			Bajo, 10%
67	3.900		-3	-138	-58	Bajo, 10%
68			-13	-124	-56	Bajo, 10%
69			-21	-34	-128	Bajo, 10%
70			-35		-171	Bajo, 10%
71			-21			Bajo, 10%

TABLA 2.3.13.

RESULTADOS DE POTENCIALES EN PANTALLA No. 4

INSPECCIÓN TÉCNICA								
Fecha de Inspección: (07-09)/07/03								
Temp. Amb.: 29°C				HR > 70 %				
Dimensiones: 4300 x 1800 x 700								
No. Ensayo	Cota MSNR	POT. Vs Cu/CuSO4						Observaciones Riesgo de Corrosión
		(C. IN. I.)	(C. IN. D.)	(C. F. I.)	(C. F. D.)	(C. L. I.)	(C. L. D.)	
PANTALLA No. 4 - LADO NORTE								
1	0.600	-483	-455	-485	-462	-486	-482	Alto, > 90%
2		-476	-475	-452	-479	-475	-481	Alto, > 90%
3		-480	-483	-475	-480	-482	-486	Alto, > 90%
4		-477	-488	-473	-493			Alto, > 90%
5		-486	-486	-471	-488			Alto, > 90%
6		-490	-493	-465	-490			Alto, > 90%
7	0.900	-472	-435	-442	-445	-436	-465	Alto, > 90%
8		-444	-469	-455	-476	-455	-477	Alto, > 90%
9		-450	-493	-472	-485	-490	-485	Alto, > 90%
10		-447	-498	-470	-490			Alto, > 90%
11		-473	-499	-445	-482			Alto, > 90%
12		-492	-503	-435	-478			Alto, > 90%
13	1.200	-373	-402	-440	-390			Alto, > 90%
14		-355	-400	-445	-380			Alto, > 90%
15		-349	-418	-440	-393			Alto, > 90%
16		-348	-416	-467	-410			Alto, > 90%
17		-358	-396	-441	-375			Alto, > 90%
18		-384	-376	-455	-384			Alto, > 90%
19	1.500	-263	-261	-290	-278	-323	-401	Intermedio
20		-259	-258	-280	-280	-387	-383	Intermedio
21		-257	-281	-280	-268	-395	-405	Intermedio
22		-253	-310	-264	-289			Intermedio

Continuación tabla 2.3.13.....

No. Ensayo	Cota MSNR	POT. Vs Cu/CuSO4						Observaciones Riesgo de Corrosión
		(C. IN. I.)	(C. IN. D.)	(C. F. I.)	(C. F. D.)	(C. L. I.)	(C. L. D.)	
23	1.500	-263	-309	-261	-292			Intermedio
24		-283	-317	-252	-302			Intermedio
25	2.100	-162	-169	-192	-247	-165	-185	Bajo, 10%
26		-166	-221	-199	-235	-174	-176	Bajo, 10%
27		-182	-221	-212	-149	-190	-180	Bajo, 10%
28		-178	-238	-195	-245			Intermedio
29		-201	-235	-202	-227			Intermedio
30		-192	-235	-196	-230			Intermedio
31		-192	-203	-157	-129	-74	-194	Bajo, 10%
32	2.400	-193	-194	-191	-161	-100	-194	Bajo, 10%
33		-220	-220	-182	-155	-150	-198	Bajo, 10%
34		-200	-195	-172	-170			Bajo, 10%
35		-143	-200	-184	-182			Bajo, 10%
36		-180	-170	-177	-168			Bajo, 10%
37		-124	-185	-151	-100	-59	-131	Bajo, 10%
38	2.700	-135	-156	-165	-132	-54	-129	Bajo, 10%
39		-122	-158	-168	-131	-107	-121	Bajo, 10%
40		-149	-174	-154	-111			Bajo, 10%
41		-150	-181	-155	-82			Bajo, 10%
42		-178	-117	-175	-97			Bajo, 10%
43	3.000	-87	-180	-64	-72	-83	-197	Bajo, 10%
44		-104	-123	-80	-64	-142	-179	Bajo, 10%
45				-79	-45	-130	-102	Bajo, 10%
46				-138	-61			Bajo, 10%
47				-139	-65			Bajo, 10%
48				-132	-102			Bajo, 10%
49	3.300	-93	-155	-40	-50	-93	-89	Bajo, 10%
50		-193	-72	-87	-60	-95	-94	Bajo, 10%
51				-75	-69	-75	-108	Bajo, 10%



Continuación tabla 2.3.13....

CIB - ESPOL

No. Ensayo	Cota MSNR	POT. Vs Cu/CuSO ₄						Observaciones Riesgo de Corrosión
		(C. IN. I.)	(C. IN. D.)	(C. F. I.)	(C. F. D.)	(C. L. I.)	(C. L. D.)	
52	3.300			-137	-38			Bajo, 10%
53				-135	-114			Bajo, 10%
54				-228	-60			Bajo, 10%
55	3.600			-108	-69	-131	-86	Bajo, 10%
56				-80	-69	-150	-65	Bajo, 10%
57				-42	-48	-125	-40	Bajo, 10%
58				-153	-59			Bajo, 10%
59				-123	-128			Bajo, 10%
60				-134	-70			Bajo, 10%

TABLA 2.3.14.

RESULTADOS DE POTENCIALES EN PANTALLA CURVA

INSPECCIÓN TÉCNICA								
Fecha de Inspección: (10-12)/07/03								
Temp. Amb.: 29°C			HR > 70 %					
Dimensiones: 4300 x 1800 x 700								
No. Ensayo	Cota MSNR	POT. Vs Cu/CuSO ₄ (mV)						Observaciones Riesgo de Corrosión
		(C. IN. I.)	(C. IN. D.)	(C. F. I.)	(C. F. D.)	(C. L. I.)	(C. L. D.)	
PANTALLA CURVA FRONTAL IZQUIERDA								
1	0.600	-495	-498	-531	-505	-503	-520	Alto
2		-493	-501	-528	-505	-519	-532	Alto
3		-496	-494			-520	-540	Alto
4		-512	-485					Alto
5		-500	-470					Alto, > 90%

Continuación tabla 2.3.14.....

No. Ensayo	Cota MSNR	POT. Vs Cu/CuSO ₄ (mV)						Observaciones Riesgo de Corrosión
		(C. IN. I.)	(C. IN. D.)	(C. F. I.)	(C. F. D.)	(C. L. I.)	(C. L. D.)	
6		-493	-400					Alto, > 90%
7	0.900	-405	-495	-526	-505	-510	-511	Alto
8		-490	-490	-519	-506	-512	-525	Alto
9		-492	-492	-510	-529	-518	-540	Alto
10		-510	-475	-522	-530			Alto
11		-502	-477	-513	-498			Alto, > 90%
12		-490	-401	-516	-499			Alto, > 90%
13	1.200	-480	-490	-520	-503	-512	-506	Alto
14		-490	-482	-514	-498	-506	-522	Alto
15		-486	-485	-503	-521	-514	-535	Alto
16		-500	-465	-508	-534			Alto
17		-495	-466	-501	-491			Alto, > 90%
18		-486	-474	-509	-498			Alto, > 90%
19	1.800	-582	-596	-532	-436	-515	-441	Alto
20		-598	-560	-523	-441	-482	-444	Alto
21		-581	-532	-532	-488	-496	-435	Alto
22		-590	-576	-490	-459			Alto
23		-582	-586	-530	-458			Alto
24		-580	-591	-490	-402			Alto
25	2.100	-441	-360			-355	-424	Alto, > 90%
26		-468	-358			-331	-430	Alto, > 90%
27		-488	-368			-345	-439	Alto, > 90%
28		-470	-422					Alto, > 90%
29		-415	-405					Alto, > 90%
30		-406	-407					Alto, > 90%
31	2.400	-424	-349	-440	-415	-335	-410	Alto, > 90%
32		-387	-363	-397	-421	-348	-425	Alto, > 90%
33		-400	-315	-383	-470	-330	-451	Alto, > 90%
34		-418	-325	-392	-450			Alto, > 90%

Continuación tabla 2.3.14.....

No. Ensayo	Cota MSNR	POT. Vs Cu/CuSO ₄ (mV)						Observaciones Riesgo de Corrosión
		(C. IN. I.)	(C. IN. D.)	(C. F. I.)	(C. F. D.)	(C. L. I.)	(C. L. D.)	
35	2.400	-452	-334	-405	-471			Alto, > 90%
36		-394	-336	-425	-441			Alto, > 90%
37	2.700			-439	-399			Alto, > 90%
38				-391	-412			Alto, > 90%
39				-380	-465			Alto, > 90%
40				-386	-446			Alto, > 90%
41				-397	-470			Alto, > 90%
42				-415	-445			Alto, > 90%
43	3.000			-454	-340	-302	-405	Alto, > 90%
44				-370	-361	-265	-390	Alto, > 90%
45				-366	-390	-260	-380	Alto, > 90%
46				-389	-323			Alto, > 90%
47				-397	-364			Alto, > 90%
48				-415	-423			Alto, > 90%
49	3.300			-384	-312	-285	-407	Alto, > 90%
50				-364	-292	-245	-366	Alto, > 90%
51				-391	-310	-235	-371	Alto, > 90%
52				-393	-332			Alto, > 90%
53				-321	-344			Intermedio
54				-348	-391			Alto, > 90%
55	3.900			-316	-282	-202	-295	Intermedio
56				-323	-273	-223	-302	Intermedio
57				-345	-276	-198	-309	Intermedio
58				-334	-295			Intermedio
59				-297	-292			Intermedio
60				-303	-338			Intermedio

CAPITULO 3



CIB - ESPOL

3. DIAGNÓSTICO DE PANTALLAS DEL MUELLE DE ESPIGÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA CORROSIÓN

Una vez realizado los ensayos y mediciones en las pantallas de protección, ahora, procederemos a realizar una reevaluación de R.B.I., con los resultados obtenidos, para conocer el riesgo real al cual están sometidas las pantallas de protección.

Probabilidad.-

- 1) **Cloruros.-** Con los ensayos realizados en las pantallas seleccionadas, se determinó que la profundidad que alcanzaron los cloruros es de 6.5 cm. ∴ **Altamente Probable**

- 2) **Sulfatos.**- La concentración de sulfatos es menor al 60% del límite permitido. ∴ **Posible**
- 3) **Carbonatación.**- El frente carbonatado llega a los primeros 7 mm de profundidad. ∴ **Posible**
- 4) **Lixiviación de Aguas Blandas.**- Para el presente caso, se tiene muy poca experiencia en estructuras similares. ∴ **Posible**
- 5) **Selección del Sistema de Protección contra Agentes Externos.**- El sistema de protección contra la corrosión, utilizado en las pantallas de protección, son los inhibidores. Se ha evidenciado una protección aceptable, por lo que se cree que la selección del sistema de protección contra la corrosión es correcta. ∴ **Probable**

∴ Probabilidad del Rango: Probable

Por lo tanto, el riesgo al cual están sometidas las pantallas de protección del Muelle de Espigón de A.P.P.B., según tabla 2.1.1., es **Moderado**.

Una vez examinado el riesgo basado en inspección de las pantallas de protección, procederemos a pasar la información obtenida de los muros de contención del Muelle de Espigón, en el formato del

Apéndice E, para luego, con los resultados obtenidos, poder emitir un diagnóstico de la estructura armada.

TABLA 3.1.1.

**FORMULARIO DE ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DE LA
ESTRUCTURA ARMADA (RESULTADOS)**



CIB - ESPOL

1. Datos Generales de la Estructura

1.1. Tipo de Estructura Descripción básica de los Componentes

<input type="checkbox"/> Puente	<u>Muelle de hormigón pre y postensado.</u>
<input checked="" type="checkbox"/> Muelle	<u>Compuesto de 720 pilotes pretensados,</u>
<input type="checkbox"/> Otro	<u>28 pantallas de protección en el lado sur,</u> <u>14 pantallas de protección en el lado</u> <u>norte y 2 pantallas curvas frontales en</u> <u>lado oeste.</u>

1.2. Fecha de Construcción de la Estructura: Muelle (Mediados 1960),
Pantallas de Protección (Mediados 1984).

1.3. Uso General de la Estructura: Embarque para exportación de
productos agrícolas como el banano, café y cacao (Puerto Bolívar, El
Oro, Ecuador).

1.4. Croquis de Ubicación, coordenadas de fachada, orientación y dirección del viento indicando el medio de exposición

VER APÉNDICE DE PLANOS V-0

2. Datos Particulares de la Estructura

2.1. Propiedades de los Materiales

Tipos de Cemento: Pórtland I Tipo de Agua: Agua Potable

Naturaleza de los Áridos: No datos disponibles

Sistema de Defensa: Revestimiento antifriccionante de polietileno de Ultra Alta Densidad Molecular (LF – UHMW – PE)

2.2. Diseño del Hormigón

Resistencia característica a la compresión: Losa (270 Ksi), Pilotes (350 Kg/cm²) y Pantallas (350 Kg/cm²)

Dosificación del Cemento: Variable

Dosificación de Agregados: Variable

Relación Agua/Cemento: Variable (< 0.4%)

Uso de Aditivos: Superplastificantes e inhibidores de corrosión incluidos en la mezcla

2.3. Propiedades de los Materiales

En Obra Prefabricado

Hormigón Reforzado Pretensado

Postensado

Tecnología de fabricación en obra: No datos disponibles

Método de Compactación: Según Normativas

Método de Curado: Según Normativas

3. Historial de Vida en Servicio de la Estructura

3.1. Fecha de puesta en servicio: Muelle (Junio, 1963), Pantallas (1984)

3.2. Resistencia del Hormigón a la compresión en obra: No datos

3.3. Anomalías

Observadas durante la construcción: No datos

Anteriormente detectadas: Ninguna

3.4. Ensayos y Mantenimiento

Inspecciones Rutinarias: No se realizan

Ensayos Particulares: En 1996, se contrata la "Inspección y Limpieza de los Pilotes y Superestructura del Muelle".

En 1999, se realiza "Limpieza e Inspección de los Pilotes de Apoyo, Pantallas y su Sistema de Defensas de Caucho"

En 2002, se realiza "Revisión y Actualización de los estudios para la reparación integral del Muelle de Espigón de APPB"

Tipos de Mantenimiento: Únicamente del sector Eléctrico

3.5. Reparaciones

Todos los años se realizan reparaciones puntuales menores, de la losa y pantallas de protección, debido a las colisiones registradas por el atracadero en puerto de las navieras. En total, el número de reparaciones al año totalizan entre 5 y 6.



CIB - ESPOL

4. Información Adicional

- 1) Las pantallas de protección cuentan con defensas de polietileno antifriccionantes tipo V, SVEDALA – MV600 x 1500A, cuyos pernos de anclaje y accesorios son de acero inoxidable.
- 2) Los atraques de las navieras son asistidos por remolcadores con velocidades de 0.20 m/s. La capacidad de los buques es de hasta 20.000 Ton.
- 3) La velocidad de la corriente es de 0.25 m/s y la profundidad promedio en marea baja es de 11.50 m.

Fecha: 14 Agosto, 2003

Elaborado por: Sr. Jimmy González A.

Aprobado por: Ing. Julián Peña E. Nombre de la Institución: APPB

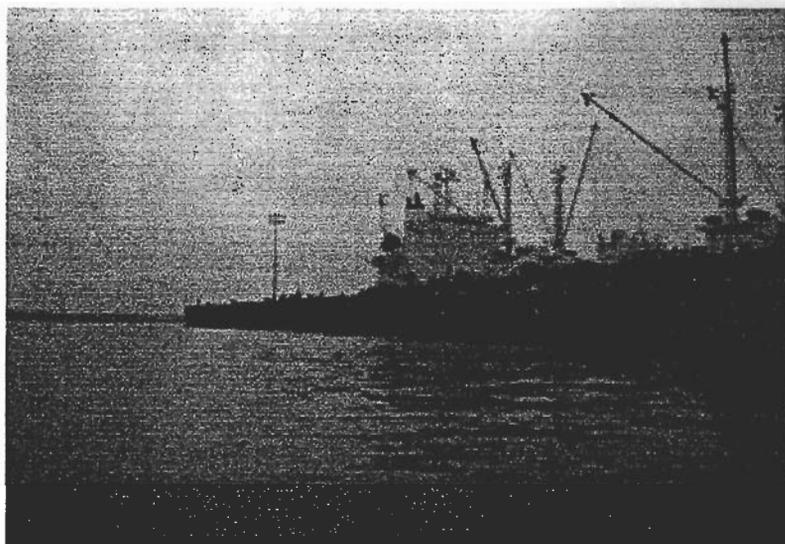
Una vez concluido el formulario de las pantallas de protección, realizaremos el diagnóstico.

3.1. Diagnóstico de la Inspección Visual de la Estructura

El Muelle de Espigón, propiedad de Autoridad Portuaria de Puerto Bolívar, para protección de la integridad de la estructura, cuenta con pantallas de hormigón armado que evitan que las navieras que entran a puerto, puedan ocasionar daño alguno a sus instalaciones. El número de pantallas se totalizan en 14 para el lado Norte, 28 para el lado Sur y 2 pantallas curvas frontales (ver figura 3.1.1, 3.1.2 y 3.1.3).



**FIGURA 3.1.1. VISTA LATERAL: 14 PANTALLAS DE PROTECCIÓN,
LADO NORTE**



**FIGURA 3.1.2. VISTA LATERAL: 28 PANTALLAS DE PROTECCIÓN,
LADO SUR.**



CIB - ESPOL

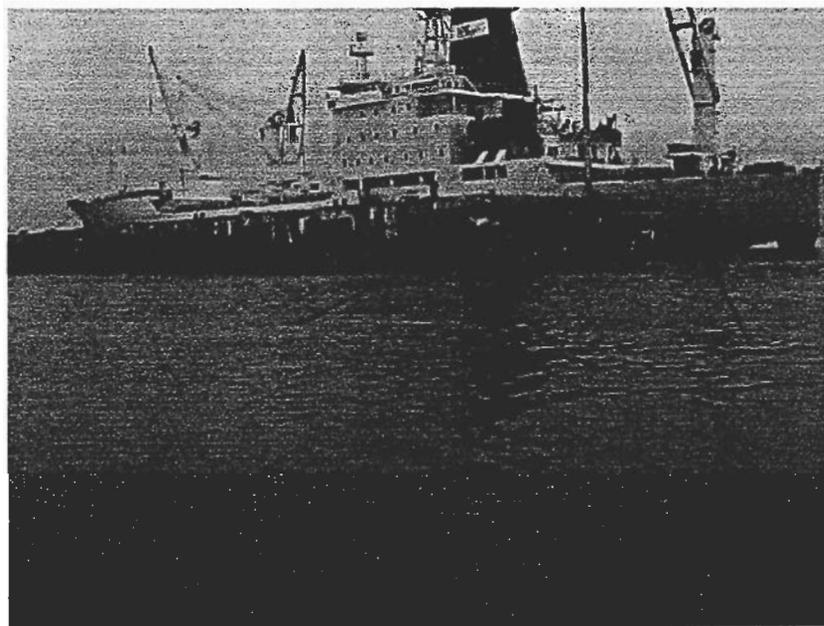


FIGURA 3.1.3. VISTA FRONTAL: 2 PANTALLAS CURVAS, LADO OESTE.

A continuación, presentaremos un diagnóstico total de las pantallas No. 20, No. 4 y Frontal Curva Izquierda, donde evaluaremos los parámetros considerados en el capítulo anterior, acerca de la Inspección Visual. De la misma manera, presentaremos fotografías y planos que sustenten lo mencionado.

Pantalla No. 20 – Lado Sur

En la presente pantalla, se evidencia el refuerzo expuesto a la acción del medio exterior, en la parte superior, hacia un costado (ver fotografía 1, Apéndice H). Se observa un foco de corrosión generalizado (ver Apéndice de planos: V – 7 y V – 8).

La cara exterior, presenta 2 defensas de polietileno ubicadas en la cara frontal. Las mismas se encuentran en estado operativo. Los pernos de anclaje y platinas, se encuentran totalmente corroídos.

En la cara interior, evidencias de objetos como clavos, hacen creer que la armadura se encuentra afectada por corrosión de picaduras. En la altura de la losa, debido a la colisión de una naviera, se presenta signos de reparaciones anteriores.

Debido a la alta probabilidad de corrosión, que presentan las cotas comprendidas entre + 0.000 MSNR a + 2.100 MSNR, como más adelante se demostrará en los ensayos de cloruros y potenciales naturales practicados en la estructura armada, signos de una corrosión generalizada, en la cara lateral derecha, se evidencian, debido a la formación de una fisura localizada en sentido longitudinal a la armadura, que se extiende desde la cota +0.600 MSNR hasta la cota + 1.200 MSNR (ver fotografía 2, Apéndice H).



CIB - ESPOL

Pantalla No. 4 – Lado Norte

La parte superior de la pantalla presenta buen estado. Las caras laterales presentan signos de desgaste del hormigón, propios del ataque del medio ambiente (agua de mar y vientos) y, de las constantes colisiones de los buques (fatiga). Sin embargo, se los ha considerado como daños menores (ver fotografía 3, Apéndice H).

En la cara exterior se instalaron 4 defensas de polietileno, de las cuales, la instalada en la parte superior derecha no consta, debido al arrastre que podría haber provocado alguna naviera (ver fotografía 3, Apéndice H). Pernos de anclaje y accesorios

se encuentran en mal estado, evidente corrosión generalizada se observa (ver fotografía 3, Apéndice H). Un estado de corrosión muy avanzado, se evidencia en la parte inferior, de la cara frontal de la presente pantalla, donde refuerzo está expuesto a la acción del medio exterior (ver fotografía 5 y 6, Apéndice H; ver Apéndice de planos: V - 9).

La cara interior presenta restos de acero expuestos al medio exterior (ver Apéndice de planos: V – 9). Se comprobó que tal acero no forma parte del refuerzo, simplemente es un resto de alguna reparación anterior (ver fotografía 4, Apéndice H).

Pantalla Curva Frontal Izquierda – Lado Oeste

En la parte superior, se evidencia daños menores, preferentemente en las esquinas, donde la acción del viento y lluvia, ha causado el desmoronamiento de pequeños trozos de hormigón (ver Apéndice de planos: V – 6). De igual manera, las caras laterales presentan daños menores en las esquinas, provocado por la acción del viento. Debemos citar, que esto es producto de la localización de la presente pantalla que, ubicada en la parte frontal del muelle, es víctima de los vientos, que corren en dirección noroeste – sureste (ver Apéndice de planos:

V-0). A esto, se suma el salpique del agua de mar. La losa de la pantalla, ubicada en la parte interna, presenta signos de reparaciones anteriores; dos focos de corrosión y una fisura muy profunda, ubicada en medio de la losa, provocada por un fallo estructural, también se ha encontrado (ver fotografía 7, Apéndice H). Más adelante se demostrará, con los ensayos de carbonatación, que el espesor de cubierta carbonatado es de aproximadamente 4.5 cm, en la presente fisura; esto representa un riesgo para la integridad de la pantalla, ya que provocaría que tanto los cloruros como los sulfatos del agua de mar, penetren al hormigón y causen corrosión o desmoronamiento, sin mencionar el ataque producido por el CO₂ atmosférico.

La cara interior presenta un buen estado, evidenciando, únicamente restos de armadura saliente en la cota + 2.700 MSNR, donde el extremo de una barra de acero se encuentra expuesta a la acción del medio exterior, produciéndose una pila galvánica de corrosión. Demás evidencias de oxido, en la parte interior, son debido a productos, olvidados durante el encofrado, como clavos.



La parte externa presenta 9 defensas de polietileno, todavía en estado operativo. No así, los pernos de anclaje, que sirven de sujeción de las defensas de polietileno a la pantalla. Dichos pernos de anclaje, conjuntamente con sus platinas, evidencian un estado de corrosión muy generalizado, producto del salpique del agua de mar. Las defensas más perjudicadas son las pertenecientes a las columna de la mitad de la pantalla. Se observa, en algunos casos, desprendimiento de pernos de anclaje de las defensas, debido al posible roce o colapso de la estructura armada, con las mencionadas navieras (ver fotografía 8, Apéndice H).



CIB - ESPOL

Otros

En general, las pantallas de protección presentan, en la cara interior, restos de alguna reparación anterior, que a simple vista podría creerse como corrosión por picaduras, desarrollándose en la armadura.

Las cara laterales presentan desgaste en las esquinas, producto de la acción del viento, del oleaje y colisiones de navieras. Las pantallas ubicadas en la lado Norte son las más afectadas.

Las caras exteriores presentan, en común, un buen estado. La pantalla No. 7 del lado Sur, no presenta la defensa de polietileno superior. La pantalla No. 19 del lado Sur, presenta una fisura localizada en la cota + 2.700 MSNR, muy peligrosa ya que provocaría un posible foco de corrosión debido a la introducción de cloruros del agua de mar y CO₂ atmosférico. La pantalla No. 5 del lado sur, presenta una inclinación inusual, producto de una colisión con una naviera; se evidenció la reparación parcial del muro de contención, donde en la parte interior se evidencia dos estacas de madera que sostienen, se cree, la mencionada pantalla (ver fotografía 9, Apéndice H).. En la mayoría de los casos, los pernos de anclaje y platinas se encuentran total o parcialmente corroídas.

Las caras superiores presentan un estado aceptable, aunque las esquinas estén un tanto desgastadas (ver Apéndice de planos: V – 7). En este punto, la pantalla No. 21 del lado Sur, presenta una fisura muy pronunciada hacia un costado.

En cuanto, a la Pantalla Frontal Curva Derecha, la parte exterior presenta las mismas características que la Pantalla Frontal Curva Izquierda. Mientras en el interior, se observó una

fisura en la altura de la losa (ver fotografía 10, Apéndice H), en donde el ensayo de carbonatación, determinó que el recubrimiento de hormigón carbonatado es de 4 cm. También, en la altura de la losa, se evidenció restos de acero, que no forman parte del refuerzo, en estado de corrosión generalizado. La losa es la parte más deteriorada de la pantalla curva derecha, además de lo mencionado anteriormente, se encontró objetos extraños como clavos en estado de avanzada corrosión (ver Apéndice de planos: V – 6).

El crecimiento de costras marinas, en la zona de alta y baja marea, evidenciadas en la mayoría de las fotografías, protegen a las pantallas de protección del oleaje y limitan la inclusión del CO_2 en la estructura armada.

3.2. Diagnóstico de los Ensayos del Agua de Mar

Obtenido los resultados de los ensayos/mediciones en el agua de mar, tomamos la tabla 3.2.1, para llenarla y poder emitir un diagnóstico del medio que rodea las pantallas de protección.



TABLA 3.2.1.

FORMULARIO DEL AGUA DE MAR Y ATMÓSFERA (RESULTADOS)

1. Propiedades Físicas y Químicas del Medio

Atmósfera	Agua
Humedad Ambiental: <u>> 70%</u>	Cloruros: <u>14393.30 ppm</u>
Temperatura: <u>25° C – 33° C</u>	Sulfatos: <u>2479.16 ppm</u>
Régimen de Vientos: <u>Variable</u>	pH: <u>7.641</u>
	Temperatura: <u>> 20°C</u>
	Resist.Eléct.: <u>51.35 Ohm-cm</u>
	Salinidad: <u>29.92 gr/ml</u>
	Densidad: <u>1019.20 Kg/m³</u>

2. Otros

La velocidad de la corriente es de 0.25 m/s.

Al observar los datos de la tabla 3.2.1., podemos deducir que el ambiente que rodea las pantallas de protección, produce un ataque químico calificado como fuerte (ver tabla 2.2.5), debido al alto contenido de salinidad, **29.92 gr/ml**; el valor de pH del agua de mar de Puerto Bolívar, **7.614**, es normal de las costas ecuatorianas, aunque es un valor menor que el pH teórico (pH

8.1 – 8.3) , no se debe pensar que existe el desarrollo de la bacteria reductora de sulfato, que provocaría un ataque microbiológico de corrosión . El valor del pH del agua de mar de Puerto Bolívar está considerado como normal debido a que la variabilidad de la temperatura tiende a modificar el pH propio del agua de mar.

En cuanto al contenido de cloruros, **14393.90 ppm**, se considera que provoca un ataque fuerte contra las pantallas de protección, si se conoce que la cantidad de cloruros que provoca la despasivación del acero es de **4000 ppm**. De igual manera, el contenido de sulfatos, **2479.15 ppm**, está calificado como un ataque de exposición medio (ver tabla 2.2.5.).

Un factor muy importante a analizar es la conductividad del agua de mar, ya que de ésta depende la difusión que puedan tener los electrolitos causantes de la corrosión. El valor obtenido de resistividad eléctrica es de **51.35 Ohm-cm**, valor que califica el medio como altamente agresivo.

3.3. Diagnóstico de los Ensayos Físico-Químico del Hormigón Con Respecto al Ensayo de Ultrasonido (Ver Apéndice I)

Pantalla No. 20 – Lado Sur

Los mediciones obtenidas, en los ensayos de ultrasonido en el hormigón, en las cotas + 2.100 MSNR y + 1.200 MSNR (ver Apéndice de planos: I-3, I-4 e I-5), en las caras laterales, muestran un valor promedio de **4406.20 m/s**; mientras que en la parte superior, el valor promedio es de **3660 m/s** (ver tabla 2.3.2). Estos valores, juntamente con los de resistencia obtenidos, **36.9 MPa**, **35.4 MPa** y **14.3 MPa**, ratifican que el hormigón fundido en sitio como el prefabricado, son de una calidad Alta – Durable (ver tabla 2.3.1). Para una mayor comprensión, éstos resultados se esquematizan en la figura 3.3.1.

Es decir, podemos hablar de un hormigón de excelentes características: alta resistencia, homogeneidad, alta resistencia contra ataques de agentes externos, alta compacidad, entre las más importantes.



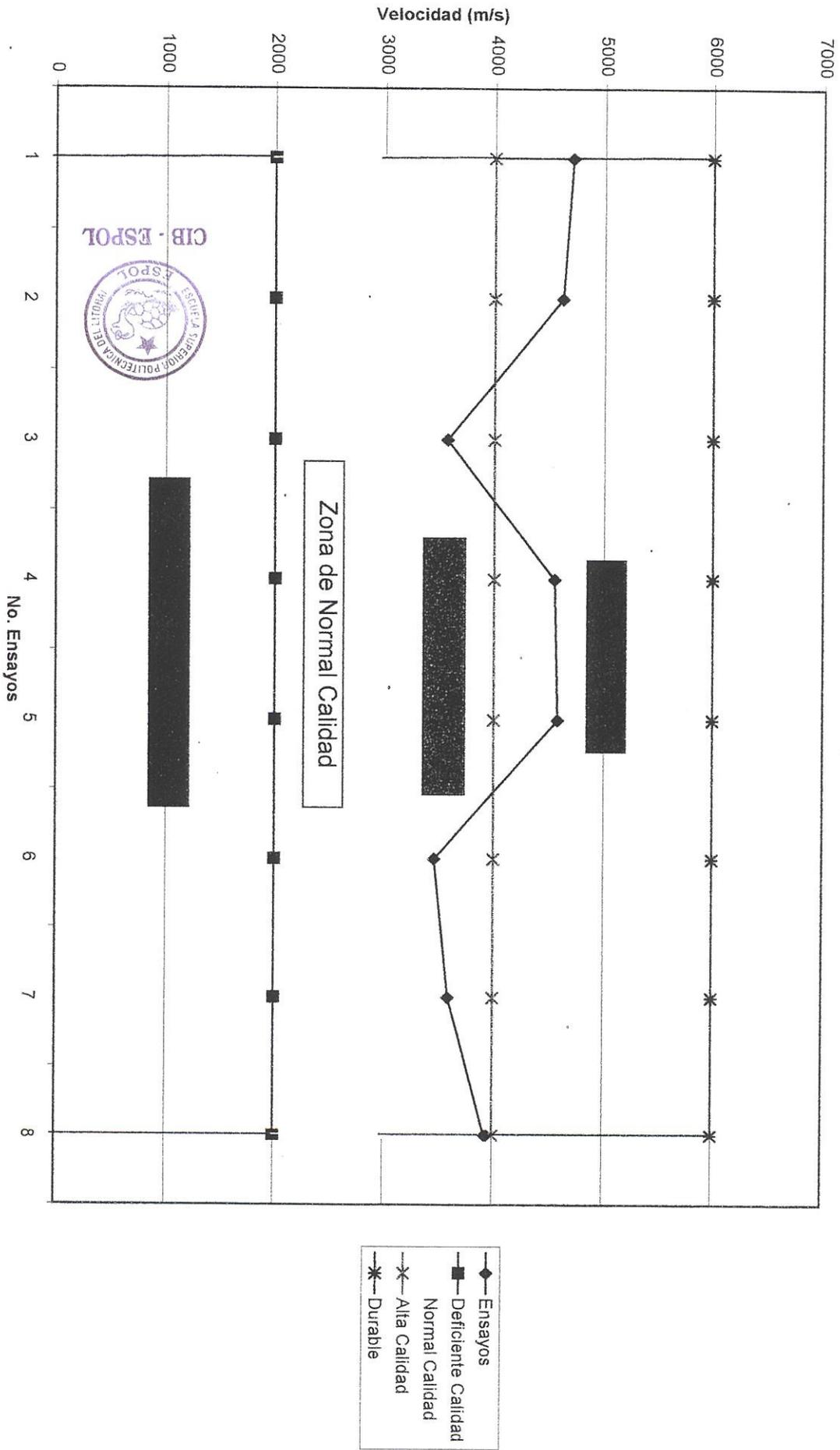


FIGURA 3.3.1. ENSAYO DE UT DE PANTALLA No. 20

***Pantalla No. 4 – Lado Norte*****CIB - ESPOL**

De la misma manera que el caso anterior, las mediciones obtenidas en los ensayos de ultrasonido en el hormigón, en las cotas + 2.100 MSNR y + 1.200 MSNR, en las caras laterales, muestran un valor promedio de **4521 m/s**; mientras que en la cara superior, el valor promedio es de **3303.33 m/s** (ver tabla 2.3.2.). Estos valores, juntamente con los de resistencia obtenidos, **36.5 MPa**, y **13.8 MPa**, ratifican que el hormigón fundido en sitio como el prefabricado, son de una calidad Alta – Durable (ver tabla 2.3.1). Algunos de los resultados se muestran en la figura 3.3.2.

Pantalla Curva Frontal Izquierda – Lado Oeste

Las mediciones obtenidas en los ensayos de ultrasonido en el hormigón, en las cotas + 2.100 MSNR y + 1.200 MSNR, en las caras laterales, muestran un valor promedio de **4518.25 m/s**; mientras que en la cara superior, el valor promedio es de **2363.33 m/s** (ver tabla 2.3.2); en cambio, los valores de resistencia obtenidos son **35.6 MPa**, y **32.7 MPa**. En la figura 3.3.3. podemos apreciar los resultados obtenidos del ensayo de Ultrasonido.

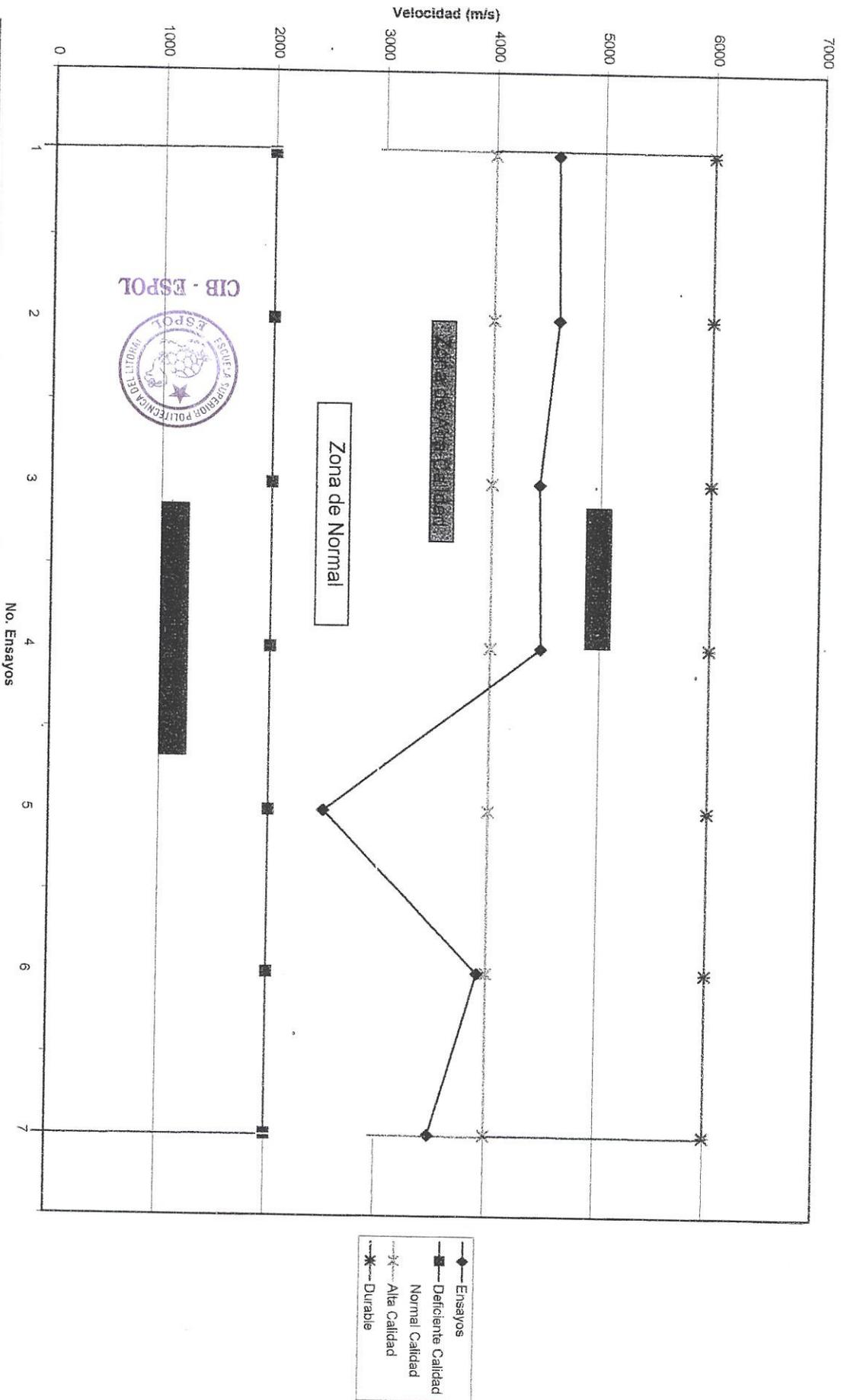


FIGURA 3.3.2. ENSAYO DE UT DE PANTALLA No.4

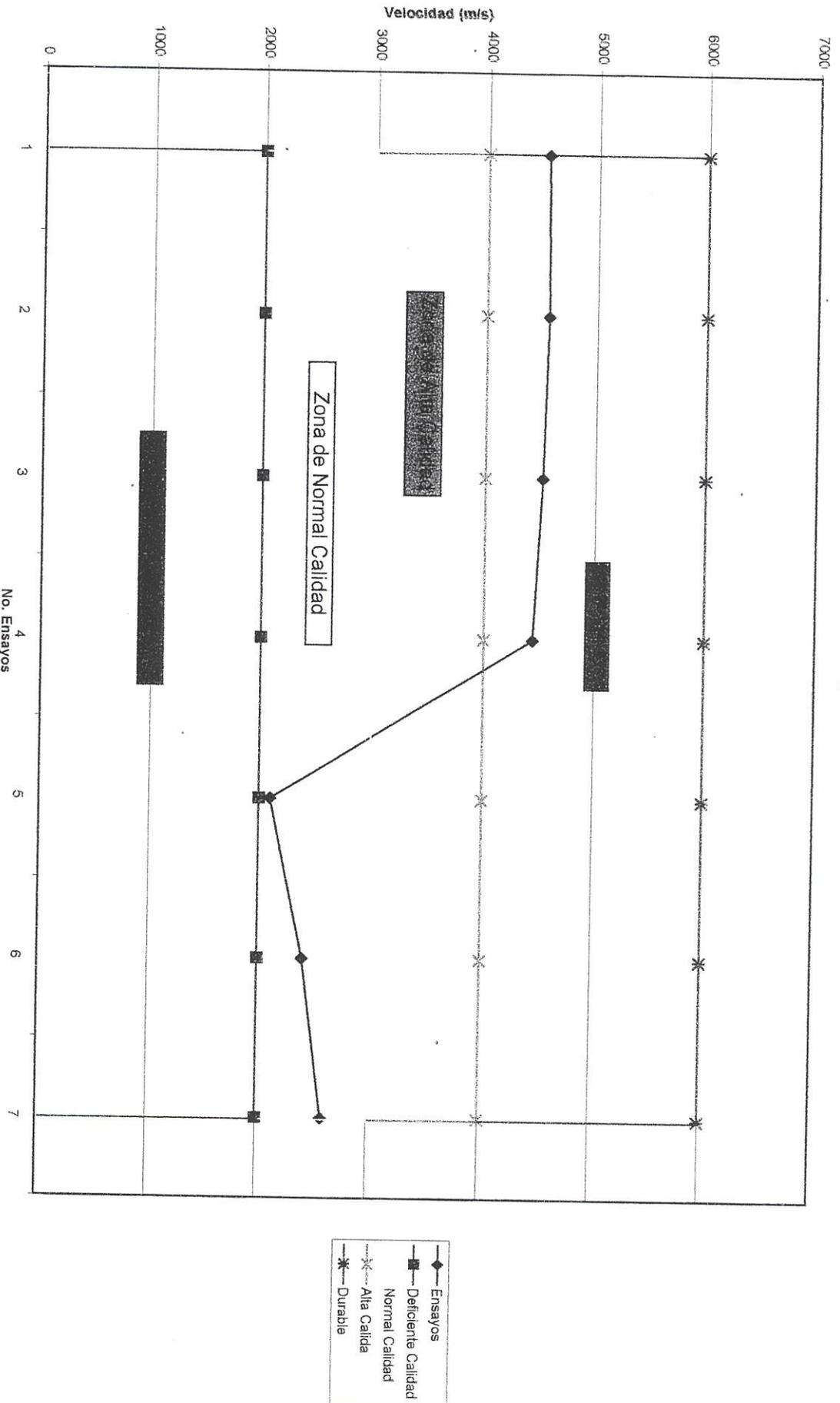


FIGURA 3.3.3. ENSAYO DE UT EN PANTALLA CURVA FRONTAL IZQUIERDA

Claramente se observa una zona de durable de calidad, y otra, de normal calidad. Dichas zonas pertenecen a los tramos prefabricados y fundidos en sitio, respectivamente. La razón por la cual las lecturas, en cuanto a velocidad de ultrasonido, han sido demasiado bajas es simple. Las constantes reparaciones, por bacheo, han determinado que el cemento utilizado para tal actividad no cumpla las mismas características, en cuanto a calidad y homogeneidad, que el cemento utilizado originalmente, pudiendo ser una de las causas. Recordemos que la calidad de un hormigón no sólo depende del tipo de cemento utilizado, sino también, de un múltiple de factores asociados, que contribuyen todos a formar un concreto de excelentes características, entre los que podemos citar: Dosificación del hormigón (relación a/c, áridos, arena), buena práctica de transporte, etc.

Otros

Con el fin de poder tener una mejor evaluación de la calidad y durabilidad del hormigón, utilizado en la construcción de las pantallas de protección del Muelle de Espigón de A.P.P.B, se han tomado medidas de ultrasonido, aleatoriamente, en diferentes pantallas, alrededor de toda la estructura armada



(ver tabla 2.3.2). En la mayoría de los casos, se evidencian alta y durable calidad del hormigón, corroborados por los resultados de resistencia actual del mismo. Si bien es cierto que no todos los resultados obtenidos marcan un hormigón de excepcionales características, en cuanto a calidad se refiere, esto se debe a las constantes reparaciones, por bacheo, realizadas sobre las pantallas de protección. Reparaciones, que en la mayoría de los casos, no utilizan un cemento de excelentes características o, simplemente, no implementan normativas que aseguren un hormigón homogéneo de excelente calidad.

Con Respecto al Ensayo de Carbonatación (Ver Apéndice J)

Pantalla Curva Frontal Izquierda, Pantalla No. 20 y No. 4

Se realizaron ensayos de carbonatación con fenolftaleína al 1% en las presentes pantallas, a cotas de + 2.400 y + 1.200 MSNR, en las caras internas y externas (ver Apéndice de planos: desde I-1 hasta -15), respectivamente. Las profundidades de interés fueron tres: 0 – 7 mm, 8 – 30 mm y 31 – 60 mm, donde se pudo evidenciar que los primeros 7 mm de profundidad están carbonatados, con la presencia de carbonato, CO_3 , y CO_2 , combinado con productos básicos de la masa, es decir, nada de CO_2 libre, cuya consecuencia se refleja en la ausencia

de alcalinidad caústica OH^- (ver tabla 2.3.4). El valor de pH encontrado a ésta profundidad varía dentro del rango de **9.0 – 8.2**, valor de carbonatación. Aunque el pH de un hormigón de excelente alcalinidad está dentro de 12 – 14, se cree que el pH actual del hormigón, a profundidades mayores a los 7 mm, puede alcanzar el valor de 12, donde eventualmente no existiría nada de HCO_3 y nada de CO_2 .

Además se calculo la constante de carbonatación, **1.60591 mm/año^{0.5}**, con los datos del espesor carbonatado, 7 mm, y el tiempo que tardó en carbonatarse dicho espesor, 19 años. Con la constante de carbonatación (indicativo de la calidad del hormigón, en este caso, de excelente calidad ya que valores comprendidos entre 2 y 3 mm/año^{0.5} son catalogados como hormigones de buena resistencia a la carbonatación y valores mayores a 6 mm/año^{0.5} son catalogados como de muy baja resistencia⁽¹⁰⁾), se calcula que el tiempo en el cual el frente carbonatado llega a la armadura será de **2481.63 años** (teóricamente hablando), siempre y cuando la armadura esté a **8 cm** de profundidad. En la tabla 2.3.5., se hace un análisis del tiempo de carbonatación a diferentes profundidades. En la figura 3.3.4. presentamos dicho análisis.

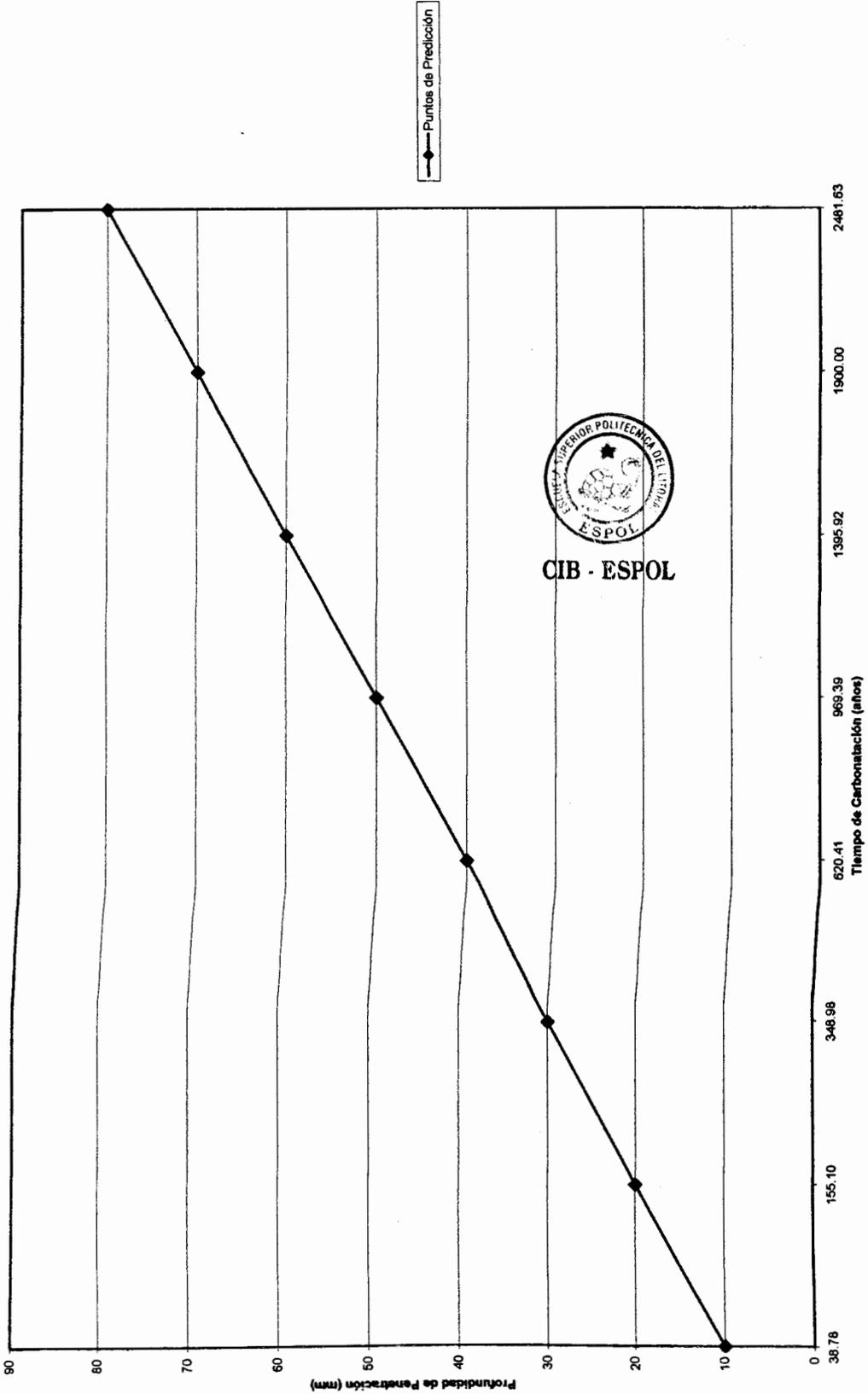


FIGURA 3.3.4. PREDICIÓN DEL TIEMPO DE CARBONATACIÓN DE LA ARMADURA

Otros

Los ensayos de carbonatación también fueron llevados a cabo en fisuras encontradas en la losa, de la pantalla frontal curva izquierda, donde el espesor carbonatado era de 4 cm (ver, Apéndice J).



Con Respecto al Ensayo de Cloruros (Cl⁻)

CIB - ESPOL

Pantalla Curva Frontal Izquierda, Pantalla No. 20 y No. 4

El porcentaje de cloruros, para que una estructura armada conserve la pasividad, debe ser menor al 0.1 % en peso con relación al cemento (ver tabla 2.3.6.). Graficamos los resultados obtenidos de la tabla 2.3.7., en la figura 3.3.5., figura 3.3.6. y figura 3.3.7.

De los gráficos, se deduce:

- 1) Las muestras han sido tomadas a profundidades, con respecto a la cara exterior del hormigón, de 0-1 cm, 1-3 cm y 3 – 6.5 cm. Luego, la zona de interés a estudiar ha sido la catalogada como de secado y humedecimiento rápido, cota + 1.200 MSNR en la pantalla No. 20 y + 0.900 MSNR en las pantallas No. 4 y Frontal Curva Izquierda (ver Apéndice de planos: I-1 hasta I-15). A continuación, exponemos en las

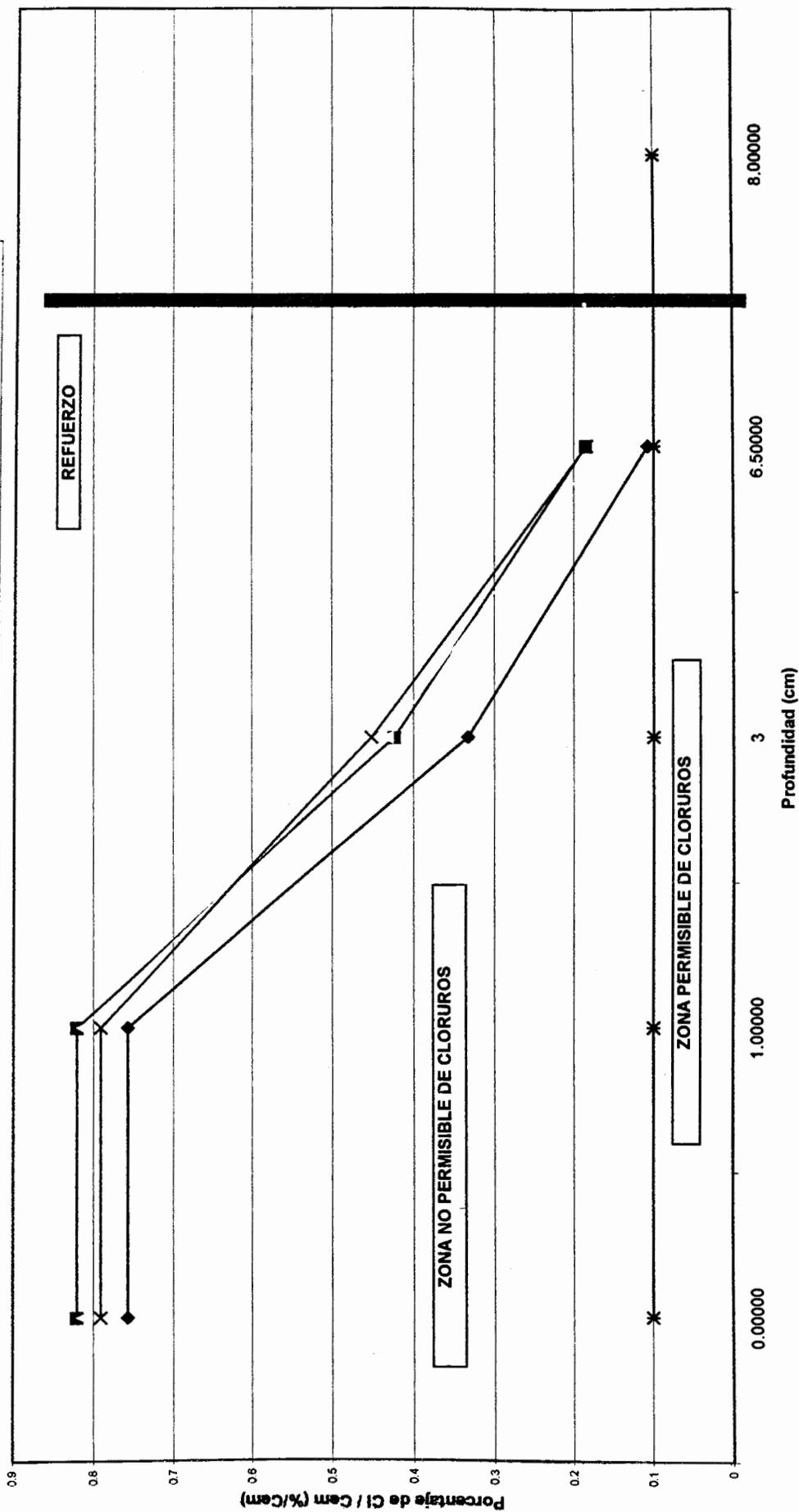


FIGURA 3.3.5. PERFIL DE CLORUROS EN PANTALLA No. 20

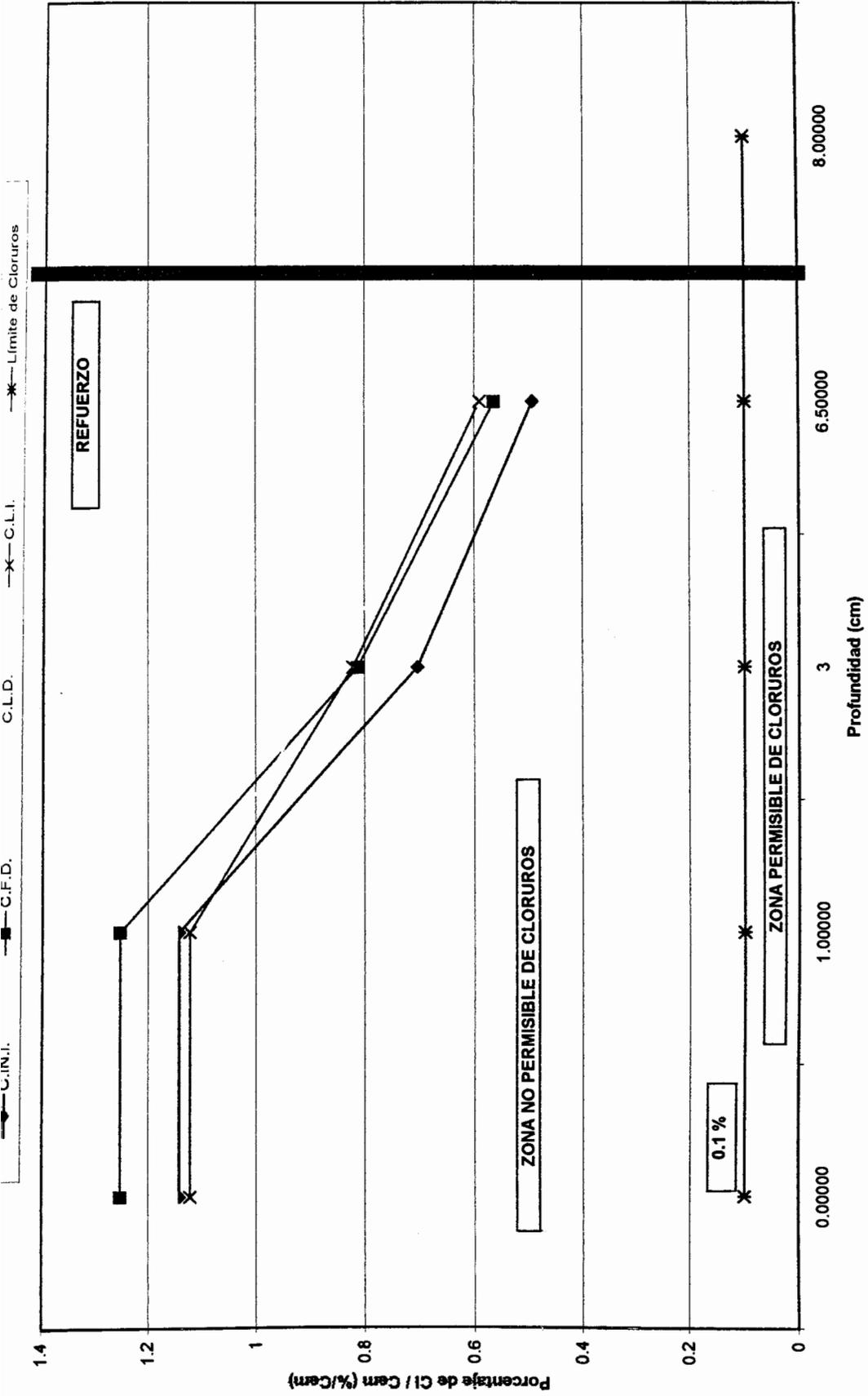


FIGURA 3.3.6. PERFIL DE CLORUROS EN PANTALLA No. 4

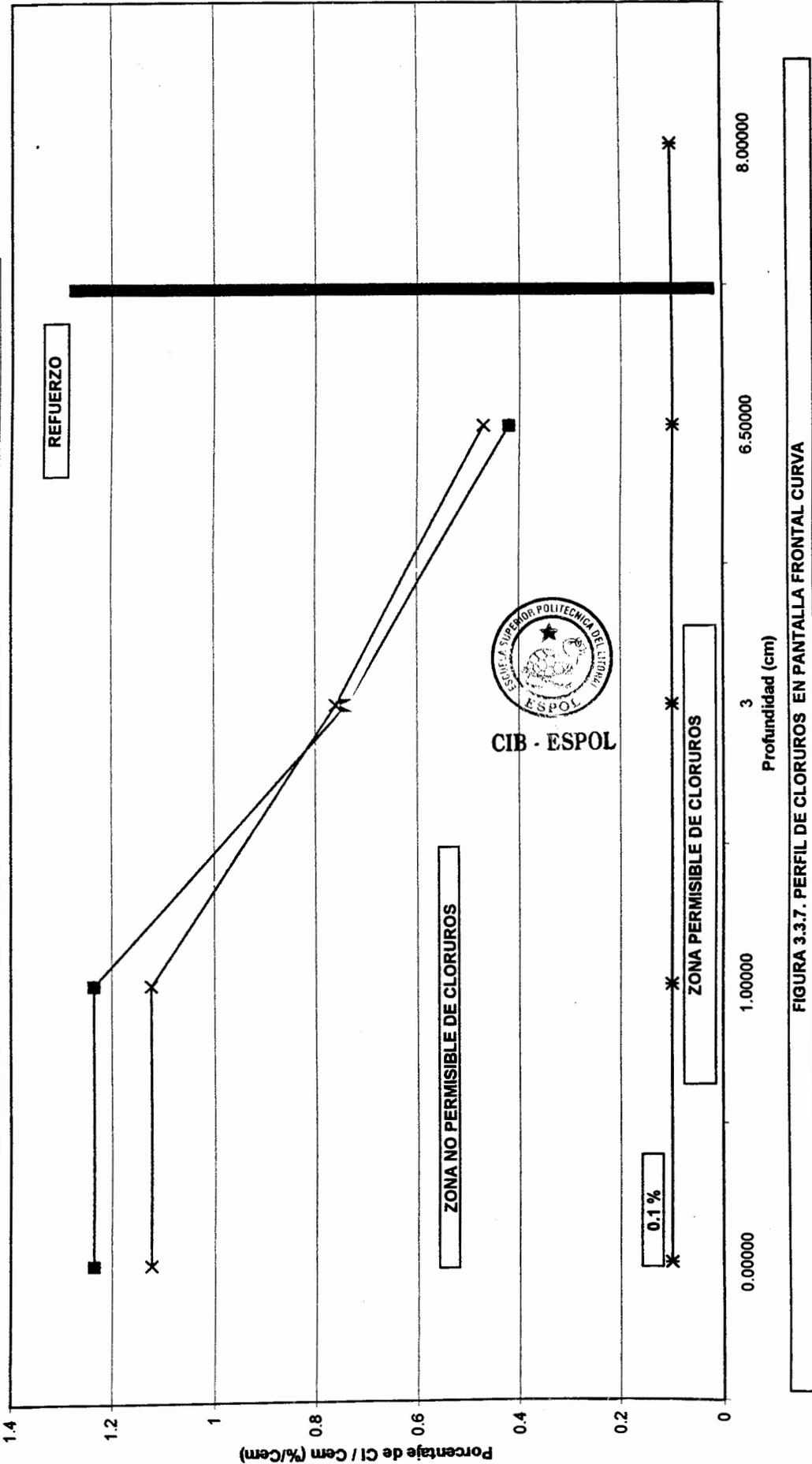
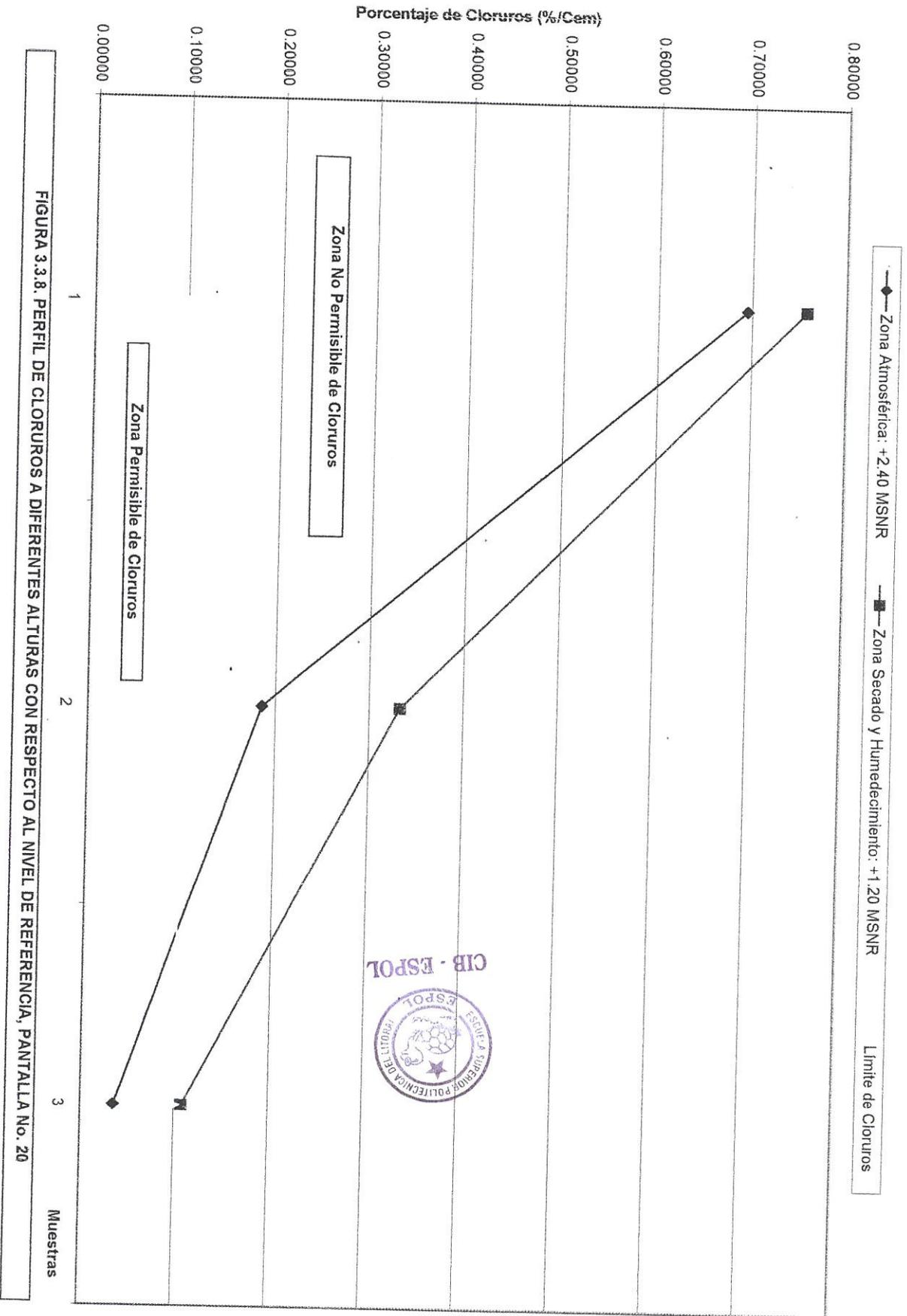


FIGURA 3.3.7. PERFIL DE CLORUROS EN PANTALLA FRONTAL CURVA

figuras 3.3.8., 3.3.9. y 3.3.10., las razones por las cuales se seleccionó ésta cota para el respectivo diagnóstico.

Como se puede apreciar, los porcentajes de cloruros, en la zona de secado y humedecimiento, es mayor que en la zona atmosférica.

- 2) El porcentaje de cloruros, en la cara interior de las pantallas, en general, es menor que, lo que podríamos considerar como las caras exteriores de las mismas, las caras laterales y caras frontales. También, podemos apreciar, que el porcentaje de cloruros en las pantallas No. 4 y Frontal Curva Izquierda son mayores que en la pantalla No. 20, en todas las caras existentes. La razón se debe a que el viento sopla en dirección noroeste – sureste, golpeando las pantallas ubicadas en el lado norte, primero, para luego pasar a las pantallas del lado sur.
- 3) El refuerzo colocado en las pantallas, se encontró a los 7 cm de profundidad, unas veces, mientras que en otras, a profundidades que bordeaban los 8 cm, con respecto a la cara exterior del hormigón. De la tabla 2.3.7. y, figuras 3.3.5., 3.3.6. y 3.3.7., observamos que el porcentaje de cloruros mínimos requeridos por Norma, no se cumple.



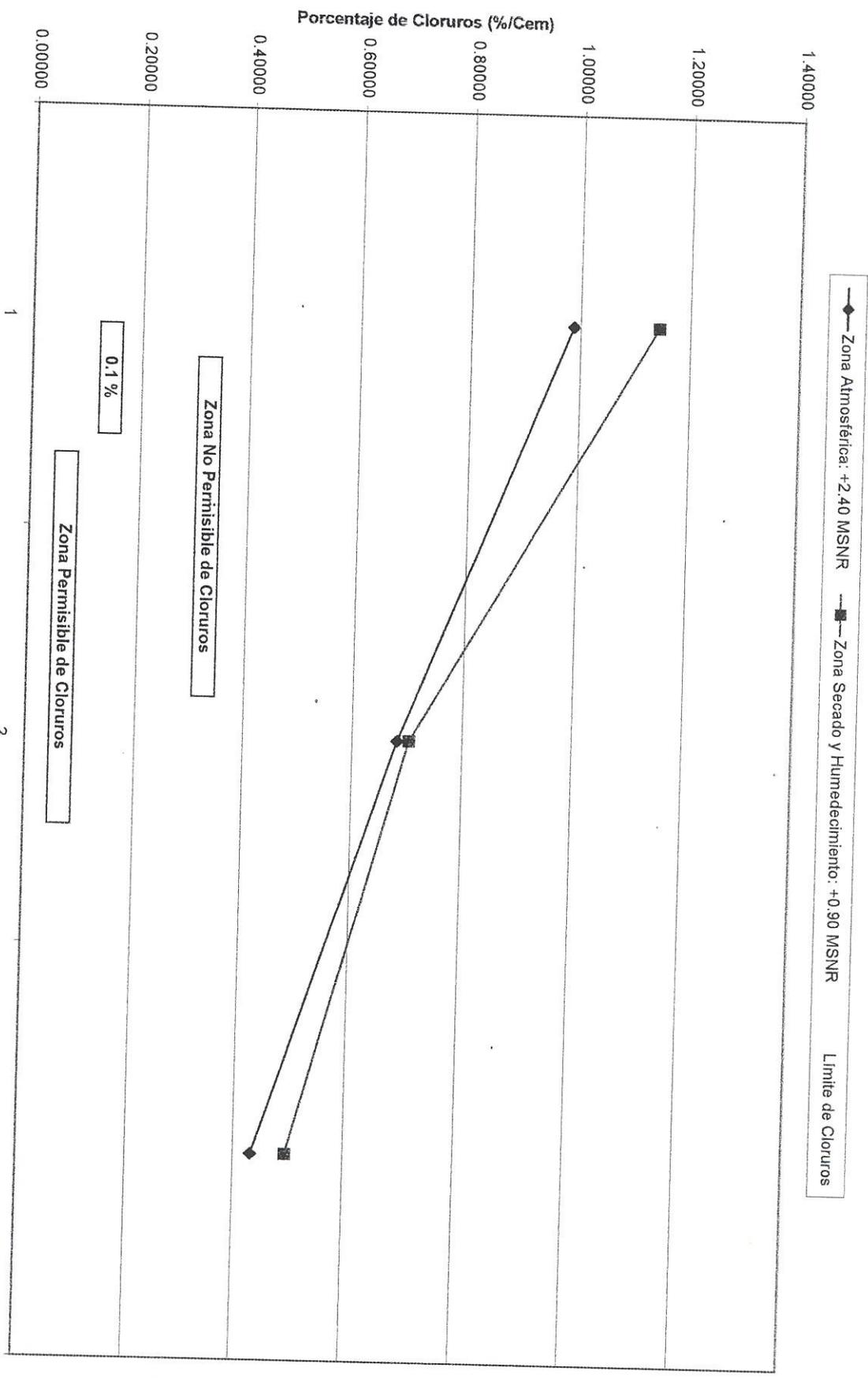


FIGURA 3.3.9. PERFIL DE CLORUROS A DIFERENTES ALTURAS CON RESPECTO AL NIVEL DE REFERENCIA, PANTALLA No. 4

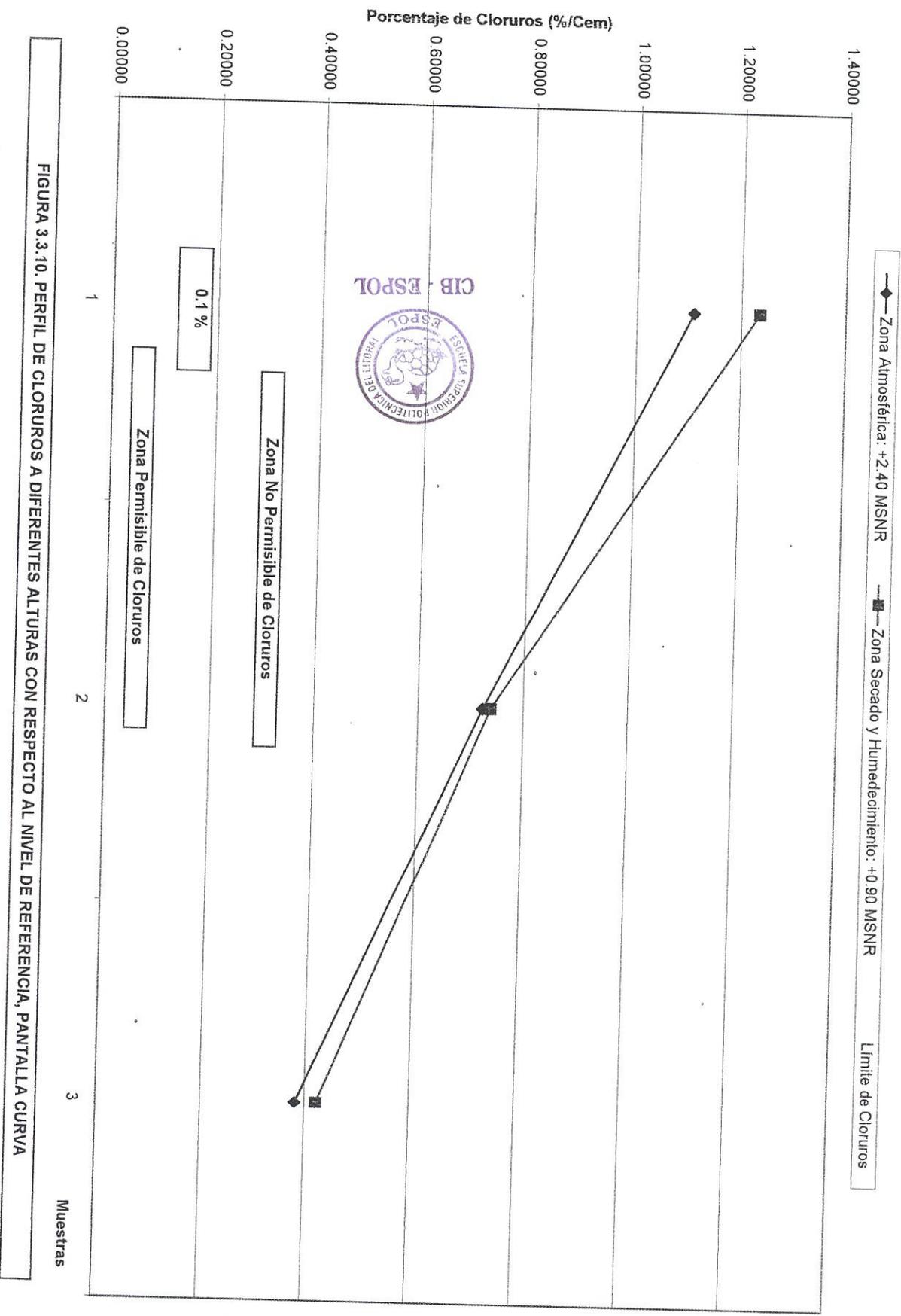


FIGURA 3.3.10. PERFIL DE CLORUROS A DIFERENTES ALTURAS CON RESPECTO AL NIVEL DE REFERENCIA, PANTALLA CURVA

Valores superiores al 0.1 % en peso con relación al cemento, se evidencian en la vecindad de la armadura. Los casos más críticos son las pantallas No. 4 y Curva Frontal Izquierda, donde valores del 600% más del límite exigido, se encontraron en la vecindad de la armadura.

Con Respecto al Ensayo de Sulfatos (SO_3^{-2})

Pantalla Curva Frontal Izquierda, Pantalla No. 20 y No. 4

El porcentaje de sulfatos (SO_3^{-2}) permisibles en la masa de cemento, para que no ocurra fisuramiento o expansión del hormigón, debido a la reacción de los sulfatos con el aluminato tricálcico (C_3A), debe ser menor a 3.5% en la mayoría de los cementos (ver tabla 2.3.8). De igual manera que el caso anterior, las muestras extraídas se localizaron en las cotas + 1.200 MSNR en la pantalla No. 20 y + 0.900 MSNR, en las pantallas No. 4 y Frontal Curva Izquierda (ver Apéndice de planos: I-1 hasta I-15), a profundidades de 0-1 cm, 1-3 cm y 3 – 6.5 cm. A continuación, los datos de la tabla 2.3.9., se representan en las figuras 3.3.11., 3.3.12. y 3.3.13.

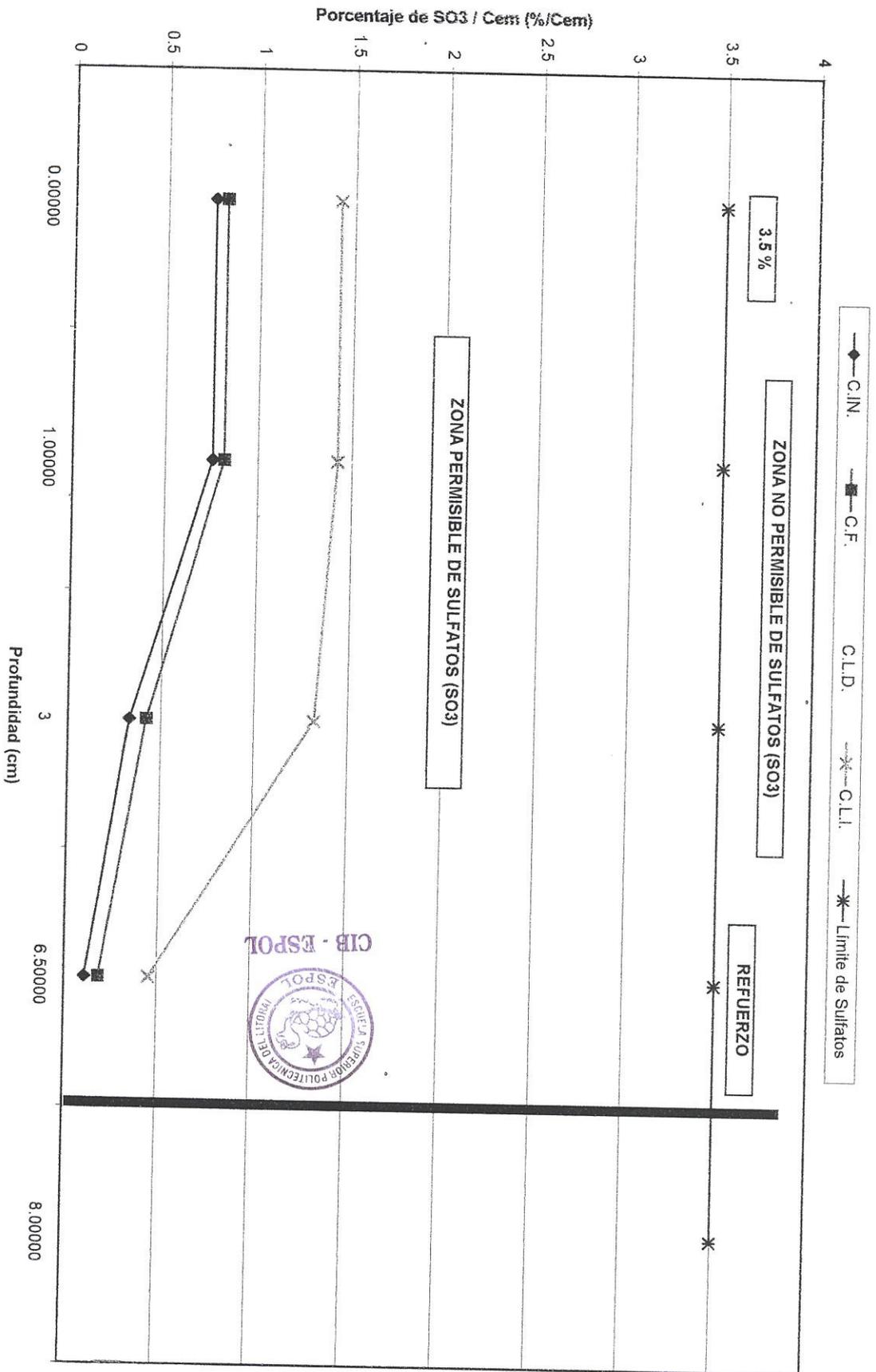


FIGURA 3.3.11. PERFIL DE SULFATOS EN PANTALLA No. 20

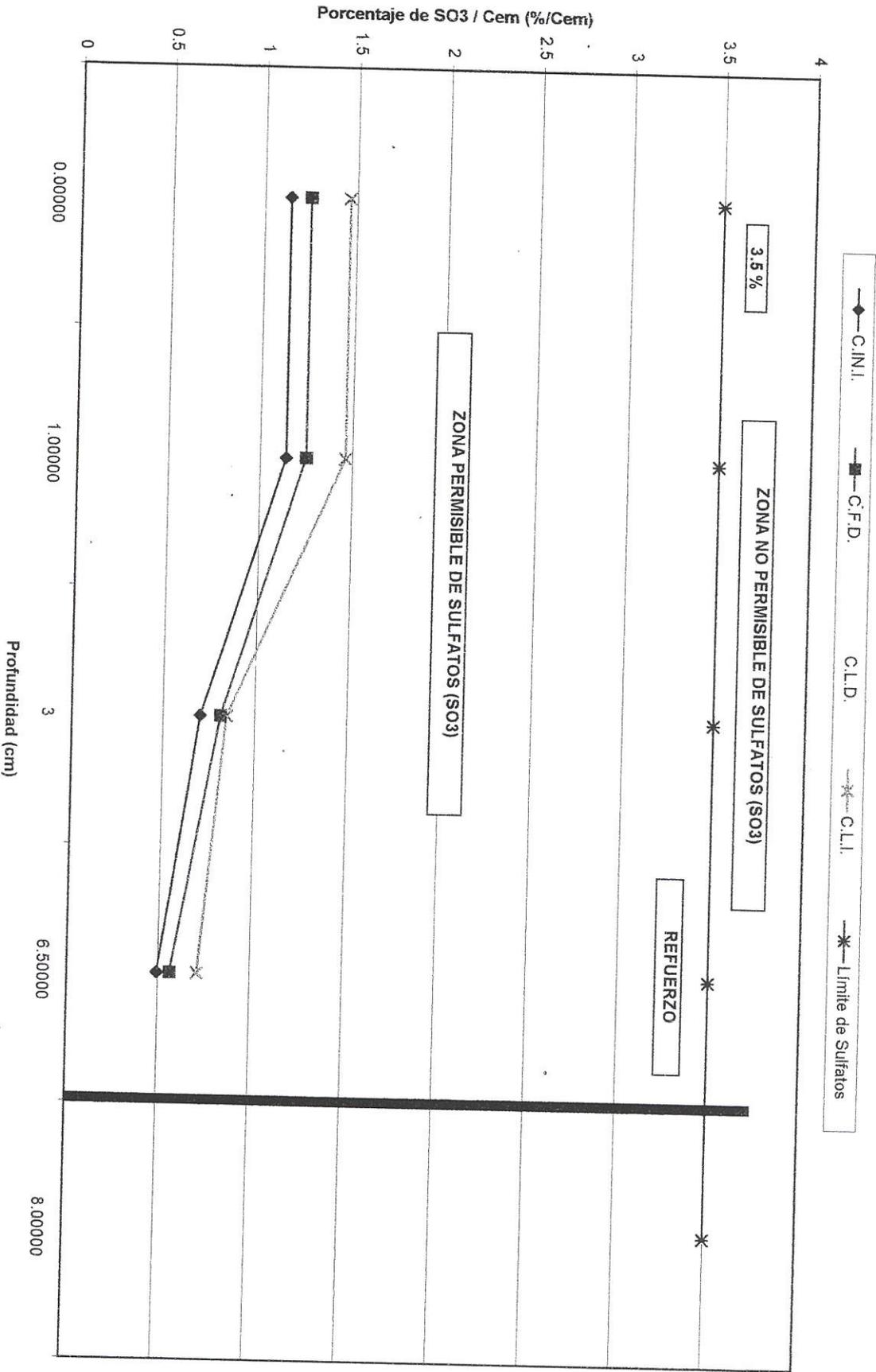


FIGURA 3.3.12. PERFIL DE SULFATOS EN PANTALLA No. 4

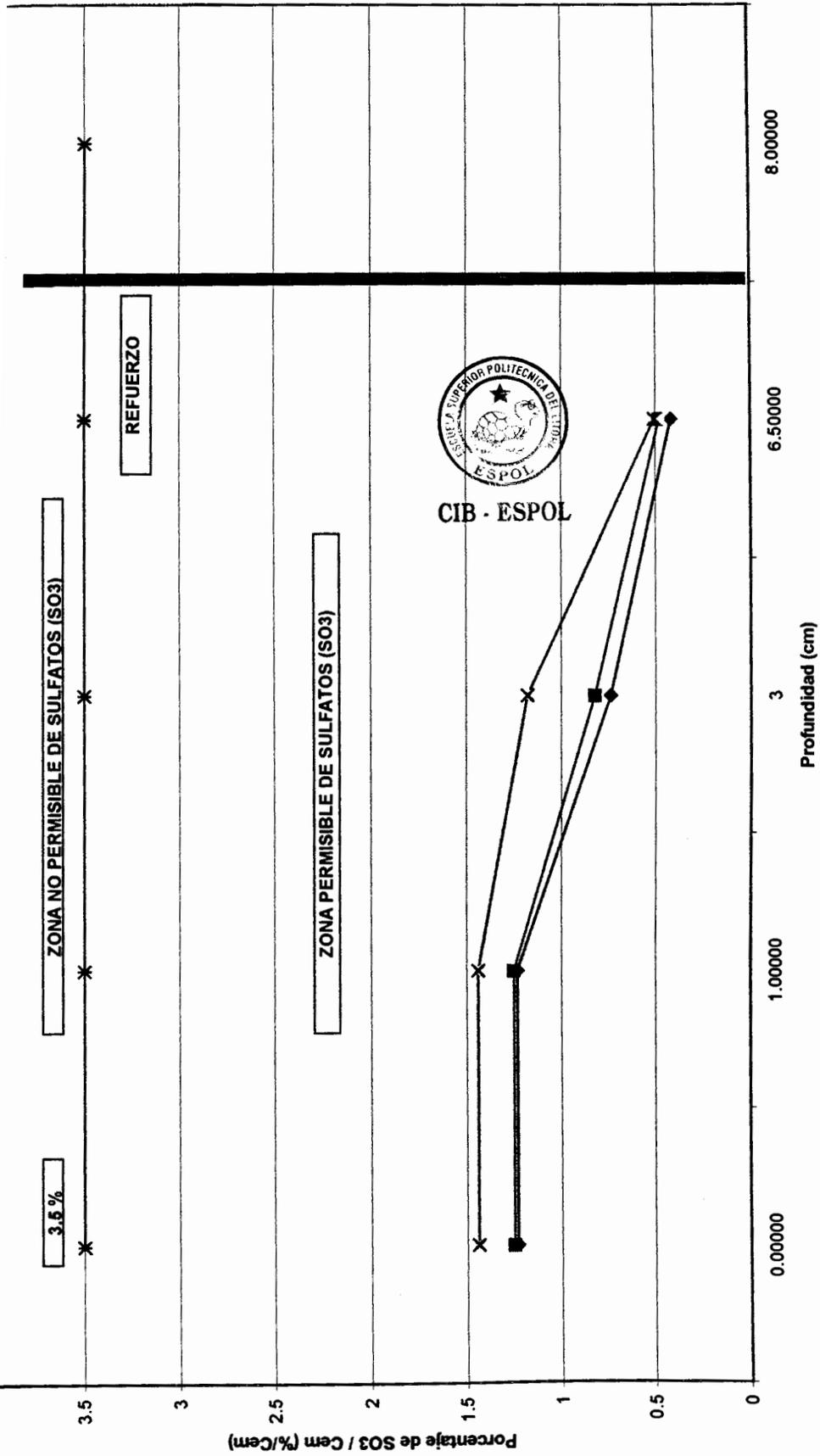


FIGURA 3.3.13. PERFIL DE SULFATOS EN PANTALLA FRONTAL CURVA

De los gráficos, se deduce:

- 1) El porcentaje de sulfatos (SO_3^{-2}) en la pantalla No. 20 es menor que en las pantallas No. 4 y Curva Frontal Izquierda, debido a la dirección en la cual sopla el viento, noroeste – sureste. De manera similar que en los cloruros, el porcentaje de sulfatos (SO_3^{-2}) en las caras exteriores son mayores que en la cara interior (ver Apéndice de planos: I-1 hasta I-15).

- 2) El porcentaje de sulfatos (SO_3^{-2}) en la zona de secado y humedecimiento rápido, cotas + 1.200 MSNR y + 0.900 MSNR, es mayor que en la zona atmosférica, cota + 2.400 MSNR (ver figura 3.3.14).

- 3) El porcentajes de sulfatos (SO_3^{-2}), sin importar la orientación de la cara o su altura, en la vecindad del refuerzo es mucho menor al límite exigido por la Norma (ver tabla 2.3.8). Ahora, contamos con un parámetro más con el cual podemos calificar al cemento como de excelente calidad.

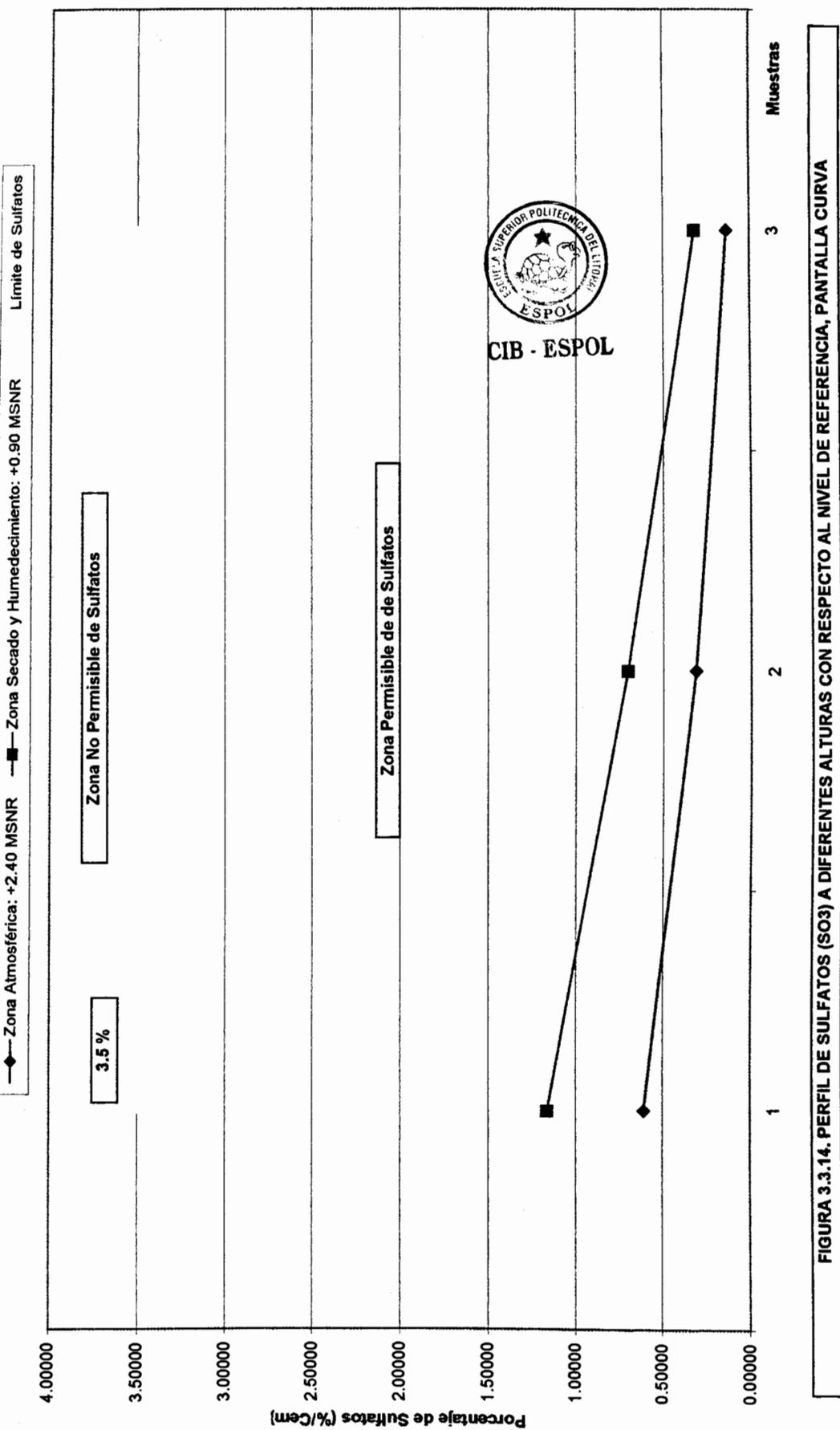


FIGURA 3.3.14. PERFIL DE SULFATOS (SO3) A DIFERENTES ALTURAS CON RESPECTO AL NIVEL DE REFERENCIA, PANTALLA CURVA

3.4. Diagnóstico de los Ensayos del Acero Embebido

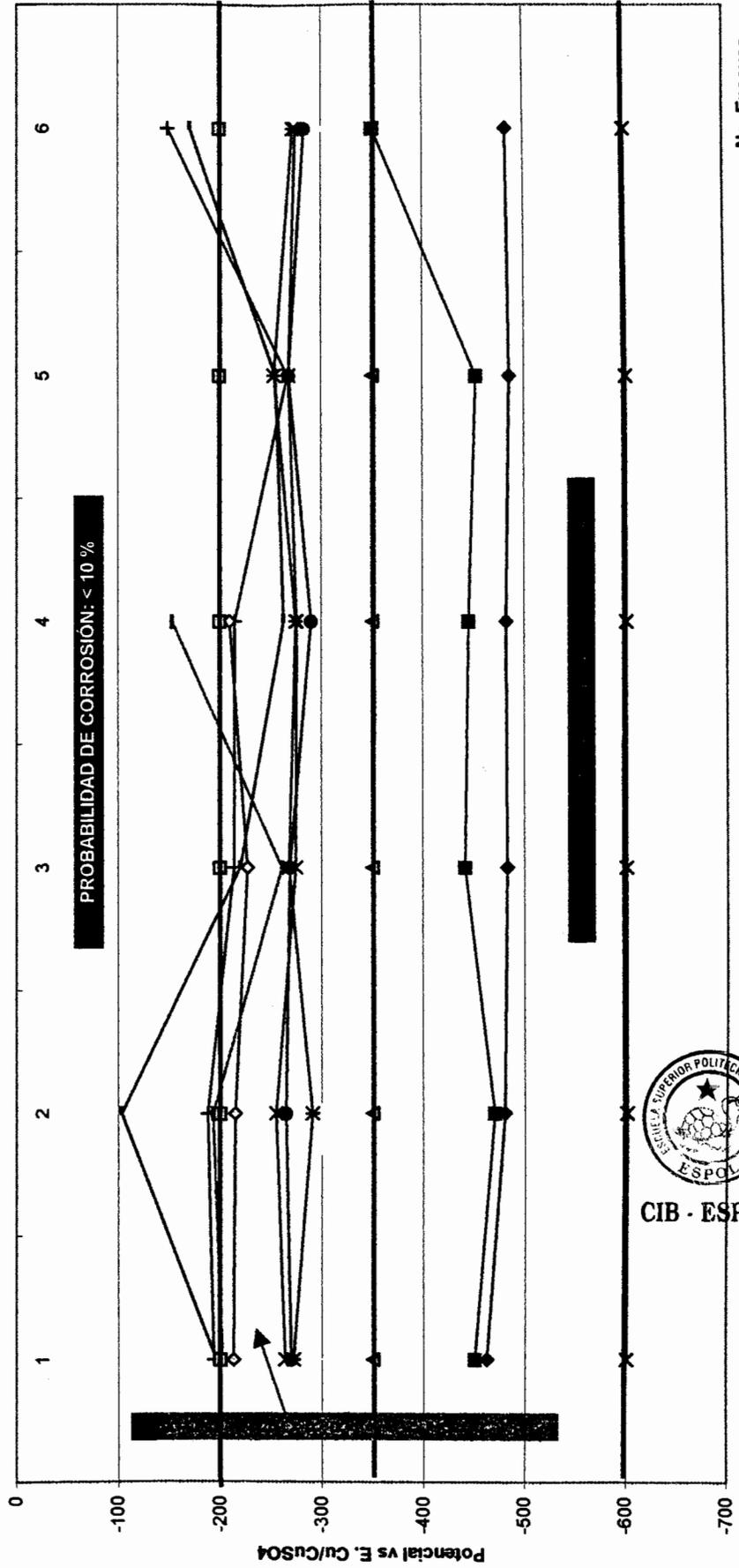
Con Respecto a la Medición de Potenciales (Ver, Apéndice K)

Existen varias Normas Internacionales que nos permiten tener una idea del potencial natural que debe tener una estructura de acero, embebida en el hormigón, para conocer el estado de probabilidad de corrosión, que posee, con el medio que lo rodea. Dada la complejidad de presente análisis, hemos seleccionado dos criterios internacionales para poder evaluar el estado de la armadura: 1) ASTM C876 (ver tabla 2.3.10) y 2) DURAR (ver tabla 2.3.11.). A continuación, procedemos al diagnóstico de las pantallas de protección.

Pantalla No. 20 – Lado Sur

De la tabla 2.3.12, observamos los resultados obtenidos de dicho ensayo no destructivo. Para mayor comprensión, presentamos estos mismos resultados en los planos I-1 hasta I-5, del Apéndice de planos, donde diferenciamos las zonas de alta y baja marea, al cual está expuesta la presente pantalla. En las figura 3.4.1 y 3.4.2., hemos graficado los potenciales naturales del refuerzo, de las caras interior y frontal, por ser consideradas como las más representativas.

- ◆ +0.600 MSNR
- ✱ +1.800 MSNR
- +3.000 MSNR
- ✱ +0.900 MSNR
- +2.100 MSNR
- ◇ +3.300 MSNR
- + +1.200 MSNR
- +2.400 MSNR
- Baja Probabilidad Corrosiva
- ✱ +1.500 MSNR
- +2.700 MSNR
- △ Intermedia Probabilidad Corrosiva
- ✱ Alta Probabilidad Corrosiva



No. Ensayos

FIGURA 3.4.1. LECTURAS DE POTENCIALES EN PANTALLA No. 20, CARA INTERIOR

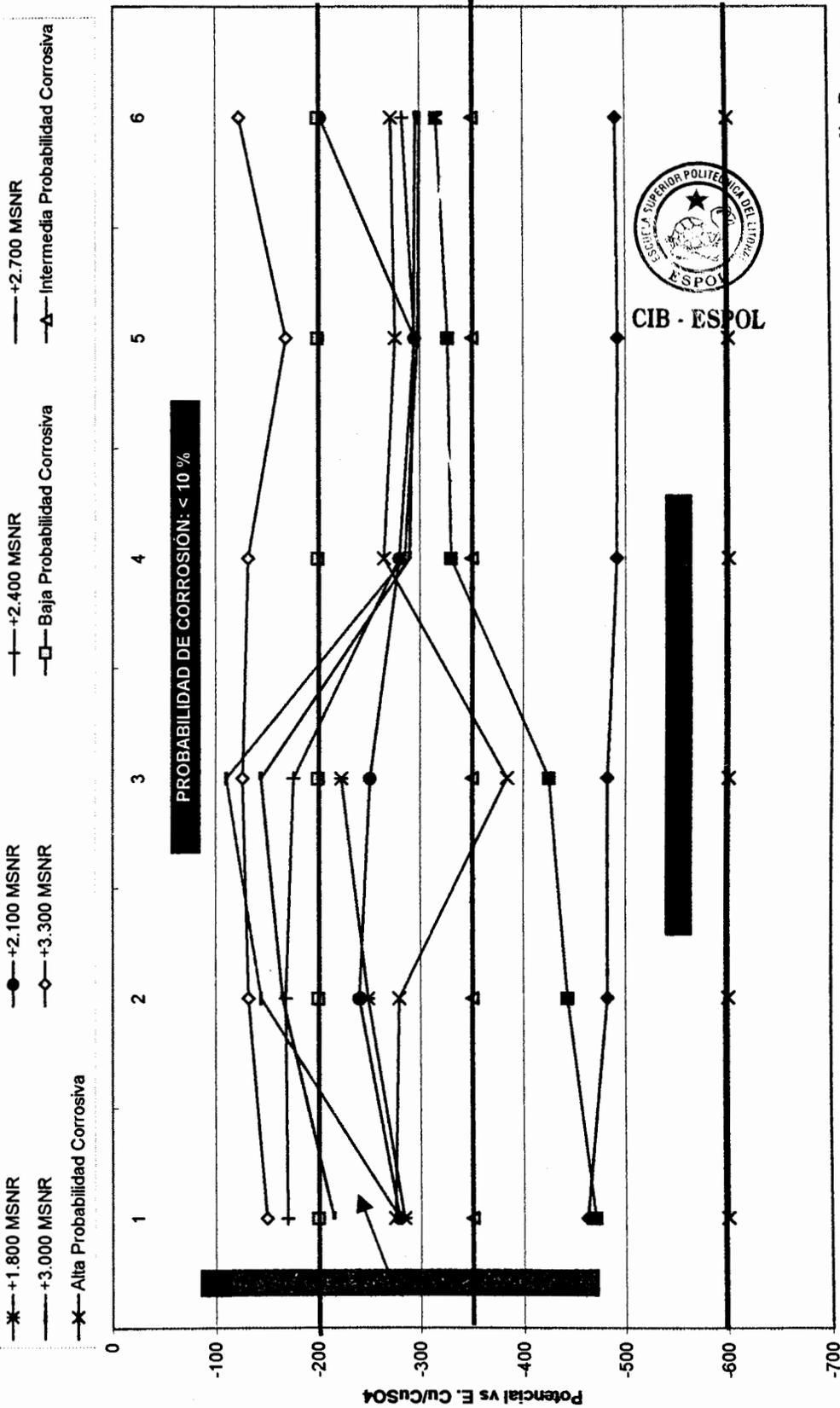


FIGURA 3.4.2. LECTURAS DE POTENCIALES EN PANTALLA No. 20, CARA FRONTAL

No. Ensayos

De los planos y figuras expuestos, claramente se puede evidenciar que en la zona comprendida entre la cota + 0.000 MSNR y + 1.200 MSNR, los potenciales naturales están por debajo de -350 mV vs Cu/CuSO₄, lo que indica, según ASTM C876 (ver tabla 2.3.10.), un riesgo de que exista corrosión mayor del 90%. En cambio, la zona comprendida entre la cota + 1.200 MSNR y + 3.300 MSNR, indica un potencial natural entre los -350 hasta 200 mV vs Cu/CuSO₄, cuya probabilidad de riesgo de corrosión es intermedia. Luego, en la zona por encima de la cota + 3.300 MSNR, se obtienen resultados de potenciales naturales menores a -200 mV vs Cu/CuSO₄, signos de que existe una probabilidad de corrosión menor al 10%. Cabe indicar, que esto se cumple para las caras laterales, frontal e interior; la cara superior, presenta la zona del costado con potenciales por debajo de -350 mV vs Cu/CuSO₄, debido a que en ésta zona existe desmoronamiento de material, por tanto, el acero está descubierto libre del ataque del medio exterior (ver Apéndice de planos: V-8).

Pantalla No. 4 – Lado Norte

De la misma manera que el caso anterior, hemos tomado los resultados obtenidos de la tabla 2.3.13., para graficarlos en los

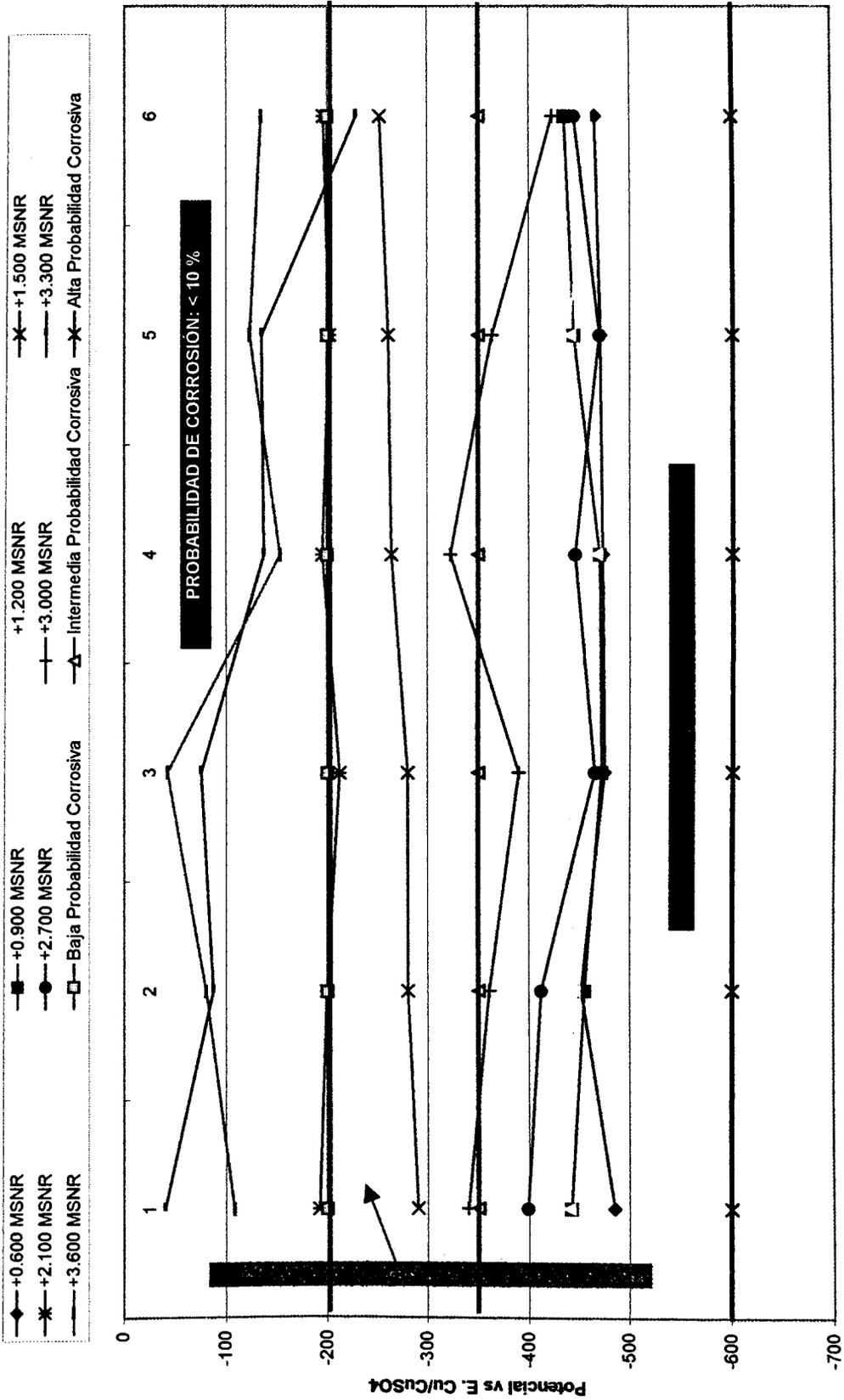
**CIB - ESPOL**

planos I-6 hasta I-10, del Apéndice de planos, para mayor comprensión. Luego, en la figura 3.4.3, esquematizamos los potenciales de la cara interior izquierda.

Como se puede apreciar, gran parte de los potenciales obtenidos están dentro de la zona de probabilidad de corrosión mayor al 90%. A ésta zona, pertenecen los potenciales que van de la cota + 0.000 MSNR a 1.500 MSNR, en las cara laterales, y cota + 0.000 MSNR a + 1.200 MSNR, en las caras frontal e interior. La zona comprendida entre la cota + 1.200 ó + 1.500 MSNR a +1.800 ó 2.100 MSNR, contiene potenciales naturales cuya probabilidad de corrosión es intermedia (- 350 a 200 mV vs Cu/CuSO₄). En cambio, la zona por arriba de la cota + 1.800 ó + 2.100 MSNR, comprende potenciales por encima de - 200 mV vs Cu/CuSO₄, indicativo que la probabilidad de corrosión es menor al 10%. Una vez más, la cara superior de la presente pantalla, evidencia riesgo de corrosión menor al 10%.

Pantalla Curva Frontal Izquierda – Lado Oeste

De la tabla 2.3.14 y planos I-11 hasta I-12, del Apéndice de planos, procedemos a evaluar la presente pantalla. La figura 3.4.4., nos servirá de apoyo para una mayor comprensión.



No. Ensayos

FIGURA 3.4.3. LECTURAS DE POTENCIALES EN PANTALLA No. 4, C.F.I.

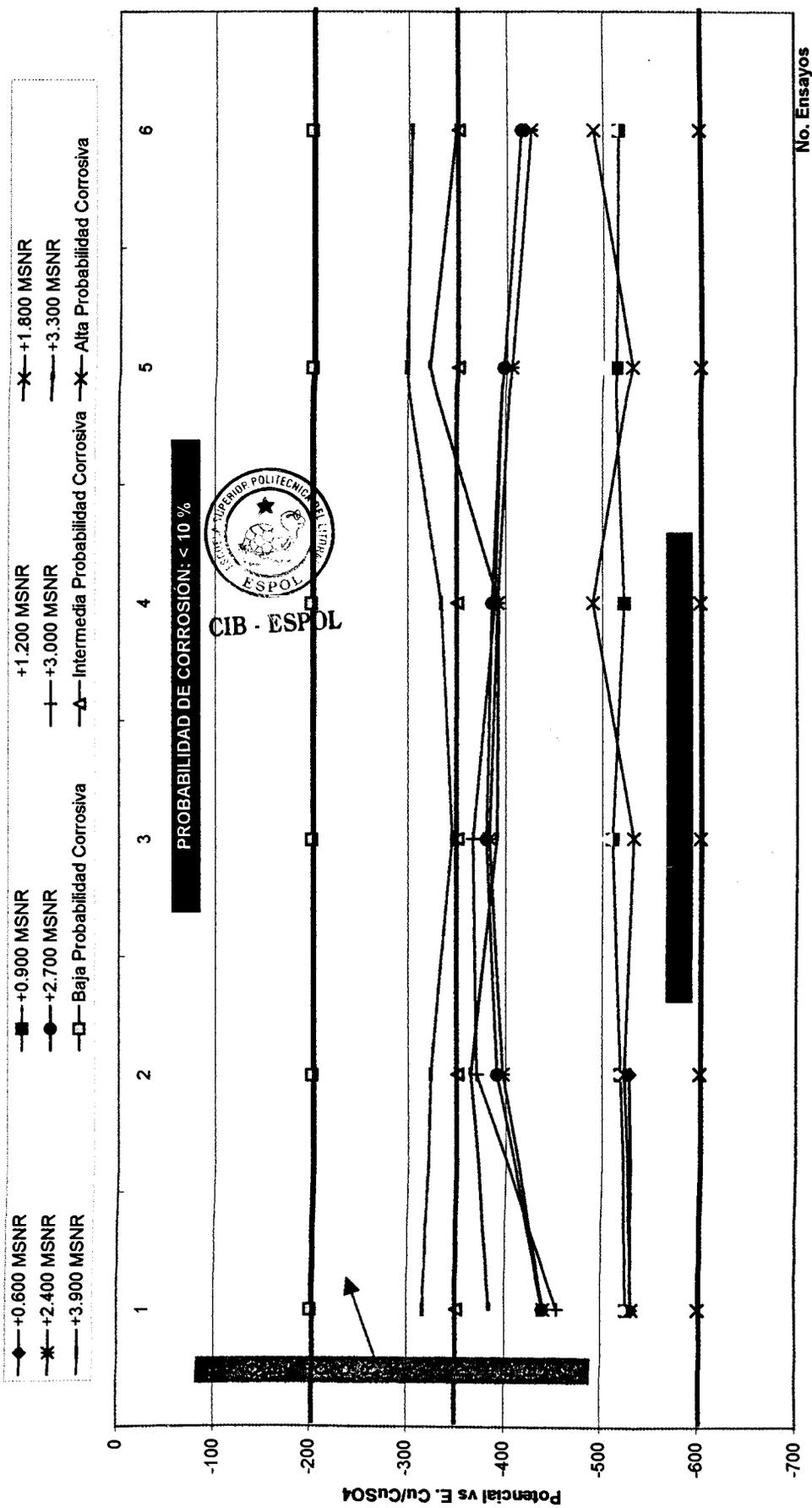


FIGURA 3.4.4. LECTURAS DE POTENCIALES EN PANTALLA CURVA, C.F.I.

Se puede apreciar, de la figura 3.4.4., que la mayoría de los potenciales obtenidos están dentro de la zona cuya probabilidad de corrosión es mayor al 90% (ver tabla 2.3.14). Debido a su posición, la pantalla presenta un riesgo de corrosión muy alto, en todas sus caras. Así, las cotas comprendidas entre + 0.000 MSNR a + 3.600 MSNR, registran potenciales de corrosión muy peligrosos, que atentan la integridad de la estructura armada.



CIB - ESPOL

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye lo siguiente:

- 1) Los resultados encontrados en los ensayos, practicados en el agua de mar, califican al medio como altamente agresivo.

- 2) Los ensayos de ultrasonido, practicados en las pantallas de protección No. 20, No. 4 y Curva Frontal Izquierda, tanto de velocidad de propagación de onda como de resistencia del material, denotan que el hormigón con que fueron construidas las pantallas de protección es de excelente calidad.

- 3) Los ensayos de sulfatos, practicados en las pantallas de protección No. 20, No. 4 y Curva Frontal Izquierda, dan como resultado que el riesgo por desmoronamiento de hormigón, es despreciable.



- 4) Los ensayos de cloruros, practicados en las pantallas de protección No. 20, No. 4 y Curva Frontal Izquierda, dan como resultado que el porcentaje de cloruros actual se encuentra por encima del exigido por la Norma UNE 2001⁽⁴⁾. Por tanto, el acero está en un estado activo para un posible proceso de corrosión.
- 5) Los potenciales naturales de la armadura, en la zona de alta y baja marea, de las pantallas seleccionadas, bordean valores de < -350 mV vs Cu/CuSO₄, lo que indica, según Norma UNE 2001⁽⁴⁾, que el refuerzo tiene una probabilidad del 90% para que un posible proceso de corrosión ocurra.
- 6) El frente carbonatado alcanza la profundidad de 7 mm, en la zona de alta y baja marea, de las pantallas seleccionadas, en los 19 años de construcción de las mismas. Sin embargo, el frente carbonatado no ha alcanzado la armadura.
- 7) El método seleccionado, para evitar que la armadura de las pantallas de protección se corra, han sido los inhibidores. Aunque los cloruros y potenciales naturales son muy altos en la vecindad de la armadura, los inhibidores de corrosión están protegiéndola, de manera efectiva.

Se recomienda lo siguiente:

- 1) Reparar, por medio de técnica de bacheo, las fisuras localizadas en las pantallas No. 21 (lado sur - parte superior), No. 19 (lado sur – cara frontal), frontal curva derecha (losa interior – lado oeste) y frontal curva izquierda (losa interior – lado oeste). De la misma manera, reparación por bacheo, de las zonas con acero expuesto: Pantalla No. 20 (lado sur – cara superior), Pantalla No. 20 (lado sur – cara lateral derecha – cota + 0.600 MSNR) y Pantalla No. 4 (lado norte – cara frontal derecha e izquierda – cota + 0.000 MSNR).

- 2) Consultar con su proveedor de inhibidores, en caso de estudiar la posibilidad de aplicar más capa de inhibidor en la estructura armada. Así mismo, pintar exteriormente las pantallas de protección con un epóxico, para evitar la penetración de cloruros o CO₂ atmosférico.

- 3) Reponer las defensas de polietileno de las pantallas No. 7 (lado sur) y No. 4 (lado norte). En cuanto a las platinas y pernos de anclaje de las defensas de polietileno, en la medida de lo posible, tratar de sustituir aquellas que se encuentran en pésimo estado, utilizando en la instalación juntas aislantes que eviten una

corrosión por contacto galvánico entre dos metales (platina y perno).

- 4) Llevar un registro, por escrito, de reparaciones efectuadas en las pantallas de protección o en el muelle en sí. Dicho registro deberá contener planos y croquis, señalando claramente la localización de dicha reparación, cemento utilizado, dosificación del hormigón, aditivos utilizados y relación a/c.
- 5) Implementar un SPC por corrientes impresas, en toda la estructura armada.
- 6) Se sugiere, llevar una inspección del mismo tipo, en las pantallas y pilotes de contención, del Muelle de Espigón, con el fin de evaluar el avance de la tasa de corrosión, dentro de 2 años.



CIB - ESPOL

APÉNDICE DE TABLAS

COMPONENTES PRINCIPALES Y SECUNDARIOS DE LOS CEMENTOS⁽⁴⁾

Denominación de los Productos (Tipos de Cementos Comunes)		Composición — Proporción en Masa (1)											Consist. Minorit.		
		Clinker K	Escoria de alto Horno S	Humo de Silice D _z	Puzolana			Cenizas volantes			Esquistos Calcinados T	Caliza			
					Natural P	Natural Calcinada Q	Silíceos V	Cálcicas W	L	LL					
CEM I	Cemento Portland	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland con escoria	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Cemento Portland con humo de silice	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		65-79	-	-	-	-	6-20	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5



CIB - ESPOL

Continuación

CEM IV	Cemento puzolánico (3)	CEM IV/A	65-89		<----- 11-35 ----->	-	-	-	0-5
		CEM IV/B	45-64		<----- 36-35 ----->	-	-	-	0-5
CEM V	Cemento compuesto (3)	CEM V/A	40-64	18-30	<----- 18-30 ----->	-	-	-	0-5
		CEM V/B	20-38	31-50	<----- 31-50 ----->	-	-	-	0-5

1) Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios (núcleo de cemento).

2) El porcentaje de humo de sílice está limitado al 10 %.

3) En cementos Portland compuestos CEM II/A-M y CEM II/B-M, en cementos puzolánicos CEM IV/A y CEM IV/B y en cementos compuestos CEM V/A y CEM V/B, los componentes principales además del clínker deben ser declarados en la designación del cemento.



CIB - ESPOL

CLASIFICACIÓN DE LA AGRESIVIDAD AMBIENTAL ⁽⁸⁾

Clase Específica de Exposición			Descripción	Ejemplos	
Clase	Subclase	Designación			
NO AGRESIVA		I	Interiores de edificios sometidos a condensación. Elementos de hormigón en masa.	Interiores de edificios protegidos de la intemperie.	
	Normal	IIa	Corrosión de origen diferente de los cloruros	Sótanos no ventilados. Cimentaciones. Tableros y pilas de puentes en zonas con precipitación anual superior a 600 mm. Elementos de hormigón en cubiertas de edificios.	
				Exteriores en ausencia de cloruros sometidos a la acción de agua de lluvia en zonas con precipitación anual superior a 600 mm.	Construcciones exteriores protegidos de la lluvia. Tableros y pilas de puentes en zonas con precipitación anual superior a 600 mm.
Marina	Aérea	IIIa	Corrosión por cloruros	Elementos de estructuras marinas por encima de la pleamar. Elementos exteriores de estructuras situados en la proximidad de la línea costera (a menos de 5 Km).	Edificaciones en las proximidades de las costas. Puentes en las proximidades de las costas. Zonas aéreas de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral. Instalaciones portuarias.
				IIIb	Corrosión de origen diferente de los cloruros

	Sumergida	IIIb	Corrosión por cloruros	Elementos de estructuras marinas por debajo del nivel mínimo de bajamar.	Zonas sumergida de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral. Cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar.
Marina	En zonas de marcas	IIIc	Corrosión por cloruros	Elementos de estructuras marinas en la zonas de carrera de mareas.	Zonas en la carrera de las mareas de diques, pantanales y otras obras de defensas del litoral. Zonas de pilas de puentes en la carrera de las mareas.
	Con cloruros de origen diferente al medio marino	IV	Corrosión por cloruros	Instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros no relacionados con el ambiente marino.	Piscina. Pilas de pasos superiores o pasarelas en zona de nieve. Estaciones de tratamientos de agua.



CIB - ESPOL

APÉNDICE B

CLASIFICACIÓN DE LA AGRESIVIDAD AMBIENTAL ⁽⁸⁾

Clase Específica de Exposición		Tipo de Proceso	Descripción	Ejemplos	
Clase	Subclase				Designación
Con Heladas	Sin sales fundentes	H	Ataque Hielo - Deshielo	Elementos situados en contacto frecuente con el agua o zonas con humedad relativa medioambiental en invierno superior 75% y que tengan una probabilidad anual de superior al 50% de alcanzar al menos una vez los -5 grados centígrados.	Construcciones en zonas de alta montaña. Estaciones de Invierno.
	Con sales fundentes	F	Ataques por sales fundentes	Elementos destinados al tráfico de vehículos o peatones en zonas con mps de 5 nevadas al año o con valor medio de temperatura mínima al invierno de 0 grados centígrados.	Tableros de puente o pasarelas en zonas de alta montaña.
Química Agresiva	Débil	Qa	Ataque químico	Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad lenta.	Instalaciones industriales con sustancias débilmente agresivas. Construcciones en la proximidad de áreas industriales con agresividad débil.
	Media	Qb	Ataque químico	Elementos en contacto con el agua de mar. Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas	Dolo, bloques y otros elementos para diques. Estructuras marinas en general. Instalaciones industriales con

Química Agresiva	Media	Qb	Ataque químico	capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media.	sustancias de agresividad media. Construcciones en la proximidad de áreas industriales con agresividad media. Instalación de conducción y tratamiento de aguas residuales con sustancias de agresividad media.
	Fuerte	Qc	Ataque químico	Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida.	Instalaciones industriales con sustancias de agresividad alta. Instalación de conducción y tratamiento de aguas residuales con sustancias de agresividad alta.
Erosión	E		Abrasión Cavitación	Elementos sometidos a desgaste superficial. Elementos de estructuras hidráulicas donde la cota piezométrica pueda descender por debajo de la presión del vapor de agua.	Pilas de puentes en cauces muy torrenciales. Elementos de diques, pantanales y otras obras de defensa del litoral sometidos a fuertes oleajes. Pavimentos de hormigón. Tuberías de alta presión.



CIB - ESPOL

APÉNDICE C

LETRAS CÓDIGO PARA EL TAMAÑO DE LA MUESTRA ⁽¹²⁾

Tamaño del Lote	Niveles Generales de Inspección		
	I	II	III
2 a 18	A	A	B
9 a 15	A	B	C
16 a 25	B	C	D
26 a 50	C	D	E
51 a 90	C	E	F
91 a 150	D	F	G
151 a 280	E	G	H

APÉNDICE D

TABLA MAESTRA PARA INSPECCIÓN REDUCIDA – MUESTREO

SIMPLE ⁽¹²⁾



CIB - ESPOL

Letra código para el tamaño de la muestra	Tamaño de la muestra	Niveles aceptable de calidad									
		0.01		0.015		0.025		0.04		0.065	
		Ac	Rc	Ac	Rc	Ac	Rc	Ac	Rc	Ac	Rc
A	2										
B	2										
C	2										
D	3										
E	5										
F	8										
G	13										
H	20										
J	32										
K	50										↓
L	80							↓			0 1
M	125				↓			0 1			↑
N	200			↓		0 1		↑			↓
P	315	↓		0 1		↑		↓			0 2
K	500	0 1		↑		↓		0 2			1 3
R	800	↑		↑		0 2		1 3			1 4

Nota: ↓ Use el plan de muestreo que aparece inmediatamente debajo de la flecha.

↑ Use el plan de muestreo que aparece inmediatamente arriba de la flecha.

Ac: Número de Aceptación.

Rc: Número de Rechazo.

APÉNDICE E

FORMULARIO DE ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA ARMADA ⁽¹⁰⁾

1. Datos Generales de la Estructura

1.1. Tipo de Estructura Descripción básica de los Componentes

___ Puento

___ Muelle

___ Otro

1.2. Fecha de Construcción de la Estructura: _____

1.3. Uso General de la Estructura: _____

1.4. Croquis de Ubicación, coordenadas de fachada, orientación y dirección del viento indicando el medio de exposición



CIB - ESPOL

2. Datos Particulares de la Estructura

2.1. Propiedades de los Materiales

Tipos de Cemento: _____ Tipo de Agua: _____

Naturaleza de los Áridos: _____

Sistema de Defensa: _____

2.2. Diseño del Hormigón

Resistencia característica a la compresión: _____

Dosificación del Cemento: _____ Dosificación de Agregados: _____

Relación Agua/Cemento: _____ Uso de Aditivos: _____

Continuación

2.3. Propiedades de los Materiales

En Obra Prefabricado

Hormigón Reforzado Pretensado

Postensado

Tecnología de fabricación en obra: _____

Método de Compactación: _____

Método de Curado: _____



CIB - ESPOL

3. Historial de Vida en Servicio de la Estructura

3.1. Fecha de puesta en servicio: _____

3.2. Resistencia del Hormigón a la compresión en obra: _____

3.3. Anomalías observadas durante la construcción: _____

Anomalías anteriormente detectadas:

3.4. Ensayos y Mantenimiento

Inspecciones Rutinarias: _____

Ensayos Particulares: _____

Tipos de Mantenimiento: _____

3.5. Reparaciones

4. Información Adicional

Continuación

Fecha: _____

Elaborado por: _____

Aprobado por: _____

Nombre de la Institución: _____

APÉNDICE F

TIPIFICACIÓN DE DAÑOS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ⁽¹⁰⁾

CÓDIGO	DAÑO	DESCRIPCIÓN	CAUSAS	DETALLES QUE DEBEN SER DADOS POR LA INSPECCIÓN
A1	Grietas o Fisuras	Rotura del hormigón superficial o profundo.	Sobrecargas, contracción, corrosión.	Dirección, ancho, longitud y profundidad.
A2	Red de Grietas	Grietas estrechas y cortas formando una red.	Cambio diferencial de volumen de hormigón superficial e interno.	Ancho de grietas, tamaño de red y superficie afectada.
B1	Gel de Exudación	Gel viscoso viscoso saliendo a través de los poros del hormigón.	Reacción álcali-agregado.	Superficie afectada, cantidad de depósito (láminas, estalactitas).
B2	Eflorescencia	Costra blanca en la superficie del hormigón.	Lixiviación de hidróxidos con o sin formación de carbonatos.	Localización, intensidad, posible daño asociado.
B3	Manchas de Oxido	Manchas de color marrón-rojizo.	Corrosión de la armadura del alambre de amarre.	Superficie afectada.
B4	Manchas de Humedad	Zona superficial del concreto con indicios de humedad.	Escurecimiento externo o interno, condensación.	Localización, profundidad.
C1	Protuberancia	Daño localizado superficial.	Desarrollo de una presión interna local o expansión de partículas de agregado.	Superficie afectada, grietas asociadas.
C2	Concreto fofo	Sonido hueco al golpe de martillo.	Corrosión del acero de refuerzo o cangrejeras.	Superficie afectada, profundidad.

Continuación

C3	Delaminación	Fragmento de hormigón separado de la masa.	Presión interna por corrosión de la armadura o por una fuerza externa aplicada.	Superficie afectada, profundidad.
C4	Intemperismo	Desgaste de la superficie del hormigón lavado de la pasta de cemento.	Acción del medio ambiente que produce desgaste en la superficie.	Superficie afectada, profundidad, intensidad.
D2	Nidos de Abeja	Vacios entre los agregados gruesos	Falta de homogeneidad durante el vaciado del concreto.	Localización y posible daño asociado.
E1	Junta de Construcción	Demarcación en la superficie del hormigón poroso o no.	Junta entre dos colados.	Localización y posible daño asociado.
E2	Junta de Dilatación	Línea formada por la unión de dos planos de hormigón.	Espacio dejado para pequeños movimientos rotatorios.	Abertura, obstrucciones y cualquier asociado a su deterioro.

CIB - ESPOL



APÉNDICE G

FICHA DE INSPECCIÓN VISUAL Y ALGUNOS ENSAYOS DE LA ESTRUCTURA ⁽¹⁰⁾

Tipo de Estructura: _____ Edad: _____

Ubicación: _____ Ambiente: _____

Orientación: _____ Fecha de Inspección: _____

1) Tipificación de daños y localización en la estructura.



Croquis de la estructura con levantamientos de daños generales

2) Registro Fotográfico.

3) Extensión y Gravedad de los daños.

4) Ensayos mínimos a realizar.

ENSAYO: Determinación de Cloruros o Sulfatos.

LUGAR	RESULTADO

ENSAYO: Profundidad de Carbonatación.

LUGAR	RESULTADO

5) Prediagnóstico.

Fecha: _____ Elaborado por: _____

Aprobado por: _____ Nombre de la Institución: _____

APÉNDICE DE FOTOGRAFÍAS



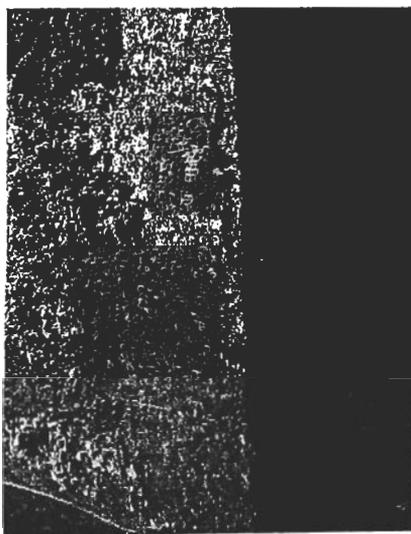
CIB - ESPOL

APÉNDICE H

FOTOGRAFÍAS DE INSPECCIÓN VISUAL DE PANTALLAS DE PROTECCIÓN



**FOTOGRAFÍA 1. ACERO EXPUESTO EN ESTADO DE CORROSIÓN
GENERALIZADO, PANTALLA No. 20, LADO SUR, COTA + 4.300 MSNR,
CARA SUPERIOR**



**FOTOGRAFÍA 2. FISURA DE CORROSIÓN EN PANTALLA No. 20, LADO
SUR, COTA + 0.600 A + 1.200 MSNR, C.L.D.**

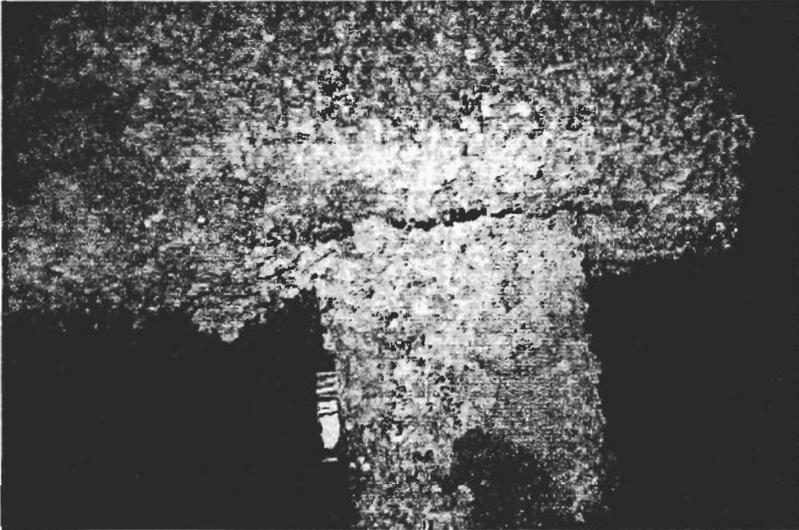
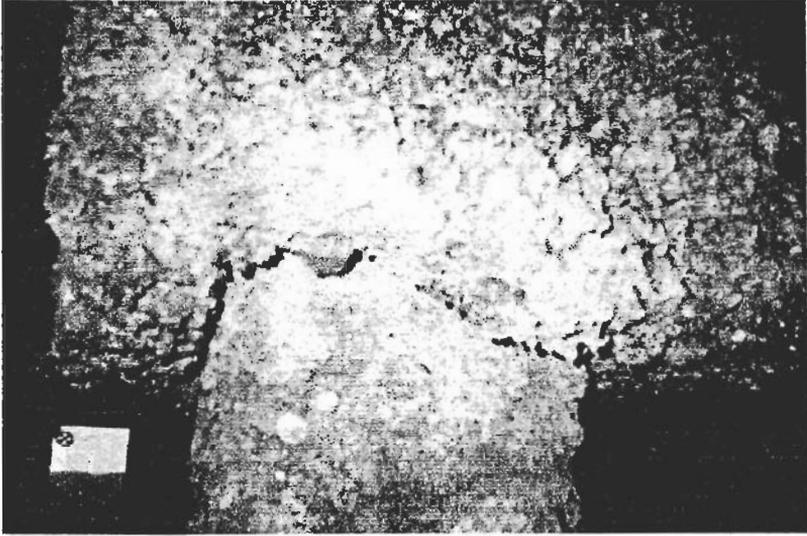


CIB · ESPOL

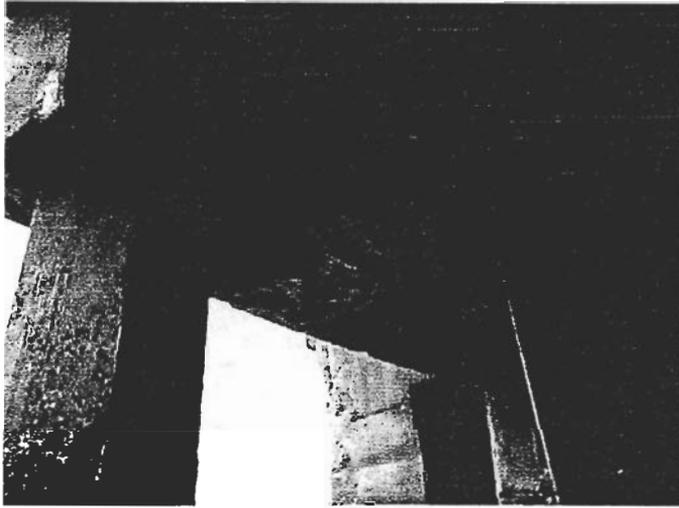
FOTOGRAFÍA 3. DESGASTE MENOR DE HORMIGÓN EN LOS COSTADOS DE PANTALLA No. 4, LADO NORTE, CARA FRONTAL. SE EVIDENCIA DEFENSA DE POLIETILENO FALTANTE. PERNOS Y PLATINAS DE ANCLAJE PRESENTAN UN ESTADO DE CORROSIÓN MUY AVANZADO.



FOTOGRAFÍA 4. VARILLA EXPUESTA (NO PERTENECE AL REFUERZO) EN ESTADO DE CORROSIÓN GENERALIZADO, PANTALLA No. 4, LADO NORTE, CARA INTERIOR



FOTOGRAFÍA 5 Y 6. SE OBSERVA REFUERZO EXPUESTO CON ESTADO DE CORROSIÓN GENERALIZADO, PANTALLA No. 4, LADO NORTE, COTA + 0.000 MSNR, CARA FRONTAL IZQUIERDA Y DERECHA. DESMORONAMIENTO DE HORMIGÓN DE OBSERVA.



FOTOGRAFÍA 7. MALA PRÁCTICA DE REPARACIÓN DE REFUERZO CORROÍDO. SE EVIDENCIA BACHEO EN LA LOSA DE PANTALLA FRONTAL CURVA IZQUIERDA

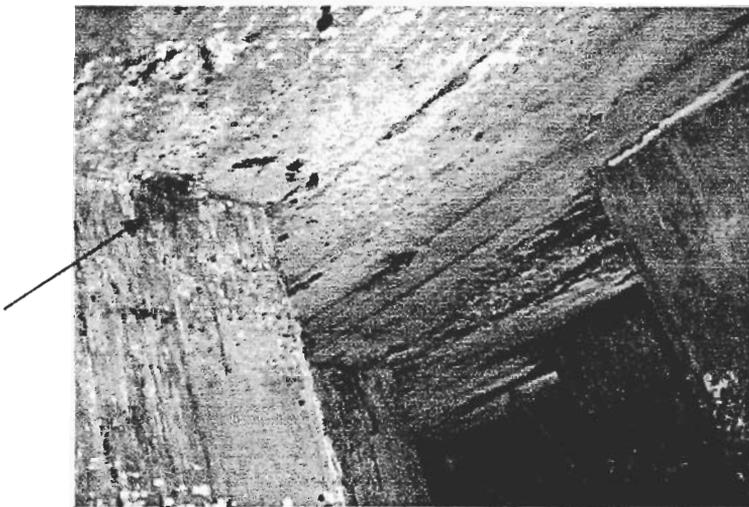


CIB - ESPOL

FOTOGRAFÍA 8. PERNOS Y PLATINAS DE ANCLAJE PRESENTAN UN ESTADO DE CORROSIÓN MUY AVANZADO, PANTALLA CURVA FRONTAL IZQUIERDA, CARA FRONTAL. DEFENSAS DE POLIETILENO EN ESTADO OPERATIVO.



FOTOGRAFÍA 9. INCLINACIÓN INUSUAL DE PANTALLA No. 5, LADO SUR. CARA INTERIOR PRESENTA DOS ESTACAS QUE, PARECERÍA, SOSTIENEN EL MURO DE CONTENCIÓN.



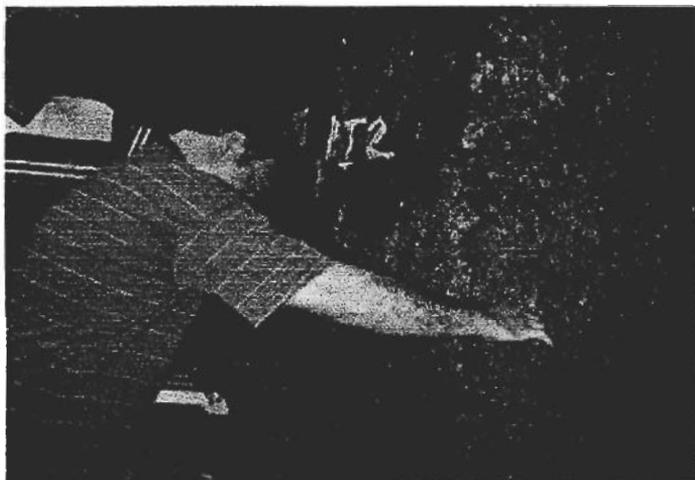
FOTOGRAFÍA 10. SE EVIDENCIA MANCHAS DE ÓXIDO, FISURA Y BARRA DE ACERO (NO PERTENECE AL REFUERZO) CORROÍDA EN LA LOSA DE PANTALLA CURVA FRONTAL DERECHA.

APÉNDICE I

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO DE ULTRASONIDO



FOTOGRAFÍA 1. MEDICIÓN DIRECTA DE U.T. EN PANTALLA No. 20, LADO SUR, COTA + 2.100 MSNR, C.L.D.



FOTOGRAFÍA 2. MEDICIÓN DIRECTA DE U.T. EN PANTALLA No. 4, LADO NORTE, COTA + 1.200 MSNR, C.L.D.



CIB - ESPOL



**FOTOGRAFÍA 3. MEDICIÓN INDIRECTA DE U.T. EN PANTALLA CURVA
FRONTAL IZQUIERDA, LADO OESTE, COTA + 4.300 MSNR, C.S.**



**FIGURA 4. MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD DE FISURA EN PANTALLA No.
21, LADO SUR, COTA + 4.300, C.S.**

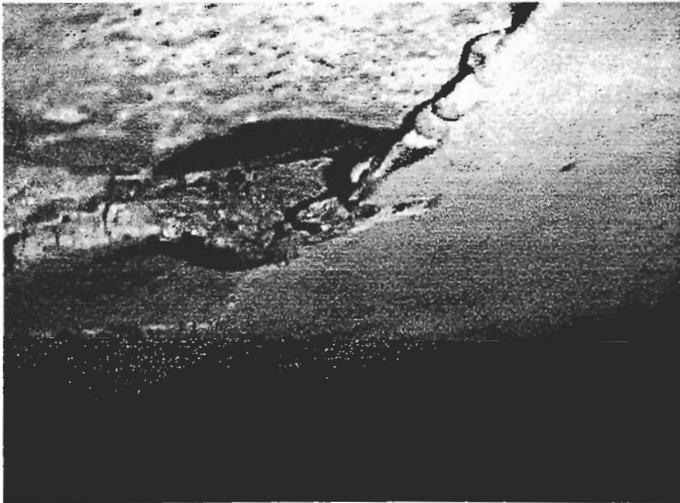
APÉNDICE J

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO DE CARBONATACIÓN



CIB - ESPOL

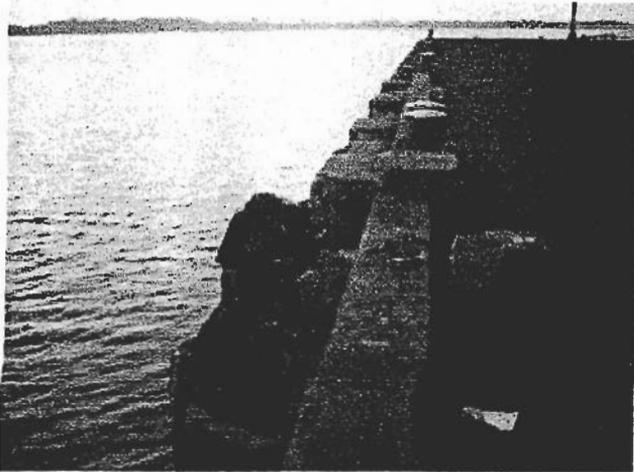
FOTOGRAFÍA 1. APLICACIÓN DE FENOLFTALEÍNA EN PANTALLA No. 20, LADO SUR, COTA + 2.400 MSNR, CARA INTERIOR



FOTOGRAFÍA 2. HORMIGÓN CARBONATADO, PANTALLA FRONTAL CURVA IZQUIERDA, LOSA INTERIOR, PROFUNDIDAD 4 cm.

APÉNDICE K

FOTOGRAFÍAS DE MEDICIÓN DE POTENCIALES DEL REFUERZO



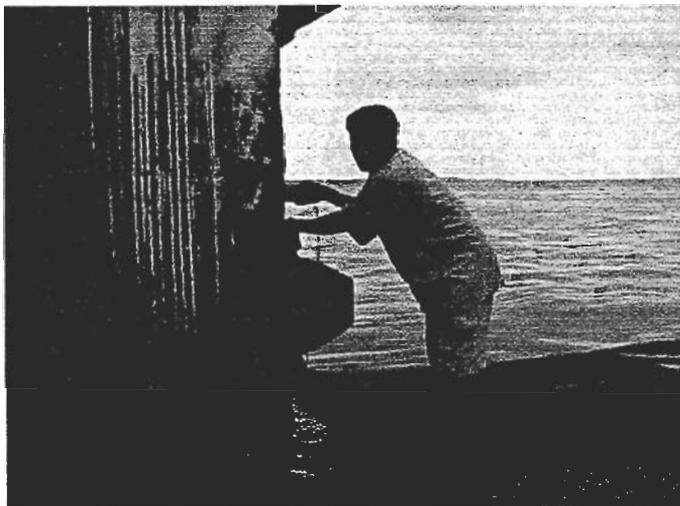
**FOTOGRAFÍA 1. TOMA DE POTENCIAL NATURAL, PANTALLA No. 20,
LADO SUR, COTA + 4.300 MSNR, CARA SUPERIOR**



**FOTOGRAFÍA 2. TOMA DE POTENCIAL NATURAL, PANTALLA No. 20,
LADO SUR, COTA + 2.400 MSNR, CARA INTERIOR**



CIB - ESPOL



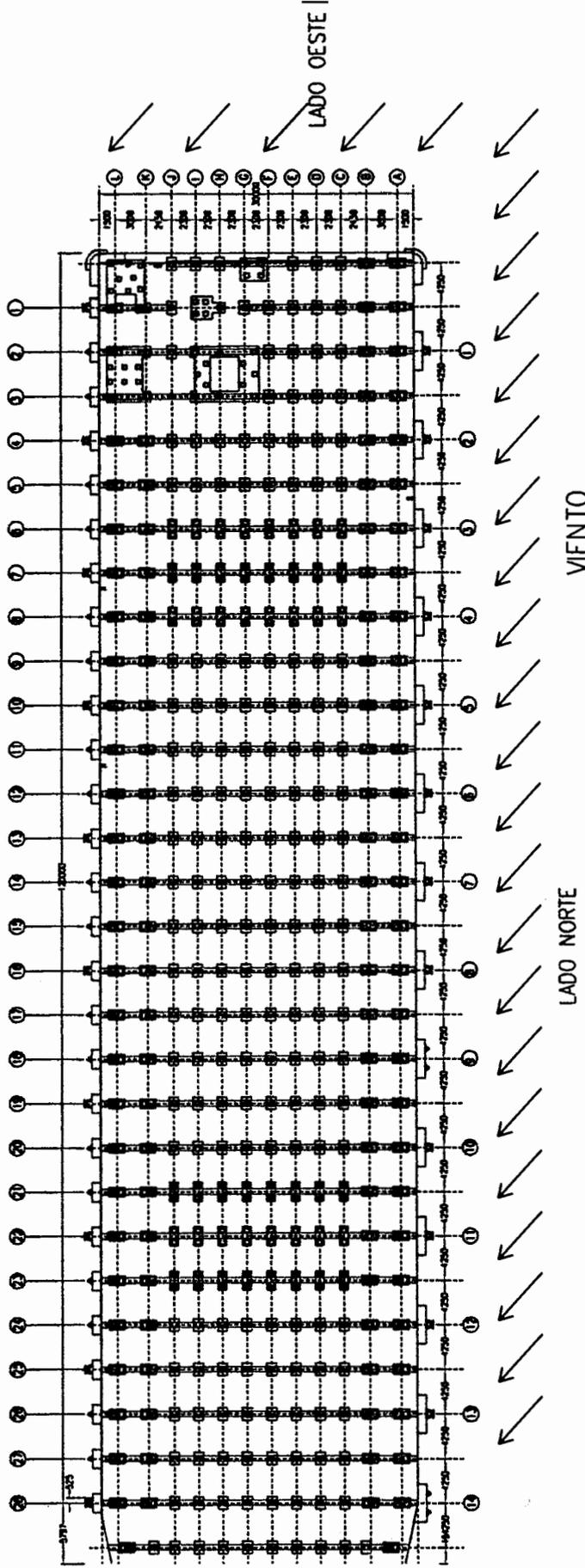
**FOTOGRAFÍA 3 Y 4. TOMA DE POTENCIAL, PANTALLA FRONTAL
CURVA IZQUIERDA, LADO OESTE, COTA + 2.700 MSNR, CARA
FRONTAL**

APÉNDICE DE PLANOS

PLANTA DE UBICACION DE DEFENSAS NUEVAS

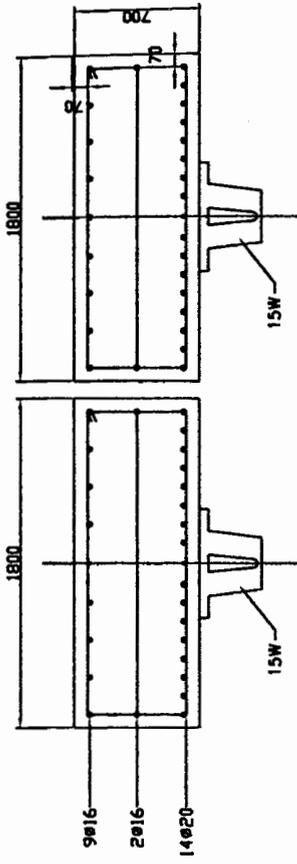
ESCALA --- 1:250

LADO SUR



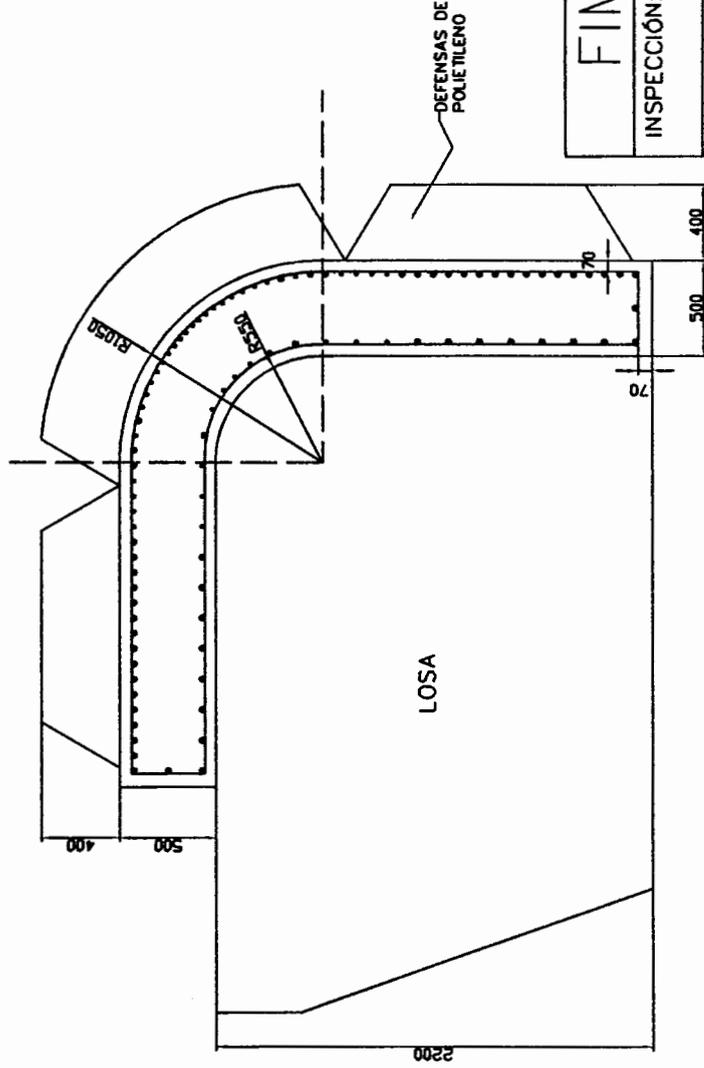
CIB - ESPOL

FIMCP - ESPOL		FECHA	NONBRE
PANTALLAS DE PROTECCIÓN		21/08/03	J. González
CONTIENE: Vista General del Muelle de Espigón		Revisó	Ing. Peña
ESCALA: 1:250		PLANO No: V - 0	
MATERIALES: Hormigón Armado		MASA (Kg)	



ESCALA 1:25

CARA SUPERIOR - PANTALLA FRONTAL CURVA IZQUIERDA



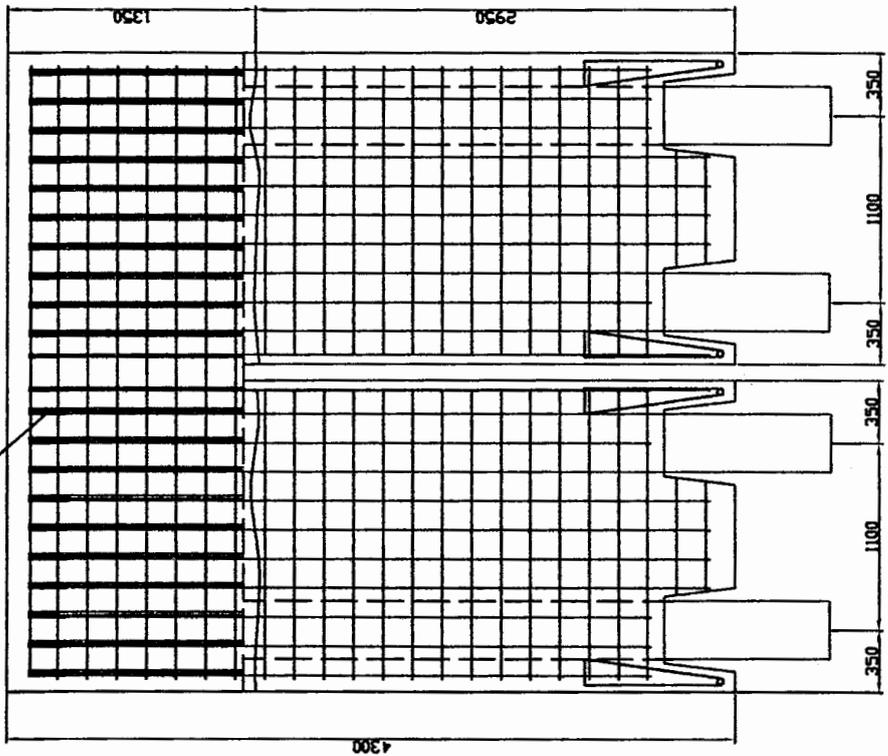
ESCALA 1:25

FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
Dibujó	20/08/03	J. Gonzalez	
Revisó	20/08/03	J. Peña	
INSPECCIÓN:		PLANO No: V-1	
PANTALLAS DE PROTECCIÓN		CONTIENE:	
ESCALA		MATERIALES:	
1:25		Hormigón Armado 350 Kg/cm ²	
		MASA (Kg)	

Hierros que doblan y empotran en la viga de borde 29 020

CARA INTERIOR DE PANTALLAS LADO NORTE

ESCALA 1:25



TRAMO FUNDIDO EN SITIO

TRAMO PREFABRICADO

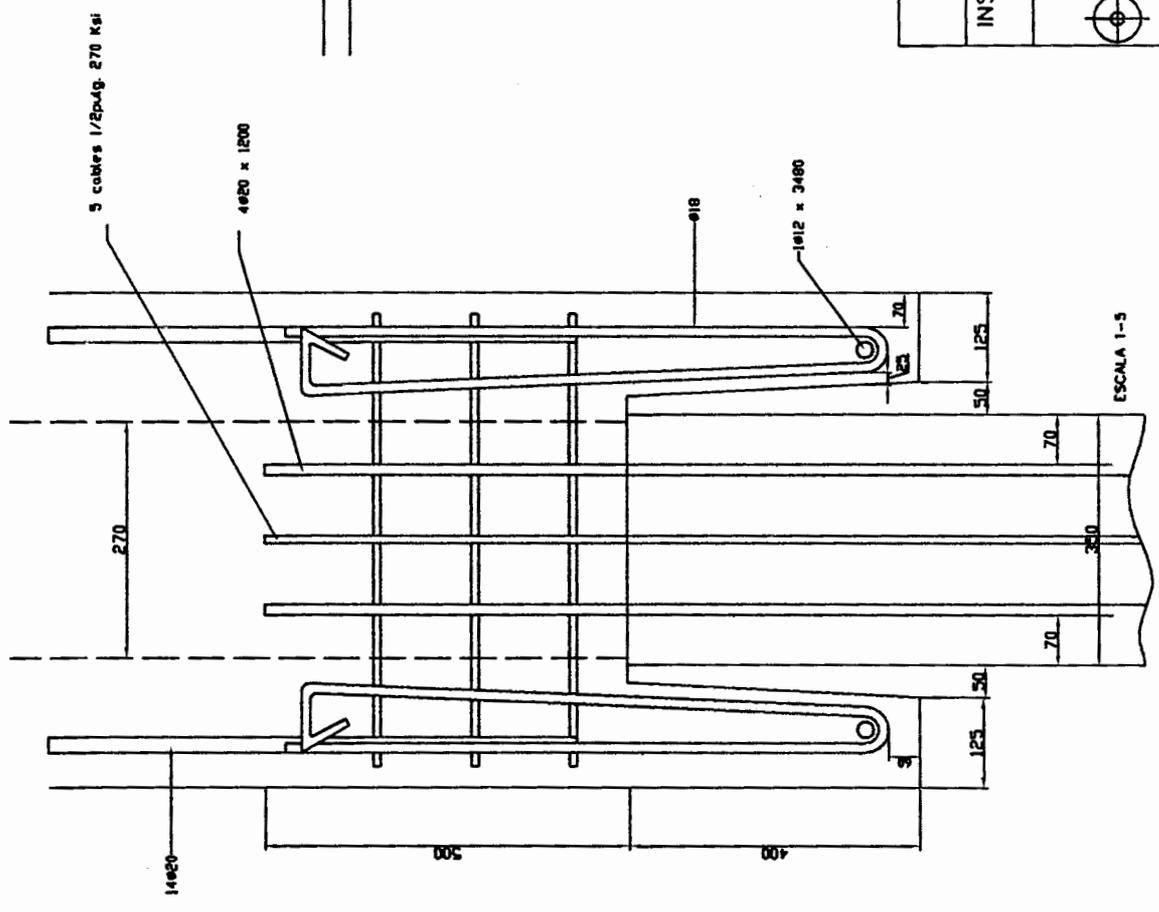


CIB - ESPOL

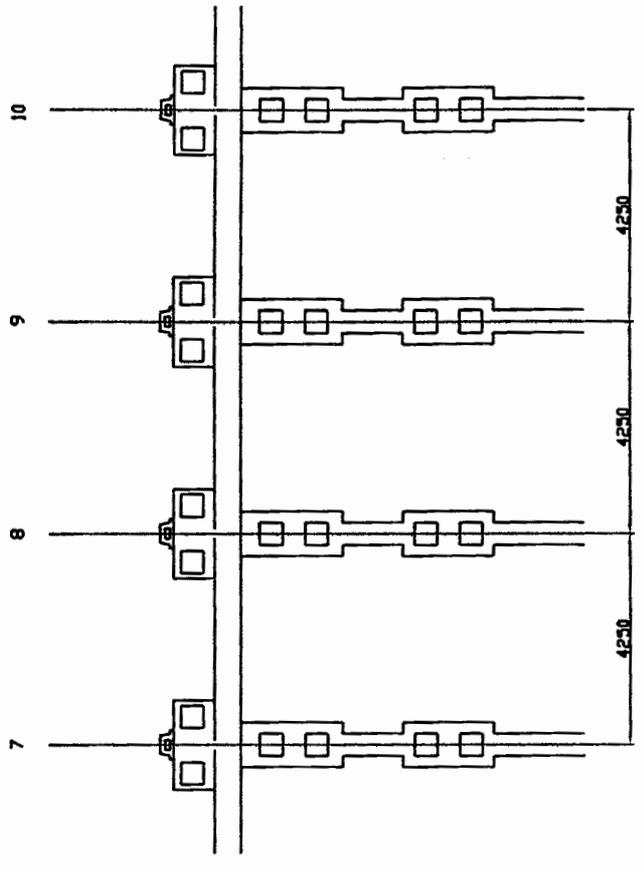
Dibujó	20/08/03	J. Gonzalez	FECHA	NOMBRE
	Revisó	20/08/03	J. Peña	
FIMCP - ESPOL		PLANO N°:		
INSPECCIÓN:		PANTALLAS DE PROTECCIÓN		
ESCALA:	1:25	CONTIENE:	Detalles de ubicación del Refuerzo	
		MATERIALES:	Hormigón Armado 350 Kg/cm2	
			MASA (Kg)	

V - 2

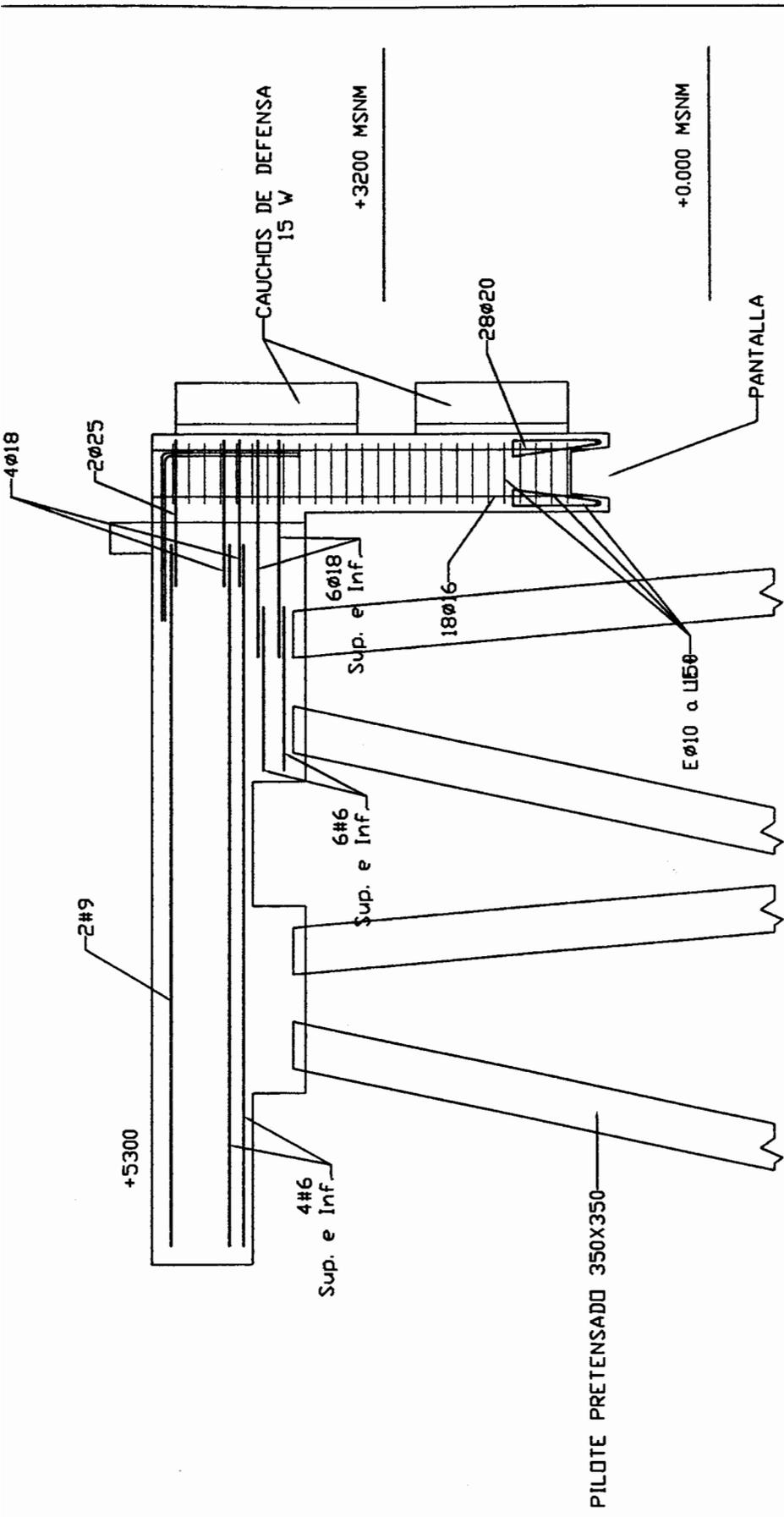
DETALLE UNIÓN PILOTE - PANTALLA



PANTALLAS



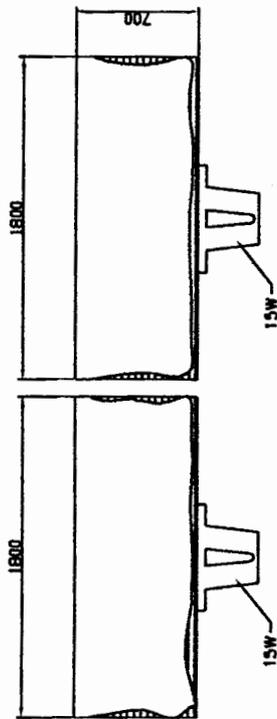
FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
Dibujó	20/08/03	J. González	
Revisó	20/08/03	J. Peña	
INSPECCIÓN: PANTALLAS DE PROTECCIÓN		PLANO No: V-3	
ESCALA: Ver Nota	CONTIENE: Detalle de Pantallas en el Muelle		
MATERIALES: Hormigón Armado 350 Kg/cm ²		MASA (Kg)	



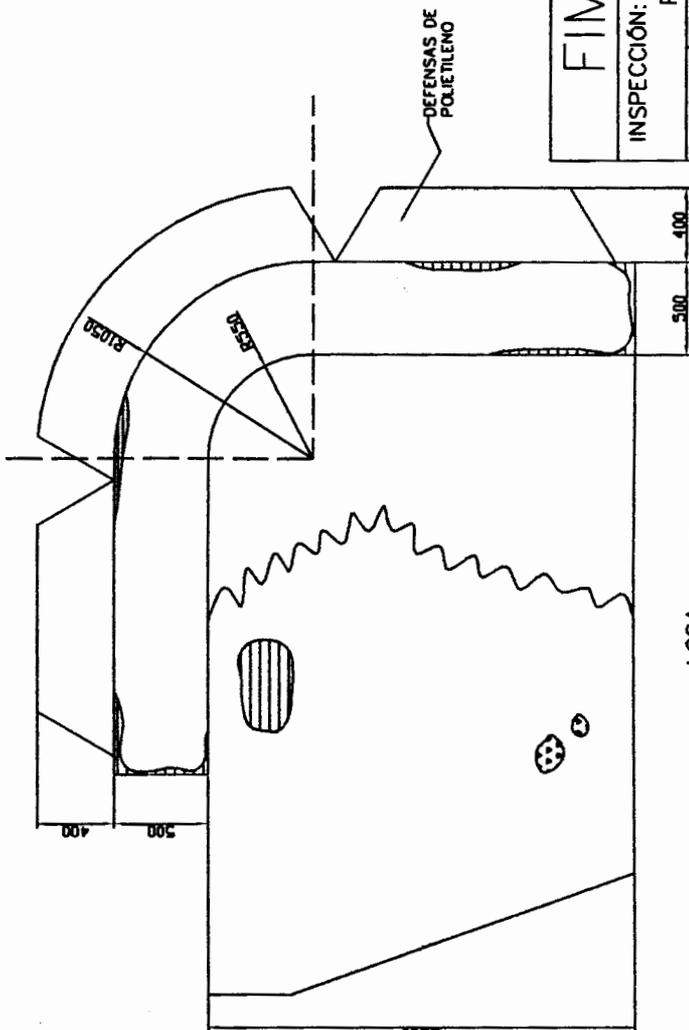
FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
Dibujó	20/08/03	J. Gonzalez	
Revisó	20/08/03	J. Peña	
INSPECCIÓN:		PLANO No: V - 4	
PANTALLAS DE PROTECCIÓN		CONTIENE: Posición del Refuerzo en Pantallas	
ESCALA:	1:25	MATERIALES: Hormigón Armado 350 Kg/cm ²	
		MASA (Kg)	



CIB - ESPOL



CARA SUPERIOR - PANTALLA FRONTAL CURVA IZQUIERDA



ESCALA 1-25

LEYENDAS

	PARCHEO DE REPARACIÓN
	ACERO EXPUESTO
	MANCHAS DE ÓXIDO
	INTEMPERISMO, HORMIGÓN GOLPEADO
	FISURA
	ALAMBRES CORROÍDOS, NO REFUERZO

FIMCP - ESPOL

FECHA	NOMBRE
Dibujó 20/08/03	J. González
Revisó 20/08/03	J. Peña

INSPECCIÓN:

PANTALLAS DE PROTECCIÓN

CONTIENE:

Detalles de Inspección Visual

LOSA

ESCALA 1-25



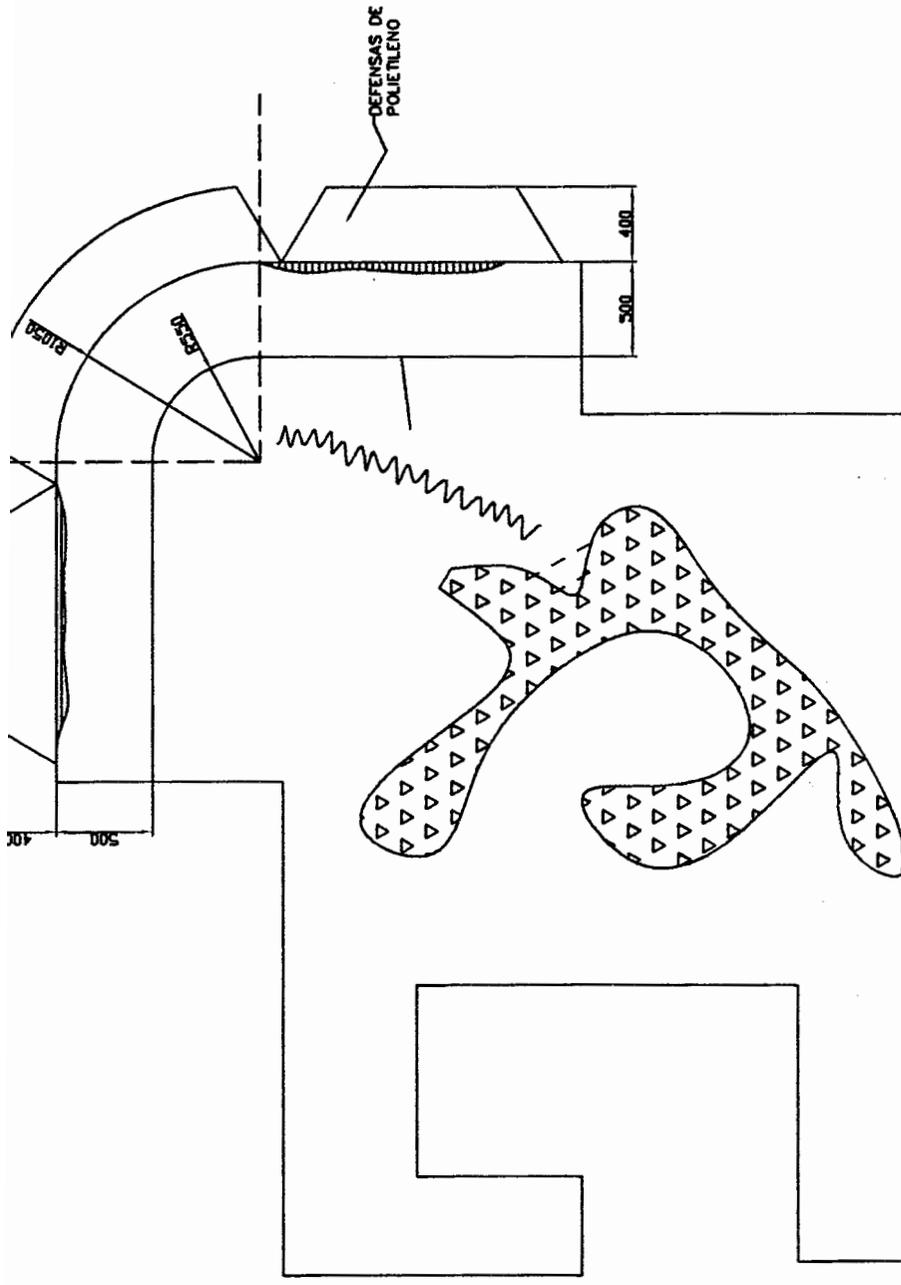
CIB - ESPOL

PLANO No:

V - 5

MATERIALES:
Hormigón Armado 350 Kg/cm2

MASA (K.g)

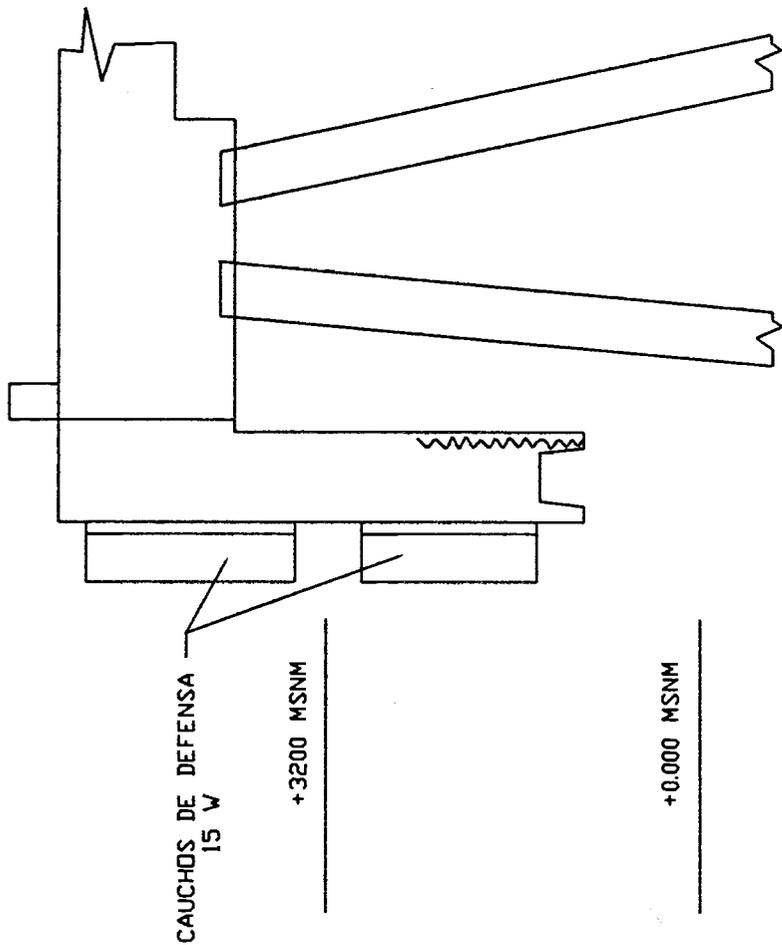


CIB · ESPOL

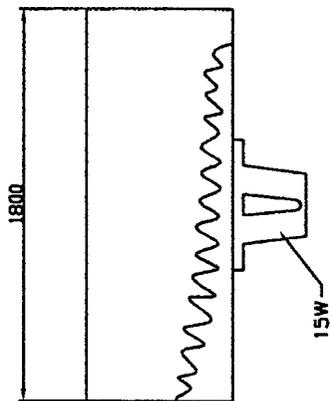
FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
INSPECCIÓN:		Dibujó	J. González
PANTALLAS DE PROTECCIÓN		Revisó	J. Peña
CONTIENE:		PLANO No: V-6	
ENCALA:		MATERIALES:	
1:25		Hormigón Armado 350 Kg/cm ²	
		MASA (K-g)	

CARA SUPERIOR - PANTALLA FRONTAL CURVA IZQUIERDA

CARA DERECHA - PANTALLA No. 20, LADO SUR



CARA SUPERIOR - PANTALLA No. 21, LADO SUR

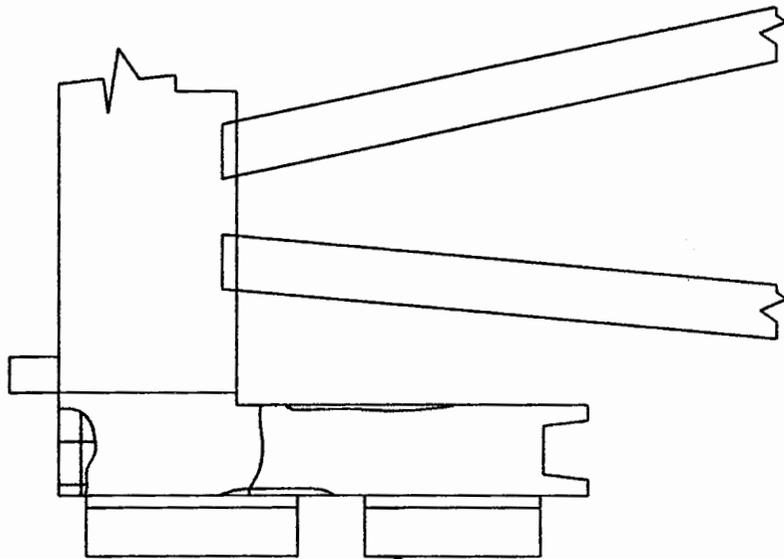


FECHA	NOMBRE
Dibujó 20/08/03	J.Gonzalez
Revisó 20/08/03	J.Peña

FIMCP - ESPOL		PLANO No:
INSPECCIÓN: PANTALLAS DE PROTECCIÓN		V - 7
ESCALA:	CONTIENE:	
1:25	Detalles de Inspección Visual	
	MATERIALES:	MASA (Kg)
	Hormigón Armado 350 Kg/cm ²	

CARA DERECHA - PANTALLA No. 20, LADO SUR

CARA SUPERIOR - PANTALLA No. 20, LADO SUR

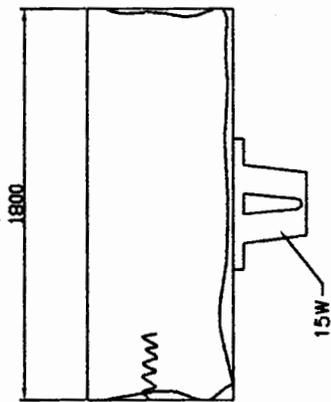


TRAMO FUNDIDO EN SITIO

+3200 MSNM

TRAMO PREFABRICADO

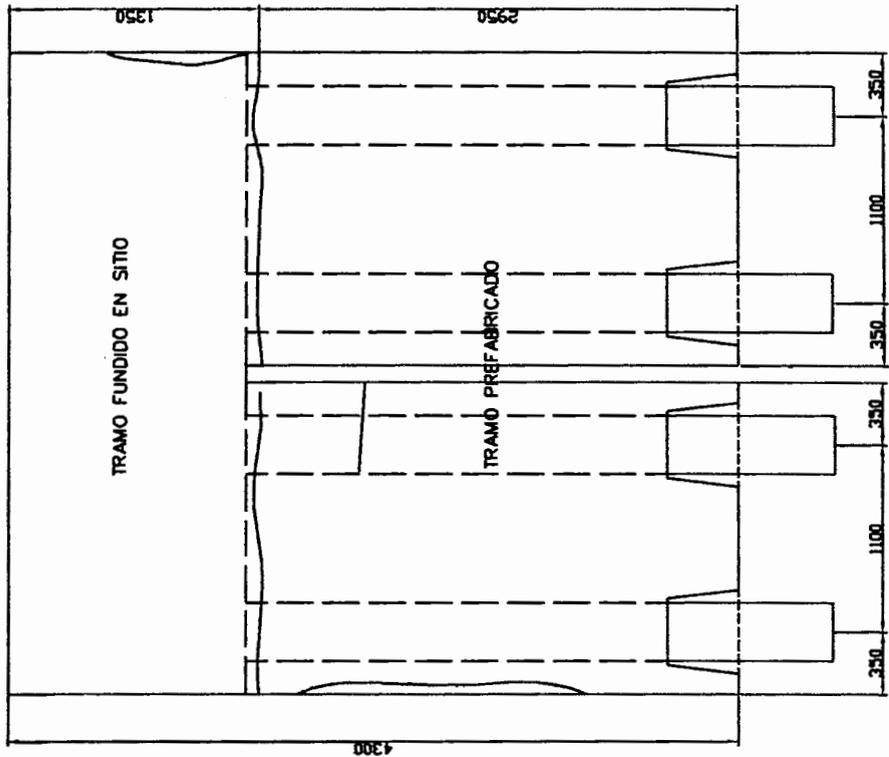
+0.000 MSNM



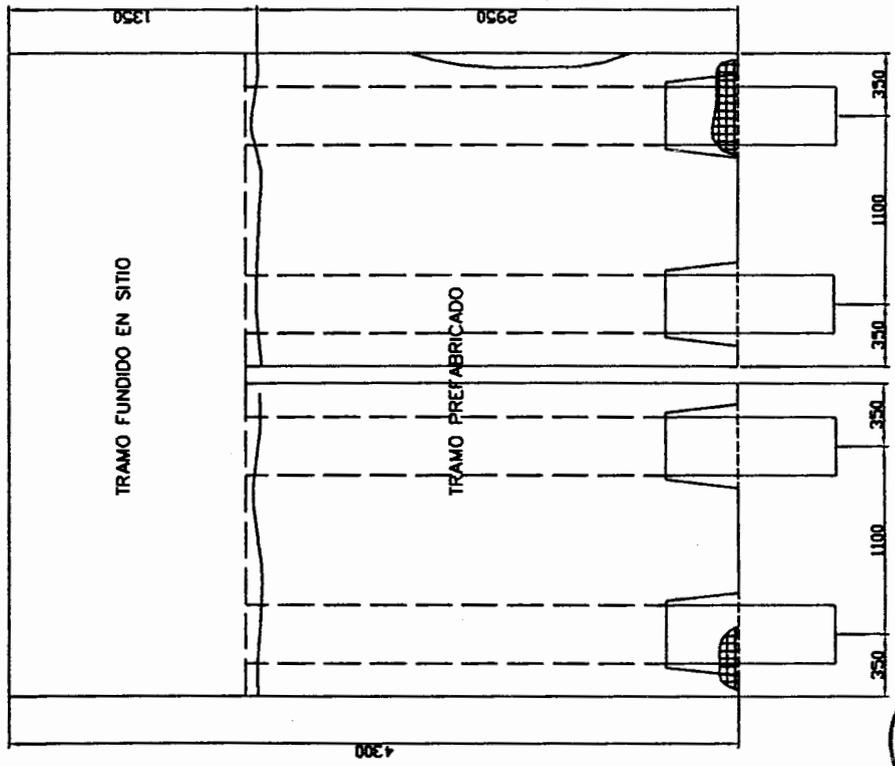
CIB - ESPOL

FIMCP - ESPOL		FECHA	NONBRE
Dibujó	20/08/03	J. González	
Revisó	20/08/03	J. Peña	
INSPECCIÓN:		PLANO No:	
PANTALLAS DE PROTECCIÓN		V - 8	
ESCALA:	CONTIENE:		
	Detalles de Inspección Visual		
1:25	MATERIALES:		
	Hormigón Armado 350 Kg/cm ²		
	MASA (Kg)		

CARA INTERIOR - PANTALLA No. 4, LADO NORTE



CARA FRONTAL - PANTALLA No. 4, LADO NORTE



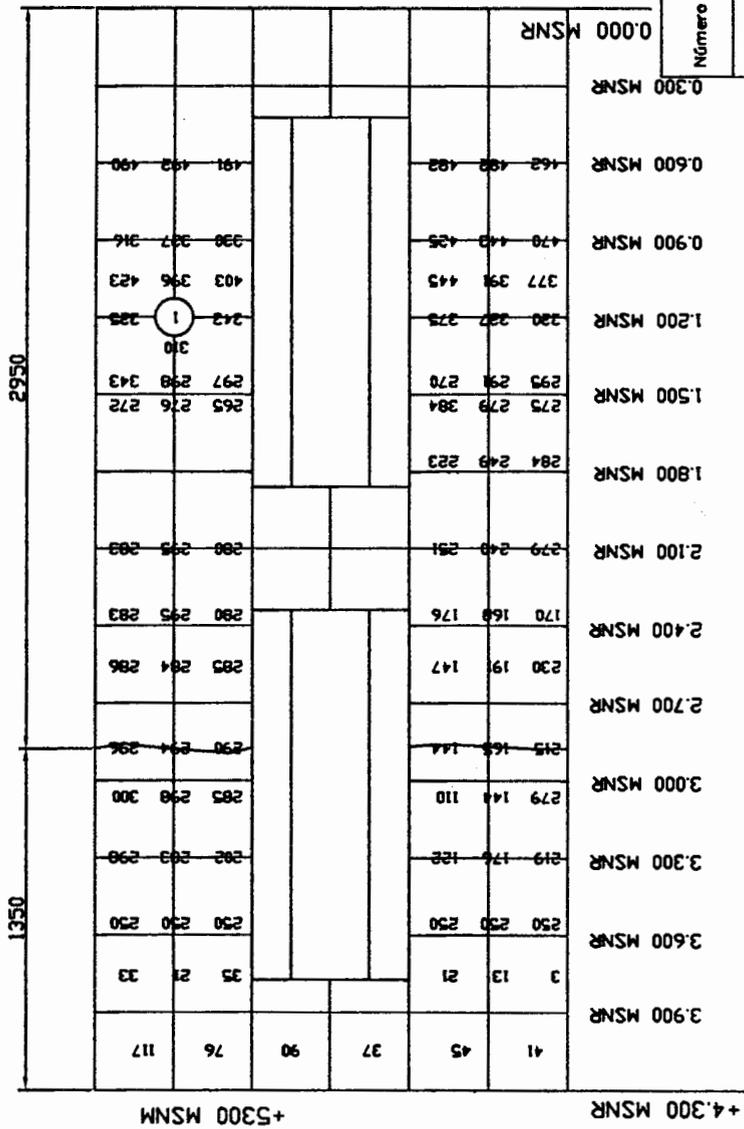
FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó	J. González
INSPECCIÓN: PANTALLAS DE PROTECCIÓN		Revisó	J. Peña
		PLANO No: V-9	
ESCALA: 1:25	CONTIENE: Detalles de Inspección Visual		MATERIALES: Hormigón Armado 350 Kg/cm ²
	MASA (Kg)		



CIB - ESPOL

TRAMO PREFABRICADO

TRAMO FUNDIDO EN SITO



CARA FRONTAL

FIMCP - ESPOL

INSPECCIÓN: PANTALLAS DE PROTECCIÓN

CONTIENE: Pantalla No. 20 - Lado Sur



ESCALA: 1:20

MATERIALES: Hormigón Armado 350 Kg/cm2

MASA (Kg)

I-1

PLANO No:

FECHA	NOMBRE
18/08/03	J. González
Revisó	18/08/03 Ing. Panto

Número	pH	SO3 %/Cem	Cl- %/Cem	Veloc. m/s	Resist. MPa
1	> 9.8	0.42964	0.18564		
2					
3					

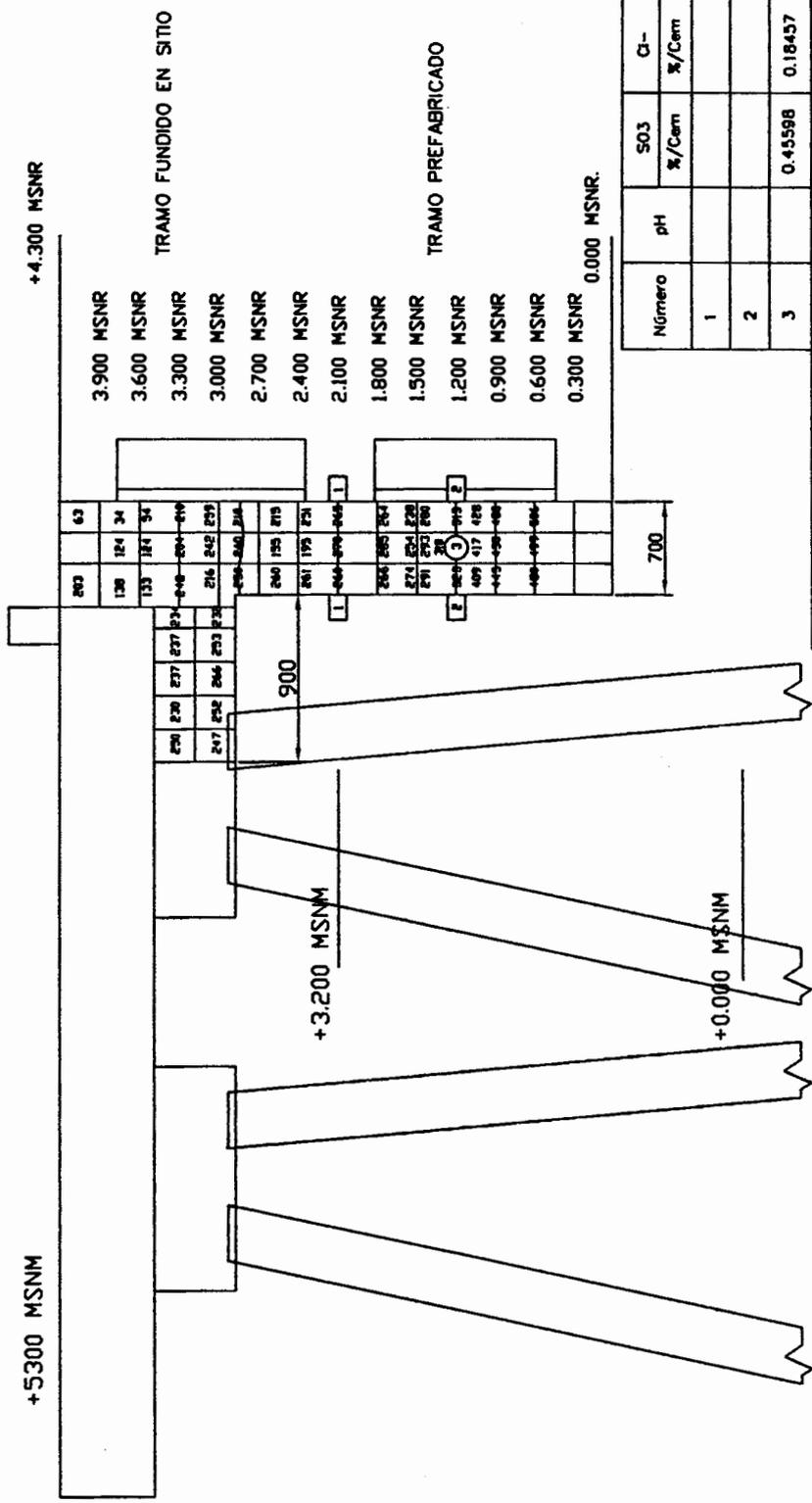
Nota de Referencia:

MSNM: Metros sobre el nivel del mar.

MSNM: Metros sobre el nivel de Referencia.

Números indican el Potencial natural: - mV

CARA LATERAL IZQUIERDA



+4.300 MSNR

+5300 MSNM

- 3.900 MSNR
- 3.600 MSNR
- 3.300 MSNR
- 3.000 MSNR
- 2.700 MSNR
- 2.400 MSNR
- 2.100 MSNR
- 1.800 MSNR
- 1.500 MSNR
- 1.200 MSNR
- 0.900 MSNR
- 0.600 MSNR
- 0.300 MSNR
- 0.000 MSNR.

TRAMO FUNDIDO EN SITO

TRAMO PREFABRICADO

Número	pH	SO3 %/Cem	Cl- %/Cem	Veloc. m/s	Resist. MPa
1				4550	35.4
2				4581	
3		0.45598	0.18457		

FIMCP - ESPOL

FECHA: 18/06/03
 DIBUJÓ: J. González
 REVISÓ: Ing. Peña

PLANO No: **I-3**

INSPECCIÓN: **PANTALLAS DE PROTECCIÓN**

CONTIENE: **Pantalla No. 20 - Lado Sur**

MATERIALES: **Hormigón Armado 350 Kg/cm2**

ESCALA: **1:25**




CIB - ESPOL

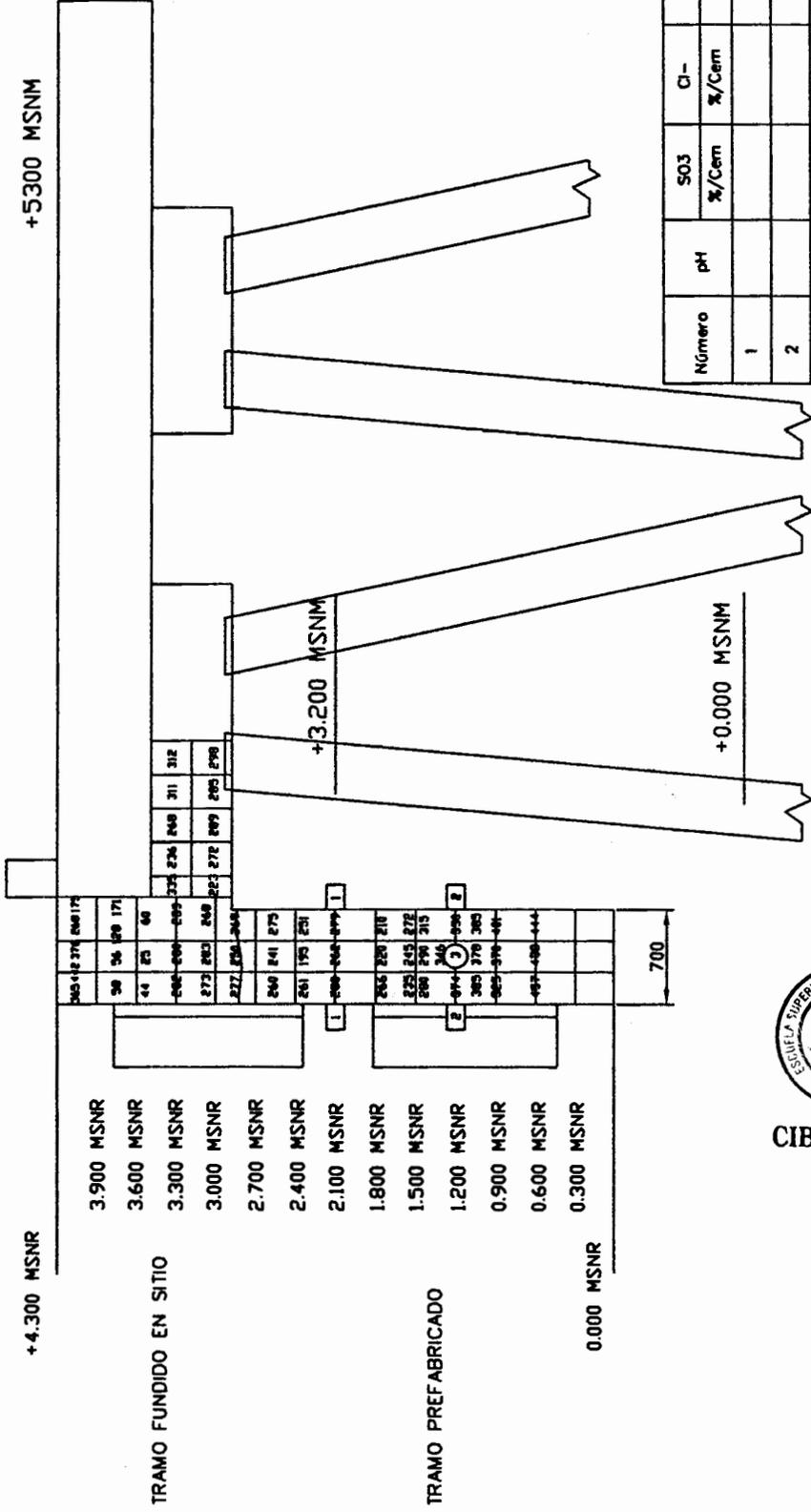
Nota de Referencia:

MSNM: Metros sobre el nivel del mar.

MSNR: Metros sobre el nivel de Referencia.

Números indican el Potencial natural: - mV

CARA LATERAL DERECHA



CIB · ESPOL

Número	pH	SO3 %/Cem	Cl- %/Cem	Veloc. m/s	Resist. MPa
1				4710	
2				4620	
3		0.43923	0.16585		

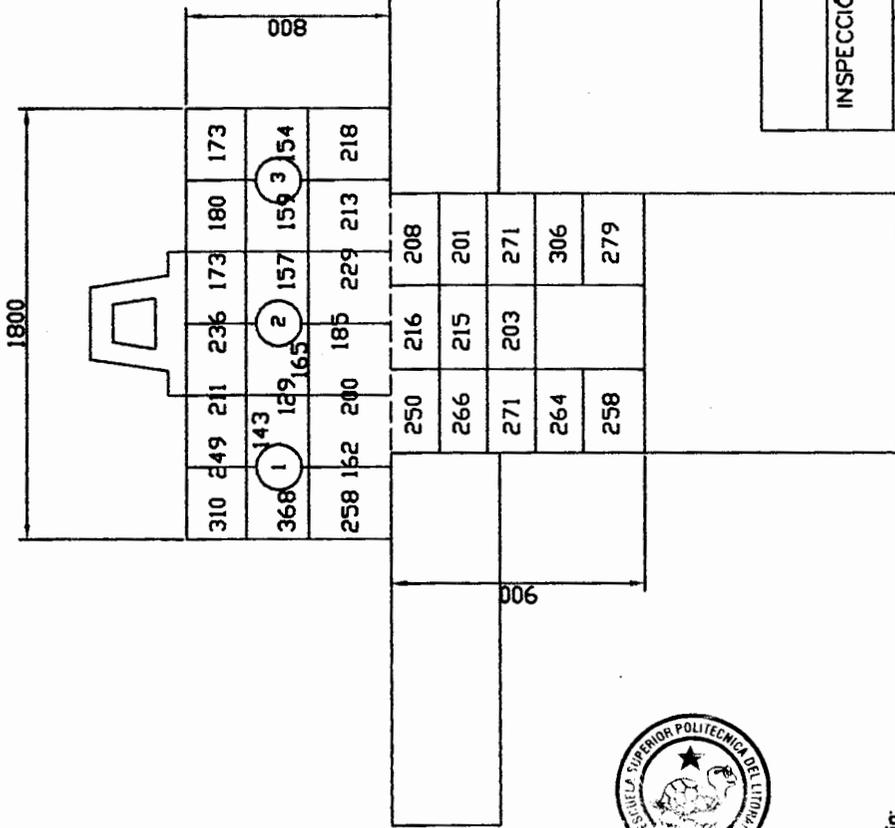
FECHA	NOMBRE
Dibujó 18/08/03 L. González	
Revisó 18/08/03 Ing. Pato	

FIMCIP - ESPOL

PLANO No: I-4	
INSPECCIÓN: PANTALLAS DE PROTECCIÓN	
ESCALA: 1:25	CONTIENE: Pantalla No. 20 - Lado Sur
MATERIALES: Hormigón Armado 350 Kg/cm ²	

Nota de Referencia:
 MSNM: Metros sobre el nivel del mar.
 MSNM: Metros sobre el nivel de Referencia.
 Números indican el Potencial natural: - mV

CARA SUPERIOR Y LOSA



CIB - ESPOL

Nota de Referencia:
 MSNM: Metros sobre el nivel del mar.
 MSNM: Metros sobre el nivel de Referencia.
 Números indican el Potencial natural: - mV

Número	pH	SO3 %/Cem	Cl- %/Cem	Veloc. m/s	Resist. MPa
1				3460	
2				3590	
3				3930	14.3

FIMCP - ESPOL

FECHA: 18/09/03
 Dibuja: J. González
 Revisó: 18/09/03 Ing. Peña

PLANO No: **I-5**

INSPECCIÓN: **PANTALLAS DE PROTECCIÓN**

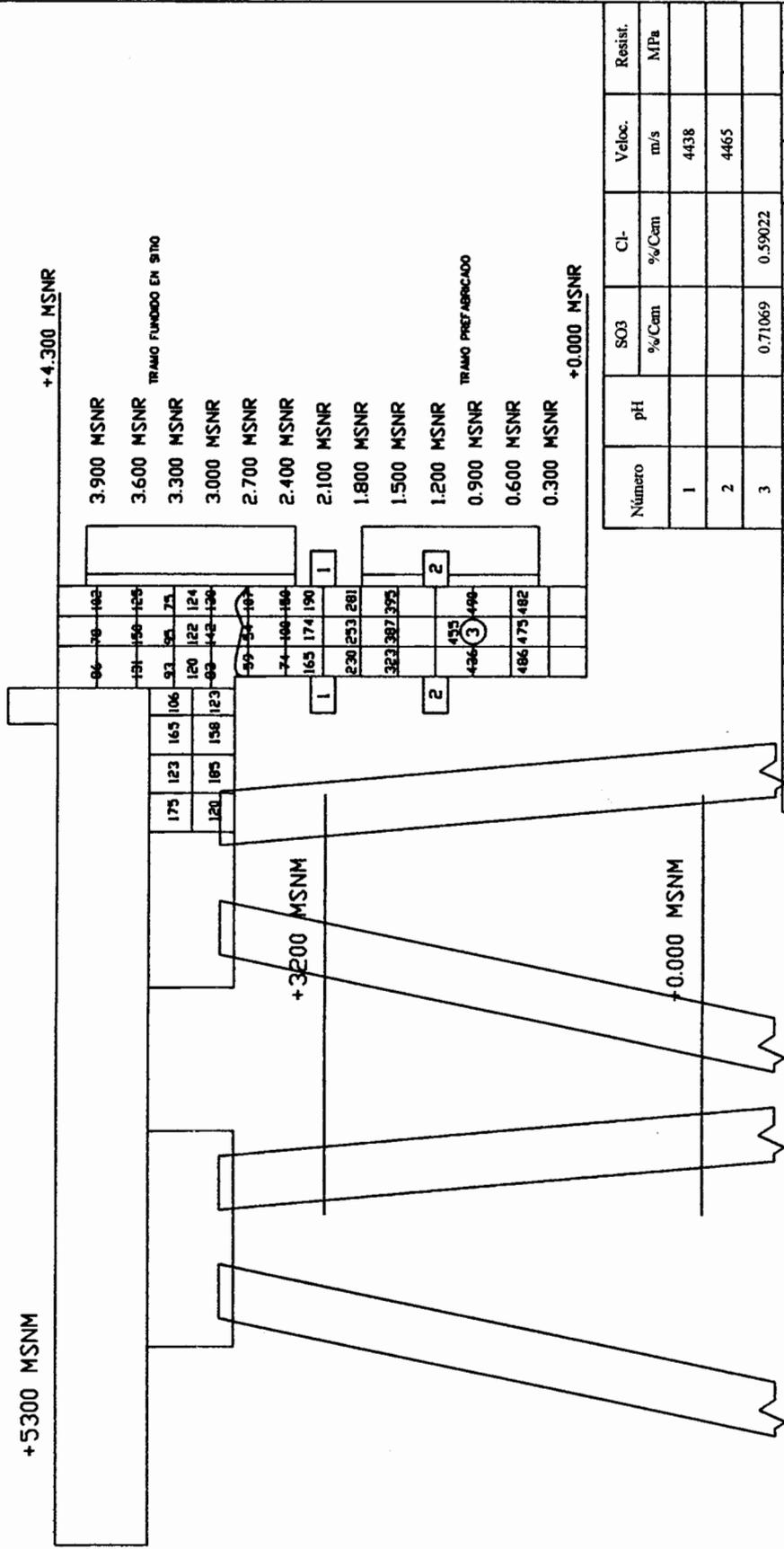
CONTIENE: **Pantalla No. 20 - Lado Sur**

ESCALA: **1:50**

MATERIALES: **Hormigón Armado 350 Kg/cm2**

MASA (Kg)

CARA LATERAL IZQUIERDA



Nota de Referencia:

MSNR: Metros sobre el nivel de Referencia

MSNM: Metros sobre el nivel del Mar

Números indican el Potencial Natural: - mV

FIMCP - ESPOL

INSPECCIÓN: PANTALLAS DE PROTECCIÓN

CONTIENE: Pantalla No. 4 - Lado Norte

ESCALA: 1:25

PLANO No: I - 8

MATERIALES: Hormigón Armado 350 Kg/cm2

FECHA: 20/08/03

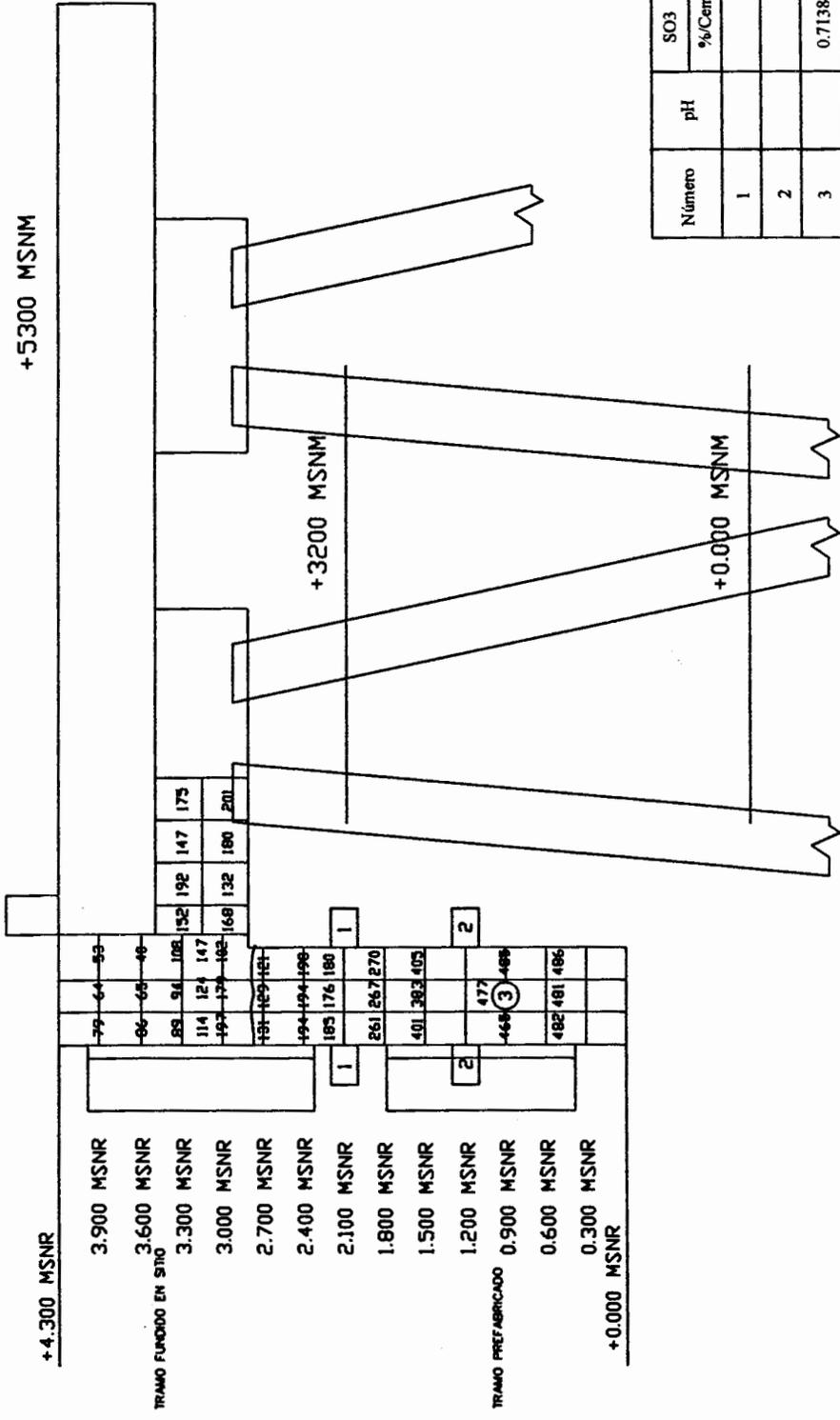
NOMBRE: J. González

Revisó: 20/08/03

J. Peña

MASA (Kg)

CARA LATERAL DERECHA



Número	pH	SO3		Cl-	Veloc.	Resist.
		%Cem	%Cem			
1					4581	MPa
2					4600	36.5
3		0.71384	0.60215			

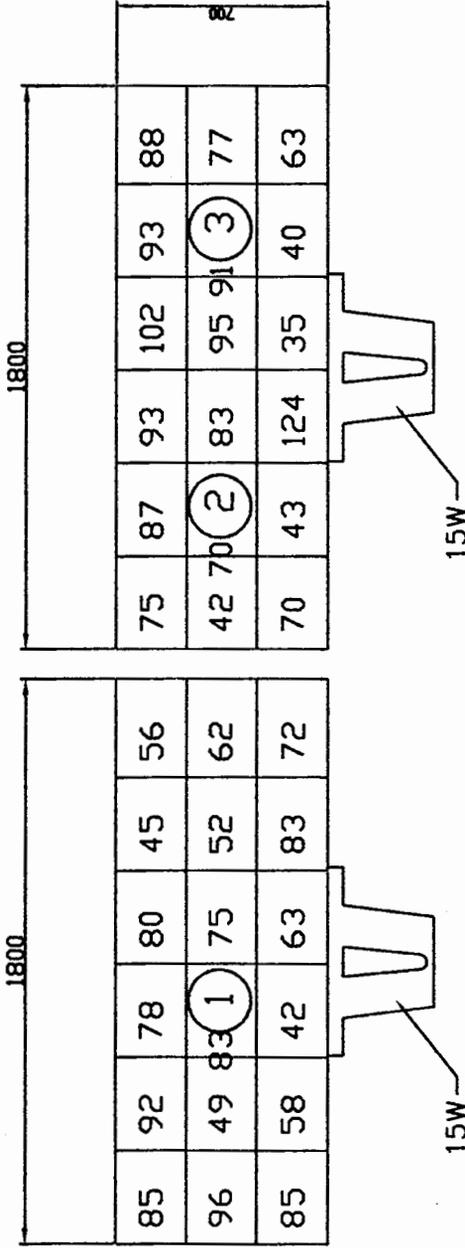
FIMCP - ESPOL

FECHA		NOMBRE
Dibujó	20/08/03	J. González
Revisó	20/08/03	J. Peña
PLANO No: I-9		
INSPECCIÓN: PANTALLAS DE PROTECCIÓN		
CONTIENE:	Pantalla No. 4 - Lado Norte	
MATERIALES:	Hormigón Armado 350 Kg/cm2	
ESCALA:	1:25	
MASA (Kg)		



Nota de Referencia:
 MSNR: Metros sobre el nivel de Referencia
 MSNM: Metros sobre el nivel del Mar
 Números indican el Potencial Natural: - mV

CARAS SUPERIORES



CIB - ESPOL

Nota de Referencia:

MSNR: Metros sobre el nivel de Referencia

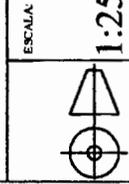
MSNM: Metros sobre el nivel del Mar

Números indican el Potencial Natural: - mV

Número	pH	SO3 %/Cem	Cl- %/Cem	Veloc. m/s	Resist. MPa
2				3920	13.8
3				3490	

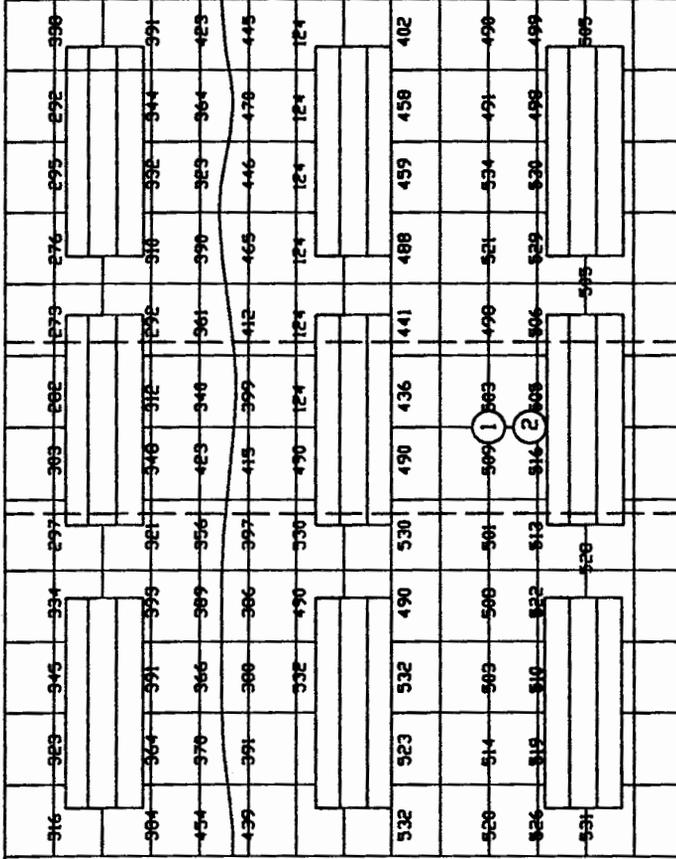
FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó 20/08/03	J.González
INSPECCIÓN: PANTALLAS DE PROTECCIÓN		Revisó 20/08/03	J.Peña

PLANO No:		I - 10
CONTIENE:		
Pantalla No. 4 - Lado Norte		MASA (Kg)
MATERIALES: Hormigón Armado 350 Kg/cm ²		



+4.300 MSNR

3.900 MSNR
 3.600 MSNR
 3.300 MSNR
 3.000 MSNR
 2.700 MSNR
 2.400 MSNR
 2.100 MSNR
 1.800 MSNR
 1.500 MSNR
 1.200 MSNR
 0.900 MSNR
 0.600 MSNR
 0.300 MSNR
 +0.000 MSNR



+3200 MSNM

+5300 MSNM

TRAMO FUNDIDO EN SITIO

TRAMO PREFABRICADO

+0.000 MSNM

CARA FRONTAL

Nota de Referencia:

MSNR: Metros sobre el nivel de Referencia

MSNM: Metros sobre el nivel del Mar

Números indican el Potencial Natural: - mV

Número	pH	SO3 %/Cem	Cl- %/Cem	Veloc. m/s	Resist. MPa	FECHA	NOMBRE
						Dibujó	Revisó
1	> 9.8					20/08/03	J.González
2		0.47003	0.48215			20/08/03	J.Pérez
3							

FIMCIP - ESPOL



CIB - ESPOL

INSPECCIÓN:

PANTALLAS DE PROTECCIÓN

CONTIENE:

Pantalla Curva Frontal Izquierda



ESCALA:

1:25

MATERIALES:

Hormigón Armado 350 Kg/cm2

PLANO No:

I - 11

MASA (Kg)

+5300 MSNM

CARA INTERIOR

+3200 MSNM

MSNR	387	400	418	452	394	349	363	315	325	334	336	
3.900 MSNR												
3.600 MSNR												
3.300 MSNR												
3.000 MSNR												
2.700 MSNR	424	387	400	418	452	394	349	363	315	325	334	336
2.400 MSNR	441	468	488	470	415	406	360	358	368	422	405	407
2.100 MSNR	592	598	581	590	592	628	596	560	522	574	586	591
1.800 MSNR												
1.500 MSNR												
1.200 MSNR	488	498	486	500	495	486	490	482	485	465	466	474
0.900 MSNR	485	498	492	510	502	498	495	490	492	475	477	481
0.600 MSNR	495	499	496	512	500	499	498	501	494	485	478	488
0.300 MSNR												
+0.000 MSNR												

TRAMO FUNDIDO EN SITIO

TRAMO PREFABRICADO

+0.000 MSNM

Número	pH	SO3 %/Cem	Cl- %/Cem	Veloc.		Resist. MPa
				m/s		
1	> 9.8	0.13560	0.38125			
2		0.38741	0.42135			
3						

FIMCP - ESPOL

FECHA		NOMBRE
Dibujó	20/08/03	J. Gonzalez
Revisó	20/08/03	J. Peña

PLANO No:

I - 12

INSPECCIÓN: PANTALLAS DE PROTECCIÓN

CONTIENE:

Pantalla Curva Frontal Izquierda

MATERIALES:

Hormigón Armado 350 Kg/cm2



Nota de Referencia:

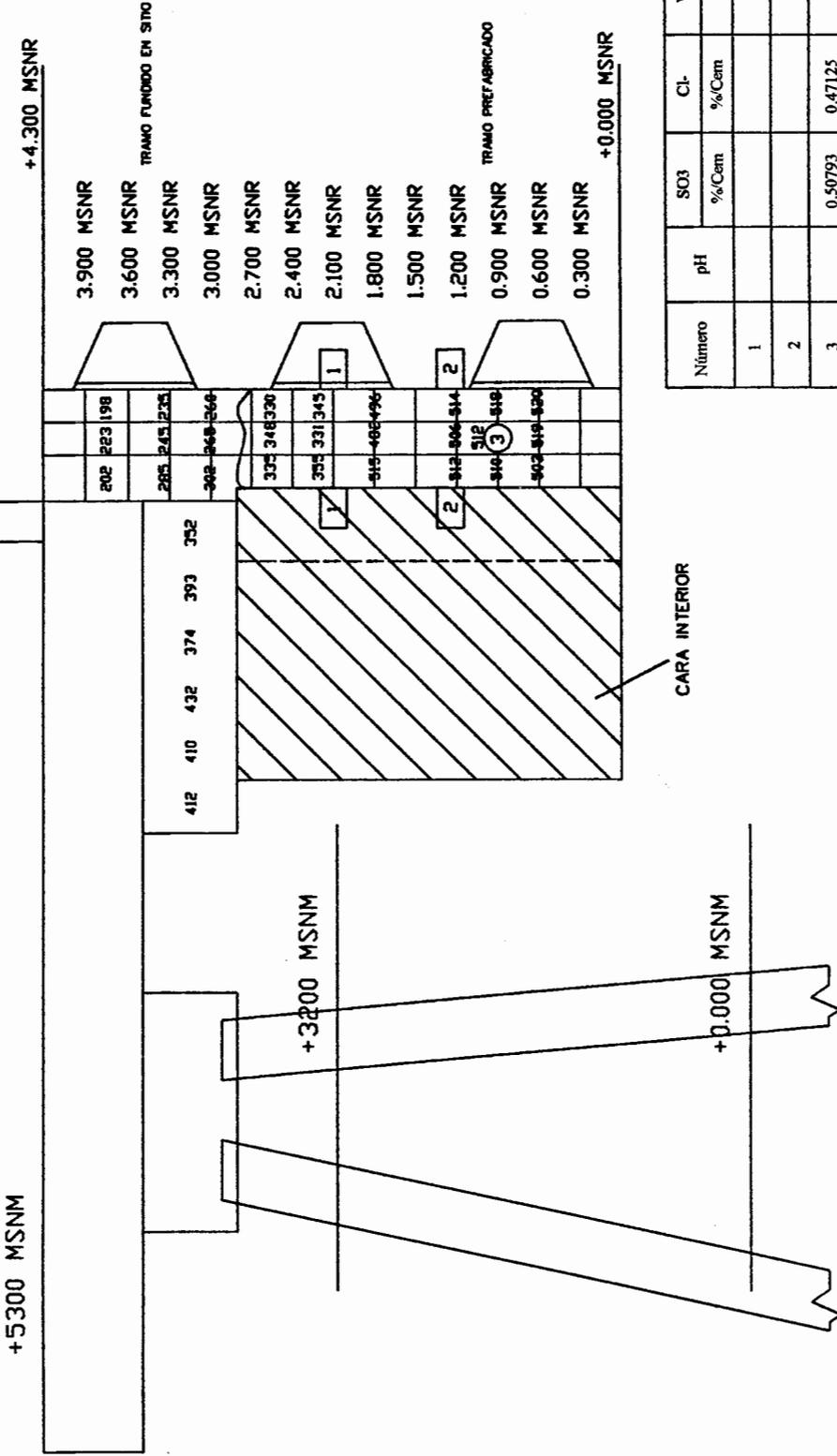
MSNR: Metros sobre el nivel de Referencia

MSNM: Metros sobre el nivel del Mar

Números indican el Potencial Natural: - mV

MASA (Kg)

CARA LATERAL IZQUIERDA



FIMCIP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó 20/08/03 J. González	J. Peña
INSECCIÓN: PANTALLAS DE PROTECCIÓN		PLANO No: I - 13	
CONTIENE: Pantalla Curva Frontal Izquierda			
MATERIALES: Hormigón Armado 350 Kg/cm²			
ESCALA: 1:25			

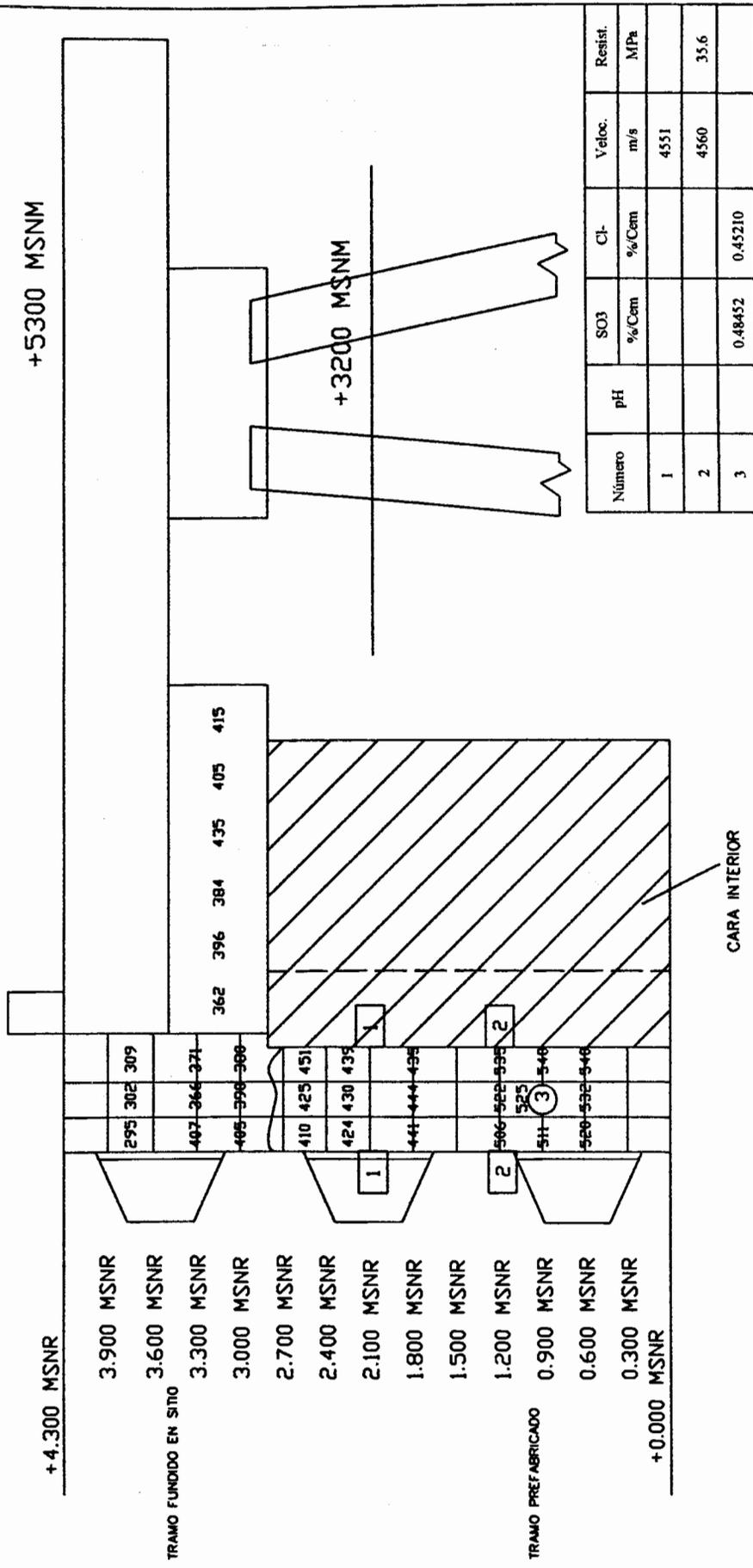
Nota de Referencia:

MSNR: Metros sobre el nivel de Referencia

MSNM: Metros sobre el nivel del Mar

Números indican el Potencial Natural: - mV

CARA LATERAL DERECHA



FIMCP - ESPOL

INSPECCIÓN: **PANTALLAS DE PROTECCIÓN**

CONTIENE: **Pantalla Curva Frontal Izquierda**

ESCALA: **1:25**

MATERIALES: **Hormigón Armado 350 Kg/cm2**

PLANO No: **I - 14**

MASA (Kg)



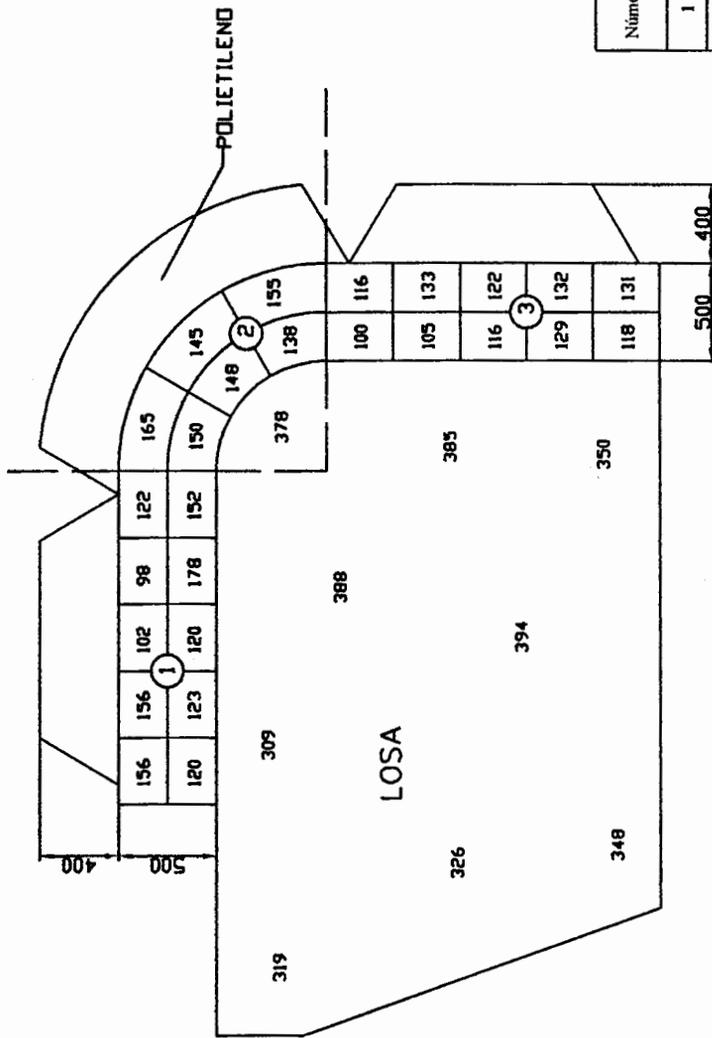
Nota de Referencia: **+0.000 MSNM**

MSNR: Metros sobre el nivel de Referencia

MSNM: Metros sobre el nivel del Mar

Números indican el Potencial Natural: - mV

PANTALLA FRONTAL CURVA IZQUIERDA



Número	pH	SO3 %/Cem	Cl- %/Cem	Veloc. m/s	Resist. MPa
1				2100	
2				2400	
3				2590	

FIMCP - ESPOL		FECHA	
		Dibujó	NOMBRE
		20/08/03	J.Gonzalez
		Revisó	J.Peta
		20/08/03	

INSPECCIÓN: PANTALLAS DE PROTECCIÓN		PLANO No:
CONTIENE:		I - 15
ESCALA: 1:25		
MATERIALES:		MASA (Kg)
Hormigón Armado 350 Kg/cm2		

Nota de Referencia:

MSNR: Metros sobre el nivel de Referencia

MSNM: Metros sobre el nivel del Mar

Números indican el Potencial Natural: - mV



CIB - ESPOL

BIBLIOGRAFÍA

1. ARTHUR H. NILSON – GEORGE WINTER, Diseño de Estructuras de Concreto, Onceava Edición, Editorial McGraw – Hill, 1994.
2. ASTM. ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS 2002, Construction – Concrete and Aggregates, Vol. 04.02, Ensayos: ASTM C 597 (Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete), ASTM C 1411 (Concentración del Cloruros), C 876 (Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete).
3. CHANDLER KENNETH A., Marine and Offshore Corrosion, Primera Edición, Butterworth and Co. (Publishers) Ltd., 1985.
4. Dirección Electrónica: www.aenor.es
5. Dirección Electrónica: www.danepraire.com
6. Dirección Electrónica: www.imt.mx

7. Dirección Electrónica: www.procainsa.com/informes/eurocorr.html

8. Dirección Electrónica:

www2.uhu.es/11038/apuntes/HORMIGÓN%20BLOQUE%20I%20MATERIALES.pdf

9. Dirección Electrónica: www.vector-corrosion.com



CIB - ESPOL

10. DURAR, Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado, CYTED, Red Temática XV.B – Durabilidad del Hormigón, España, 1997.

11. FREDERICK S. MERRITT, Guía del Ingeniero Civil, Serie de Guías McGraw-Hill para Ingenieros.

12. JERRY BANKS, Control de Calidad, Primera Edición, Limusa – Noriega Editores, 1998.

13. L. L. SHREIR, Corrosión, Segunda Edición, The Butterworth Group Editors, 1979, Vol. 1

14. PAUL CHESS, GRONVOLD AND KARNOV, Cathodic Protection of Steel in Concrete, Primera Edición, E & FN SPON Editores, 1998, Londrés, UK.
15. SEYMOUR K. COBURN, Corrosion Source Book, a Collection of Outstanding Articles from the Technical Literature, First Edition, 1984, pág. 350.
16. TWI AND ROYAL & SUNALLIANCE ENGINEERING FOR HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, Best Practice for Risk Based Inspection as a Part of Plant Integrity Management, Report 363/2001, Pág. A1 – A14.
17. V. ASHWORTH AND C. J. L. BOOKER, Cathodic Protection (Theory and Practice), Primera Edición, Ellis Horwood Limited Editors, 1985.



CIB - ESPOL