

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS  
DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO EQUIPOS Y  
MÉTODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**MAGNO OLIVARES ABAD**

**Lima- Perú**

**Digitalizado por:**

**2013**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

## AGRADECIMIENTOS

**A DIOS**; porque me ama a pesar de mis defectos, me protege a pesar de mis debilidades y me da soluciones a pesar de mis obstinaciones. Gracias por la alegría de constatar de que simplemente que yo estoy vivo.

A mi Madre; **Marilú Fina Abad Cuba**, A ti dedico estas palabras como un pequeño reconocimiento al esfuerzo y apoyo incondicional que me has brindado en el transcurso de mi vida. A ti, que me enseñaste a levantarme después de cada tropiezo y ser tu mi refugio para tiempos difíciles.

A mi difunto Padre; **Carlos Magno Olivares Marca**, me enseñaste a ser trabajador y perseverante, a ver los problemas con cabeza fría, a dar pasos fijos para alcanzar mis metas y a guiarme con firmeza de que toda disciplina tiene su recompensa. Gracias papá que Dios te guarde en su gracia.

A mis Hermanas **Carla, Jacqueline y Cecilia Olivares Abad**, A ustedes porque directa e indirectamente han contribuido al cumplimiento de mis más importantes metas, y porque han sido también una fuente de estímulo y dedicación a esta mi Carrera Profesional. Reciban este pequeño reconocimiento a cambio de lo mucho que me han apoyado.

A mi Novia **Silvia Medina Sal y Rosas**, Toda mi gratitud por ayudarme a seguir adelante y culminar una etapa más de mi vida. Gracias por compartir todos mis momentos de tristeza y alegría y por tu apoyo, sin el cual todo hubiera sido más difícil. Mi esfuerzo y cariño para ti con todo mi amor.

A mi Asesora la Ingeniera **Ana Victoria Torre Carrillo**, a quien deseo expresar mi mayor agradecimiento por su apoyo incondicional y a todo el personal del **Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM)** por todo el apoyo brindado para la elaboración de esta tesis.

Igualmente quiero expresar un enorme agradecimiento al Dr. **Teófilo Vargas** y a todo el grupo talentoso del **Instituto de Investigación de la Facultad de**

**Ingeniería Civil** (IIFIC) a quienes me enseñaron mucho y apoyaron todo el tiempo durante la investigación.

Y por ultimo pero no menos importante expresar mi enorme agradecimiento a mi alma mater la **Universidad Nacional de Ingeniería** y en especial a la los docentes de la **Facultad de Ingeniería Civil** por haberme inculcado en mi el conocimiento y los valores para ejercer de una manera ética y profesional esta carrera.

## INDICE

	Pág.
<b>RESUMEN.....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE CUADROS.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE GRAFICOS.....</b>	<b>XV</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>XVI</b>
<b>CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1 CONCEPTOS BÁSICOS .....	1
1.1.1 Evaluación .....	1
1.1.2 Restauración.....	1
1.1.3 Reparación.....	1
1.1.4 Rehabilitación .....	2
1.1.5 Reforzamiento.....	2
1.2 DURABILIDAD DEL CONCRETO.....	2
1.2.1 Concepto.....	2
1.2.2 Degradación.....	4
1.2.3 Vida útil .....	4
1.2.4 Vida residual .....	4
1.3 PERIODO DE TIEMPO DE LA VIDA ÚTIL.....	5
1.3.1 Estado límite de servicio .....	5
1.3.2 Estado límite último.....	5
1.3.3 Probabilidad de falla.....	6
1.4 CAUSAS QUE DAÑAN AL CONCRETO ESTRUCTURAL .....	6
1.4.1 Acciones físicas .....	7
1.4.1.1 Cambios volumétricos en estado plástico.....	8
1.4.1.2 Cambio volumétricos en estado endurecido.....	11

1.4.2	Acciones mecánicas .....	13
1.4.2.1	Sobrecargas y deformaciones impuestas.....	13
1.4.2.2	Daños por abrasión.....	17
1.4.3	Acciones químicas .....	18
1.4.3.1	Ataque por ácidos.....	18
1.4.3.2	Ataque por bases.....	18
1.4.3.3	Ataque por sales .....	19
1.4.3.4	Ataques por sulfatos .....	19
1.4.3.5	Ataques por reacción del agregado.....	19
1.4.4	Acciones biológicas.....	20
1.4.4.1	Biodeterioro del concreto .....	20
1.4.4.2	Biodegradación de hidrocarburos.....	21
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS GENERALES DE LA CORROSIÓN.....</b>		<b>22</b>
2.1	CORROSIÓN DE LA ARMADURA EN EL CONCRETO .....	22
2.1.1	Pasivación del acero en el concreto: Diagrama de Pourbaix.....	23
2.2	TIPOS DE CORROSIÓN .....	25
2.2.1	Corrosión localizada.....	25
2.2.1.1	Corrosión por picaduras.....	25
2.2.1.2	Corrosión en espacios confinados.....	26
2.2.1.3	Corrosión bajo tensión .....	27
2.2.1.4	Corrosión por corrientes de interferencia.....	27
2.2.2	Corrosión uniforme o generalizada.....	27
2.2.3	Corrosión galvánica .....	28
2.3	FACTORES QUE AFECTAN Y DESENCADENAN LA CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS.....	28
2.3.1	Dosificación del concreto .....	29
2.3.2	Compacidad y homogeneidad.....	29
2.3.3	Espesor del recubrimiento.....	29

2.3.4	Humedad ambiental .....	30
2.3.5	Efecto del oxígeno .....	31
2.3.6	Efecto de la temperatura .....	31
2.3.7	Estado superficial del acero .....	31
2.3.8	Tensiones mecánicas del acero .....	32
2.3.9	Corrientes erráticas o de interferencia.....	32
2.3.10	Contacto galvánico entre otros metales .....	32
2.3.11	Iones despasivantes.....	32
2.3.12	Cloruros .....	33
2.3.13	Sulfatos .....	36
2.3.14	Carbonatación.....	36
2.3.15	Lixiviación de aguas blandas.....	39
2.3.16	Presencia de vacíos en contacto con armaduras .....	39
2.3.17	Existencia de fisuras .....	40
2.4	PRONOSTICO DE LA VIDA RESIDUAL DE LA ESTRUCTURA DAÑADA POR CORROSIÓN DE ARMADURAS .....	40
2.4.1	Método de modelos estructurales.....	41
<b>CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO.....</b>		<b>45</b>
3.1	INTRODUCCIÓN .....	45
3.2	PROCEDIMIENTO DE LA EVALUACIÓN.....	45
3.2.1	Evaluación preliminar .....	47
3.2.1.1	<i>Aspectos generales.....</i>	<i>48</i>
3.2.1.2	<i>Investigación documental del proyecto original .....</i>	<i>49</i>
3.2.1.3	<i>Selección de recursos para la inspección preliminar de la estructura de concreto reforzado.....</i>	<i>50</i>
3.2.1.4	<i>Inspección visual detallada de la estructura del concreto reforzado .....</i>	<i>50</i>
3.2.1.5	<i>Información Preliminar .....</i>	<i>52</i>
3.2.2	Evaluación detallada o profunda .....	53

3.2.2.1	<i>Documentación adicional del proyecto</i> .....	53
3.2.2.2	<i>Examen de la estructura</i> .....	55
3.2.2.3	<i>Ensayos a la estructura y toma de muestras</i> .....	57
3.2.2.4	<i>Reporte técnico final</i> .....	67
<b>CAPÍTULO IV: ALGUNAS TÉCNICAS DE REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO</b> .....		<b>68</b>
4.1	<b>MATERIALES DE REPARACIÓN Y/O REFORZAMIENTO</b> .....	<b>68</b>
4.1.1	Concreto.....	68
4.1.2	Mortero predosificado.....	69
4.1.3	Concretos y morteros expansivos o sin retracción.....	70
4.1.4	Aditivos.....	71
4.1.4.1	<i>Aditivos plastificantes</i> .....	72
4.1.4.2	<i>Aditivos fluidificantes</i> .....	72
4.1.4.3	<i>Aditivos expansores</i> .....	72
4.1.4.4	<i>Aditivos aceleradores y retardadores</i> .....	73
4.1.4.5	<i>Aditivos de adherencia</i> .....	73
4.1.5	Resinas epóxy.....	74
4.1.5.1	<i>Adhesivos y puentes de adherencia</i> .....	74
4.1.5.2	<i>Inyecciones de resina epóxicas</i> .....	75
4.1.5.3	<i>Morteros y concretos</i> .....	76
4.1.5.4	<i>Revestimientos</i> .....	77
4.1.6	Polímeros reforzados con fibra de carbono.....	77
4.1.6.1	<i>Refuerzo con hojas de tejido de fibra de carbono</i> .....	80
4.1.6.2	<i>Refuerzo con láminas de fibra de carbono</i> .....	81
4.2	<b>PROCESO DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO</b> .....	<b>81</b>
4.2.1	Reparación de fisuras en estructuras de concreto.....	82
4.2.1.1	<i>Inyección de fisuras</i> .....	83

4.2.1.2	Vaciado y Sellado .....	84
4.2.1.3	Grapado .....	85
4.2.1.4	Cosido con bandas de fibra.....	86
4.2.1.5	Aplicación de esfuerzos externos.....	87
4.2.1.6	Revestimientos.....	88
4.2.1.7	Cicatrización .....	89
4.2.2	Reparación de concreto disgregado.....	89
4.2.2.1	Eliminación del elemento deteriorado.....	89
4.2.2.2	Preparación del elemento a reparar .....	90
4.2.2.3	Colocación o recubrimiento del material de reparación .....	93
4.2.2.4	Tratamientos superficiales de protección .....	100
4.3	PROCESO DE REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO .....	101
4.3.1	Reforzamiento de losas aligeradas .....	101
4.3.1.1	Refuerzos mediante recrecido superior.....	101
4.3.1.2	Refuerzos mediante recrecido inferior.....	102
4.3.1.3	Refuerzo mediante láminas de acero.....	103
4.3.1.4	Refuerzo mediante laminas de fibra de carbono .....	103
4.3.2	Reforzamiento de vigas.....	105
4.3.2.1	Refuerzos mediante recrecido con concreto armado .....	105
4.3.2.2	Refuerzo mediante láminas de acero.....	107
4.3.2.3	Refuerzos mediante láminas de fibra de carbono.....	107
4.3.2.4	Refuerzo de vigas a cortante mediante fibras de carbono.....	108
4.3.2.5	Reforzamiento mediante adición de estribos.....	110
4.3.3	Reforzamiento de columnas.....	111
4.3.3.1	Confinamiento mediante tejido de fibra de carbono.....	111
4.3.3.2	Refuerzo de soportes mediante recrecido con concreto armado.....	112
4.3.3.3	Refuerzo de soportes mediante perfiles de acero .....	114



<b>CAPÍTULO V: GEOMETRÍA DE UN PARABOLOIDE HIPERBÓLICO DE CONCRETO ARMADO.....</b>	<b>116</b>
5.1 INTRODUCCIÓN.....	116
5.2 DEFINICIÓN DE LA SUPERFICIE.....	116
5.3 CRITERIO DE DIMENSIONAMIENTO.....	118
5.4 PROPIEDADES DEL cascaron PARABOLOIDE HIPERBÓLICO .....	119
5.4.1 Estado de membrana.....	120
5.4.2 Condiciones a cumplir por el cascaron en estado membrana.....	122
<b>CAPÍTULO VI: EVALUACION DE LA DURABILIDAD DEL PARABOLOIDE HIPERBÓLICO DE LA FIC - UNI.....</b>	<b>123</b>
6.1 EVALUACIÓN PRELIMINAR .....	123
6.1.1 Generalidades.....	123
6.1.1.1 <i>Nombre de la tesis o proyecto</i> .....	123
6.1.1.2 <i>Localización de la estructura</i> .....	123
6.1.1.3 <i>Tipo y descripción de la estructura</i> .....	124
6.1.1.4 <i>Propietarios y usos (cronológicamente)</i> .....	124
6.1.1.5 <i>Historial de la estructura</i> .....	124
6.1.1.6 <i>Influencia del medio ambiente en la zona del proyecto:</i> .....	125
6.1.1.7 <i>Verificación a la exposición de sustancias agresivas</i> .....	127
6.1.2 Resultados de la inspección visual detallada .....	128
6.1.3 Plan de trabajo posterior (ensayos y áreas donde se realizaran). .....	131
6.1.4 Conclusiones y recomendaciones.....	131
6.2 EVALUACIÓN DETALLADA.....	132
6.2.1 Replanteo de la estructura .....	132
6.2.2 Levantamiento de daños.....	132
6.2.3 Descripción de los ensayos y la ubicación de las muestras.....	134
6.2.3.1 <i>Ensayo del esclerómetro</i> .....	134
6.2.3.2 <i>Ensayo de compresión</i> .....	139

6.2.3.3	Ensayo de peso unitario.....	142
6.2.3.4	Determinación de la profundidad, localización y espesor de la armadura.....	143
6.2.3.5	Velocidad de pulsos ultrasónicos .....	147
6.2.3.6	Permeabilidad del concreto.....	151
6.2.3.7	Ensayo de pH .....	154
6.2.3.8	Profundidad de carbonatación.....	156
6.2.3.9	Contenido de cloruros.....	158
6.2.3.10	Concentración de sulfatos.....	160
6.2.3.11	Medición de potenciales de corrosión .....	161
6.3	DIAGNÓSTICO DE DAÑOS .....	167
6.3.1	Calificación de daños y análisis de resultados .....	167
6.3.1.1	Columnas.....	168
6.3.1.2	Cascarón.....	170
6.4	ESTIMACIÓN DE LA VIDA UTIL DEL PARABOLOIDE .....	171
6.4.1	Periodo de la iniciación de la corrosión .....	171
6.4.2	Periodo de la propagación de la corrosión .....	172
6.5	ALTERNATIVAS DE REPARACIÓN.....	172
	<b>CAPÍTULO VII: Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>174</b>
7.1	CONCLUSIONES .....	174
7.2	RECOMENDACIONES .....	176
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>178</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>181</b>

## RESUMEN

La idea de esta investigación nació por la adquisición de nuevos equipos para el Laboratorio de Ensayo de Materiales (L.E.M.) gestionados por la Facultad de Ingeniería Civil, motivando así con el apoyo del L.E.M. el uso de algunos equipos de auscultación en estructuras de concreto.

Teniendo así como propósito de esta tesis elaborar un documento que sirva como base para la evaluación y diagnóstico de daños por durabilidad en edificaciones de concreto reforzado dando así a conocer los diferentes tipos de ensayos y el uso de los equipos no destructivos que se aplican para determinar el grado de deterioro de la estructura, para luego proponer soluciones de reparación y reforzamiento con métodos novedosos y que existan en el mercado nacional.

Para ello, nació también la necesidad de la aplicación de esta tesis, encontrando así la estructura de concreto armado, el "Paraboloide Hiperbólico" de la Facultad de Ingeniería Civil que fue construida en 1960, por ende este es una estructura histórico para la Universidad Nacional de Ingeniería.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1: Descripción de los diferentes tipos de fisuras.....	8
Cuadro 6.1: Resumen de eventos sísmicos soportado por la estructura en estudio.....	125
Cuadro 6.2: Datos obtenidos del ensayo de esclerometria de las 3 columnas.....	136
Cuadro 6.3: Valores obtenidos del tarado.....	137
Cuadro 6.4: Cuadro de resumen los resultados del ensayo de esclerometria.....	138
Cuadro 6.5: Resultados obtenidos del ensayo de compresión estándar.....	141
Cuadro 6.6: Valores de peso unitario de concreto endurecido realizado a los testigos extraídos de los elementos de estudio.....	142
Cuadro 6.7: Resultados de las mediciones con el equipo ultrasónico V-METER MK IV.....	151
Cuadro 6.8: Resultados de la medición de la permeabilidad al aire.....	154
Cuadro 6.9: Valores de pH y Potencial de corrosión (E(v)) de los testigos extraídos de los elementos estructurales estudiados.....	155
Cuadro 6.10: Profundidad de carbonatación y tiempo restante de cada testigo.....	157
Cuadro 6.11: Resultados del ensayo de contenido de cloruros en los 3 testigos.....	159
Cuadro 6.12: Concentración de sulfatos de los testigos en estudio.....	161

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1: Relación entre los conceptos de durabilidad y comportamiento del concreto. ....	3
Fig. 1.2: Modelo de la Durabilidad.....	6
Fig. 1.3: Esquema de ubicación de los diferentes tipos de fisuras. ....	7
Fig. 1.4: Fisura formada debido al asentamiento del concreto. ....	9
Fig. 2.1: Representación electroquímica del concreto y el acero.....	22
Fig. 2.2: Diagrama de Pourbaix del acero de refuerzo. ....	24
Fig. 2.3: Representación química de la corrosión por picaduras. ....	26
Fig. 2.4: Representación de los estados de corrosión.....	26
Fig. 2.5: Mecanismo de corrosión por efecto de carbonatación. ....	28
Fig. 2.6: Contenido de humedad en los poros dependiendo de la humedad ambiental. ....	30
Fig. 2.7: Perfil de concentración de cloruros en la profundidad del concreto.....	35
Fig. 2.8: Grafico de cambio de pH en el interior del concreto.....	37
Fig. 2.9: Representación doble logarítmica de la ley de la raíz cuadrada del tiempo. ....	38
Fig. 2.10: Consecuencias de la corrosión de las armaduras en el comportamiento estructural.....	41
Fig. 2.11: Pérdida de sección del acero de refuerzo (para dos diámetros diferentes) en función de la velocidad de corrosión.....	42
Fig. 2.12: Disminución del momento flector de la sección indicada en función de la velocidad de corrosión. ....	43
Fig. 2.13: Deterioro de la estructura por corrosión en función del tiempo.....	44
Fig. 3.1: Proceso secuencial para evaluar y diagnosticar el comportamiento de una estructura de concreto armado. ....	46
Fig. 3.2: Posición de los transductores: 1) directa, 2) semidirecta, 3) indirecta. ....	59
Fig. 4.1: Métodos de inyección de resina. ....	75
Fig. 4.2: Representación esquemática de un sistema CFRP. ....	79
Fig. 4.3: Esquema de la aplicación de la presión de Resina Epóxica.....	84
Fig. 4.4: Formas de reparaciones de vaciado y sellado. ....	85
Fig. 4.5: Reparación de fisuras mediante grapado.....	86

Fig. 4.6: Reparación de fisuras mediante cosido con bandas. ....	87
Fig. 4.7: Reparación de fisuras en una viga con tirantes. ....	88
Fig. 4.8: Reparación de fisuras en una losa con tirantes. ....	88
Fig. 4. 9: Preparación del vaciado. ....	90
Fig. 4.10: Reponiendo la sección perdida. ....	92
Fig. 4.11: Reemplazo de toda la sección. ....	92
Fig. 4.12: Reponiendo la sección perdida. ....	92
Fig. 4.13: Reemplazo de toda la sección. ....	93
Fig. 4.14: Encofrado con corona para vaciado. ....	94
Fig. 4.15: Mortero seco. ....	95
Fig. 4.16: Encofrado para bombeo. ....	96
Fig. 4.17: Concreto precolado o grouting. ....	96
Fig. 4.18: Mortero o concreto proyectado. ....	98
Fig. 4.19: Concreto proyectado vía seca. ....	98
Fig. 4.20: Concreto proyectado vía húmeda. ....	99
Fig. 4.21: Parcheo con mortero. ....	100
Fig. 4.22: Refuerzo de losas aligeradas mediante recrecido superior. ....	102
Fig. 4.23: Refuerzo de losas aligeradas mediante recrecido inferior. ....	102
Fig. 4.24: Refuerzo de la vigueta mediante laminas de acero. ....	103
Fig. 4.25: Reforzamiento de las viguetas mediante fibra de carbono. ....	104
Fig. 4. 26: Refuerzo de losa aligerada mediante: a) laminados de fibra de carbono y b) tejido de fibra de carbono. ....	104
Fig. 4.27: Refuerzo de vigas mediante recrecido con concreto armado. ....	106
Fig. 4.28: Refuerzo a flexión mediante láminas de acero. ....	107
Fig. 4.29: Refuerzo de viga mediante láminas de fibra de carbono. ....	108
Fig. 4.30: Configuración posible a corte. ....	109
Fig. 4.31: Refuerzo de vigas a cortante mediante a) láminas de carbono y b) fibras de carbono. ....	110
Fig. 4.32: Reforzamiento mediante adición de estribos. ....	110
Fig. 4.33: Reforzamiento de columnas mediante tejido de fibra de carbono. ....	112
Fig. 4.34: Recrecido con concreto armado por adherencia. ....	113
Fig. 4.35: Recrecido con concreto armado por conexión de horquillas. ....	113
Fig. 4.36: Refuerzo mediante angulares metálicos empresillados. ....	114

Fig. 5.1: Superficie reglada del paraboloides hiperbólico.....	117
Fig. 5.2: Superficie de traslación del paraboloides hiperbólico.....	118
Fig. 5.3: Esfuerzos que actúan en un cascarón. ....	121
Fig. 6.1: Paraboloides hiperbólico de la Facultad de Ingeniería Civil – UNI. ....	123
Fig. 6.2: Vista del Paraboloides Hiperbólico de la UNI-FIC. ....	127
Fig. 6.3: Contacto de la columna con el jardín en proceso de riego. ....	127
Fig. 6.4: Grietas longitudinales en las columnas formadas por la corrosión del acero de armadura.....	128
Fig. 6.5: Grietas Descascaramiento del concreto en la parte inferior de la columna (contacto con el suelo).....	128
Fig. 6.6: Descascaramiento del concreto por la oxidación del acero en la parte inferior de la columna (contacto con el suelo).....	128
Fig. 6.7: Fisuración por corrosión en la viga.....	128
Fig. 6.8: Cangrejera del concreto en la viga.....	128
Fig. 6.9: Descascaramiento del concreto por la oxidación del acero en la viga. ....	129
Fig. 6.10: Descascaramiento del concreto por la oxidación del acero en la viga. ....	129
Fig. 6.11: Formación de cultivos biológicos en la parte superior del cascarón.....	129
Fig. 6.12: Degradación superficial del cascarón.....	129
Fig. 6.13: Degradación superficial del concreto en el cascarón.....	129
Fig. 6.14: Corrosión de las varillas lisas del cascarón.....	130
Fig. 6.15: Humedad del cascarón en el centro de la hoja.....	130
Fig. 6.16: Humedad del cascarón en el extremo de la hoja.....	130
Fig. 6.17: Descascaramiento del concreto por la corrosión.....	130
Fig. 6.18: Descascaramiento y humedecimiento del concreto por la corrosión.....	130
Fig. 6.19: Descascaramiento por la corrosión y humedecimiento del concreto.....	130
Fig. 6.20: Humedecimiento del concreto.....	131
Fig. 6.21: Levantamiento del paraboloides hiperbólico UNI-FIC con una estación total, a) Estación total y b) Ubicación de los puntos con el prisma. ....	132

Fig.6.22: Levantamiento de daños parte inferior del paraboloide hiperbólico UNI-FIC. ....	133
Fig.6.23: Levantamiento de daños parte superior del paraboloide hiperbólico UNI-FIC. ....	133
Fig. 6.24: Esclerómetro y accesorio (piedra esmeril).....	134
Fig. 6.25: Columna 1 (C-1) lado derecho del paraboloide hiperbólico UNI-FIC.....	135
Fig. 6.26: Ensayo de esclerometria en la columna 3 (C-3).....	135
Fig. 6.27: Calibración del esclerómetro con el yunque. ....	137
Fig. 6.28: Relación de N° de golpe con resistencia a la compresión. ....	138
Fig. 6.29: Detector de Acero marca BOSCH modelo DMF 10 Zoom professional usado para la detección de acero en elementos estructurales. ....	139
Fig. 6.30: Extracción de la diamantina en la columna C-1.....	140
Fig. 6.31: a) Cortadora y b) Testigos perfilados. ....	140
Fig. 6.32: Ensayo a la compresión con la maquina universal. ....	141
Fig. 6.33: Pacómetro DMF 10 Zoom profesional.....	143
Fig. 6.34: a) Pacómetro Rebarscope y b) Pantalla del pacómetro.....	144
Fig. 6. 35: a) Pacómetro Rebarscope y b) Pantalla del pacómetro.....	144
Fig. 6.36: Vista en planta de una parte de la estructura del paraboloide hiperbólico. ....	145
Fig. 6.37: Vista en corte de la sección A-A de la Figura 6.36. ....	145
Fig. 6.38: Vista en corte de las secciones B-B, C-C y D-D de la Figura 6.36.....	145
Fig. 6.39: Vista en corte de las secciones E-E, F-F y G-G de la Figura 6.36.....	146
Fig. 6.40: Vista en planta de los detalles G y H de la Figura 6.36. ....	146
Fig. 6.41: Vista en planta del detalle I de la Figura 6.36.....	146
Fig. 6.42: Limpieza de la superficie del concreto a evaluar. ....	148
Fig. 6.43: Ensayo de la velocidad del pulso ultrasónico con el V-Meter MK IV. ....	148
Fig. 6.44Tramos de ensayo en la columna C-1.....	149
Fig. 6.45: Tramo 8 del ensayo en la viga sobre la columna C-1 lado izquierdo.....	150



Fig. 6.46: Tramo 9 del ensayo en la viga, sobre la columna C-1 lado derecho.....	150
Fig. 6. 47: Tramo 10 del ensayo en el cascarón, entre las vigas ensayadas. ....	150
Fig. 6.48: Perforación con el taladro para los agujeros de prueba.....	152
Fig. 6.49: Sellado de los orificios de prueba con tapones y silicona. ....	152
Fig. 6.50: Extracción de aire al orificio de prueba, Columna N° 1.....	153
Fig. 6.51: Lectura del tiempo del equipo Poroscope en la Columna N° 3. ....	153
Fig. 6.52: Muestras para el ensayo de pH del concreto. ....	155
Fig. 6.53: Aplicación de Fenolftaleína al testigo C-1 con una profundidad de carbonatación aprox. de 5 cm. ....	156
Fig. 6.54: Aplicación de Fenolftaleína al testigo C-2 con una profundidad de carbonatación aprox. de 3.5 cm. ....	157
Fig. 6.55: Aplicación de Fenolftaleína al testigo C-3 con una profundidad de carbonatación aprox. de 2.5 cm. ....	157
Fig. 6.56: Equipo de concrete corrosión mapping system. ....	162
Fig. 6. 57: Medición de la diferencia de potencial de la columna C - 2. ....	163
Fig. 6.58: Medición de la diferencia de potencial en el cascaron de la estructura.....	164
Fig. 6.59: Mapa de potenciales de la columna – 1. ....	165
Fig. 6.60: Mapa de potenciales de la columna – 2. ....	165
Fig. 6.61: Mapa de potenciales de la columna – 3. ....	166
Fig. 6. 62: Mapa de potenciales del cascaron del paraboloide hiperbólico. ....	166

## LISTA DE GRÁFICOS

Grafico 6. 1: Perfil de concentración de cloruros de las columnas. ....	160
-------------------------------------------------------------------------	-----

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1: Valor crítico de cloruros en concretos reforzados.....	33
Tabla 3.1: Clasificación de la calidad del concreto por medio de la velocidad. ....	60
Tabla 3.2: Tabla de valores del tiempo en función de la calidad de recubrimiento del concreto.....	62
Tabla 3.3: Criterio de la probabilidad de corrosión.....	63

## INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales más utilizados a nivel mundial en la industria de la construcción, y el Perú no es indiferente a esa realidad porque en comparación con otros materiales resulta mucho más económico, su tecnología es simple, materias primas fáciles de conseguir, alta resistencia a la compresión, versatilidad, y durabilidad.

Sin embargo hay un conjunto de acciones físicas, mecánicas, químicas y biológicas que afectan la durabilidad del concreto, por lo cual la evaluación del concreto endurecido surge de la necesidad de verificar la calidad del concreto utilizado en las obras y el estado físico-químico del concreto dañado. Para ello es posible usar equipos y métodos de ensayos no destructivos de manera mas rápida y directa.

Para el desarrollo de la investigación, el primer capítulo muestra conceptos básicos de la durabilidad del concreto armado, resaltando a la capacidad para resistir las acciones del medio ambiente que lo rodea, de los ataques químicos o biológicos, de la abrasión y/o de cualquier otro proceso de deterioro.

La interacción entre la corrosión y el concreto, se desarrolla en el segundo capítulo, donde se muestra los diversos tipos de corrosión de la armadura en el concreto, así como, los factores que afectan y desencadenan la corrosión de las armaduras en el tiempo.

El tercer capítulo desarrolla los procesos para la evaluación de una estructura de concreto armado, donde se ilustra los procedimientos y métodos de ensayos no destructivos para la evaluación de la durabilidad de estructuras de concreto armado.

El objetivo del cuarto capítulo es ofrecer un panorama amplio de las posibilidades de reparación y reforzamiento de estructuras de concreto armado.

Mientras que el quinto capítulo se presenta brevemente las superficies de doble curvatura, tal es el caso del paraboloide hiperbólico, mostrándose las propiedades principales de este tipo de estructura y los diferentes tipos de estas superficies.

En el sexto capítulo se hace la demostración y aplicación de técnicas sobre una estructura de concreto armado el "Paraboloide Hiperbólico", que pertenece a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, teniendo la consideración de cumplir con normas exigidas en nuestro país.

Finalmente, en el último capítulo, se presenta las conclusiones de la investigación, así como las recomendaciones tomadas como base el caso en estudio.

## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

### **1.1 CONCEPTOS BÁSICOS**

#### **1.1.1 Evaluación**

La evaluación es el proceso en el cual se hace una descripción detallada de la estructura para conocer el estado real en el que se encuentra.

El término "evaluación", es una concepción de amplio espectro, va desde la inspección ocular preliminar del estado real en el que se encuentra una estructura, pasando por un levantamiento preliminar, análisis, diseño, etc. hasta la comparación de resultados que determinan las causas y mecanismos que originan dicho estudio. [Ref. 15]

#### **1.1.2 Restauración**

El propósito principal de la restauración es devolver la forma o la apariencia arquitectónica que tenía una estructura en una época determinada, a fin de que todos los servicios del edificio comiencen a operar y sea restablecido rápidamente. La restauración no pretende mejorar la resistencia estructural del edificio. [Ref. 5]

#### **1.1.3 Reparación**

Se puede llamar reparación a la propiedad de devolver la forma original a la estructura o al proceso de reemplazar o corregir materiales, componentes o elementos de una estructura, las cuales se encuentran deteriorados, dañados o defectuosos con el fin de restablecer su resistencia original y evitar un mayor deterioro.

Es importante resaltar que en estudios anteriores dan como resultados que los elementos que son reparados solo recuperan entre el 70% a 80% de la rigidez original, se recomienda que cuando más del 25% de los elementos presentan daños se debe hacer un reforzamiento de la estructura. [Ref. 15]

#### **1.1.4 Rehabilitación**

Desde un punto de vista estructural, es el proceso de reparar, restituir o modificar una estructura hasta llevarla a una condición deseada, por lo tanto la estructura ha sido rehabilitada, luego de haberse realizado alguna intervención, ya sea debido a reparaciones o reforzamiento. [Ref.7]

#### **1.1.5 Reforzamiento**

Es el incremento de la resistencia original de la estructura, previa evaluación y según diseño estructural y cuando la reparación o restauración se hace insuficiente para el soporte de la estructura.

El reforzamiento es necesario cuando la estructura ha sido afectada por el deficiente sistema constructivo, baja calidad de materiales, eventos sísmicos, fallas locales, deterioro de su estructura original, la degradación del material con el tiempo, alteraciones llevadas a cabo por el uso durante los años de su existencia, entre otros casos.

El reforzamiento se puede lograr incrementando la capacidad de los materiales que lo componen, aumento de las dimensiones de los elementos y el acero de refuerzo, o en todo caso sería necesario hacer una nueva restructuración de la misma.

Por lo contrario el reemplazo total de edificaciones en un área determinada trae también como consecuencia la destrucción de un número de vínculos sociales y humanos ya que existe razones de interés histórico, artístico, social y económico. Por consiguiente, el reforzamiento de edificaciones existentes dañadas o indemnes puede ser un requerimiento definitivo en las mismas áreas.

[Ref. 15]

### **1.2 DURABILIDAD DEL CONCRETO**

#### **1.2.1 Concepto**

Durabilidad del concreto puede definirse como su capacidad para resistir la acción del medio ambiente que lo rodea, de los ataques químicos o biológicos, de la abrasión y/o de cualquier otro proceso de deterioro.

De tal manera, que las acciones del medio ambiente y las condiciones de exposición de una estructura se deben considerar como factores de diseño y construcción de las estructuras.

Considerando el modelo de la Figura 1.1, como factores determinantes de la durabilidad de una estructura de concreto están: el diseño y el cálculo de la estructura (geometría y cuantía de acero de refuerzo); los materiales empleados (concreto, acero y productos de protección); las practicas constructivas (calificación de la mano de obra y control de calidad); y, los procedimientos de protección y curado (condiciones de humedad y de temperatura).

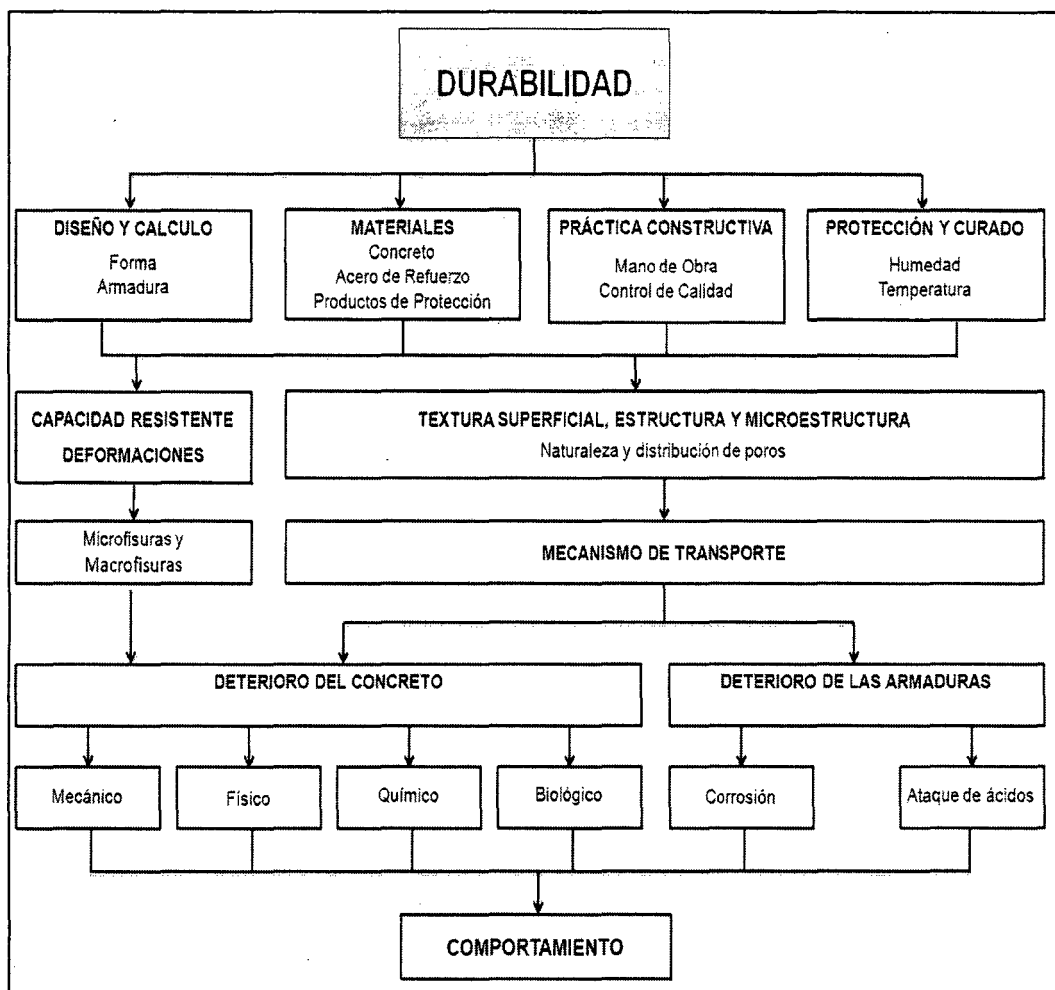


Fig. 1.1: Relación entre los conceptos de durabilidad y comportamiento del concreto.  
(Sánchez De Guzmán, Diego; 2006)

Lo anterior, genera una capacidad resistente y de deformación máxima permisible ante las cargas de servicio; desarrolla una textura superficial para el intercambio con el exterior (micro-clima); y también, permite obtener una

estructura y una micro estructura del concreto, que a su vez definen la naturaleza y distribución de poros al interior de la masa.

Si la capacidad resistente es rebasada, hay deformaciones impuestas u otro tipo de acciones mecánicas (p.e. impactos, vibración, abrasión, etc.), invariablemente parecerán microfisuras y/o macrofisuras, consideradas como deterioro mecánico. Pero también, dependiendo del tipo, tamaño y distribución de los poros y fisuras (microfisuras y macrofisuras), se establece una cierta y determinada porosidad a través de la cual operan los mecanismos de transporte de fluidos (gases o líquidos, con o sin sustancias suspendidas o disueltas). Que ayudados a su vez por el efecto de la temperatura, la humedad y/o la presión, permiten iniciar y/o propagar el deterioro del concreto por acciones físicas, químicas, y/o biológicas, o del refuerzo por el fenómeno de corrosión. [Ref. 30]

### 1.2.2 Degradación

El concepto de degradación es, por definición, el decremento gradual de la funcionalidad de la estructura con el tiempo. Se puede cuantificar a la degradación como el inverso de la funcionalidad. [Ref. 29]

### 1.2.3 Vida útil

El informe del Manual DURAR (1998), propone una definición clara para el concepto de vida útil de una estructura: "Periodo en el que la estructura conserva los requisitos del proyecto de seguridad, funcionalidad y estética, sin costos inesperados de mantenimiento". Es decir, si la estructura careciera de cualquiera de estas tres propiedades (seguridad, funcionalidad y estética), ésta ya superó su periodo de vida útil.

En el diseño de estructuras por durabilidad, el requerimiento de vida útil de la estructura es definido previamente por el cliente, por lo que se le llamará vida útil de servicio,  $T_{vu}$ . [Ref. 21]

### 1.2.4 Vida residual

"Se entiende por vida residual el tiempo a partir del momento que la estructura alcanza el anterior límite aceptable (fin de la vida útil)". Este es el periodo en el



que la estructura necesitaría reparación, remodelación o completa renovación para que regrese a su estado de servicio original; esto es que sea segura, funcional y estética. En pocas palabras, la etapa de vida residual es el tiempo que tiene el dueño de la estructura, o elemento estructural, para repararla antes que la degradación avance hasta el límite de posible colapso. [Ref. 21]

### 1.3 PERIODO DE TIEMPO DE LA VIDA ÚTIL

Los valores mínimos de servicio (o máximos aceptables de degradación) son llamados los estados límites de la durabilidad de una estructura. Estos son principalmente dos: [Ref. 21]

- 1) Estado límite de servicio (ELS)
- 2) Estado límite último (ELU)

#### 1.3.1 Estado límite de servicio

El estado límite de servicio corresponde al momento en el cual la estructura ha llegado a su vida útil, o sea, "es el estado en el cual los requisitos de servicio de una estructura o elemento (seguridad, funcionalidad y estética) ya no se cumplen". En general será el tiempo en el que se manifiestan daños externos por la formación de fisuras con ancho mayor al fijado por las normas según la clase de exposición (con ancho no mayor a 0.1mm es visible).

#### 1.3.2 Estado límite último

El estado límite último, es el estado en que la estructura o elemento estructural "se encuentra asociado con colapso u otra forma similar de falla estructural". Será el tiempo en el cual la estructura llega a un estado de degradación inaceptable antes de que sufra un colapso inminente:

$$(T_{vu} + \text{Vida Residual}) < ELU < (\text{Tiempo de Colapso})$$

La Figura 1.2 presenta el modelo de degradación que se emplea en este trabajo, la cual incluye los diferentes conceptos ya definidos. [Ref. 21]

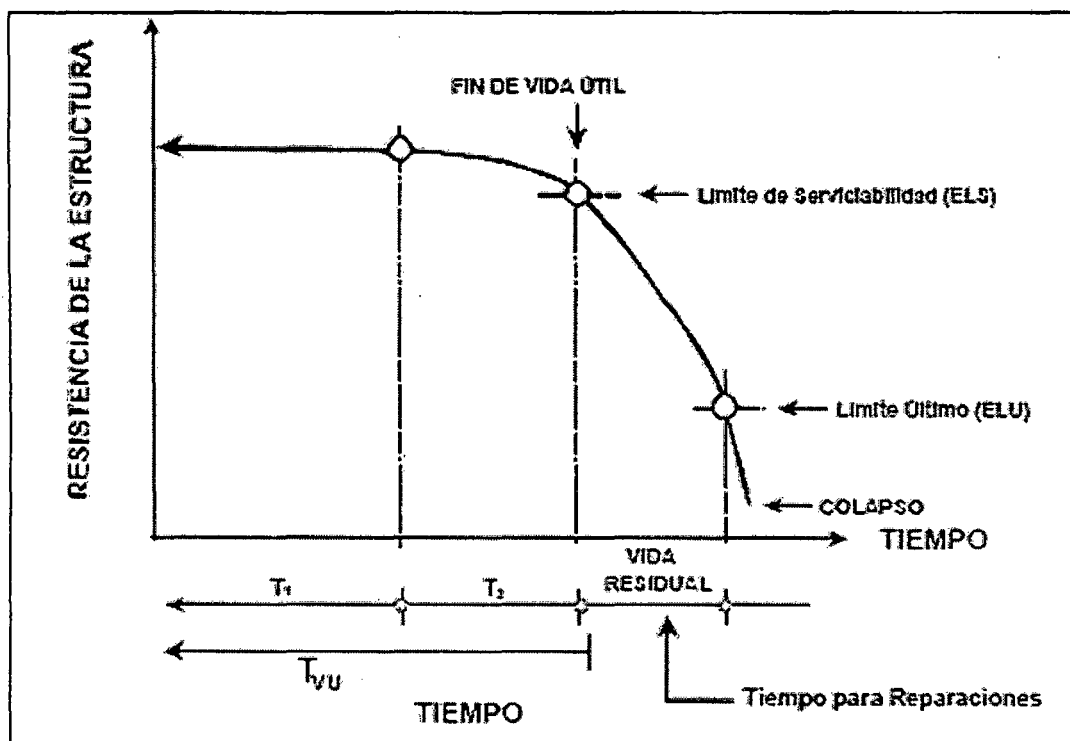


Fig. 1.2: Modelo de la Durabilidad.  
(Red Durar; 1998)

### 1.3.3 Probabilidad de falla

La probabilidad de falla podría definirse como la probabilidad de exceder cierto estado límite, ya sea ELS o ELU. El término "falla por durabilidad" es usado cuando existe una falla por degradación del material en una estructura o elemento estructural, en comparación de "falla mecánica", la cual es causada por cargas mecánicas externas. Es importante resaltar que la falla por durabilidad podría generar una falla mecánica. [Ref. 21]

### 1.4 CAUSAS QUE DAÑAN AL CONCRETO ESTRUCTURAL

Debido a que las estructuras de concreto simple o reforzado están expuestas, no solamente a la acciones mecánicas de las cargas de servicio; sino también, a otros factores que tienden a deteriorarlas y destruirlas como: acciones físicas; algunas veces a agresiones de carácter químico o biológico; y eventualmente, a otras acciones mecánicas. [Ref. 30]

### 1.4.1 Acciones físicas

Las acciones físicas se refieren esencialmente a los cambios volumétricos que experimenta el concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido, como consecuencia de cambios de humedad y/o temperatura. Pero las acciones físicas también hacen referencia a las variaciones que el concreto puede tener en su masa y que afectan al peso unitario, la porosidad, y la permeabilidad.

En la Figura 1.3 se muestra la esquematización de diferentes tipos de fisuras causadas por acciones físicas en el concreto armado, y en el Cuadro 1.1 se describen los diferentes tipos de fisuras.

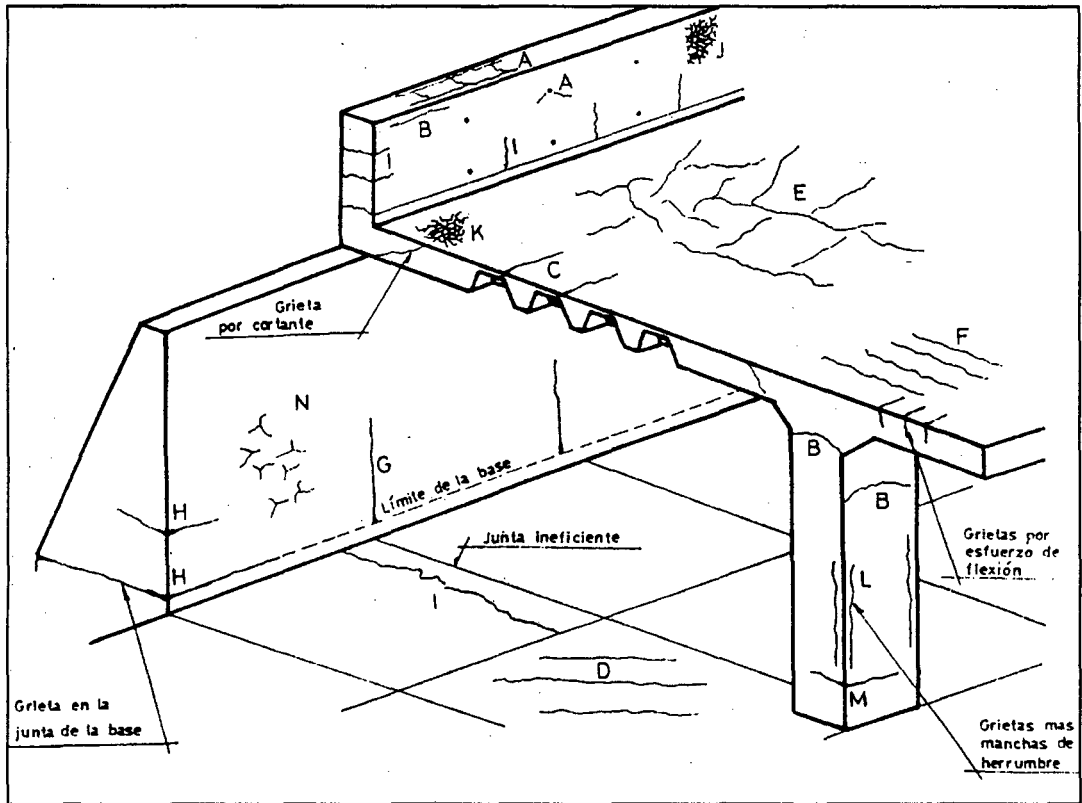


Fig. 1. 3: Esquema de ubicación de los diferentes tipos de fisuras.  
 (Sánchez de Guzmán, Diego; 2006)

Cuadro 1.1: Descripción de los diferentes tipos de fisuras.

Tipo de Fisura	Posición en la Figura 1.3	Sub-división	Ubicación más usual	Causa Primaria	Factores Secundarios	Soluciones	Edad de Aparición
Asentamiento plástico	A	Sobre armadura	Secciones peraltadas	Exceso de exudación	Condiciones de secado rápido a horas tempranas	Reducir exudación (aire ocluido) o revibrar	10-180 minutos
	B	Arco	Extremo superior de columnas				
	C	Cambio de espesor	Losas aligeradas				
Contracción plástica	D	Diagonal	Pavimentos y placas	Secado temprano y rápido	Baja velocidad de exudación	Mejorar curado a primeras horas	30 - 360 minutos
	E	Aleatorio	Losas de concreto armado				
	F	Sobre armadura	Losas de concreto armado	Refuerzo cercano a la superficie			
De origen térmico	G	Coacción externa	Muros gruesos	Exceso de calor de hidratación	Rápido enfriamiento	Reducir calor y/o aislar	De 1 día a 2 ó 3 semanas
	H	Coacción interna	Placas gruesas	Altas gradientes de temperatura			
Contracción a largo plazo	I	-	Placas delgadas (y muros)	Juntas ineficaces	Exceso de contracción/ Curado ineficiente	Reducir contenido de agua / Mejorar curado	Varias semanas o meses
Cuarteaduras	J	Contra la formaleta	Concreto superficialmente agrietado	Encofrado impermeables	Mezclas ricas en cemento / Pobre curado	Mejorar curado y acabado	De 1 a 7 días (a veces más tarde)
	K	Concreto rico en lechada	Placas	Exceso de mezclado			
Corrosión del refuerzo	L	Natural	Columna y vigas	Falta de recubrimiento	Pobre calidad del concreto	Eliminar las causas señaladas	Más de 2 años
	M	Calcio clorhídrico	Concreto prefabricado	Exceso de calcio clorhídrico			
Reacción álcali-agregado	N	-	Localizaciones húmedas	Reacción de los agregados con cemento altamente alcalino		Eliminar las causas señaladas	Más de 5 años

Fuente: Sánchez De Guzmán, Diego; 2006.

#### 1.4.1.1 Cambios volumétricos en estado plástico

Un concreto es una mezcla compuesta por pasta y agregados, cuando esta recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado a mano.

Durante el estado plástico, los cambios volumétricos del concreto pueden ser consecuencia de la contracción o dilatación que experimenta el material; los movimientos que se pueden dar durante la etapa de vaciado o de fraguado.

Todos estos fenómenos que ocasionan fisuras, las cuales se presentan sólo en la pasta del cemento, es decir que no atraviesan el agregado sino lo rodean.

a) Fisuras plásticas

Las microfisuras y fisuras plásticas se caracterizan por fenómenos como el asentamiento plástico y la contracción plástica. Estos dos fenómenos a su vez, están íntimamente ligados a la cantidad de agua de mezclado y a la exudación del concreto. [Ref. 30]

- Asentamiento plástico

Luego de su colocación inicial, vibrado y el acabado eventual, el concreto tiende a continuar consolidándose. Durante este período el concreto plástico puede estar restringido de deformarse sea por las armaduras, por una colada previa de concreto o por los encofrados. Estas restricciones localizadas pueden provocar vacíos y/o fisuras adyacentes al elemento que impone la restricción como se muestra en la Figura 1.4.

Si está relacionado con las armaduras, la fisuración por asentamiento de los agregados aumenta a medida que aumenta el tamaño de las barras, que aumenta el asentamiento del concreto y disminuye el recubrimiento. [Ref. 29]

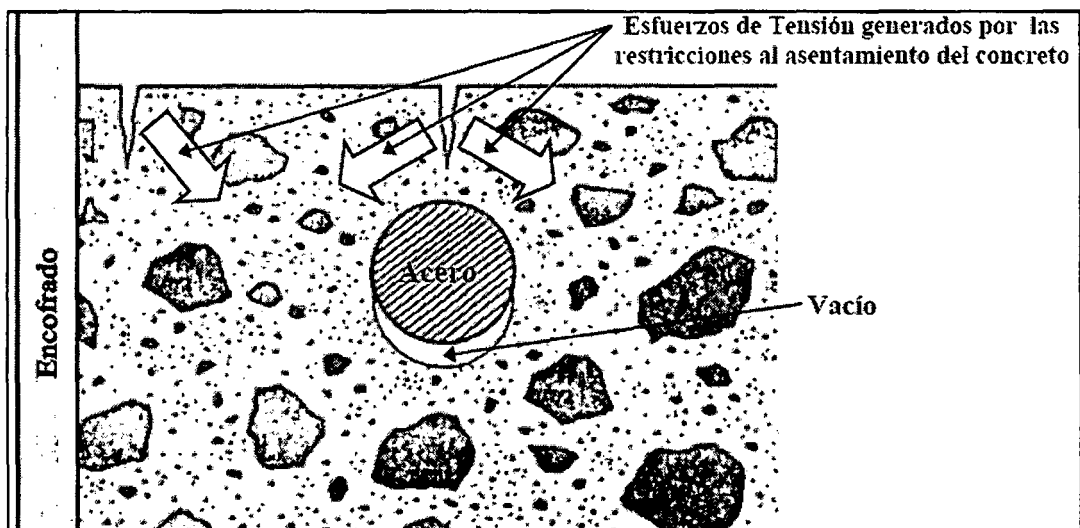


Fig. 1.4: Fisura formada debido al asentamiento del concreto.  
(ACI 224.1R-93)

- Contracción plástica

Ocurre cuando está sujeto a una pérdida de humedad muy rápida provocada por una combinación de factores que incluyen las temperaturas del aire y del concreto, la humedad relativa y la velocidad del viento en la superficie del concreto. Estos factores pueden combinarse de manera de provocar niveles altos de evaporación superficial tanto en clima caluroso como en clima frío.

Si el agua se evapora de la superficie del concreto recién colocado más rápido de lo que puede ser reemplazada por el agua de exudación, el concreto superficial se contrae. Debido a la restricción proporcionada por el concreto debajo de la capa superficial que se seca, en el concreto débil, plástico y en proceso de rigidización se desarrollan tensiones de tracción que provocan fisuras poco profundas pero de profundidad variable. [Ref.2]

b) Movimientos durante la construcción

Los cambios volumétricos que experimenta el concreto durante la construcción, usualmente obedecen a movimientos en el proceso de vaciado o en el proceso de fraguado, y están ligados a deformaciones de la base de soporte o movimiento de encofrado.

- Movimiento de la base

Cuando la base de apoyo del concreto fresco, experimenta deformaciones durante el vaciado o el fraguado de mezcla, existe una alta posibilidad de que se causen planos de fallas y fisuras.

- Movimiento del encofrado o molde.

Estas pueden experimentar deformaciones por la tensión que ejerce el mismo concreto fresco, por vibraciones o movimientos del mismo proceso constructivo, originando desplazamientos sin ninguna capacidad de resistir tracciones, con la consecuente aparición de fisuras. [Ref. 30]

#### 1.4.1.2 Cambio volumétricos en estado endurecido

Durante el estado endurecido, los cambios volumétricos del concreto generalmente están asociados a la contracción o dilatación que experimenta el material por cambios de humedad y/o por cambios de temperatura; o a los cambios que tiene lugar en la propia masa endurecida.

##### a) Fisuras por cambio de humedad

Entre los mecanismos de daño causados por cambios de humedad o por la presencia permanente de agua dentro del concreto en estado endurecido, se encuentran las grietas capilares o cuarteadoras; la contracción por secado; los agregados con retracción; y los ciclos de humedecimiento y secado. Todas estas, también son fisuras, que se presentan solo en la pasta de cemento, es decir que no atraviesan el agregado sino que lo rodean. <sup>[Ref. 30]</sup>

- Grietas capilares o cuarteaduras

Durante el proceso de fraguado e inclusive posteriormente, las grietas capilares o cuarteaduras, que algunas veces aparecen sobre la superficie del concreto en distribución hexagonal (fisuración en mapa), se deben principalmente a procedimientos incorrectos de consolidación, acabado y curado. Las causas más comunes de este tipo de grietas son la sobre vibración (segregación del concreto durante la compactación) o el excesivo alisado que durante el acabado provoca el avance de agua, cemento, y la fracción más fina del agregado hacia la superficie. Este material húmedo y cohesivo, tiene una contracción por secado mucho más alta y una resistencia más baja que el mortero y el concreto subyacentes, lo cual hace que al desecarse, la superficie esté sujeta a esfuerzos de tensión que son superiores a su resistencia a la tracción generando cuarteaduras y grietas que suelen aparecer entre 1 y 15 días después del vaciado. Su profundidad rara vez llega a 1 cm y por tanto tienen poca trascendencia estructural.

- Retracción por secado

La retracción hidráulica es la variación de contracción del concreto, originada por tensiones de compresión locales, que son consecuencia de la evaporación

progresiva del agua de los poros del concreto, que se encuentra en un ambiente seco. Si la evaporación del agua del concreto, comienza antes de finalizar el fraguado del cemento, la retracción hidráulica, puede alcanzar valores superiores. La fisuración por retracción hidráulica, tiene lugar cuando el concreto no admite una deformación correspondiente a la de retracción.

La retracción, tensión de rotura y módulo de deformación, son variables que dependen del tiempo y por lo tanto la fisuración por retracción hidráulica, se producirá en el instante en que el valor de la retracción, sea igual a la relación entre tensión de rotura del material a tracción y su módulo de deformación.

- Agregados con retracción

En un concreto correctamente dosificado, la contracción de la pasta es resistida por los agregados compactos, rugosos y duros que se adhieren bien y generan la llamada interface de adherencia pasta-agregado; sin embargo, cuando los agregados son muy absorbentes, como algunas areniscas y pizarras, se producen retracciones mayores que las obtenidas con materiales menos absorbentes como los granitos y algunas calizas. [Ref. 30]

b) Fisuras por cambios de temperatura

Como mecanismos de daños inherentes a los cambios de temperatura se encuentran: la contracción térmica inicial; la dilatación y contracción por temperatura; y el ataque por fuego (choque térmico). En estos mecanismos del daño, las únicas fisuras que se presentan solo en la pasta de cemento y que no atraviesan el agregado sino que lo rodean, son aquellas causadas por la contracción térmica inicial. [Ref. 30]

- Contracción térmica inicial

La retracción térmica, es la variación de contracción del concreto, originada por tensiones de compresión locales, que son consecuencia de las diferencias térmicas entre el concreto y el medio ambiente.



- Dilatación y contracción por temperatura

El concreto se contrae con el frío y con el calor aumenta su volumen y, con ello, su longitud. Si no limitan estos movimientos en la estructura se llegará, en general, a la fisuración, porque la deformación no quedará absorbida por una red de juntas debidamente situadas. Como consecuencia de estas omisiones se formarán fisuras en el concreto. [Ref. 30]

#### 1.4.2 Acciones mecánicas

Dentro de los factores de deterioro imputables a las acciones mecánicas están la deformación lenta (fluencia); las sobrecargas y deformaciones impuestas (fisuras estructurales; deflexiones y movimientos excesivos, imprevistos o fortuitos; y las fracturas y los aplastamientos); los impactos; las vibraciones excesivas; y los daños por abrasión (frotamiento, rozamiento, raspado, percusión, erosión y cavitación), que están relacionados con el uso que se da a la estructura. [Ref. 31]

##### 1.4.2.1 Sobrecargas y deformaciones impuestas

Con relación a las sobrecargas y deformaciones impuestas, es claro que si se rebasa la capacidad resistente del material (por precargas, o sobrecargas); o hay deflexiones y movimientos excesivos o imprevistos (asentamiento de terreno; y, deformaciones y colapsos impuestos por eventos fortuitos como el viento, los sismos, las explosiones u otros eventos); o se presentan fracturas y aplastamientos (grietas de apoyo, fracturas de aplastamientos local, fracturas por impacto y desintegración por trituración), las consecuencias se manifiestan mediante deficiencias estructurales (microfisuras, fisuras y/o el colapso de la estructura), según la intensidad del mecanismo de acción. [Ref. 30]

##### a) Grietas estructurales - estados límites últimos

Las grietas estructurales son la consecuencia de esfuerzos que actúan en la sección neta resistente de los elementos estructurales, por aplicación de cargas directas. En realidad, en cualquier elemento de concreto reforzado es probable que se presente una fisuración relativamente pequeña (con ancho de grietas menos a 0,5 mm), bajo las cargas de servicio normales, siempre y cuando las

armaduras no alcancen su límite elástico. Usualmente, esta fisuración se presenta en los puntos en que las tensiones son máximas.

- Grietas por tracción pura

Las fisuras producidas por la acción de esfuerzos de tracción presentan superficies perpendiculares a la dirección del esfuerzo. Son fisuras poco frecuentes en el concreto armado ya que lo impiden las armaduras. Sin embargo, cuando las deformaciones de las barras sobrepasan un determinado valor, pueden aparecer coincidentes, con el lugar donde están colocados los estribos. Son fisuras que aparecen de forma súbita y atraviesan la sección.

- Grietas por flexión

Para la viga, losa o muro, sometidos a esfuerzos de flexión que causan una deformación por pandeo del elemento, se presentan tracciones en la cara sometida a la expansión de la superficie, que originan fisuras y grietas. Estos planos de falla son de dos tipos: grietas de flexión y grietas por tracción.

Como las grietas por flexión se extienden hasta el eje neutro (zona de compresión), queda revelada así la posición de este en el elemento.

- Grietas longitudinales

Son aquellas que se forman a lo largo de la dirección de las barras de refuerzo, se puede inducir como consecuencia de los fenómenos de retracción plástica o asentamiento plástico, también puede ser por falta de adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto.

- Grietas por cortante

En el caso de esfuerzo cortante simple, como la resistencia a tracción es inferior a la de compresión, las fisuras serán perpendiculares a la tensión de tracción. Las fisuras de cortante suelen aparecer en el alma de las vigas sometidas a flexión y van progresando hacia las armaduras para llegar finalmente hasta los puntos de aplicación de las cargas con lo cual dividirán las piezas en dos partes. Su inclinación sigue el perpendicular de las cargas que actúan sobre el

elemento, fisurando al concreto, este no dispone de armadura suficiente para absorber las tracciones.

- Grietas por torsión

Las fisuras debidas a la torsión aparecen generalmente en las caras de barras sometidas a tal estado tensional; se caracterizan por formar siempre un ángulo de 45° con el eje de aquéllas y por describir un trazado helicoidal. Este tipo de fisuras es frecuente en estructuras de edificios cuando existen brochales que arriostran pórticos de luces descompensadas y cuando no se ha tenido en cuenta el efecto de torsión que se origina colocando la armadura precisa para absorberlo.

- Grietas por punzonamiento

Se caracterizan por la formación de una superficie de fractura de forma troncopiramidal cuya directriz es el área cargada. Por lo general, se localizan en las que descansa sobre las columnas y en las uniones de vigas planas con columnas. Las fallas por punzonamiento son frecuentemente de tipo frágil y han sido origen de numerosos hundimientos.

- Grietas por compresión simple

Las fisuras de compresión son paralelas a la dirección del esfuerzo. Si se rebasa la capacidad resistente de la pieza o columna a la compresión, entonces ocurre una fisuración. Las fisuras pueden tener trazados diferentes a los indicados si la pieza está impedida de deformarse en determinadas zonas. <sup>[Ref. 30]</sup>

b) Deflexiones y movimientos excesivos e imprevistos.

- Asentamiento del Terreno

Si el asentamiento diferencial es relativamente pequeño, los problemas de fisuración serán de naturaleza visual. Pero, si se presentan asentamientos diferenciales significativos, la estructura puede no ser capaz de redistribuir las cargas con suficiente rapidez y efectividad, de manera que puede presentar fallas y fracturas.

- Deformaciones y colapsos impuestos por eventos fortuitos

Estos pueden ocurrir como consecuencia de cargas de viento, sismos, explosiones y movimientos no previstos. [Ref. 30]

c) Fracturas y aplastamientos

- Grietas de apoyo

Cuando se tienen elementos simplemente apoyados, se pueden generar fracturas y fallas de borde que están en conexión con las zonas de apoyo. Entre ellas, se pueden dar varias modalidades y las más usuales son las siguientes.

- Fracturas por rigidez de apoyo: Ocurre cuando la conexión entre el elemento que se apoya y el elemento de apoyo no tiene una transición adecuada mediante un elemento de amortiguamiento.
- Fracturas inducido por el recubrimiento: Ocurre cuando el material de amortiguamiento se sitúa muy cerca del borde de los elementos y por ello se induce un plano de falla que descascara el recubrimiento de las barras principales del refuerzo que se encuentra dobladas.
- Fractura por falta de refuerzo en el borde: Ocurre cuando el borde del extremo de una viga que se apoya sufre esfuerzos de compresión y/o transición locales y no se ha reforzado suficientemente.

- Fracturas por aplastamiento local

Las fracturas y grietas por aplastamiento tienen su origen en la alta contracción de cargas que a veces se dan en zonas de apoyo de elementos simplemente apoyados, o en zonas de anclaje para el pre-esfuerzo de torones y cables. Cuando el aplastamiento ocurre por una carga concentrada, el patrón de falla se localiza directamente debajo de esta, que tiende a dividir la sección del concreto localmente.

- Fracturas por impactos

El impacto y grietas pueden iniciar o propagar una grieta. Es raro encontrar cargas de impacto en las estructuras, pero cuando exista la probabilidad de su

presencia, es recomendable utilizar un criterio de diseño conservador para que el agrietamiento sea el mínimo posible.

- Desintegración por trituración

Esto se da como consecuencia de la fatiga del material ante diferentes sollicitaciones mecánicas, pero principalmente por el efecto de cargas concentradas que desintegran el concreto donde experimenta sobre esfuerzos de compresión. [Ref. 30]

#### 1.4.2.2 Daños por abrasión

La resistencia del concreto a la abrasión se define como la habilidad de la superficie para resistir el desgaste producido por frotamiento, fricción, erosión de materiales abrasivos, o erosión por cavitación. Este fenómeno es difícil de valorar, ya que la acción perjudicial varía según la causa del daño. Por ello, la resistencia a la abrasión se relaciona siempre con su resistencia a la compresión. En términos generales, se consideran cuatro tipos de abrasión:

a) Desgastes por frotamiento.

Es el desgaste de pisos de concreto debido al tráfico de peatones y vehículos ligeros, patinazos, raspaduras o deslizamiento de objeto sobre la superficie.

b) Desgastes por fricción.

Es el desgaste de la superficie de pavimentos de concreto, debido a la acción de camiones pesados y automóviles que generan fricción por rozamiento, raspado y en algunas ocasiones percusión (llantas que tienen cadenas).

c) Erosión por materiales abrasivos

La erosión es típica de estructuras hidráulicas tales como presas, túneles y estribos de puentes u otras estructuras, que están sujetos a la acción de materiales abrasivos llevados por el agua corriente o por el viento. [Ref. 30]

#### d) Erosión por cavitación

Se define como cavitación a la erosión progresiva del concreto originada por el flujo no lineal de aguas limpias a velocidades sobre los 12 m/s. [Ref. 17]

El fenómeno consiste en que cuando el agua sin sólidos en suspensión fluye rápidamente sobre una superficie de concreto, cualquier cambio en la geometría de la superficie ocasiona que el flujo de agua se separe de la misma superficie, creando zonas de baja presión. Si la presión estática de la corriente del agua es menor que la presión de vapor, se forman burbujas de vapor de agua, y al fluir estas burbujas hacia zonas donde la presión estática supera a la presión de vapor de agua, el vapor de las burbujas se condensa y estas estallan bruscamente. Como consecuencia de la onda explosiva y la presión, ocurren picaduras y cavidades superficiales en el concreto. [Ref. 30]

### 1.4.3 Acciones químicas

El ataque, degradación y/o desintegración del concreto, como consecuencia de su contacto con sustancias químicas agresivas que se pueden encontrar en forma líquida, gaseosa o aun sólida.

Como mecanismos de deterioro del concreto por reacciones químicas de este ante un agente agresor, se pueden mencionar: las reacciones que provocan la descomposición y el lavado de los compuestos de las pastas de cemento endurecido que generan productos solubles e insolubles no expansivos, y las reacciones que forman nuevos productos que son expansivos. [Ref. 30].

#### 1.4.3.1 Ataque por ácidos

Siendo el concreto químicamente básico, con un pH del orden de 13, puede ser atacado por medios ácidos, con pH menor de 7, los cuales reaccionan con el hidróxido de calcio de la pasta produciéndose compuesto de calcio soluble en agua.

#### 1.4.3.2 Ataque por bases

Las bases son compuestos químicos que desprenden iones hidróxido en solución en agua. Ejemplo de bases son, el hidróxido de sodio o soda cáustica y

el hidróxido de amonio o amoniaco. Si estos hidróxidos penetran en el concreto y se encuentran en una zona determinada se produce daño físico por cristalización y expansión a partir de la reacción entre el hidróxido de carbono y el bióxido de carbono, proveniente del aire.

#### 1.4.3.3 *Ataque por sales*

Las sales son compuestos químicos derivados de ácidos o bases, formadas de la reacción entre ellos. Usualmente son solubles en agua. Los cloruros y nitratos de amonio, magnesio, aluminio, hierro, atacan al concreto, siendo el más peligroso el de Amonio. [Ref. 17]

#### 1.4.3.4 *Ataques por sulfatos*

Los sulfatos de calcio, sodio, potasio y magnesio son responsables de algunos de los más destructivos ataques al concreto. El ataque se presenta en forma de expansión debida a la formación de productos sólidos cuyo volumen es mayor que el de las sales que entran en la reacción.

El sulfato de sodio reacciona con el aluminato de calcio hidratado para producir etringita con aumento de volumen. Igualmente reacciona con el Hidróxido de calcio para producir yeso cuyo volumen es el doble de los sólidos iniciales. [Ref. 17]

#### 1.4.3.5 *Ataques por reacción del agregado*

##### a) *Ataque por reacción álcali – sílice*

Algunos tipos de agregados contienen formas reactivas de sílice, que pueden reaccionar con los hidróxidos alcalinos del concreto. Esta reacción, se conoce como álcali - sílice y forma silicatos alcalinos en el gel de cemento, que son capaces de absorber agua en grandes cantidades y a trabes de procesos de osmosis, ejercer grandes presiones en los poros del concreto causando fisuras.

El proceso suele manifestarse entre dos y cinco años de la edad del concreto y puede iniciarse como una simple lixiviación de productos cristalinos de composición variable, proseguir con hinchamientos locales, o manifestarse mediante pequeñas fisuras superficiales distribuidas de forma irregular

(fisuración por mapeo), seguida de progresión de planos de falla por fatiga y eventualmente desintegración de la masa.

#### b) Reacción álcali - silicato

Una modalidad de reacción álcali-agregado, diferente de la reacción álcali-sílice, es la que se da entre ciertas rocas silíceas y los álcalis presentes en el concreto. Esta, es conocida como álcali-silicato; y los tipos de rocas que exhiben el fenómeno, son rocas sedimentarias con alto contenido de minerales de arcilla (las arcillas están compuestas por capas de silicatos), por lo cual presentan una estructura exfoliada. En este caso, la reacción es muy lenta.

#### c) Ataque por reacción álcali – carbonato

Cuando se emplean agregados calizos del tipo dolomita se puede producir una reacción similar a la anterior conocida como álcali- carbonato. Esta reacción, consiste en la formación de brucita y en la regeneración de álcalis que cuando quedan expuestos a la humedad aumentan de volumen induciendo esfuerzos internos de tracción dentro del concreto, que a su vez ocasionan fisuras.

La reacción se manifiesta como un proceso químico de dedolomitación. Es decir una descomposición de la dolomita ( $\text{CaMgCO}_3$ ), en presencia del hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y de brucita  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  minerales estables e insolubles y algunos carbonatos solubles. Este proceso, también produce fisuración en mapa, fatiga y posterior destrucción por desintegración. [Ref. 30]

### 1.4.4 Acciones biológicas

Entre los mecanismos de deterioro biológico del concreto, están el biodeterioro del concreto, la biodegradación de hidrocarburos y la biocorrosión de los metales. [Ref. 30]

#### 1.4.4.1 Biodeterioro del concreto

El deterioro microbiológico o biodeterioro del concreto, consiste en el ataque de microorganismos que causan disolución de los componentes cementantes o de los agregados del concreto, como consecuencia de la acción de sus metabolitos ácidos.



El biodeterioro puede ocurrir a través de la asimilación de los compuestos minerales del concreto o por la excreción de productos agresivos, durante su reproducción, tales como ácidos inorgánicos (ácido sulfúrico) o ácidos orgánicos (ácido acético, cítrico, oxálico o húmico, entre otros).

#### 1.4.4.2 *Biodegradación de hidrocarburos*

La fuga de hidrocarburos derivados del petróleo (compuestos orgánicos formados solamente por hidrógeno y carbono) y su infiltración en sistemas acuíferos es un problema que sucede con alguna frecuencia. Cuando un hidrocarburo entra en contacto con el agua, éste se disuelve parcialmente y la contamina. Los contaminantes habituales son benceno, etil benceno, tolueno y xileno.

La mayoría de los acuíferos contienen microorganismos con capacidad metabólica para oxidar hidrocarburos y por su acción, los hidrocarburos se pueden oxidar en condiciones aeróbicas y anaeróbicas. La biodegradación de algunos hidrocarburos, por la acción de ciertos microorganismos aeróbicos, es consecuencia de una reacción de oxireducción, en la cual se producen dióxido de carbono, metano, sales inorgánicas, hierro reducido y agua. En una biodegradación anaeróbica de benceno y tolueno, principalmente se pueden producir altas concentraciones de ácidos orgánicos (sobre todo ácido acético).

Si los hidrocarburos o los productos de su biodegradación entran en contacto con el concreto, pueden ocurrir agresiones significativas de carácter químico y/o biológico. <sup>[Ref. 30]</sup>

## CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS GENERALES DE LA CORROSIÓN

### 2.1 CORROSIÓN DE LA ARMADURA EN EL CONCRETO

La corrosión de la armadura en el concreto consiste en la oxidación destructiva del acero por el medio que lo rodea. Así, la corrosión ocurre como resultado de la formación de una celda electroquímica, la cual consiste en cuatro elementos principales:

- Un ánodo, donde ocurre la oxidación.
- Un cátodo, donde ocurre la reducción.
- Un conductor metálico donde la corriente eléctrica es el flujo de electrones.
- Un electrolito, en ese caso el concreto, donde la corriente eléctrica es generada por el flujo de iones en un medio acuoso. <sup>[Ref. 21]</sup>

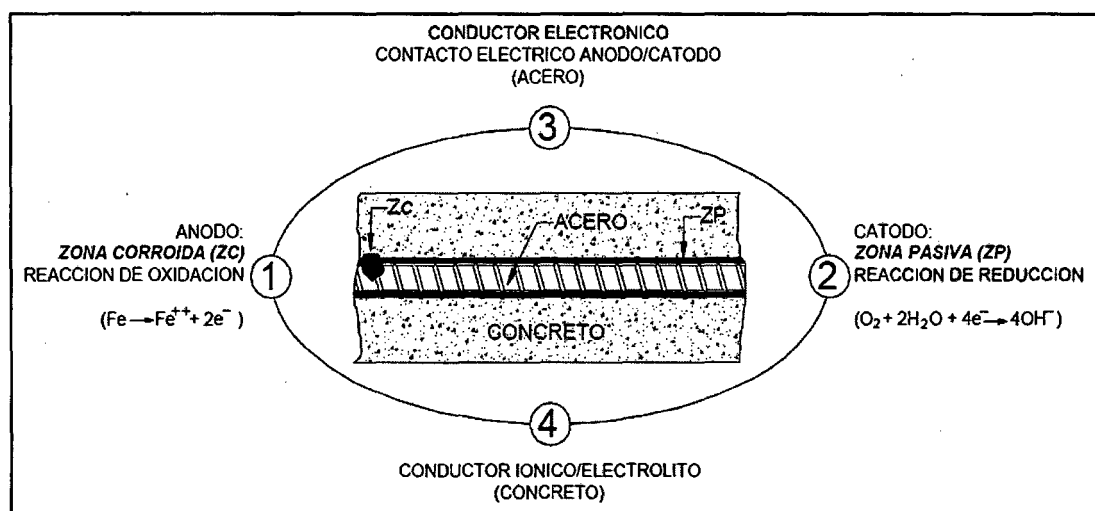


Fig. 2.1: Representación electroquímica del concreto y el acero.  
(Red Durar; 1998)

La corrosión electroquímica del acero en el concreto resulta de la falta de uniformidad en el acero, contacto con metales menos activos, así como también, de las heterogeneidades en el medio químico o físico (concreto) que rodea al acero.

Ahora bien, aunque la potencialidad para la corrosión electroquímica puede existir debido a la falta de uniformidad del acero en el concreto, la corrosión

formalmente se previene por la formación de esta película de óxido de hierro “pasivante”. Pero cuando las condiciones de servicio cambian el concreto se altera o a través de él penetran sustancias agresivas, se produce el rompimiento de ésta película y la corrosión de las armaduras se desencadena con una triple consecuencia:

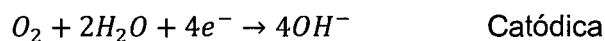
- El acero disminuye su sección o incluso se convierte completamente en óxido.
- El concreto puede fisurarse o deslaminarse debido a las presiones que ejerce el óxido expansivo al generarse.
- La adherencia armadura-concreto disminuye o desaparece.

Para que la corrosión del acero pueda iniciarse y, mantenerse existen dos mecanismos que en general son los más aceptados:

- a) Reducción de la alcalinidad por lixiviación de las sustancias alcalinas con agua o neutralización parcial con dióxido de carbono u otro material ácido.
- b) Por la acción electroquímica que involucra al ion cloruro en presencia de oxígeno.

Así, el acero se corroe por la reacción química que permite que él se disuelva como ion ferroso.

Debe haber una reacción catódica simultánea, como la reducción de oxígeno, todo esto en presencia de agua. [Ref. 21]



### 2.1.1 Pasivación del acero en el concreto: Diagrama de Pourbaix

El diagrama de Pourbaix es un diagrama de equilibrio potencial/pH donde el acero embebido en el concreto se encuentra por éste, tanto física (el espesor del recubrimiento del concreto), como química (pH del concreto entre 12 y 14, que sitúa al acero en la zona de pasividad según el diagrama de Pourbaix, formando

en la superficie del acero una capa de óxido, la misma que evita la propagación de la corrosión del acero).

La alcalinidad del concreto se debe, principalmente, al hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) que se forma durante la hidratación de los silicatos ( $\text{C}_2\text{S}$ ,  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_4\text{A}$ ,  $\text{C}_4\text{AF}$ ) del cemento y a los álcalis (sodio y potasio) que puedan estar incorporados como sulfatos en el clinker.

La reacción que ocurre durante el proceso de corrosión es la disolución del acero embebido en el concreto a un determinado potencial. Para un cierto valor de potencial el acero se encuentra en su estado normal sin alteraciones, hay que tener en cuenta que el potencial no es afectado en el concreto se disuelve y da un óxido o un hidróxido, la reacción ocurre a un potencial que depende del pH.

Son por estas razones que Marcell Pourbaix desarrollo una forma sencilla de representar estas reacciones en un plano, tomando como coordenadas la Acidez (pH) y el potencial electrónico ( $E_n(\text{V})$ ) según se muestra en la Figura 2.2.

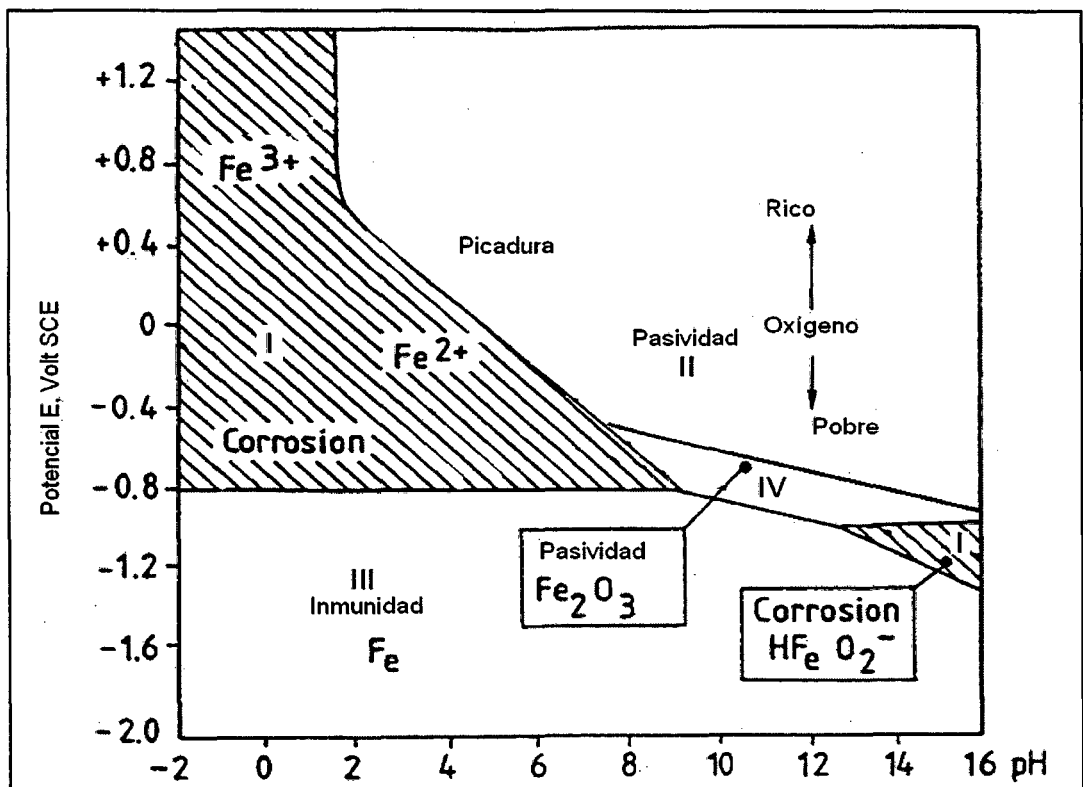


Fig. 2.2: Diagrama de Pourbaix del acero de refuerzo.  
 (Andrade C., Felix; 1988)

- **Zona I:** es la zona de corrosión activa, se caracteriza por el predominio de las reacciones de oxidación, por lo tanto, es una zona propicia para la disolución del acero de refuerzo.
- **Zona II:** es la zona de pasividad del acero, pero con una alta probabilidad de perder la pasividad por existencia de cloruros y la alta concentración de oxígeno, que al destruir la capa de pasivación, originan la corrosión localizada por picaduras.
- **Zona III:** es la zona de inmunidad o zona de predominio de las reacciones de reducción, corresponde a la zona donde el material se encuentra en condiciones estables, una de las razones es por la baja de oxígeno.
- **Zona IV:** es la zona de pasividad segura, corresponde a una zona donde los hidróxidos de fierro forman una película protectora en la superficie del metal que evita el avance del proceso de corrosión. <sup>[Ref. 24]</sup>

## 2.2 TIPOS DE CORROSIÓN

Una vez manifestada la corrosión en el acero de refuerzo embebido en concreto, los diferentes tipos de corrosión que pueden presentarse son los siguientes:

### 2.2.1 Corrosión localizada

#### 2.2.1.1 Corrosión por picaduras

Las picaduras se forman por la disolución localizada de la película pasiva, típicamente resultan del ingreso de iones cloruro al medio, bien sea porque proviene del medio exterior o porque fueron incorporados en la masa del concreto.

De esta manera, se forma una celda de corrosión donde existe un área pasiva intacta, actuando como cátodo en la cual se reduce el oxígeno y una pequeña área donde se ha perdido la película, actuando como ánodo, en la cual ocurre la disolución del acero. Varios factores actúan en conjunto para mantener o profundizar las picaduras existentes, más que para extender la corrosión o generar nuevas picaduras.

En el ánodo se produce ácido, debido a que los iones cloruro favorecen la hidrólisis del Fe en agua para formar  $H^+$  y  $Cl^-$  libre. Esto decrece el pH localmente y los iones cloruro permanecen en el medio para seguir interviniendo en el proceso de corrosión, agravando el problema como se muestra a continuación en la Figura 2.3. [Ref. 21]

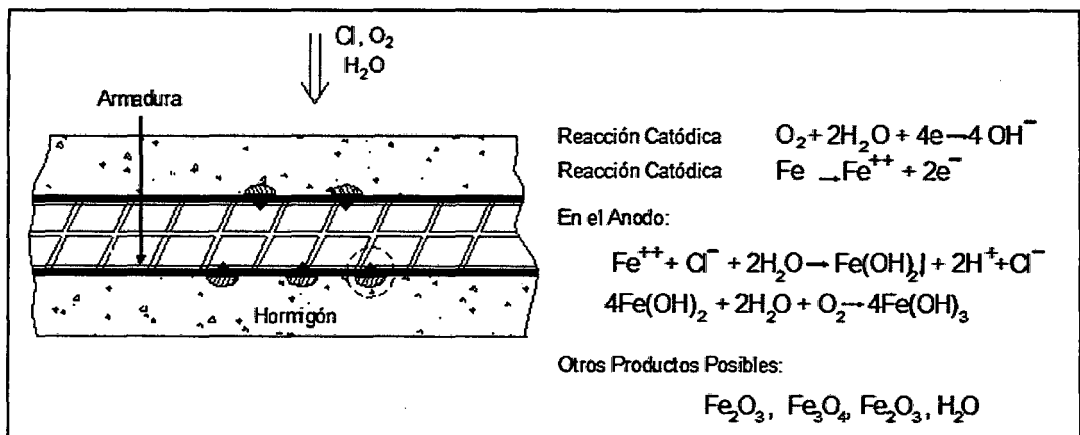


Fig. 2.3: Representación química de la corrosión por picaduras.  
(Red Durar; 1998)

### 2.2.1.2 Corrosión en espacios confinados

La corrosión de este tipo puede ocurrir cuando sobre la superficie del metal existe un espacio lo suficientemente resguardado que evita el acceso continuo del oxígeno a esa zona, pudiendo crearse celdas diferenciales de oxígeno que inducen a la corrosión del esfuerzo.

Existen varias situaciones que pueden inducir a éste daño. Entre ellas se puede mencionar la inyección de grietas (estructurales o por corrosión) con material epóxico donde ya el medio agresivo ha llegado al refuerzo, siendo ésta zona donde la corrosión se aceleraría por la falta de acceso de oxígeno donde se observa en la Figura 2.4. [Ref. 21]

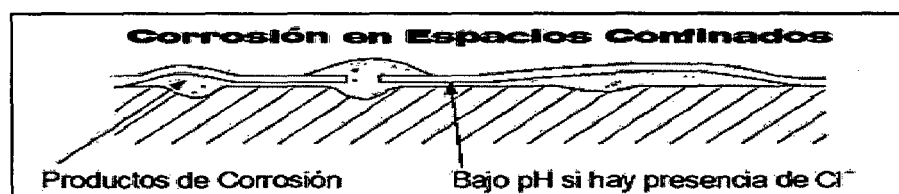


Fig. 2.4: Representación de los estados de corrosión.  
(Red Durar; 1998)

### 2.2.1.3 Corrosión bajo tensión

Este tipo de corrosión ocurre cuando se dan conjuntamente dos circunstancias: esfuerzos de tracción y un medio agresivo. Esto ocurre preferencialmente en concreto pre o postensado, donde se utilizan aceros de alta resistencia debida, en general, a la presencia de hidrógeno atómico difundido, a través del metal.

[Ref. 21]

### 2.2.1.4 Corrosión por corrientes de interferencia

Pueden ser definidas como las corrientes que fluyen en una estructura y que no forman parte del circuito eléctrico/celda electroquímica específica. Para que ocurra corrosión por corrientes de interferencias debe existir un intercambio entre una estructura metálica y un medio electrolítico. La corriente continua es la que tiene el efecto más pronunciado sobre la corrosión, ya que ésta fluye continuamente en un solo sentido. Por el contrario la corrosión alterna, que interviene su dirección alrededor de una centena de veces por segundo, puede causar un efecto mucho menos pronunciado.

Las fuentes más comunes de corrientes son:

- Sistemas de protección catódica, operando en las cercanías de estructuras de concreto armado, especialmente en medio de baja resistividad, como lo es el agua salobre.
- Sistema con potencia eléctrica, como los trenes eléctricos, máquinas de soldar, donde la estructura conectada a tierra se encuentra a cierta distancia de los electrodos de soldar; corrientes Telúricas (asociadas a la actividad solar y al campo magnético de la tierra). [Ref. 21]

## 2.2.2 Corrosión uniforme o generalizada

La corrosión uniforme es el resultado de una pérdida generalizada de la película pasiva, resultante de la carbonatación del concreto y/o la presencia de excesiva cantidad de iones cloruros.

La siguiente figura 2.5 ilustra el caso, donde se puede observar el mecanismo mediante el cual ocurre corrosión por efecto de carbonatación. [Ref. 21]

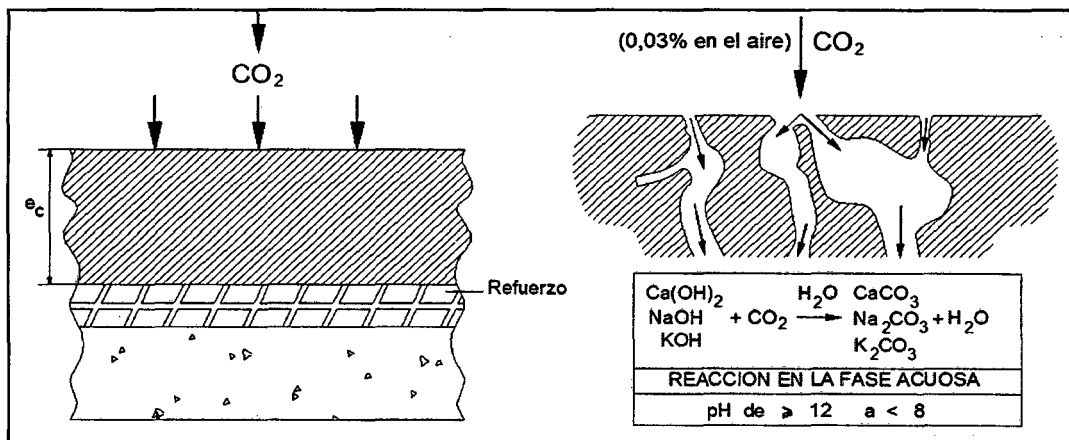


Fig. 2.5: Mecanismo de corrosión por efecto de carbonatación.  
(Red Durar; 1998)

### 2.2.3 Corrosión galvánica

Este tipo de corrosión se puede dar cuando existen dos metales diferentes en el medio electrolítico. En el caso del acero en concreto, esta situación se dará cada vez que en alguna zona se dañe o no se forme la película pasiva característica. Esta zona actuará como un ánodo frente al resto del material, donde permanece la pasivación, la cual actuará como cátodo. También se podría presentar cuando el refuerzo se encuentre en contacto con otros conductores más nobles. En general, se asocia al funcionamiento de una macrocelda. Un ejemplo típico es el caso de armaduras exteriores que se corroen al ingresar los cloruros, mientras que las armaduras interiores permanecen pasivas. <sup>[Ref. 21]</sup>

## 2.3 FACTORES QUE AFECTAN Y DESENCADENAN LA CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS

Se denomina así a aquel conjunto de circunstancias que la despasivación del acero afecta al concreto. Como ya se mencionó con anterioridad, que la corrosión solo se provoca si el pH baja hasta valores ácidos (< 8), por lo que serán pues factores que afectan o desencadenan todos aquellos que den lugar a una neutralización del medio alcalino propio del concreto o bien, como es el caso de las fisuras y huecos entre el acero y el concreto.

Existen varios factores que desencadenan los procesos de corrosión en las armaduras que se mostrará a continuación. <sup>[Ref. 21]</sup>



### 2.3.1 Dosificación del concreto

La dosificación del concreto es un factor que influye de forma significativa en el comportamiento futuro de éste, como elemento protector del acero de refuerzo.

El concreto que envuelve las barras de acero de una armadura debe cumplir una doble función protectora:

- a) Como barrera física que se opone a la penetración de los agentes agresivos externos y,
- b) creando una capa pasivante sobre el acero que lo mantiene protegido durante un tiempo indefinido. <sup>[Ref. 21]</sup>

### 2.3.2 Compacidad y homogeneidad

Es inversamente proporcional a la porosidad, por lo que entre más alta sea la compacidad, mayor protección tendrá la armadura a la carbonatación y al ataque de los cloruros, que son los agentes más agresivos. La compacidad es función de la cantidad y calidad de los materiales y de su proporción. <sup>[Ref. 21]</sup>

### 2.3.3 Espesor del recubrimiento

La protección que confiere el concreto que recubre las barras de acero de una estructura de concreto armado o pretensado dependerá del grado de impermeabilidad de éste, que a su vez estará dada por su compacidad y homogeneidad en esa zona.

El espesor de esta capa de concreto es importante para garantizar la protección de la armadura, dependiendo del ambiente al cual va a estar expuesto. Existen normas internacionales, donde se especifican los espesores adecuados de acuerdo a la agresividad ambiental. Sin embargo, estructuralmente es recomendable que este espesor sea el mínimo indispensable, con espesores de 2 a 3 pulgadas que permitan una alta durabilidad de la estructura. <sup>[Ref. 21]</sup>

### 2.3.4 Humedad ambiental

El concreto absorbe fácilmente la humedad ambiente, pero tarda mucho tiempo en secarse. Esto da lugar a que la humedad del interior del concreto sea superior a la humedad ambiente.

Si la humedad exterior permanece constante, se establece un equilibrio entre el contenido de humedad en el interior y la humedad ambiental (HR, humedad relativa). Pero si por el contrario, la humedad ambiental oscila, el interior del concreto no puede seguir los cambios a la misma velocidad, por tanto, sólo la capa exterior del concreto es la que mantiene el equilibrio con la humedad relativa exterior.

El contenido de humedad es el factor que más influye en la velocidad de corrosión. Si los poros contienen poca humedad como se ve en la Figura 2.6 (A), la velocidad de corrosión será baja a pesar de tratarse de un concreto carbonatado o contaminado por cloruros.

Si la humedad relativa es alta, pero no llega a saturar los poros, la velocidad de corrosión es elevada, véase en la Figura 2.6 (B).

La corrosión no se puede producir cuando el concreto está totalmente seco porque no se puede desarrollar el proceso electrolítico. Tampoco si los poros están saturados de humedad como se muestra en la Figura 2.6 (C), en este caso da lugar a velocidades de corrosión moderadas e incluso bajas. [Ref. 31]

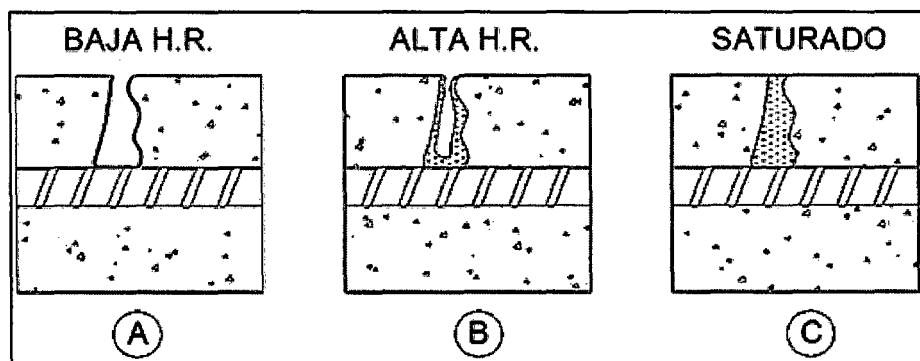


Fig. 2.6: Contenido de humedad en los poros dependiendo de la humedad ambiental. (Red Durar; 1998)

### 2.3.5 Efecto del oxígeno

No es posible que el proceso de corrosión se desarrolle sin que llegue una mínima cantidad de oxígeno hasta las armaduras, es decir, es necesaria una cierta "aireación" de las mismas.

Pero el estado actual de conocimientos descarta que el acceso o flujo de oxígeno sea el factor determinante de la velocidad de corrosión, por lo que no son válidas las extrapolaciones al fenómeno de corrosión de las armaduras de los ensayos de permeabilidad del concreto. [Ref. 21]

### 2.3.6 Efecto de la temperatura

La temperatura desempeña un doble papel en los procesos de deterioro. Por un lado, su incremento promueve la movilidad de las moléculas facilitando el transporte de sustancias; por otro lado, su disminución puede dar lugar a condensaciones que, a su vez, pueden producir incrementos locales importantes del contenido de humedad del material.

Es importante destacar que la humedad, el oxígeno y la temperatura pueden tener efectos contrapuestos, ya que una mayor humedad facilita la corrosión pero impide el acceso de oxígeno, o bien un incremento de temperatura, acelera el movimiento de los iones, pero disminuye la condensación. [Ref. 21]

### 2.3.7 Estado superficial del acero

Siendo la superficie del acero la primera interface con el medio, es lógico pensar que su estado superficial afectará las reacciones que tendrían lugar en contacto con él. En términos generales, el acero cuya superficie posee la cubierta de óxidos provenientes del proceso de conformado se presenta menos reactivo que aquél cuya superficie está libre de dicha capa. No obstante la presencia de productos de oxidación productivos por la corrosión atmosférica no necesariamente demuestra igual comportamiento, siendo incluso altamente probable que de estar contaminados con agentes agresivos como el ión cloruro, se propicie la corrosión. [Ref. 21]

### **2.3.8 Tensiones mecánicas del acero**

Este tipo de corrosión se caracteriza por incubar grietas no visibles en aceros que suelen estar sometidos a tensiones entre el 60 y el 80% de su límite elástico, que se propagan con relativa rapidez hacia el interior.

Alcanzada una pérdida de sección crítica, el alambre se rompe de forma frágil, donde se puede apreciar la mayor estricción (reducción de sección) que se produce en una rotura dúctil, en comparación con la casi nula que se detecta en una rotura frágil. [Ref. 21]

### **2.3.9 Corrientes erráticas o de interferencia**

Estas corrientes son aquellas que, por diversas causas, abandonan sus circuitos naturales para circular por el medio en el que se encuentran los conductores, siguiendo así caminos no previstos.

En el caso de estructuras de concreto armado se ha demostrado que este efecto es importante para acelerar la corrosión de las armaduras. Esto induce a un rápido incremento en la disolución localizada del material, pudiendo llegar a ser un daño catastrófico. [Ref. 21]

### **2.3.10 Contacto galvánico entre otros metales**

El contacto de las armaduras con otros metales no suele ocasionar su corrosión en ausencia de agentes desencadenantes. Sin embargo, deberá evitarse este contacto, pues podrían existir determinadas circunstancias que sitúen al acero en condiciones más favorables para la despasivación, si los otros metales lo polarizan hacia potenciales más anódicos. [Ref. 21]

### **2.3.11 Iones despasivantes.**

De los iones despasivantes, son los cloruros los que más afectan directamente la pasivación del refuerzo. Los iones sulfato intervienen en la degradación del concreto, lo cual puede permitir que la armadura se exponga al medio, produciéndose así su corrosión. [Ref. 21]

### 2.3.12 Cloruros

Provocan una disolución localizada de la capa pasiva, dando lugar a ataques puntuales (picaduras) que pueden reducir drásticamente la sección de trabajo del acero, en espacios de tiempo relativamente cortos.

Los cloruros pueden encontrarse en la masa del concreto por dos causas:

- Porque estaban contenidos en las materias primas (aditivos, agua, cemento o áridos)
- Porque penetran desde el exterior al estar situada la estructura en ambientes marinos o estar sometida a la acción de sales de deshielo.

En el caso de los cloruros que pudieran ser adicionados durante el amasado del concreto, los códigos de fabricación y de cálculo de estructuras de concreto de todos los países limitan su contenido en proporciones variables. En general los límites que se aceptan son distintos en varios países. Por ejemplo, en Europa y en muchos países latinoamericanos se admite para concreto armado 0.4% en base al contenido de cemento y para pretensado 0.2% en la misma base. [Ref. 21] Para más ejemplos véase la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Valor crítico de cloruros en concretos reforzados.

PAIS	NORMA	LIMITE MÁXIMO DE Cl <sup>-</sup>	REFERIDO A
USA	AC1 318	≤ a 0.15% en ambiente de Cl	Cemento
USA	AC1 318	≤ a 0.3% en ambiente normal	Cemento
USA	AC1 318	≤ a 0.1% en ambiente seco	Cemento
INGLATERRA	CP-110	≤ a 0.35% al menos en un 95%	Cemento
AUSTRALIA	AS 3600	≤ al 0.22%	Cemento
NORUEGA	NS 3474	≤ al 0.6%	Cemento
ESPAÑA	EH 91	≤ al 0.40%	Cemento
EUROPA	EUROCODIGO 2	≤ al 0.22%	Cemento
JAPON	JSCE-SP 2	≤ al 0.6 Kg/m <sup>3</sup>	Concreto
BRASIL	NBR 6118	≤ al 0.05%	Agua

Fuente: Red Durar; 1998.

Las divergencias en las cantidades máximas de cloruros admitidas por los distintos códigos aparecen debido a la inexistencia de un límite único de

aplicación general. Ello se produce tanto por las diferencias de características de los cementos (su contenido en álcalis y velocidad de hidratación), como por los distintos tipos de aceros utilizados (composición química, rugosidad superficial y estado de conservación), así como por las distintas materias potencialmente suministradoras de los cloruros.

Tres son los aspectos relevantes a tener en cuenta en el caso de los cloruros que penetran desde el exterior:

- El tiempo que tardan en llegar hasta la armadura.
- La proporción que induce la despasivación.
- La velocidad de corrosión que provoca una vez desencadenada la corrosión.

En cuanto al tiempo que tardan los cloruros en llegar a la armadura en una estructura ya construida, lo importante es averiguar a qué profundidad han penetrado en el momento de hacer la inspección, ya que el recubrimiento de concreto debe ser superior a la profundidad que sean capaces de alcanzar estas iones en el tiempo previsto de vida útil de la estructura.

La velocidad de avance de los cloruros es, en general, una función de la raíz cuadrada del tiempo:

$$X_{Cl^-} = K_{Cl^-} \sqrt{t}$$

$X_{Cl^-}$  = profundidad alcanzada por una cierta proporción de cloruros.

$t$  = tiempo.

$K_{Cl^-}$  = constante dependiente del concreto y del medio.

Ello es debido a que, en general, los procesos de difusión pura, como los de absorción capilar, siguen una ley potencial. <sup>[Ref. 21]</sup>

El cálculo riguroso de  $X$  es complejo debido a la multitud de parámetros que influyen (porosidad del concreto, tipo de cemento, nivel de contaminación exterior, contenido en humedad del concreto, etc.).

Una de las expresiones matemáticas que más se emplea para efectuar la predicción de la velocidad de penetración, o para ser ajustada a los perfiles de concentración de cloruros encontrados en las estructuras reales (Figura 2.7), es la solución a la segunda ley de Fick: [Ref. 17]

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Que se conoce como la "ecuación de la función de error": [Ref. 16]

$$C_x = C_s(1 - \text{erf}) \frac{X_{cl}}{\sqrt{D_{ap}t}}$$

- $C_x$  = concentración a la distancia
- $C_s$  = concentración superficial
- $X_{cl}$  = profundidad alcanzada
- $D_{ap}$  = coeficiente aparente de difusión
- $t$  = tiempo

Esta ecuación, aunque se utiliza muy ampliamente, es igualmente reconocida como de limitado uso con fines de predicción, dado el comportamiento no rigurosamente "de Fick" que presenta la penetración de cloruros en el concreto.

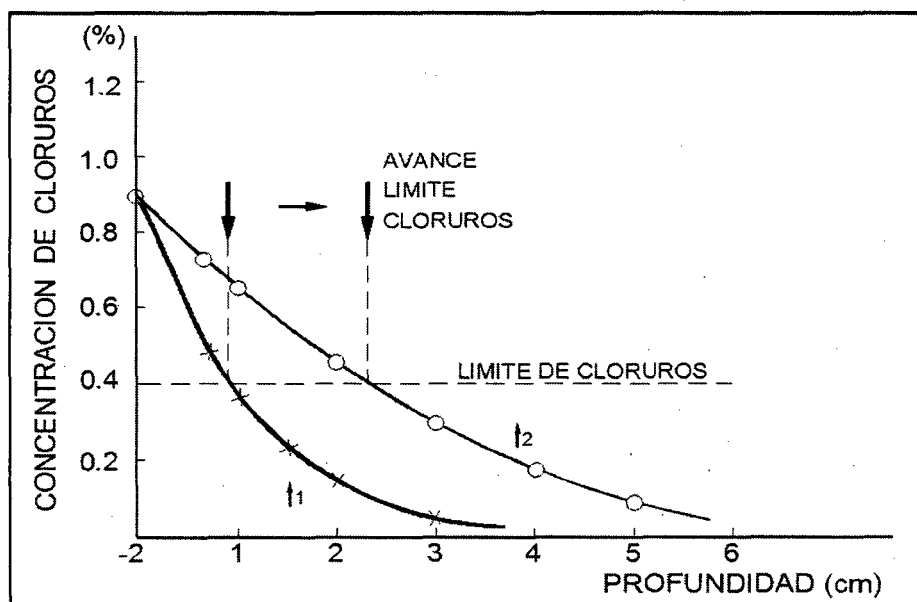


Fig. 2.7: Perfil de concentración de cloruros en la profundidad del concreto.  
(Cerna Vásquez, M.; 2010)

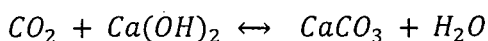
### 2.3.13 Sulfatos

El ion sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) puede estar presente en las aguas residuales industriales en forma de disolución diluida de ácido sulfúrico; en las aguas del subsuelo, pocas veces aparece el ion sulfato libre, siendo mucho más frecuentes sus sales, es decir, los sulfatos. El contenido de sulfatos, por tanto, será expresado como concentración del anión  $\text{SO}_4^{-2}$  en mg/L. Antes se acostumbraba enjuiciar el riesgo de degradación basándose en el contenido de  $\text{SO}_3^{-2}$  de los terrenos o de las agua. La conversión del valor de  $\text{SO}_3^{-2}$  a la forma de  $\text{SO}_4^{-2}$  se logra multiplicando por 0.83.

El ion sulfato forma sales. Los sulfatos perjudiciales para el concreto se encuentran preferentemente en los terrenos arcillosos o en sus capas freáticas. De estas sales las más importantes son las siguientes: Son los sulfatos magnésicos, amónicos, cálcico y sódicos (más peligrosos para el cemento Portland); los sulfatos potásicos, cúprico y aluminico son menos peligrosos, mientras que los sulfatos báricos y el de plomo son insolubles y, por lo tanto, inofensivos para el concreto. [Ref. 21]

### 2.3.14 Carbonatación

La carbonatación en el concreto es el proceso en el que el dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  que se encuentra de manera natural en el aire, reacciona con la humedad presente en el concreto. Este proceso se inicia cuando el  $\text{CO}_2$  logra ingresar al concreto a través de sus poros, se disuelve en la solución alcalina presente en el concreto y reacciona con los iones de calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) por lo que se convierte en hidróxido de calcio con un alto pH a carbonato de calcio, (ver Figura 2.8) que tiene un pH más neutral logrando así una neutralización de todo el material.



A la profundidad que el  $\text{CO}_2$  ha penetrado y por lo tanto que ha modificado el pH, generalmente se le llama "frente de carbonatación", este avanza de acuerdo a las condiciones en las que se encuentre el concreto las cuales dependerán de la porosidad del concreto, el grado de saturación de agua dentro de estos poros y el contenido en material alcalina carbonatable. Este frente se puede visualizar mediante un indicador apropiado como la fenolftaleína al 5% disuelta en alcohol.

*EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO EQUIPOS Y MÉTODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS*



etélico de 70°, que se torna incolora en la zona carbonatada y toma un color rojo-púrpura en la que permanece alcalina. [Ref. 24]

La carbonatación es un proceso de difusión y, por lo tanto, su avance en el interior del concreto progresa atenuándose en el tiempo. Existe una ecuación matemática que presenta la carbonatación del concreto en función del tiempo, la cual está basada en la primera ley de Fick: [Ref. 24]

$$X_{CO_2} = K_{CO_2} \sqrt{t}$$

- $X_{CO_2}$  = profundidad de carbonatación  
 $T$  = tiempo  
 $K_{CO_2}$  = coeficiente de carbonatación

La Figura 2.8 muestra el cambio abrupto de pH que se produce en el interior del concreto y que es el que da lugar a la aparición de un frente "carbonatado", que se revela muy bien con el indicador de fenolftaleína. [Ref. 21]

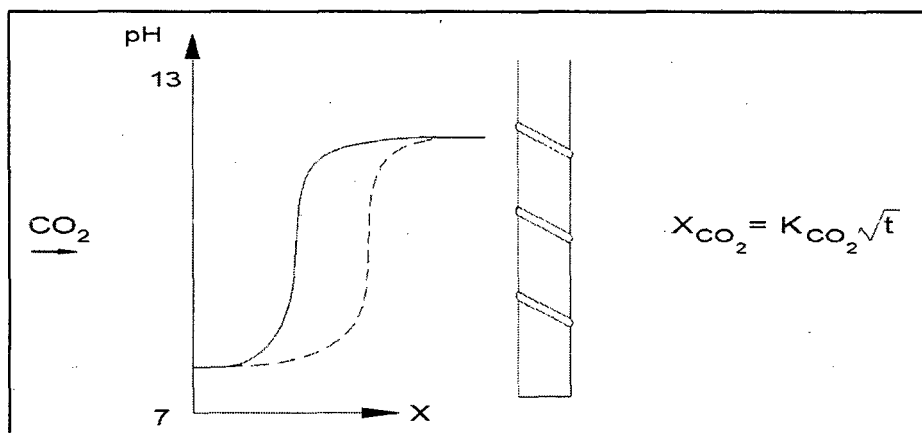


Fig. 2.8: Grafico de cambio de pH en el interior del concreto.  
(Red Durar; 1998)

Análogamente las constantes de carbonatación  $K$  entre 3 y 4 mm/año son los límites para producir concreto, cuyas armaduras, situadas a 30 - 40 mm de profundidad, no sean alcanzadas por la carbonatación antes de 50-75 años.

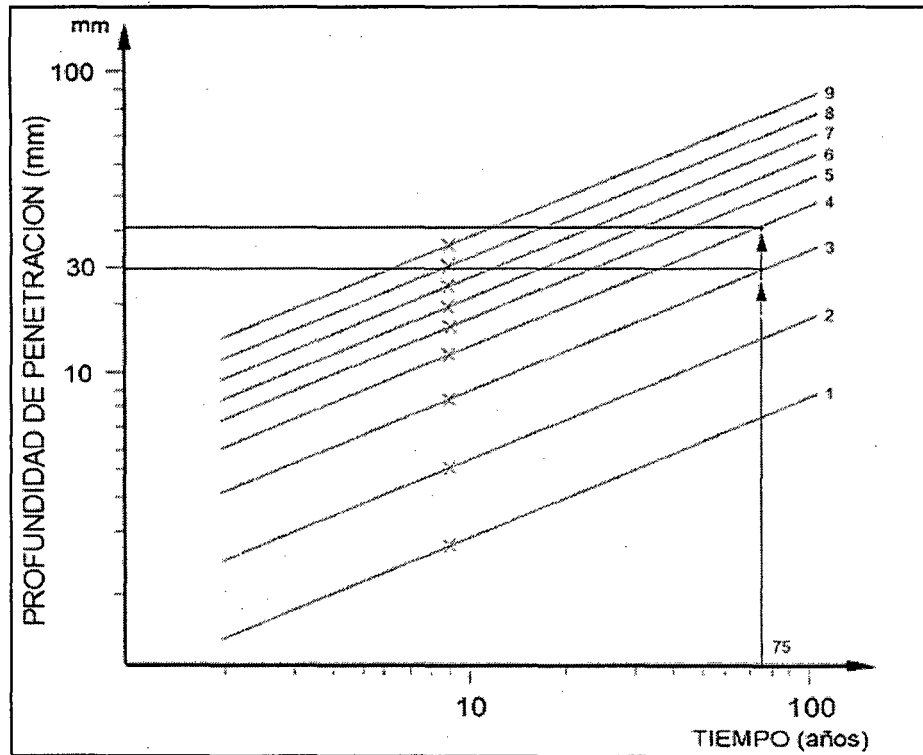


Fig. 2.9: Representación doble logarítmica de la ley de la raíz cuadrada del tiempo.  
(Cerna Vásquez, M.; 2010)

Cuando este frente llega hasta la armadura, ésta se despasiva de forma generalizada como consecuencia de la disminución del pH.

La velocidad de avance de este frente carbonatado es también de vital importancia para calcular el tiempo que tardará éste en llegar hasta la armadura. La velocidad de avance es función fundamentalmente de:

- a) El contenido en humedad del concreto.
- b) Su porosidad (relación a/c).
- c) Su contenido en materia alcalina carbonatable.

El contenido en humedad resulta crucial, que si los poros están completamente secos, el  $\text{CO}_2$  no podrá reaccionar y, si están completamente saturados, su penetración será lentísima, debido a la baja solubilidad del  $\text{CO}_2$  en el agua. Sólo cuando los poros están parcialmente llenos de agua (entre 50 y 80%) es cuando se dan las condiciones óptimas para la carbonatación.

Finalmente, el contenido en CaO y de alcalinos (sodio y potasio) son las materias susceptibles de carbonatarse. Cuanto mayor sea su contenido, menor

será la velocidad de carbonatación, de ahí que los cementos portland sin adiciones sean en general más resistentes a la carbonatación.

Una vez carbonatado el hormigón a la altura de las armaduras si la humedad ambiental es más baja que 80%, la despasivación no dará lugar a velocidades de corrosión apreciables. Sólo si la humedad es  $> 80\%$  (exteriores con temperaturas variables entre el día y la noche o a lo largo del año) se pueden alcanzar contenidos de humedad que den lugar a corrosiones apreciables.

En general las velocidades de corrosión serán mucho menores que en el caso de los cloruros.

Otra circunstancia favorable a tener en cuenta es que al igual que en el caso de la corrosión atmosférica, la corrosión desencadenada por la carbonatación puede dar lugar a capas de herrumbre con características protectoras que atenúan la velocidad de corrosión subsecuente.

Todo ello hace de la carbonatación un fenómeno mucho menos peligroso que la corrosión por cloruros. [Ref. 21]

### **2.3.15 Lixiviación de aguas blandas**

La degradación del concreto no sólo puede ser causada por agua que contenga sustancias agresivas, sino también por aguas totalmente puras, libres de sales, por aguas blandas que tengan pocas impurezas o por aguas de condensación industrial, aguas de fusión de glaciares, aguas de nieve, aguas de lluvia, aguas pantanosas blandas y algunas aguas procedentes de grandes profundidades. El concreto es rápidamente atacado por las aguas blandas agresivas, las cuales tienden a disolver el calcio de la estructura. [Ref. 21]

### **2.3.16 Presencia de vacíos en contacto con armaduras**

Las discontinuidades producidas por la formación de vacíos interiores hacen que haya zonas de la armadura sometida a la elevada humedad del interior del concreto, pero sin estar en contacto con la alcalinidad alguna. Estas zonas se corroerán como si estuvieran sometidas a una atmósfera de elevada humedad. [Ref. 21]

### 2.3.17 Existencia de fisuras

Las grietas que aparecen en el concreto son un rápido camino para la penetración de los agentes agresivos hasta la armadura. Cuando estos agentes agresivos entren por la fisura y alcanzan la armadura, se empieza a corroer la zona no recubierta de concreto que actúa como ánodo frente a las adyacentes que se comportan como cátodo.

Las fisuras pueden ser transversales y longitudinales, siendo estas últimas mucho más perjudiciales porque abarcan mayor superficie de acción.

Las normativas establecen un ancho máximo admisible de las fisuras en la superficie de concreto y que se sitúa entre 0,3 y 0,4 mm para ambientes no agresivos y en tan solo 0,1 mm para ambientes agresivos. Pero también se ha demostrado que no existen diferencias muy importantes en el comportamiento de las fisuras siempre que éstas tengan anchos inferiores a 0,4 mm, puesto que las fisuras se obstruyen con los propios productos de la corrosión. <sup>[Ref. 21]</sup>

## 2.4 PRONOSTICO DE LA VIDA RESIDUAL DE LA ESTRUCTURA DAÑADA POR CORROSIÓN DE ARMADURAS

En el apartado 1.2.4. del capítulo 1, se define la vida residual de una estructura de concreto y donde queda en claro que en este el periodo es el momento en el que la estructura necesitaría reparación, remodelación o completa renovación para que regrese a su estado de servicio original.

El inicio del proceso de corrosión afecta la capacidad portante de la estructura, como se muestra en la Figura 2.10, ya que esta produce: pérdida en la adherencia concreto/acero, pérdida de ductilidad del acero, pérdida de sección del acero, fisuración del recubrimiento y su posible desprendimiento, etc.

A pesar de la incertidumbre de encontrar un buen método que permita calcular con exactitud la cantidad de tiempo que le queda a la estructura desde la iniciación de la corrosión hasta su colapso, existen grupos de profesionales que realizan este diagnóstico, estos se basan en la experiencia y ciertos criterios empíricos, ya que comparan el grado de deterioro que se observa con los

parámetros geométricos de los elementos estructurales tal y como se mencionan en las normas tanto peruanas como americanas (ASTM, NTP, ACI, etc.). [Ref. 24]

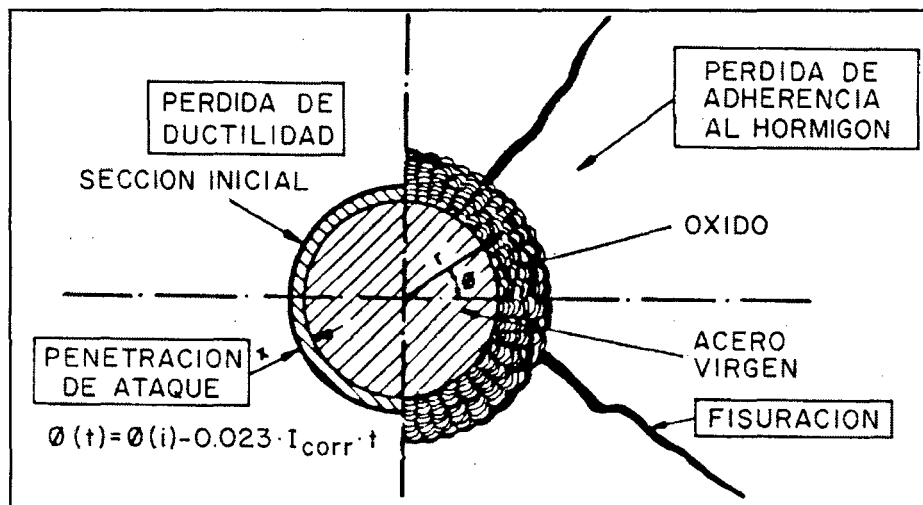


Fig. 2.10: Consecuencias de la corrosión de las armaduras en el comportamiento estructural.  
(Andrade C., Felix; 1988)

A continuación se presenta un método que podría llevar a la emisión del diagnóstico, se trata de un método que calcula la capacidad portante en base a las secciones residuales de acero y concreto.

#### 2.4.1 Método de modelos estructurales

Este método cuantifica el grado de deterioro que se encuentra en cada etapa de la inspección y principalmente se basa en tres principios:

- Pérdida de la sección del acero de refuerzo como del concreto.
- Conocimiento de la velocidad de corrosión.
- El grado de pérdida de adherencia acero/concreto.

Se puede tomar como referencia el cálculo de la pérdida progresiva del diámetro del acero de refuerzo en función de la velocidad de corrosión tal como se mencionan en el manual de DURAR, 1998 (Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado). [Ref. 21]

El diámetro de la armadura durante el proceso de corrosión se determina por la siguiente ecuación:

$$\varnothing_t = \varnothing_i - 0.023 \cdot i_{corr} \cdot t$$

- $\varnothing_t$ : Diámetro en el tiempo de la armadura (mm)  
 $\varnothing_i$ : Diámetro inicial de la armadura (mm)  
 t: Tiempo en años.  
 $i_{corr}$ : Intesidad de corriente en  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$

La velocidad de corrosión depende de una serie de factores como el ambiente a que está sometida la estructura, acceso de oxígeno, fisuración etc. y no necesariamente es constante en el tiempo, aunque esta simplificación sea frecuentemente asumida.

A continuación un gráfico para velocidades de corrosión de 0.1, 1, 10 y 100  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ . [Ref. 21]

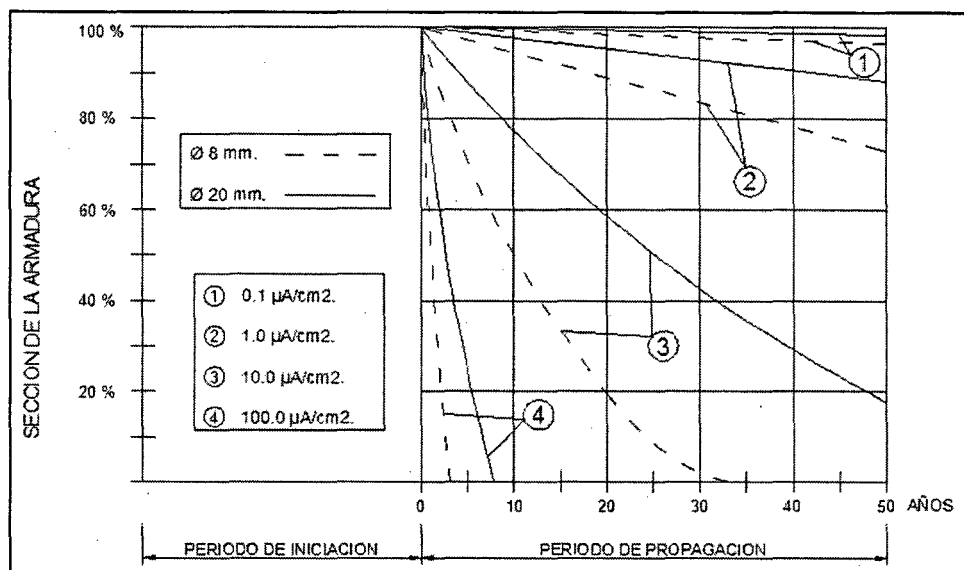


Fig. 2.11: Pérdida de sección del acero de refuerzo (para dos diámetros diferentes) en función de la velocidad de corrosión. (Red Durar; 1998)

Cabe señalar que se considera que el inicio de la vida residual es cuando se inicia a la producción de pérdida de sección de la armadura o si aparecen fisuras en el recubrimiento del concreto.

Cuando se registran el deterioro de acero, esta podría generar la fragilidad y por ende la rotura de la misma, en todo caso el límite elástico debe ser evaluada constantemente.

A continuación se presenta la Figura 2.12, que mide la disminución del momento flector de la sección indicada en función de la velocidad de corrosión, respecto al manual de DURAR, 1998.

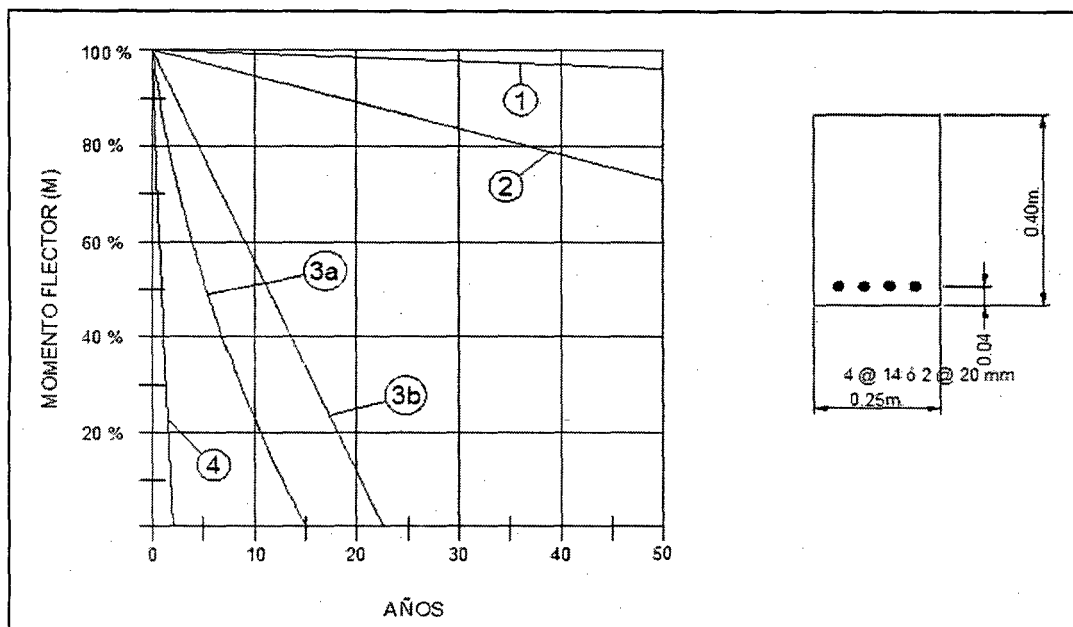


Fig. 2.12: Disminución del momento flector de la sección indicada en función de la velocidad de corrosión.  
(Red Durar; 1998)

Por tanto no existe una regla o un método exacto que permita calcular la vida residual, sin embargo, se puede estimar la urgencia de reparación para elementos estructurales ante problemas de durabilidad, según el manual de DURAR.

Así también, Tuutti (1982) estableció su modelo como se muestra en la Figura 2.13, que está desarrollado específicamente para el caso de la corrosión en armaduras pasivas. En el modelo se distinguen dos períodos:

- a) Período de iniciación de la corrosión ( $t_i$ ): tiempo que tardan los cloruros o la carbonatación en llegar a la armadura y despasivarla.
- b) Período de propagación ( $t_p$ ): tiempo en que la armadura se corroe libremente, hasta que llega a un grado de deterioro inaceptable desde el punto de vista de la seguridad y funcionalidad o estética. [Ref. 21]

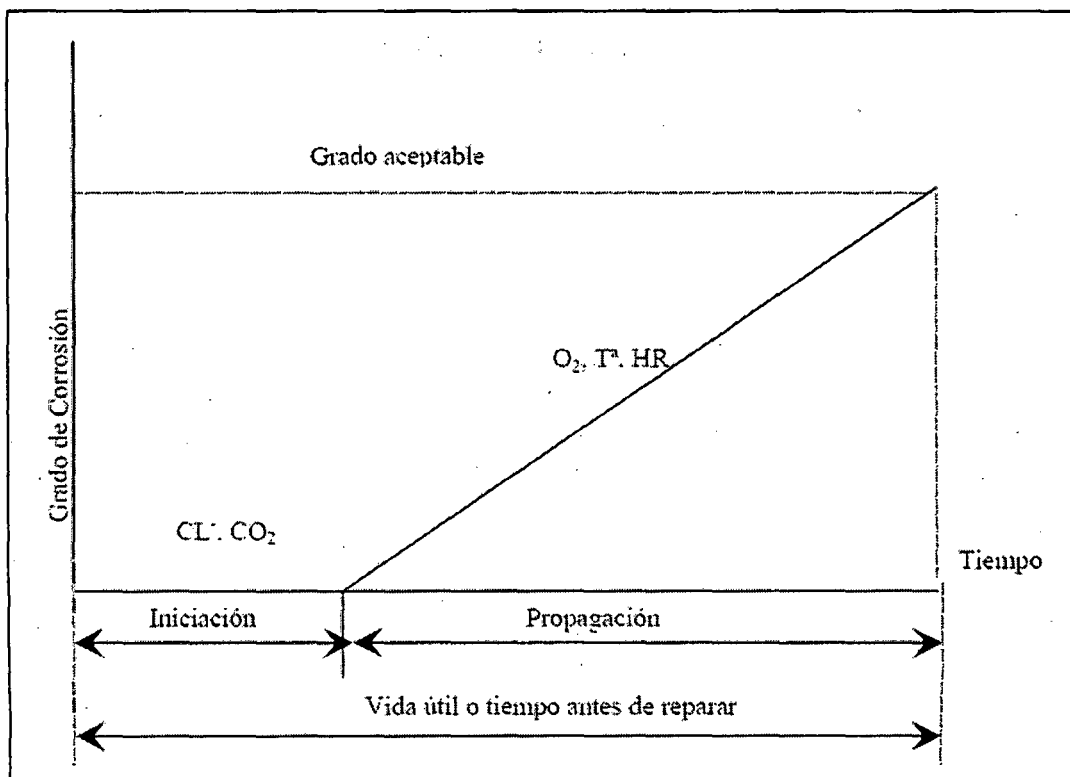


Fig. 2.13: Deterioro de la estructura por corrosión en función del tiempo.  
(Tuutti, K; 1982)



## **CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO**

### **3.1 INTRODUCCIÓN**

En los capítulos anteriores se han estudiado los mecanismos de daño más frecuentes que se dan en los edificios de concreto reforzado; factores que afectan su apariencia, acciones físicas, mecánicas, químicas, biológicas y/o corrosión del acero de refuerzo; y como consecuencia de estas acciones, también se mencionó, que los defectos o daños que pueden exhibir una estructura de concreto, también pueden obedecer a uno o varios de los siguientes factores o fallas; como por ejemplo concepción y diseño del proyecto, materiales, proceso de construcción, operación (uso, abuso o cambio de uso), y/o mantenimiento.

Para poder identificar y caracterizar los defectos y/o daños (tipo y magnitud); así como delimitar su localización y cantidad de esta estructura, debe entonces acudir a la evaluación del concreto , esta etapa constituye el fundamento para proponer la reparación de la estructura, un diagnóstico apropiado garantiza el éxito de los procesos de intervención en la estructura , una misma manifestación de daño puede asociarse a razones diferentes debido a la naturaleza de las mismas, la inapropiada interpretación del funcionamiento estructural puede llevar a un equivocado diagnóstico y por lo mismo, a unos inadecuados procesos de intervención, lo mismo sucede si el profesional que diagnostica no está debidamente capacitado.

La observación y el análisis permiten determinar las causas de daños que pocas veces se encuentran de manera evidente y más cuando se trata de una combinación de circunstancias. <sup>[Ref. 30]</sup>

### **3.2 PROCEDIMIENTO DE LA EVALUACIÓN**

De manera sistemática y ordenada, se tiene que desarrollar una serie de pasos secuenciales, para llevar a cabo una investigación que permita elaborar un diagnóstico (con sus causas), de modo que éste a su vez permita emitir un pronóstico del comportamiento de la estructura, bajo las condiciones de servicio

esperadas hacia el futuro. Con base en las recomendaciones del ACI 364.1R-94, se determina que usualmente hay una evaluación preliminar y una evaluación profunda.

La evaluación (preliminar y profunda), son trabajos muchas veces complejos, que obligan a la especialización y demandan la necesidad de trabajar con especialistas en diversos campos de la Ingeniería y la tecnología, pero principalmente: geotecnia; tecnología, control de calidad y patología del concreto; estructuras; y construcción. Desde luego, estos trabajos no sólo incluyen elementos técnicos; sino también, aspectos de durabilidad, funcionalidad, estética, seguridad y comportamiento en servicio.

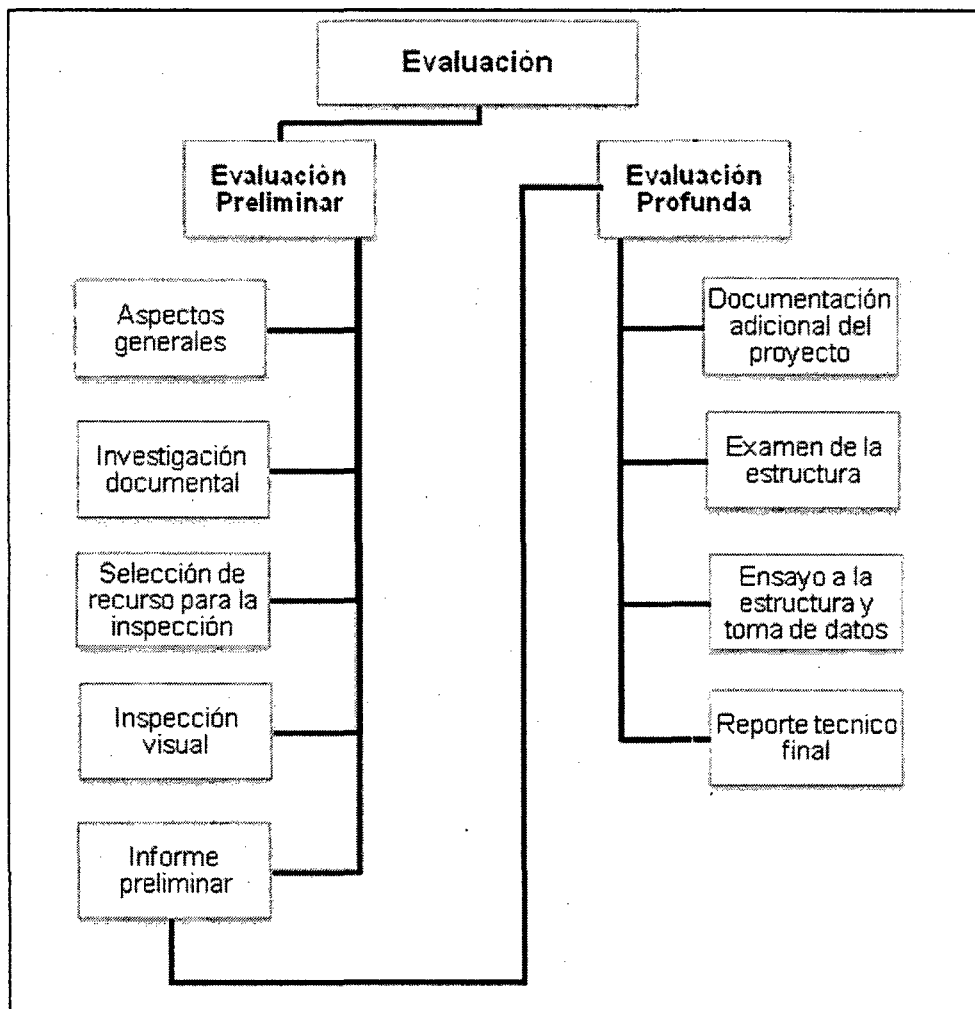


Fig. 3.1: Proceso secuencial para evaluar y diagnosticar el comportamiento de una estructura de concreto armado.  
 (Sánchez de Guzmán, Diego; 2006)

El nivel de detalle requerido en un informe de esta naturaleza, puede variar desde la simple valoración de la suficiencia estructural y funcional, basada en la inspección visual superficial durante una evaluación preliminar, hasta una profunda investigación y procedimiento de evaluación que combine técnicas especiales de inspección y ensayo. Por ello es muy importante definir de común acuerdo con el dueño del proyecto o la entidad contratante del estudio, el alcance de los trabajos a realizar (lo cual es recomendable que se materialice por escrito), debido a que se pueden generar las siguientes modalidades de informes:

- Reporte técnico de observaciones
- Reporte técnico Detallado (observación, evaluación y diagnóstico.)

En un reporte técnico de observaciones se elabora un documento donde se indican los antecedentes del proyecto, se enumeran las circunstancias observadas en el reconocimiento; procediendo si es necesario a elaborar un plan de trabajo posterior si se necesita una evaluación profunda; este plan de trabajo tendrá las recomendaciones de los ensayos no destructivos, las zonas donde se efectuarán y las recomendaciones inmediatas que se tomarán en la estructura en estudio.

Un reporte técnico detallado (observación, evaluación y diagnóstico) es un documento que se elabora con el objeto de emitir un dictamen y se basa en una inspección (que puede estar acompañada de mediciones, auscultación y/o exploración); unos ensayos y análisis de los mismos. <sup>[Ref. 30]</sup>

### **3.2.1 Evaluación preliminar**

De acuerdo con ACI 364.1R-94, la evaluación preliminar busca acopiar información inicial acerca de las condiciones de una estructura, el tipo y seriedad de los problemas que la afectan, la factibilidad de llevar a cabo una rehabilitación prevista, y la información necesaria para una posible investigación detallada.

La evaluación preliminar, usualmente es una introducción a la situación que está experimentando la estructura y por lo común conducen a una de dos situaciones:

- El establecimiento de la necesidad de adelantar estudios adicionales más profundos, detallados y extensos, para poder diagnosticar con certeza los daños y el comportamiento de la estructura en evaluación; o
- dictaminar la inconveniencia de realizar estudios adicionales, por cuanto el daño es tal que no justifica una restauración económicamente razonable.

En primera instancia, debe obtenerse toda la información general que sea posible, acerca del proyecto de esta investigación, es recomendable que un estudio preliminar comprenda los siguientes aspectos: [Ref. 30]

#### 3.2.1.1 Aspectos generales

En primera instancia se debe recoger toda la información general que sea posible, acerca del proyecto. Otro aspecto importante, a documentar son las condiciones de exposición de la estructura y la influencia del medio ambiente sobre la misma. Por lo tanto, es muy conveniente obtener la siguiente información: [Ref. 30]

- Nombre.
- Localización zona geográfica.
- Tipos de estructura (tipo de cimentación, sistema estructural).
- Propietarios y usos (cronológicamente).
- Historial de la estructura (fecha de diseño, construcción y puesta en servicio, vida útil proyectada, área construida, etc.).
- Influencia del medio ambiente circundante:
  - Humedad relativa.
  - Temperatura.
  - Presión.
  - Suelo.
  - Viento.
- Verificación a la exposición de Sustancias agresivas:
  - Formas (gas, líquido o sólido).
  - Tipo de contacto con agua u otras sustancia.
  - Frecuencia y duración de la exposición.
- Accidentes geotécnicos.

### 3.2.1.2 *Investigación documental del proyecto original*

La revisión del proyecto original, se lleva a cabo con el objeto de familiarizarnos con los planos y las especificaciones de la estructura. Para la revisión del proyecto original, se hace necesario disponer de los siguientes documentos:

- **Estudio de suelos:** El objetivo es verificar las propiedades físicas y mecánicas de los diferentes estratos que componen el subsuelo, la capacidad de carga, estratigrafía, las recomendaciones que se hicieron sobre las cimentaciones utilizadas.
- **Planos arquitectónicos:** El objetivo es comprobar si las dimensiones propuestas originalmente en el diseño del edificio.
- **Planos estructurales:** El objetivo es comprobar que las dimensiones resultantes del diseño estructural se hayan transmitido a los planos.
- **Especificaciones de materiales:** El objetivo es comprobar que los materiales que se utilizaron en la ejecución del proyecto, cumplieran con las normas de control de calidad necesario requeridas por el diseñador.
- **Planos de instalaciones:** El objetivo es comprobar la ubicación de las instalación (eléctricas, sanitarias, etc.).
- **Bitácora de la estructura:** El objetivo es verificar si durante el proceso constructivo, hubo alguna alteración en el diseño original, si se presentó algún inconveniente a la hora de la construcción, algún evento fortuito que haya podido ocurrir.

Cuando no se dispone de ellos, se hace necesario recurrir a ensayos no destructivos, a mediciones físicas de la geometría de los elementos, a localizaciones del acero de refuerzo (mediante exploración por remoción de recubrimientos o uso de localizadores de barras), a levantamientos topográficos y altimétricos, etc.

En esta fase del estudio, también es indispensable establecer bajo que versión de la normativa se hicieron los diseños y las especificaciones, para hacer las comparaciones del caso con la versión vigente.

Si existen diferencias entre lo que está en los planos y especificaciones con lo que está construido, o se evidencian alteraciones en la estructura en servicio, estas situaciones deben registrarse cuidadosamente. [Ref. 30]

### 3.2.1.3 Selección de recursos para la inspección preliminar de la estructura de concreto reforzado

En la medida en que se vaya cumpliendo la fase de antecedentes, debe identificarse el personal que debe intervenir en la inspección; así como, seleccionar los elementos y equipos más apropiados para adelantar la inspección. Entre los equipos más útiles se cuentan los siguientes: [Ref. 30]

- Lupa.
- Cámaras fotográficas y/o de video.
- Nivel de mano.
- Cinta métrica o distanciómetro.
- Equipos de nivelación.
- Frascos y bolsas con cierre hermético.
- Escalera, andamio, etc.
- Elementos de seguridad y protección( casco, botas, soga, arnés )
- Martillo y cincel.
- Marcadores.
- Ficha o formato de evaluación.

### 3.2.1.4 Inspección visual detallada de la estructura del concreto reforzado

Es recomendable que la inspección visual de la estructura se lleve a cabo una vez se hayan cumplido las fases de antecedentes y revisión del proyecto original, pues la visita de inspección a la estructura debe basarse en la información recogida.

Como el objetivo principal de la evaluación preliminar es determinar la naturaleza y extensión de los problemas observados, e identificar los miembros afectados, es indispensable adelantar un recorrido de la estructura para hacer un registro lo más completo posible de los daños. En este recorrido, se pueden identificar y registrar daños los cuales fueron discutidos ampliamente en los capítulos

anteriores, sin embargo en el presente apartado, proporcionando un breve comentario con las características principales con el objetivo de relacionarnos con la guía de levantamiento de daños, como son los siguientes:

- Fisura
- Grietas
- Deterioros
- Eflorescencias
- Corrosión de Acero de refuerzo
- Despasivación de Acero
- Contaminación por polución
- Cultivo Biológico
- Metereorización
- Decoloración y manchado
- Humedad
- Carbonatación
- Lixiviación
- Descascaramiento
- Evidencias de ataques químicos
- Distorsión
- Desgaste
- Pulverización
- Goteras por lluvia
- Desplomes
- Hinchamiento
- Exfoliación

Para ello, debe hacerse un levantamiento de los daños (tipo y magnitud) y su localización en un plano o mapa de daños. Este levantamiento, debe ser complementado con un completo registro fotográfico y/o filmico.

En adición a la inspección visual, las investigaciones de campo deben incluir mediciones de los miembros, longitud de luces y desniveles encontrados en la estructura motivo de la investigación. En algunos casos, es indispensable realizar un levantamiento topográfico y/o altimétrico de las estructuras y localizar de manera precisa los daños. Los desplazamientos, fisuras, separaciones y distorsiones deben en la medida de lo posible, medirse registrarse en el plano o en el mapa de daños.

También una forma rápida y económica para identificar presencia de vacíos, delaminaciones y/o discontinuidades superficiales en el concreto es la aplicación del impacto acústico con el martillo Schmidt. <sup>[Ref. 30]</sup>

### 3.2.1.5 Información Preliminar

Con base en la información recogida, en la revisión de la capacidad estructural, en las observaciones adelantadas (inspección visual) se elabora un informe cuya estructura básica puede ser la siguiente:

- Objetivo.
- Análisis del aspecto general (comparación diseñado vs. construido).
- Resultados de la inspección visual.
- Reporte fotográfico y gráfico de daños.
- Plan de trabajo posterior (ensayos y áreas donde se realizarán).
- Conclusiones.
- Recomendaciones.

De acuerdo con el ACI 364.1R-94, este documento debe ser concluyente en los siguientes aspectos:

- Capacidad estructural. Es decir, si los miembros o la estructura son adecuados para el uso previsto; si son adecuados para las cargas actuales, pero no para el fin previsto; o si el análisis realizado no es concluyente.
- Si hay o no factibilidad de una posible rehabilitación, mediante una valoración técnica y económica, que se fundamenta en la efectividad esperada de la rehabilitación y su nuevo ciclo de vida útil esperado.
- Si se detectan problemas estructurales, estos se deben describir en términos de su seriedad, extensión y riesgo para estabilidad. Lo anterior, permitirá establecer si se requieren o no acciones correctivas para remediar las condiciones existentes o simplemente proteger la estructura.
- Cuando se requiera un reforzamiento de la estructura, se deben de estudiar alternativas que puedan satisfacer los requerimientos de carga hacia el futuro y el cumplimiento de la normativa vigente; de ser posible, se debe contemplar el costo efectivo de reparar, reemplazar o reforzar los miembros estructurales existentes.
- Por último, se debe identificar si es necesario o no adelantar una evaluación detallada. Sobre este aspecto, deben especificarse los objetivos, los datos adicionales y la información requerida, para satisfacer los objetivos



propuestos. También, es importante indicar el tiempo, el costo requeridos para la investigación detallada. [Ref. 30]

### 3.2.2 Evaluación detallada o profunda

Teniendo presente que la evaluación profunda o detallada es un complemento de la evaluación preliminar, el ACI 364.1R-94 sugiere que los hallazgos de la investigación detallada influyen de manera directa: el resultado final del proceso de evaluación; Por lo tanto, se debe poner especial cuidado en la planeación y ejecución de la investigación detallada. Ya que de esta evaluación se diagnosticará el estado en que se encuentra dicha estructura. [Ref. 30]

#### 3.2.2.1 Documentación adicional del proyecto

Con el objeto de completar la información obtenida en la evaluación preliminar (revisión del proyecto original), es conveniente obtener y revisar todos los documentos adicionales que estén relacionados con la estructura.

##### a) Información del diseño estructural

Además de la información concerniente a la estructura ya obtenida en la evaluación preliminar, es conveniente obtener la siguiente información complementaria:

- Planos de la construcción realmente ejecutada.
- Planos de modificaciones, adiciones y/o reparaciones que haya tenido la estructura durante su vida útil de servicio.
- Estudios de durabilidad, vulnerabilidad, o patología que previamente se hayan realizado.
- Las entrevistas con personas que hayan participado en la fase de diseño, son de gran utilidad para ahorrar tiempo. También, es útil visitar las oficinas públicas que otorgan licencias de construcción y/o registro de construcciones.

Cuando se trate de una restauración (edificaciones y estructuras con valor histórico o de conservación arquitectónica), es indispensable determinar si su

rehabilitación está respaldada por leyes y restricciones municipales o alguna otra institución involucrada en el mantenimiento o preservación de dicha estructura.

b) Información de materiales.

En esta se exige el registro de calidad de los materiales utilizados en las construcciones, también se debe solicitar la siguiente información, la cual puede ser obtenida del propio contratista o de los proveedores:

- Especificaciones y referencia de materiales empleados.
- Registros de calidad de los componentes del concreto.
- Revestimiento, temperatura, tiempo de elaboración y colocación.
- Diseño y dosificación de las mezclas.
- Registros de control de calidad del concreto.
- Tipo y duración de las condiciones de curado.
- Registros de control de calidad del acero de refuerzo.
- Registros de control de calidad de otros materiales (prefabricados, ladrillos, tuberías, etc.).

c) Información de la construcción.

Para obtener información sobre los procedimientos constructivos, el avance de la programación de obra, los eventos de excepción o las contingencias (que suelen suceder en todas las obras), las condiciones de protección y curado de la estructura, y la puesta en servicio de la misma, es conveniente adelantar una entrevista con personas que hayan intervenido durante esta fase del proyecto. Además, algunos documentos de invaluable importancia pueden ser los siguientes:

- Correspondencia durante la construcción.
- Fotografías y registros fílmicos de la construcción (si están disponibles).
- Reportes técnicos y/o actas de avance de obra.
- Registros documentales durante la obra (nivelaciones, asentamientos, levantamientos topográficos, etc.).
- Planos y documentos de cambios sobre la marcha de la obra.

d) Historial de servicio.

Otra fuente importante de información, son las entrevistas con personas que hayan vivido las diferentes etapas y sucesos que haya tenido la estructura durante su vida de servicio. Sobre todo, para documentar la cronología de los daños. También, sobre todo en instalaciones industriales u otras, es muy importante tener entrevistas con personal de operación y mantenimiento.

Además, si la estructura ha tenido intervenciones previas es conveniente obtener documentación sobre la manera y la época en que estas se adelantaron. También algunos documentos que pueden ser de utilidad son los siguientes:

- Archivos de propietarios, administradores, usuarios y/o compañías de seguros pasados y actuales.
- Archivos de mantenimientos rutinarios, reparaciones, remodelaciones, modificaciones o adiciones.
- Reportes del clima y eventos geológicos, geotécnicos, sismos, huracanes, etc.)
- Registros fotográficos o filmicos de eventos y sucesos normales (registros históricos).

e) Registro de la información.

Toda la información obtenida de los pasos anteriores debe ser debidamente obtenida, registrada, clasificada y archivada, para facilitar su consulta y ponerla a disposición del dueño y/o de quien vaya a adelantar la rehabilitación. [Ref. 30]

### 3.2.2.2 Examen de la estructura

Es recomendable que el examen de la estructura en la evaluación detallada se lleve a cabo una vez se hayan estudiado toda la documentación del proyecto (incluyendo el informe preliminar), ya que la metodología y las estrategias que se adopten durante el examen de la estructura debe basarse en la información recogida.

De otra parte, debido a que seguramente la información obtenida en la inspección visual realizada durante la evaluación preliminar, es de carácter

superficial, es conveniente adelantar un examen detallado de la estructura no solamente en su superficie, sino también al interior de sus miembros. Para llevar a cabo este examen, deben contemplarse los siguientes aspectos:

a) Planeación y preparación para el examen.

Antes de iniciar cualquier actividad relativa al examen de la estructural, es conveniente hacer una visita de reconocimiento al lugar de la construcción y se recomienda hacer un registro fotográfico o fílmico de esta actividad, para definir los siguientes aspectos:

- Los recursos humanos (personal, entrenamiento, cursos de seguridad industrial, etc.) y físicos que se requieren (equipo normal o especializado).
- Determinación de la necesidad de servicios especializados (topografía y nivelación, servicios especializados de laboratorio de materiales, etc.).
- El periodo de tiempo en el cual se puede realizar la inspección, con mínima interrupción.
- Requerimientos de permisos y/o documentos especiales.
- Necesidad de evacuar y cerrar la estructura durante el examen.
- Tipo de equipo que se requiere para acceder a la estructura (andamios, arneses, equipo de seguridad), etc.
- Disponibilidad de agua, energía, etc.
- Remoción de acabados, instalaciones, muebles, etc.

b) Inspección y verificación de la estructura.

En primera instancia, debe medirse la geometría (secciones transversales y longitudinales) y ubicarse la disposición de los diferentes elementos (especialmente los más críticos). De igual modo, deben revisarse defectos y fallas que muestre la estructura (grietas, delaminaciones, pérdidas de sección, etc.). En esta etapa se realizan los ensayos propuestos en la evaluación preliminar. Lo anterior, es de extrema importancia para definir los sitios de toma de muestras para realizar ensayos de caracterización de fenómenos (profundidad de fisuras) y materiales (aceros, concretos, cables, elementos embebidos, etc.).

Durante la inspección y verificación, deben establecerse las cargas existentes y actuantes sobre la estructura. Por ejemplo, deben verificarse las cargas muertas actuales y futuras, las cargas impuestas según el uso normal, de excepción (condiciones particulares) y propuesto en el futuro de la estructura; de igual modo, debe establecerse exigencia de cargas de acuerdo con la zona de riesgo sísmico estipulado en la norma sismo resistente E030.

c) Condiciones de seguridad y riesgo potencial.

En el evento que se detecten situaciones de riesgo, como consecuencia de los defectos y daños que tenga la estructura, deberá valorarse la condición de seguridad y el riesgo potencial que ello implique. Lo anterior, incluye la evacuación y/o el cierre temporal, el apuntalamiento u otras medidas de seguridad. [Ref. 30]

### 3.2.2.3 *Ensayos a la estructura y toma de muestras.*

Cuando no se tiene la información adecuada o necesaria para establecer la condición de la estructura o sus materiales componentes, seguramente habrá necesidad de realizar ensayos a los que se efectuaron, y/o extraer muestras (núcleos, trozos o polvos) de los materiales. Los ensayos a la estructura generalmente incluyen la evaluación de la resistencia por medios no destructivos, para lo cual se recomiendan los documentos ACI 437R-03 y ACI 228.1R-03. La extracción de muestras, para ser analizados en el laboratorio, es recomendable que se realice en zonas sanas. [Ref. 30]

a) Localización y frecuencia.

De acuerdo con el ACI 364.1R-94, la selección de los métodos de ensayo apropiados, el número de ensayos y la localización de los sitios de muestreo depende de los siguientes factores:

- La variación de características.
- Localización críticas.
- Probabilidad de error en los resultados de los ensayos.
- El tamaño de la estructura.

Sin embargo, la norma ASTM C 823 provee una guía bastante adecuada para el desarrollo de un programa de muestreo. Cuando se desee obtener información estadística acerca de las propiedades del concreto, la localización de los sitios de muestreo debe ser aleatoria a lo largo de la estructura.

b) Auscultación de la estructura de concreto (in situ)

Las observaciones y medidas, pueden ser complementadas con algunos ensayos de auscultación de la estructura y sus miembros, mediante pruebas no destructivas. Sin embargo, debe tenerse presente que este tipo de ensayos ofrecen ayuda para identificar los sitios o zonas donde serian más útiles otro tipo de pruebas que puedan requerirse. Para ello, alguna de las pruebas no destructivas más usualmente empleadas son las siguientes: <sup>[Ref. 30]</sup>

- Localizador de barras y recubrimiento (pachómetro).

El recubrimiento, estructuralmente, se refiere al espesor de concreto medido desde la superficie más externa de la armadura principal hasta la cara externa del elemento.

El espesor del recubrimiento de concreto, el tamaño y localización de la armadura se pueden estimar empleando un pachómetro.

El pachómetro es un aparato detector de elementos metálicos ocultos, existen varios modelos pero lo más sofisticados son los que nos proporcionan una estimación del diámetro y del recubrimiento de la barra.

Si se tienen elementos muy armados puede no ser posible obtener resultados fiables. De igual forma el comportamiento del equipo puede verse afectado por las bajas temperaturas ( $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y por partículas de magnetita (presentes en puzolanas, arenas o roca machacada).

- Martillo de rebote o esclerómetro

El método del esclerómetro es el más empleado y para ello se va a guiar con las Normas ASTM-C805 (Método de Prueba Estándar para Número de Rebote de un Concreto Endurecido) y NTP 339.181.

Esta prueba no determina la resistencia a la compresión del concreto de manera precisa, por estar afectado por diferentes factores que influyen en los resultados y la dispersión del mismo, pero se le emplea para evaluar la uniformidad del concreto y delimitar las zonas de bajas resistencia de la estructura para los ensayos de testigos diamantinos.

- Resistencia a la penetración, pistola de Windsor

El ensayo de resistencia a la penetración o pistola de Windsor, según la Norma ASTM C 803, permite estimar de manera aproximada la resistencia del concreto, su uniformidad a nivel superficial, y su calidad general.

- Velocidad de pulso ultrasónico

La prueba ultrasónica de la velocidad del pulso, según la Norma ASTM C 597, determinaremos la velocidad de la propagación de un pulso de energía vibratoria a través de una parte de concreto de la estructura en estudio.

Con este equipo podemos obtener resultados como:

- Verificar la homogeneidad (uniformidad y calidad relativa) del concreto.
- Detectar las fallas internas (presencia de vacíos).
- Se puede monitorear las variaciones de las propiedades del concreto a lo largo del tiempo, debido a la agresividad del medio ambiente.

En la Figura 3.2 se muestran las opciones para instalar los transductores en la superficie de prueba de la probeta. La transmisión puede ser 1) directa, 2) semidirecta o 3) indirecta.

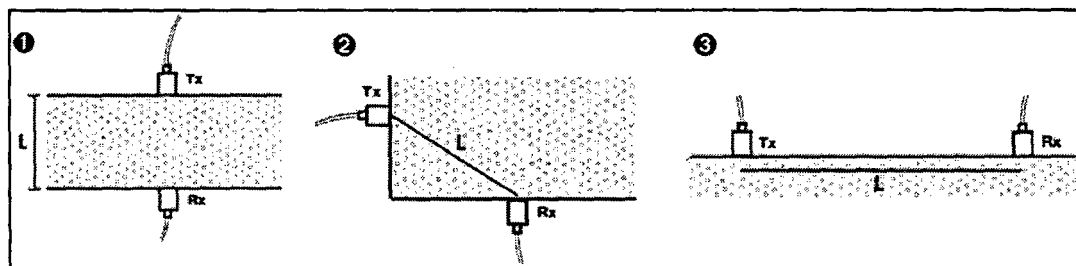


Fig. 3.2: Posición de los transductores: 1) directa, 2) semidirecta, 3) indirecta.  
(Manual V-Meter MK-IV)

Por lo tanto la expresión que se utilizó para determinar la velocidad de pulso ultrasónico fue la proporcionada por la norma ASTM - C 597:

$$V = \frac{L}{T}$$

L = Longitud del elemento de concreto (m).

T = Tiempo que atraviesa la señal el espécimen de concreto (s)

V = Velocidad de pulso ultrasónico (m/s)

Tabla 3.1: Clasificación de la calidad del concreto por medio de la velocidad.

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN m/s	CALIDAD DEL CONCRETO
< 2000 m/s	Deficiente
2001 a 3000 m/s	Normal
3001 a 4000 m/s	Alta
> 4000 m/s	Durable

Fuente: Red DURAR; 1998.

- Medidor de humedad

El medidor de humedad estima el contenido de humedad del concreto endurecido, guiándose con la Norma ASTM D 3017.

- Microscopio de detector de grietas

Esta diseñado especialmente para medir los anchos de las fisuras en el concreto.

- Dispositivo para monitoreo de grietas

Controla movimientos vertical u horizontal de la fisura.

- Porosidad del recubrimiento del concreto armado (Poroscope Plus)

La permeabilidad del concreto, como en cualquier material, consiste en que este pueda ser atravesado por un fluido (líquido, gases, iones) a causa de una



diferencia de presión entre dos superficies opuestas del material. Usualmente, la permeabilidad se determina por el caudal filtrado de agua, de acuerdo a la ley de Darcy (a través de un medio poroso), en la cual es laminar y permanente.

Cabe señalar que el movimiento de agua a través de un espesor de concreto no sólo puede ser causado por la carga misma del agua sino también por humedad diferencial en ambos lados del concreto, o bien por presión osmótica.

#### Permeabilidad al aire medida con el Poroscope Plus:

Actualmente, los criterios de aceptación del concreto endurecido se basan, casi exclusivamente, en resultados de ensayos de probetas moldeadas, especialmente la resistencia a compresión. Está claro que esos resultados nunca pueden representar la calidad de la capa superficial, porque evalúan el comportamiento global de las probetas las cuales, además, se preparan y curan de una manera totalmente diferente de las condiciones reales en la estructura. Así, la calidad real de esa capa vital es ignorada lo que explica, al menos parcialmente, el desempeño satisfactorio de muchas estructuras, desde el punto de vista de su durabilidad. La noción del concreto de recubrimiento, que posee composición y propiedades diferentes a las del que se encuentra en el núcleo de las estructuras es relativamente nueva, por tanto, no existe un método de aceptación general para caracterizar la estructura de poros del concreto y relacionarla con su durabilidad. Sin embargo, diversas investigaciones han indicado que la permeabilidad del concreto, al aire o al agua, es una excelente medida de su resistencia al ingreso de medios agresivos en el estado gaseoso o líquido y así constituye una medida de la durabilidad potencial de un concreto dado.

El método del Poroscope Plus tiene la ventaja de poder ser aplicado tanto en obra como en laboratorio lo que nos brinda una perspectiva más clara de la calidad real del concreto en servicio, y es uno de los pocos que caracteriza exclusivamente su medición a la capa de recubrimiento.

La siguiente tabla 6.2 muestra los valores tentativos para los tiempos de permeabilidad al aire y el agua y se calcularon puntuaciones AER para el concreto de calidad variable de protección:

Tabla 3.2: Tabla de valores del tiempo en función de la calidad de recubrimiento del concreto.

CATEGORÍA DEL CONCRETO	CALIDAD PROTECTORA	AIRE	PERMEABILIDAD	AGUA
		TIEMPO (s)	VALER AER (s/ml)	VELOCIDAD DE ABSORCIÓN
0	Pobre	< 30	< 8	< 3
1	No muy bueno	30-100	8-25	3-10
2	Mediano	100-300	25-75	10-30
3	Bueno	300-1000	75-250	30-100
4	Excelente	> 1000	> 250	> 100

Fuente: Manual del Poroscope Plus.

- Sistema de potencial de corrosión

Este método se refiere a la estimación del potencial eléctrico de media pila del acero revestido en concreto, con el propósito de determinar la actividad corrosiva del acero de la armadura. Los resultados obtenidos al emplear este método no deben ser considerados como un medio de estimación de las propiedades estructurales del acero o del elemento del concreto armado. Es una técnica sencilla aunque de difícil interpretación.

El fundamento del método se basa en que, durante la corrosión, los iones hierro se desplazan de la barra hacia el concreto adyacente, dejando en la barra electrones que le dan una carga negativa a dicha barra. El método del potencial de media pila se emplea para detectar esta carga negativa y así proporcionar una indicación de la actividad corrosiva. Si la barra se corroe, los electrones tenderán a fluir desde la barra a la media pila. En la media pila, los electrones se consumirán en una reacción de reducción, transformando los iones cobre de la solución de sulfato de cobre en átomos de cobre depositados en la varilla.

Para la realización de este ensayo nos basamos en la norma ASTM C-876 Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel In Concrete. Este ensayo permite medir la diferencia de potencial eléctrico del

acero de refuerzo de una estructura de concreto armado respecto a un electrodo saturado de referencia, en este caso cobre/ sulfato de cobre (Cu/CuSO<sub>4</sub>).

Se tiene que tener en cuenta los siguientes rangos de las lecturas tomadas.

Tabla 3.3: Criterio de la probabilidad de corrosión.

POTENCIAL DEL ACERO VERSUS ELECTRODO DE REFERENCIA DE COBRE/SULFATO DE COBRE	PROBABILIDAD DE CORROSIÓN
Más positivo que -200 mV	Menor del 10%
Entre -200 mV y -350 mV	Desconocido 50%
Más negativo que -350mV	Mas del 90%

Fuente: Norma ASTM C 876.

- Medidas de velocidad de corrosión

Determina la velocidad o intensidad de corrosión a la pérdida de metal por unidad de superficie y tiempo del concreto.

- Resistividad eléctrica del concreto

Es la propiedad volumétrica del concreto e indica su resistencia al paso de las cargas eléctricas.

- Extracción de núcleos.

Los núcleos de concreto para determinar la resistencia mecánica o el módulo de elasticidad, deben extraerse de acuerdo con las Normas ASTM C042 y NTP 339.059, en una cantidad no inferior a tres por cada zona de la estructura y el diámetro de cada núcleo debe ser por lo menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado presente en el concreto.

Cuando se extraigan núcleos sobre zonas agrietadas, estos no deben emplearse para determinar la resistencia mecánica y/o el módulo de elasticidad del concreto.

Para la evaluación de la resistencia del concreto, se realizan ensayos no destructivos los cuales nos permiten evaluar la capacidad real de la estructura, dentro de estos métodos tenemos el ensayo de testigos diamantinos.

La Norma de Estructura, señala en su Capítulo 20 "Evaluación de la resistencia de estructuras existentes" que si hay alguna incertidumbre de la calidad del concreto en obra y los cálculos indican que la capacidad de carga de la estructura puede estar comprendida, deberán realizarse ensayos en testigos extraídos del área cuestionada.

Siguiendo las recomendaciones de la Norma y con la finalidad de evaluar la calidad del concreto utilizado en la construcción, se realizó un programa de extracciones de testigos de concreto con broca diamantina para luego someterlos a ensayos de Núcleo de concreto (ASTM-C42). Este ensayo nos permite aproximarnos a la resistencia a la compresión del concreto utilizando en los elementos estructurales: vigas, columnas y placas.

d) Ensayo de peso unitario

El peso normal de un concreto en estado endurecido, corresponde de 2200 a 2400 kg/m<sup>3</sup>, bajo las Normas ASTM C138 y NTP 339.046.

e) Extracción de muestras

Las muestras son para realizar ensayos químicos, generalmente se toma una parte de los núcleos extraídos.

- *Ensayo de pH*

El pH es una medida de grado de acidez o alcalinidad de las sustancias respecto a las Normas MTC E 119 y ASTM 4792. El concreto es altamente alcalino y su valor varía entre 12 y 14 después de las reacciones de hidratación del cemento, el mismo que es atacado por la presencia de ácidos en este caso sulfúricos con un pH menor a 7.

- *Contenido de cloruros*

Se realizó los análisis de determinación de presencia de cloruros, respecto a las Normas ASTM D 3370:1999 y AASTHO T-291. Con el motivo de expresar los contenidos de cloruros respecto a la dosificación del cemento, se emplearon valores de contenido al cemento, para lo cual se ha tomado como datos la densidad del concreto de  $2300 \text{ kg/cm}^3$  y un peso de cemento por  $\text{m}^3$  de  $297.5 \text{ kg}$  la dosificación mínima.

- *Concentración de sulfatos*

Se realizó los ensayos de determinación de concentración de sulfatos en los testigos extraídos de las columnas de la estructura en estudio siguiendo el procedimiento de las Normas ASTM E 275:2001 y AASTHO T-290.

En el concreto la cantidad de sulfatos está limitada debido al aporte de las aguas y de los agregados que esta contiene, por lo que es necesario evitar exceder en los milites debido a las reacciones químicas expansivas indeseables, debido al crecimiento de cristales de sulfato. A continuación los valores permisibles de sulfato en el concreto para que no exista daño según la Norma del ACI 318.99 "Requisitos para concretos expuestos a soluciones que contiene sulfatos"

- *Profundidad de carbonatación*

Es la reducción de la alcalinidad normal (pH entre 12 - 14) del concreto por efecto del  $\text{CO}_2$  que difunde desde el ambiente que lo rodea.

La metodología empleada para medir la profundidad de carbonatación está basada en la Norma RILEM CPC-18.

f) *Extracción de muestras del acero de refuerzo*

Las muestras del acero de refuerzo para determinar sus propiedades físicas, químicas y/o mecánicas, deben ser tomadas de acuerdo con lo indicado en la Norma ASTM A 370. Las barras que se remuevan de la estructura, deben ser reemplazadas (incluyendo su longitud de desarrollo), si así lo demanda el diseño

estructural. Para ello, además se deben contemplar las siguientes consideraciones.

g) Ensayo y análisis de las muestras.

Dependiendo de los objetivos y el alcance de la investigación detallada, se pueden realizar los siguientes ensayos, previa inspección visual de las muestras y su correspondiente registro fotográficos.

- Ensayos físicos:
  - Dimensiones
  - Peso
  - Densidad
  - Absorción capilar
  - Porosidad abierta
  - Permeabilidad
  - Análisis térmico
  - Ensayos sónicos
  
- Ensayos mecánicos:
  - Ensayo de resistencia a la compresión.
  - Ensayo de resistencia a la flexión.
  - Ensayo de resistencia a la tracción.
  
- Ensayos químicos:
  - Contenido aproximado de cemento.
  - Determinación del frente de carbonatación.
  - Contenido de sales de sodio.
  - Contenido de sales de potasio.
  - Contenido aproximado de sulfatos.
  - Contenido aproximado de cloruros.
  
- Ensayos electroquímicos:
  - Potencial de corrosión
  - Velocidad de corrosión
  - Resistividad eléctrica

- Resistencia eléctrica
- Ensayos biológicos:
  - Contenido aproximado de materia orgánica.
  - Desarrollo de cultivos microbiológicos.

#### 3.2.2.4 *Reporte técnico final*

Tomando en consideración el informe preliminar y toda la información recogida en la evaluación detallada, se elabora un informe cuya estructura básica puede ser la siguiente:

- a) Presentación (objetivos y alcance de la investigación).
- b) Descripción de la estructura.
- c) Documentación del problema.
- d) Levantamiento de daños.
- e) Localización de daños.
- f) Localización de muestras y determinación de ensayos.
- g) Resultados de los ensayos.
- h) Análisis y evaluación de los ensayos.
- i) Diagnostico de los daños.
- j) Precauciones de seguridad.

## CAPÍTULO IV: ALGUNAS TÉCNICAS DE REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO

### 4.1 MATERIALES DE REPARACIÓN Y/O REFORZAMIENTO.

En primer lugar, hay que señalar, que los materiales de reparación son también materiales usuales en estructuras de nueva implantación si bien, en este caso, tienen una aplicación específica como es la reparación y/o el refuerzo. Así pues, estos materiales, desde el punto de vista del concreto, giran en el entorno de dos conglomerantes básicos:

- Aglomerante hidráulico (agua y cemento) al que se pueden introducir distintas modificaciones (aditivos, cenizas, microsílíce, etc.).
- Aglomerante orgánico (resinas) que puede presentarse en distintas familias (epóxy, poliéster, acrílicas, etc.).

Y de otros materiales que contribuyen en funciones resistentes o de servicio como son básicamente los materiales metálicos en diferentes configuraciones: fibras de acero, armadura pasiva, armadura activa en anclajes, chapas metálicas o de materiales compuestos, etc.

La elección de un material de reparación viene condicionada por la causa del daño y la forma de manifestarse el mismo. Así pues en aras a lograr el éxito en la elección del material y su empleo en la reparación es necesario realizar previamente un correcto diagnóstico de las causas de daño y extensión del mismo (Véase capítulo 3). A continuación presentamos los materiales más comunes y básicos para la reparación. <sup>[Ref. 33]</sup>

#### 4.1.1 Concreto

El concreto de cemento Portland es el material tradicionalmente usado en reparaciones y refuerzos. En la gran mayoría de los casos, requiere una dosificación que mejore algunas de sus características naturales, cumpliendo las Normas NTP 339.035 y ASTM C 143. Puede que sea necesario obtener altas resistencias iniciales, eliminar la retracción de secado, lograr ligeras y controladas expansiones, elevada adherencia al sustrato, baja permeabilidad y otras propiedades, normalmente obtenidas a costa del empleo de aditivos y

*EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO EQUIPOS Y MÉTODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS*



adiciones tales como plastificantes, reductores de agua, impermeabilizantes, escoria de alto horno, cenizas volantes, microsilica y, la clásica reducción de la relación agua/cemento. [Ref. 28]

#### 4.1.2 Mortero predosificado

Los morteros predosificados, son a base de cemento hidráulico, agregados de granulometría y composición determinada según el producto, estas pueden ser de diferentes tipos. Cumpliendo la Norma ASTM C-884. [Ref. 23]

- Morteros autonivelantes: para efectuar reparaciones en superficies horizontales.
- Morteros tixotrópicos: permitiendo su uso en superficies verticales e inclinadas.
- Morteros de reparación de baja retracción: Retracción controlada y/o efecto expansivo.
- Morteros de fragua rápida: Gran velocidad de endurecimiento para trabajos rápidos.
- Morteros para Grouts o relleno: Morteros fluidos, generalmente expansivos para trabajos de inyecciones y rellenos en lugares estrechos.

[Ref. 25]

Los Grouts son morteros de cemento portland y arena de cuarzo con una formulación que influyen aditivos reductores de agua y súper plastificantes; además de aditivos que compensan la contracción plástica y contracción por secado, propia de las mezclas de cemento. Se fabrican con las más altas especificaciones para asegurar la efectividad de las reparaciones, por lo general desarrollan altas resistencias iniciales a la compresión, mayores de 200 kg/cm<sup>2</sup> a las 24 horas y mayores de 550 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, también tiene una buena adherencia al concreto.

La preparación del mortero predosificado en el sitio de la construcción se limita a la adición de agua, y/o la mezcla de la parte líquida con la parte en polvo de los morteros de reparación. Para obtener un buen mortero agregar inicialmente a la batea o a la mezcladora mecánica aproximadamente el 80% del agua de

amasado, luego incorporar lentamente el producto predosificado y por último el resto de agua hasta obtener la consistencia deseada.

Se puede obtener una consistencia plástica o seca, agregando una cantidad de agua menor a la indicada, según la dificultad de relleno y la posición y forma. Para ello se recomienda las siguientes pautas: <sup>[Ref. 23]</sup>

- **Plástica.-** Recomendado para hacer anclaje y nivelación de plantillas usadas como base de máquina, (6 Litros/30.00kg).
- **Semifluida.-** Para hacer relleno y nivelación de maquinaria, (5 Litros/30.00 kg.).
- **Fluida.-** Para hacer rellenos y nivelaciones en espacios en donde existan demasiados obstáculos, (4.5 Litros/30.00 kg.).

Las ventajas de utilizar un mortero predosificado, está en el hecho de que el mortero está diseñado con todos sus ingredientes incorporados para satisfacer la necesidad particular que se requiera, las cuales estas te ofrecen altas resistencias mecánicas; exudación y contracción controladas, lo que asegura la adherencia al concreto existente, acero, etc. y no contiene elementos metálicos ni cloruros. <sup>[Ref. 23]</sup>

#### 4.1.3 Concretos y morteros expansivos o sin retracción.

Se utilizan para evitar los problemas derivados de la retracción de los concretos o morteros convencionales. Se basan en la utilización de cementos especiales, obtenidos mediante la adición de ciertas sustancias, generalmente polvo de aluminio o de hierro, que reaccionan o se oxidan durante el fraguado provocando un aumento de volumen. Una adecuada proporción de cemento expansivo, permite compensar exclusivamente el efecto de la retracción, obteniéndose concretos o morteros sin retracción. Mezclas en proporciones superiores dan lugar a morteros y concretos expansivos. En todo caso, para evitar efectos incontrolados que pueden ser dañinos, es conveniente utilizar mezclas predosificadas, siguiendo cuidadosamente sus instrucciones. <sup>[Ref. 23]</sup>

### 4.2.3. Concretos y morteros modificados con polímeros.

Se obtienen mediante la adición de polímeros en el agua de amasado que, sustituyendo en parte al cemento, modifican favorablemente algunas propiedades de la mezcla:

- Permiten la obtención de mezclas de baja relación agua-cemento, con poca retracción, pero buena trabajabilidad.
- Mejoran la adherencia con la superficie original, asegurando el comportamiento monolítico de la reparación.
- Reducen la necesidad de curado (aunque no la eliminan), lo que puede ser especialmente útil en pequeñas actuaciones.
- Mejoran la resistencia de la mezcla frente a ciertos ataques químicos. Sin embargo, hay que indicar que los concretos modificados con polímeros presentan una alcalinidad inferior, lo que reduce su resistencia a la carbonatación y facilita la corrosión de la armadura.

Asimismo, este tipo de concretos presentan una pérdida considerable de propiedades a temperaturas elevadas, cumpliendo con la Norma ASTM C-884.

[Ref. 23]

### 4.1.4 Aditivos

Son productos especialmente formulados para modificar algunas propiedades de los concretos y morteros, tanto en el estado fresco como endurecido. Se considera como aditivo todo producto adicionado hasta un máximo de 5 % en relación a la masa de cemento. Por encima de ese porcentaje debe ser considerado como adición y tener tratamiento distinto.

Los aditivos normalmente son clasificados según su acción principal sobre los concretos y morteros, siendo de mayor interés para las reparaciones, refuerzos y protección, los aditivos deberá cumplir con las Normas ASTM C 494, ASTM C 1017 y NTP 339.086. Estas pueden ser de la siguiente manera: [Ref. 28]

#### 4.1.4.1 *Aditivos plastificantes*

Productos tensoactivos que permiten reducir la razón a/c manteniendo constante a docilidad o bien, aumentar la docilidad con una misma razón a/c. La dosis es 0.1 a 0.4% del peso del cemento, logrando así: [Ref. 25]

- Mejoramiento de la docilidad (asentamiento de cono).
- Aumento de las resistencias por reducción de la cantidad de agua.
- Disminución de la retracción plástica e hidráulica.

Estas se pueden aplicar en:

- Concretos en general.
- Reemplazos de concreto. [Ref. 25]

#### 4.1.4.2 *Aditivos fluidificantes*

Productos aniónicos que actúan por dispersión de los granos de cemento. Permiten obtener concreto fluidos con relaciones a/c bajas o normales. La dosis es 0.5 a 3.0% del peso del cemento, logrando así: [Ref. 25]

- Aumento considerable de la docilidad.
- Baja segregación.
- Alta resistencia.

Estas se pueden aplicar en:

- Concreto o autonivelantes.
- Concreto para lugares estrechos o de difícil acceso. [Ref. 25]

#### 4.1.4.3 *Aditivos expansores*

Aditivos que reaccionan con compuestos del cemento formando gas - generalmente hidrógeno - produciendo un pequeño aumento del volumen. La dosis es 2% del peso del cemento, logrando así: [Ref. 25]

- Aumento de la estabilidad plástica (reducen la exudación).

- Mejoramiento de la docilidad.
- Producen un pequeño efecto expansivo (aprox. 3% en pastas y morteros, 1% en concretos).
- La expansión se produce antes del principio de fraguado.

Estas se pueden aplicar en:

- Rellenos de concreto en pequeños volúmenes.
- Rellenos con morteros en cavidades y huecos. [Ref. 25]

#### 4.1.4.4 Aditivos aceleradores y retardadores

Productos que reaccionan con algunos compuestos del cemento, acelerando o retardando las reacciones de hidratación. La dosis es variable según efecto, logrando así: [Ref. 25]

- Acortar o alargar el inicio del fraguado.
- Acelerar el desarrollo inicial de resistencias (1,3y7días).
- Los retardadores generalmente no afectan las resistencias después de 3 días.

Estas se pueden aplicar en:

- Trabajos rápidos.
- Reducir plazos de desencofrado.
- Dilatar el inicio del fraguado (retardadores) disponiendo de mayor plazo para la colocación. [Ref. 25]

#### 4.1.4.5 Aditivos de adherencia

Aditivos en base a polímeros acrílicos. La dosis es variable según producto y aplicación, logrando así: [Ref. 25]

- Mejorar la adherencia de morteros a la base.
- Reducen la retracción y tendencia a la fisuración.
- Reducen el módulo de elasticidad.

Estas se pueden aplicar en:

- Morteros de reparación en general.
- Aplicación de capas delgadas.
- Lechadas de adherencia. [Ref. 25]

#### 4.1.5 Resinas epóxy

Las resinas epóxy son materiales sintéticos derivados del petróleo que contienen uno o más de los llamados "grupos epóxy". Esta resina base, combinada con un endurecedor apropiado y, eventualmente, con otras adiciones reacciona y da lugar a un compuesto químicamente estable que presenta excelentes propiedades mecánicas y una notabilísima capacidad de adherencia. Utilizando diferentes tipos de endurecedores, de adiciones, y de modificaciones con otras resinas, se consiguen multitud de formulaciones, algunas extremadamente especializadas. A continuación se analizan los principales aspectos de estos usos. [Ref. 20]

##### 4.1.5.1 Adhesivos y puentes de adherencia.

Son los más eficientes del grupo de adhesivos usados como puente de adherencia en la actualidad y son los de mayor aplicación en la industria de la construcción.

Los adhesivos y puentes de adherencia son materiales epóxicos de dos o más componentes químicos, mayormente son de dos componentes "A" Resina y "B" Catalizador, que se deben mezclar antes de usarse. La variada composición de estos agentes continuamente está en proceso de cambio para satisfacer nuevos requerimientos. Una vez endurecido el compuesto no se ablanda, no fluye y no exuda, al menos en las condiciones de empleo corrientes.

Las condiciones de uso de las resinas dependen de su fluidez, velocidad de reacción y rigidez, los cuales son factores previsible y regulables de acuerdo a su formulación (tipo de resina elegida y proporciones de mezcla). Las reacciones de estas resinas son exotérmicas, esto es, la velocidad de su endurecimiento dependen de la temperatura ambiente. Entre las distintas ventajas que podemos mencionar son los siguientes:

- Los adhesivos además de actuar como puente de adherencia, pueden actuar como parte de un sistema de protección del acero de refuerzo contra la corrosión.
- Son altamente efectivo, aun en superficies húmedas.
- Trabajable a bajas temperaturas.
- Alta resistencia a la tracción y esfuerzo cortante.
- Su rendimiento puede aumentar con arena o agregado para aplicaciones gruesas.
- Posee altas resistencias mecánicas.

Su modo de empleo es sobre superficies de concreto y metálicas. En donde se debe mezclar totalmente las partes "A" (resina) y "B" (catalizador), hasta obtener una mezcla homogénea. Evitar que se quede aire atrapado con adhesivo. [Ref. 23]

#### 4.1.5.2 Inyecciones de resina epóxicas

Son resinas de baja viscosidad, exentas de solventes, de excelente fluidez y dotados de excelente resistencia mecánica. Por su gran fluidez ser inyectado por gravedad o presión en grietas sin movimientos teniendo en cuenta el espesor, la profundidad de las grietas y ubicación de las superficies (Figura 4.1).

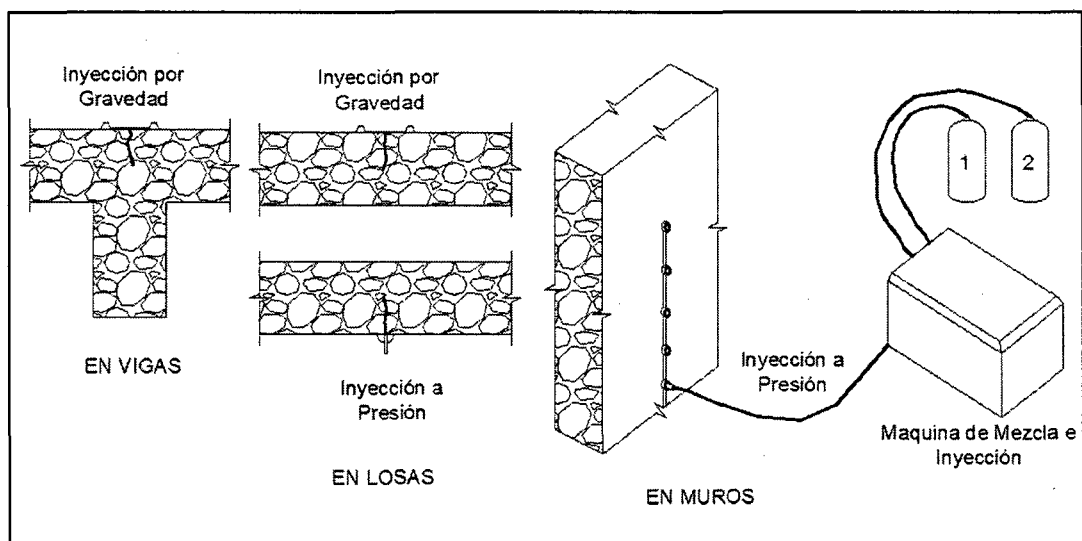


Fig. 4.1: Métodos de inyección de resina.  
(Paulo Helene, F.; 2003)

Algunas de las características de estas formulaciones endurecidas son las siguientes:

- Resistencia a tracción comprendida entre 30 y 90 N/mm<sup>2</sup>.
- Resistencia a compresión que oscila entre 120 y 210 N/mm<sup>2</sup>.
- Velocidad variable en adquirir resistencia desde 0.5 a 10 horas.
- Viscosidad comprendida entre 100 y 15,000 centipoises a 25°C.
- Modulo de elasticidad variable desde 1,500 a 30,000 N/mm<sup>2</sup>.
- Adhesión excelente al concreto rompiendo siempre el concreto por arrancamiento.
- Gran sensibilidad frente a las temperaturas relativamente altas y superiores a los 80°C. (resistencia nula al fuego).

Se utilizan como selladores de grietas inactivas en elementos estructurales de concreto armado simple, impidiendo el ingreso de agua u otras materias corrosivas y devolviendo al elemento su continuidad estructural. La gran efectividad de la resina epóxida se basa principalmente en la resistencia mecánica que alcanza en corto tiempo y en su baja contracción durante el endurecimiento. <sup>[Ref. 23]</sup>

#### 4.1.5.3 Morteros y concretos

Las resinas pueden ser utilizadas como aglomerante de morteros y concretos, sustituyendo al cemento. Los compuestos resultantes pueden ser especialmente convenientes en reparaciones de reducido espesor, o cuando se requiere un endurecimiento extremadamente rápido.

Las propiedades de los morteros epóxy son variables, pues dependen del tipo de composición utilizada. En cualquier caso, para su aplicación deben considerarse los siguientes aspectos.

- El aglomerante debe prepararse de antemano, mezclando perfectamente resina, endurecedor y posibles adiciones.
- De antemano, para asegurar la adherencia con la superficie original, conviene aplicar una mano de resina líquida pura sobre la misma.



- Los morteros y concretos epóxy presentan resistencias superiores a los morteros y concretos convencionales, pero con módulos de deformación inferiores.
- Una vez endurecido, el mortero epóxy no ofrece alcalinidad alguna, por lo que no protege contra la penetración de dióxido de carbono. A fin de evitar la carbonatación de la masa original del concreto, es conveniente aplicar un tratamiento superficial de resina epóxy.
- Los morteros epóxy presentan resistencias al calor mínimas, perdiendo sus propiedades en torno a 100°C. [Ref. 20]

#### 4.1.5.4 Revestimientos

Dentro de la rehabilitación de estructuras de concreto, las resinas epóxy ofrecen grandes posibilidades para el tratamiento superficiales de protección. Tales tratamientos pueden aplicarse como terminación de la operación de reparación, o bien como medida protectora. En cualquiera de las situaciones, la aplicación de resinas epóxy resulta particularmente indicada para impermeabilizar y hacer estancas zonas particularmente expuestas (estribos o pilas de puentes, superficies expuestas al oleaje, etc.).

Existen también tratamientos superficiales de base epóxy de gran dureza y resistencia que, consecuentemente, resultan idóneos para superficies expuestas a la abrasión (suelos industriales, etc.). Finalmente, hay que mencionar el uso de resinas epóxy como revestimiento de protección de armaduras frente a la corrosión, indicados en reparaciones originadas por este problema. [Ref. 20]

#### 4.1.6 Polímeros reforzados con fibra de carbono

Los Polímeros Reforzados con Fibra de Carbono (Carbon Fibre Reinforced Polymers Laminantes – CFRP) son materiales compuestos que se prestan como elementos de refuerzo estructural, constituidos por dos materiales distintos, una matriz líquida (resina epóxica endurecida) y fibras de polímeros como refuerzo (fibra de vidrio, fibra de aramid y fibra de carbono), estas últimas son las que tienen mejores características de resistencia mecánica. La fibra de carbono es una forma de grafito en el cual estas láminas son largas y delgadas. Los manojos de estas cintas se enlazan entre sí para formar fibras, de ahí el nombre

fibra de carbono, por ejemplo en la construcción tradicional, la matriz es el concreto y el acero es el refuerzo.

Las propiedades de un material compuesto dependen obviamente de las características y proporción de sus materiales constitutivos, así como de otros muchos factores, como la posible orientación de las fibras. No obstante, las siguientes características son comunes a los materiales compuestos utilizados en el refuerzo de estructuras:

- Elevada resistencia, con comportamiento tensión-deformación lineal hasta la rotura (frágil).
- Buen comportamiento a fatiga
- Excelente durabilidad, al no ser afectados por problemas de corrosión o ataque químico.
- Posibilidad de orientación de las fibras, optimizando así su comportamiento en una dirección.

Todos los sistemas compuestos estructurados con fibra, tienen sus materiales constituyentes, incluyendo ahí todas las resinas y las fibras que los estructuran. Los siguientes son las principales características de los dos materiales que constituyen el CFRP. <sup>[Ref. 19]</sup>

a) Fibra:

Las fibras de carbono resultan de un tratamiento térmico (carbonización) de fibras precursoras orgánicas en un ambiente inerte, oxidado entre 1500 y 2000°C. En ese proceso térmico, las fibras resultantes presentan los átomos de carbono perfectamente alineados a lo largo de la fibra precursora. Estas fibras de carbono presentan las siguientes características básicas.

- Extraordinaria resistencia mecánica.
- Elevada resistencia a ataques químicos diversos.
- No son afectadas por la corrosión por tratarse de un producto inerte.
- Extraordinaria rigidez.
- Estabilidad térmica y reológica.
- Buen comportamiento a la fatiga y a la actuación de cargas cíclicas.

- Peso específico del orden de  $1.8\text{g/cm}^3$ , lo que le confiere extrema ligereza hasta el punto de no considerarse su peso propio en los esfuerzos. [Ref. 19]

b) Matriz (resina):

Una gran variedad de resinas es utilizada en los sistemas compuestos, incluyendo aquí los imprimadores primarios, los reguladores de superficie, los saturantes y los adhesivos. Son usualmente empleadas las resinas a base de epóxicos, vinilésteres y poliésteres.

- Compatibilidad con el sustrato de concreto y resistencia elevada de adhesión.
- Resistencia adecuada a los agentes ambientales, que incluyen elevadas temperaturas, agua salada, presión del vapor y otros agentes químicos, normalmente asociados al concreto expuesto.
- Capacidad de relleno de vacíos.
- Compatibilidad y adherencia con la fibra utilizada en el refuerzo.
- Desarrollo de propiedades mecánicas, apropiadas al compuesto.
- Compatibilidad y adherencia al sistema compuesto estructurado con fibras.



Fig. 4.2: Representación esquemática de un sistema CFRP.  
(De Paula Machado, Ari; 2005)

En la Figura 4.2, muestra una ampliación de microscopio electrónico del CFRP donde las barras representan las fibras de carbono inmersas en la matriz polimérica. La fibra de carbono es la responsable de la resistencia mecánica del sistema, correspondiendo a la matriz polimérica, la transferencia de las tensiones de corte del substrato de concreto para el sistema compuesto.

En la actualidad existen dos sistemas de refuerzo diferentes basados en materiales compuestos de fibra de carbono: [Ref. 19]

#### 4.1.6.1 Refuerzo con hojas de tejido de fibra de carbono

Se trata de láminas u hojas flexibles compuestas de filamentos de fibra de carbono, generalmente orientados en un alto porcentaje (95 – 98%) en una sola dirección, es un sistema de reforzamiento de dos componentes: el adhesivo epóxico para la pega del reforzamiento y el tejido de fibra de carbono.

Los tejidos de fibra de carbono se fabrican en rollos de hasta 100 m, anchos que varían desde 300 a 600 mm y espesores entre 0.1 y 0.3 mm.

Su colocación en obra se realiza extendiendo sobre el concreto original una capa suficientemente fluida de resina epóxy que sirve como adhesivo, e impregnando después el tejido con la resina (igualmente fluida) que actuará como matriz.

Las características finales del producto acabado dependen considerablemente de la cantidad y tipo de resina aportada, así como de las condiciones de ejecución. En general, el módulo de elasticidad resultante en el tejido impregnado oscila entre 65.000 y 105.000 N/mm<sup>2</sup>, con resistencias a tracción entre 1.000 y 2.000 N/mm<sup>2</sup>, y alargamientos en rotura entre el 1.5 y el 2.0 %. En todo caso, la forma de rotura frágil que presentan los materiales compuestos obliga a limitar considerablemente las resistencias a tracción de diseño entre 500 y 900 N/mm<sup>2</sup>, con alargamientos entre el 0.8 y el 1.0 %.

El refuerzo mediante hojas de tejido de fibra de carbono impregnadas "in situ" proporciona una gran adaptabilidad a casi cualquier superficie. Es aplicable tanto en refuerzos a flexión como a cortante. Asimismo puede utilizarse para mejorar la resistencia a compresión del concreto original envolviéndolo y confinándolo.

[Ref. 19]

#### 4.1.6.2 Refuerzo con láminas de fibra de carbono

Se trata de productos preconformados que incorporan tanto la fibra de carbono como la matriz de resina. Por tanto, están listos para ser adheridos a la superficie de concreto, para lo cual generalmente se utiliza resina epóxy de dos componentes y consistencia pastosa para evitar el descuelgue.

Las laminas de fibra de carbono se fabrican en espesores de 1.2 y 1.4 mm, anchos que varían desde 50 a 200 mm, presentándose en rollos de hasta 500 m de longitud. Al tratarse de un producto terminado, sus propiedades mecánicas son más confiables que las resultantes de impregnar "in situ" un tejido de fibras. En general su módulo de elasticidad se sitúa entre 160.000 y 180.000 N/mm<sup>2</sup>, con resistencias a la rotura entre 2.800 y 3.000 N/mm<sup>2</sup> y alargamientos últimos entre el 1.5 y el 2.0 %. Sin embargo, puesto que los materiales compuestos presentan una rotura frágil sin reserva plástica alguna, las tensiones de cálculo usuales se limitan entre 900 y 1.200 N/mm<sup>2</sup>, lo que supone adoptar coeficientes de seguridad del orden de 3.

Las laminas de fibra de carbono se colocan en sentido longitudinal correspondiendo a la dirección de la sollicitación, de esta forma la lamina tiene una estructura unidireccional. Principalmente se utilizan en elementos que deban ser reforzados a flexión (vigas, losas, placas, columnas y muros de albañilería) y en algunos casos para reforzamiento a cortante. Su gran esbeltez no permite su uso como armadura de compresión. [Ref. 19]

## 4.2 PROCESO DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO.

Plantear en profundidad el proceso de la reparación de estructuras de concreto armado desborda con mucho los objetivos de esta tesis. En efecto, la existencia de problemas patológicos (a veces evidenciados al poner al descubierto la estructura para su refuerzo), el deseo de prolongar la vida útil de la obra más allá de los límites inicialmente previstos, o la necesidad de disponer de un material en perfectas condiciones en las zonas de contacto que permita la satisfactoria transferencia de esfuerzos entre refuerzo y antigua estructura, pueden exigir efectuar reparaciones más o menos generalizadas. Todo ello aconseja introducir

en este trabajo los aspectos básicos de las actuaciones más comunes de reparación de obras de concreto.

Los síntomas fundamentales de deterioro de las obras de concreto son la fisuración y la disgregación, por ello aconsejan clasificar los métodos de reparación, para su estudio, en los consiguientes dos grupos: reparación de fisuras y reparación de la disgregación.

A continuación se analizan detalladamente los principales métodos correspondientes a uno y otro tipo de reparaciones. [Ref. 22]

#### **4.2.1 Reparación de fisuras en estructuras de concreto.**

Es un hecho que toda obra de concreto armado se fisuran. Ello implica una pérdida de estanqueidad, que puede permitir una circulación reducida pero continua de agua o aire en zonas del interior de la masa de concreto. En determinados casos estos elementos pueden servir de acceso a agentes agresores, afectándose la durabilidad del concreto y las armaduras.

Para evitar los efectos nocivos de la fisuración, la estrategia habitual es la disposición de juntas (en el fondo fisuras controladas) y la distribución adecuada de armaduras.

En todo caso, antes de optar por una u otra técnica de intervención, se deben estudiar cuidadosamente algunos aspectos.

- Analizar el estado de actividad de las fisuras.
- La determinación de la causa de la fisuración.
- Verificar si las fisuras son aisladas o se organizan en una red.
- Analizar la necesidad o conveniencia de coser las fisuras, devolviendo o incrementando la resistencia original del concreto a tracción.

Sólo una vez analizados los aspectos anteriores, debe procederse a la elección del sistema de reparación más adecuado a adoptar donde se mostraran a continuación. [Ref. 22]

#### 4.2.1.1 Inyección de fisuras

La reparación de concretos fisurados a base de inyectar las fisuras es un método habitual. La inyección se realiza, en general, con resinas epóxy o con lechada. En condiciones normales, las resinas proporcionan mejores y más durables resultados. <sup>[Ref. 22]</sup>

##### a) Inyección de Resina Epóxica.

Esta resina debe ser de de baja viscosidad e inyectable, no son aplicables a temperaturas mayores a 30° C y complementariamente se emplea un adhesivo para confinar la resina en la grieta y fijar los tubos de inyección.

Un primer paso de la inyección es la preparación de la superficie, esta debe de estar sana y limpia mediante chorro de agua a presión o arenado luego dejar secar con aire caliente a presión, si es necesario, luego procedemos a la limpieza del interior de la grieta con agua y aire a presión después de colocar el sello superficial.

Luego pasamos a la fijación de boquillas y sello superficial, acá se colocan boquillas en la superficie, a lo largo de la grieta. Si es pasante, por ambas caras. Para realizar este paso se debe de efectuar taladros de 15 a 20 mm de diámetro por 12 cm de longitud a intervalos regulares entre 15 y 30 cm entre ejes, colocando boquillas fijadas con resina en los mismos y sellar superficialmente toda la longitud de la grieta, luego procedemos a la limpieza del interior de la grieta con agua y aire a presión después de colocar el sello superficial.

Terminado la preparación del concreto a reparar pasamos a la inyección de la resina epóxica al interior de la grieta, a presión constante (figura 4.3), el proceso comienza por el punto de entrada más baja de cada grieta y continuar hasta que el material aflore por el punto adyacente, luego cerrar el primer punto de iniciar la inyección en el siguiente hasta que el material vuelva a florar en el próximo punto. Si la grieta es pasante, verificar que el material aflore por el punto opuesto más próximo, cerrar este punto y seguir inyectando pero si no aflora por el punto opuesto, se inyectará por ambas caras. Continuar la secuencia hasta completar la reparación.

Luego de que haya curado el material de inyección se retira el sello con disco y si se requiere se da la terminación con mortero polimérico de baja contracción base cemento. [Ref. 23]

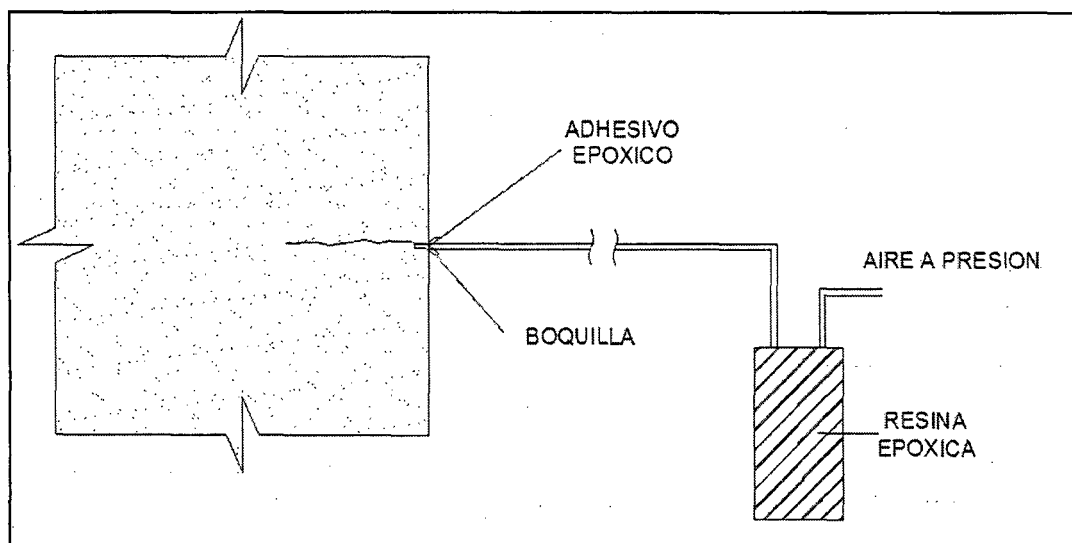


Fig. 4.3: Esquema de la aplicación de la presión de Resina Epóxica.  
(Jara Malpartida, Marcial; 2005)

#### b) Inyección de Lechada Hidráulica

La inyección de fisuras con lechada hidráulica puede hacerse del mismo modo de la inyección de resina; esta técnica es válida para los mismos elementos de las obras y está sujeta a las mismas limitaciones. Sin embargo, es preferible la utilización de resina ya que obtendrás mejores resultados. La inyección de lechada resulta especialmente indicada cuando se requiere resistencia al fuego, o el concreto ha de soportar temperaturas extremas. [Ref. 33]

#### 4.2.1.2 Vaciado y Sellado

Es la técnica más simple y comúnmente utilizada para la reparación de fisuras, este método consiste en agrandar la fisura como se indica en la figura 4.4 (hacer un vaciado) y rellenar con el material más adecuado (sellado), en la preparación del vaciado debe liberarse de partículas susceptibles de disminuir la adherencia de sellado.



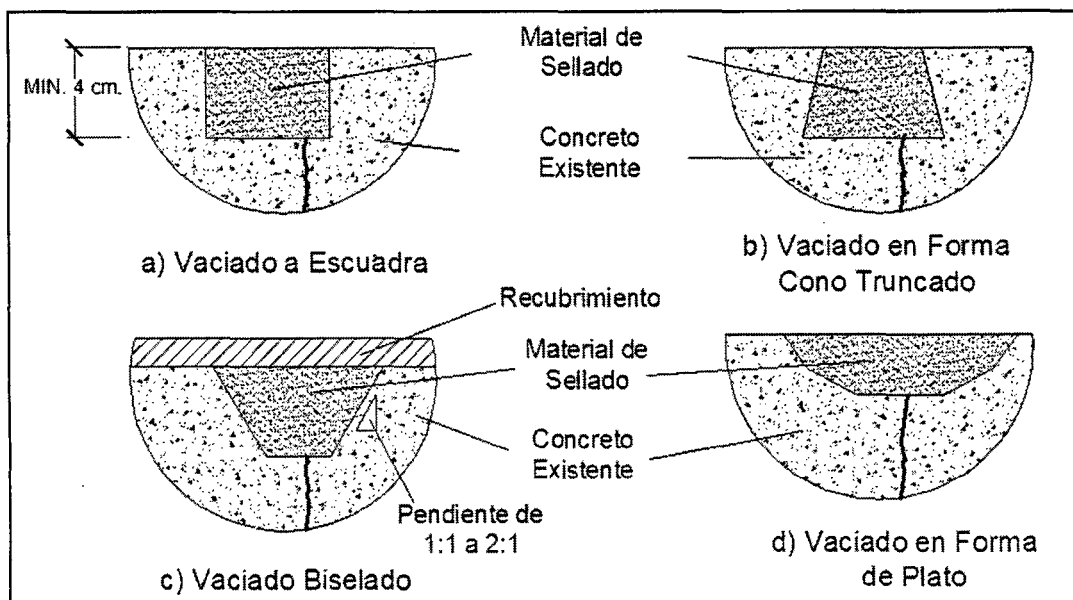


Fig. 4.4: Formas de reparaciones de vaciado y sellado.  
(Jonson Sidney, M.; 1973)

Las dimensiones de los vaciados varían desde espesores que oscilan de 5 a 7cm, según la profundidad que tiene como mínimo 4cm y los materiales de sellado son muy variados, y van desde resinas epóxy a alquitranes (especialmente en pavimentos), el relleno de la fisura con mortero o concreto que no es tan recomendable, pues rara vez se obtienen resultados duraderos. Incluso si la adherencia es buena, no alcanza la resistencia a tracción del concreto original pero se obtendría buenos resultados con el uso de aditivos plastificantes y expansores. [Ref. 33]

#### 4.2.1.3 Grapado

Este sistema de reparación consiste en coser la fisura mediante grapas metálicas. Su principal aportación radica en su capacidad de restituir, e incluso reforzar, la resistencia mecánica original de la zona dañada.

El grapado debe ejecutarse de modo multidireccional, colocando grapas con diferentes orientaciones, longitudes y espaciamentos (Figura 4.5). Así se asegura la transferencia de tracciones de un lado a otro de la fisura, repartiéndolas en el concreto, y evitando acumulaciones locales.

Los extremos de la fisura son zonas de concentración de tensiones, por lo que en ellas conviene reducir la separación entre grapas. Se sugiere efectuar orificios en los extremos de la fisura.

La ejecución del sistema es sencilla; basta efectuar taladros, colocar las grapas y rellenar los agujeros con lechada o, preferiblemente, mortero expansivo o sin retracción. El conjunto conviene recubrirlo con mortero, de modo que las grapas queden protegidas de la corrosión. [Ref. 20]

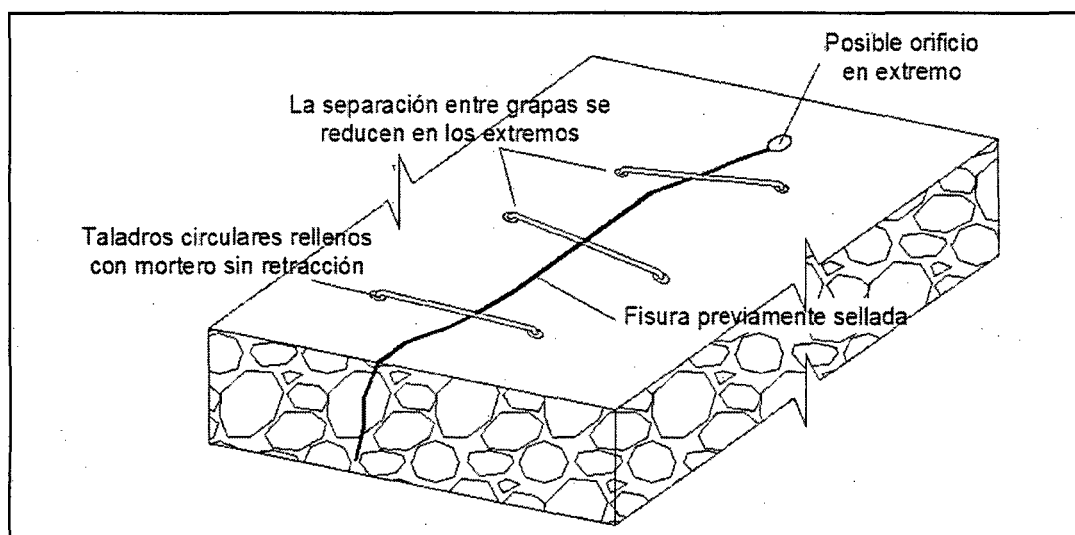


Fig. 4.5: Reparación de fisuras mediante grapado.  
(Del Rio Bueno, Alfonso; 2005)

#### 4.2.1.4 Cosido con bandas de fibra.

La banda es una resina, generalmente a base de fibra de carbono, esta técnica se puede usar alternativamente al grapado de una fisura puede llevarse a cabo el cosido de la misma disponiendo bandas de tejido de fibra de carbono transversalmente a ella a intervalos regulares (Figura 4.6).

Para ello, después de reparar y sellar la fisura, y de sanear y limpiar la superficie del muro, se impregna ésta con resina epóxy fluida en las zonas donde se van a disponer las bandas. Una vez extendidas éstas, se impregnan nuevamente con resina.

El resultado es similar al producido con el grapado convencional, si bien con las bandas de tejido de fibra de carbono el efecto de cosido se extiende sobre una

superficie mayor alrededor de la fisura. La colocación de éstas bandas es generalmente mucho más fácil constructivamente que efectuar correctamente un grapado convencional, razón por la cual esta técnica se está generalizando. [Ref. 20]

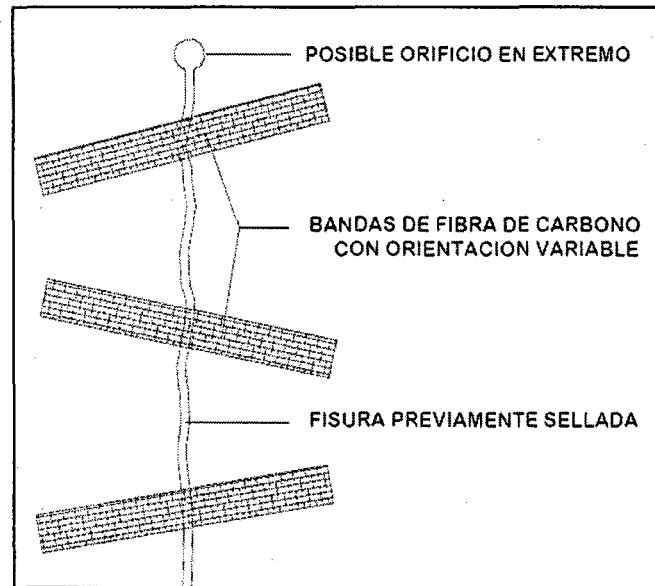


Fig. 4.6: Reparación de fisuras mediante cosido con bandas.  
(Del Rio Bueno, Alfonso; 2005)

#### 4.2.1.5 Aplicación de esfuerzos externos

La fisuración del concreto se debe a tensiones de tracción; cesa si estas tensiones desaparecen. Las fisuras también pueden cerrarse creando un esfuerzo de compresión superior al de tracción, lo que permite una compresión residual.

La fuerza de compresión se aplica por medio de barras, pernos o cables como los utilizados para las operaciones de pretensado. Este principio es muy parecido al de grapado, por lo que hay que tener en cuenta los problemas señalados.

Además hay que encontrar los puntos de anclaje para los cables pernos o barras pretensadas, los tipos de apoyo son muy importantes para este tipo de reparación así como el apoyo atornillado sobre la superficie del concreto (Figura 4.7). [Ref. 33]

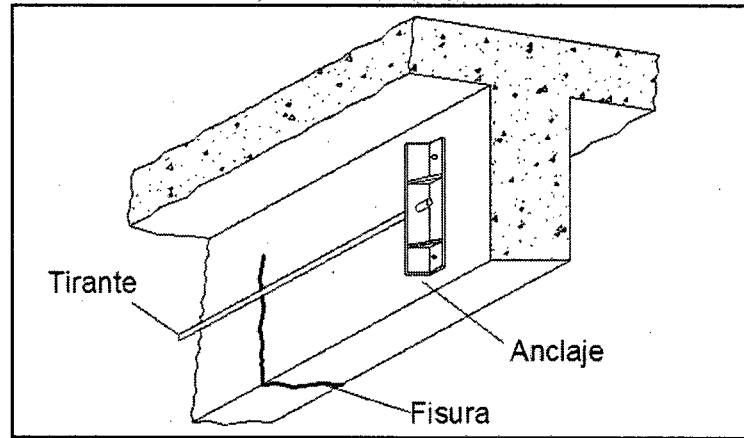


Fig. 4.7: Reparación de fisuras en una viga con tirantes.  
(Jonson Sidney, M.; 1973)

Los cables pueden atravesar algunos elementos adyacentes y anclarse a ellos así como en la Figura 4.8. [Ref. 33]

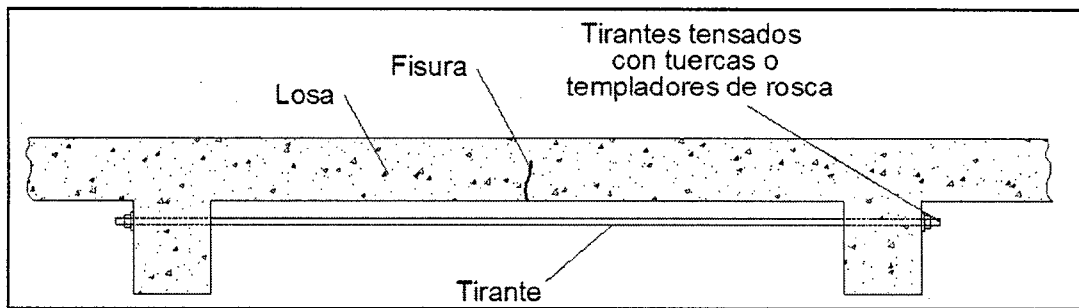


Fig. 4.8: Reparación de fisuras en una losa con tirantes.  
(Johnson Sidney, M.; 1973)

#### 4.2.1.6 Revestimientos

Los revestimientos pueden utilizarse también para reparar fisuras, y son particularmente convenientes cuando hay gran número de ellas, y sería costoso repararlas. [Ref. 33]

Para la elección de uno u otro tipo de recubrimiento es básico conocer el grado de actividad de las fisuras. Si las mismas están ya estabilizadas, casi cualquier revestimiento es válido con tal que adhiera bien, y resista las acciones a que pueda estar sometida la superficie en cuestión (tráfico, rozamiento, etc.). Si, por el contrario, las fisuras son activas, el revestimiento debe además ser extensible. [Ref. 20]

#### 4.2.1.7 Cicatrización

Se llama cicatrización a la facultad que tiene el concreto de reparar sus fisuras por sí misma; este fenómeno se conoce desde hace algún tiempo, y ha permitido la obturación de fisuras estabilizadas (fisuras debidas a errores de ejecución o a retracción). [Ref. 33]

La no intervención puede ser la mejor actitud, siempre que no existan condicionantes estéticos y se pueda controlar la evolución del problema. La suciedad, el polvo, y cierta recristalización debida a reacciones de carbonatación de los óxidos e hidróxidos de calcio contenidos en el cemento, pueden colmatar la fisuras e incluso recuperar parcialmente la resistencia a tracción perdida. [Ref. 20]

#### 4.2.2 Reparación de concreto disgregado

La disgregación va comúnmente unida a pérdidas considerables de sección, o a problemas de corrosión de armaduras, que afectan considerablemente a la resistencia de la estructura. En consecuencia, muchas de las reparaciones de este tipo exigen ser realizadas con urgencia.

Las técnicas de reparación son muy variadas, pero casi todas siguen el mismo esquema de actuación: eliminación del material deteriorado, preparación de las superficies de actuación, recubrimiento (utilizando el material y sistema que corresponda) y, en su caso, disposición de un revestimiento de protección. A continuación se analizan los principales aspectos de cada una de esas etapas de la intervención. [Ref. 20]

##### 4.2.2.1 Eliminación del elemento deteriorado

El primer paso de reparación, es la eliminación del material deteriorado. Todo concreto dañado, poroso, sucio, o simplemente sospechoso, debe ser retirado. De otro modo, tanto la adherencia entre el material de reparación y el original, como la durabilidad de la intervención pueden quedar comprometidas. En ocasiones, la reducción de sección que produce la eliminación de material, exige usar de medidas especiales de seguridad, como el apuntalamiento o apeo de la zona afectada.

Muchas veces el problema en esta primera etapa es determinar con cierta precisión la cantidad de material a destruir. En situaciones dudosas, a menudo se aplica el criterio de que todo concreto difícil de levantar está sano. Esta regla, aunque generalmente da buenos resultados, tiene sus excepciones y no conviene olvidar que, en caso de duda, resulta más seguro eliminar que conservar.

Muy comúnmente, la zona de concreto deteriorado coincide sensiblemente con el recubrimiento. Así sucede, entre otros, en los casos derivados de corrosión de armaduras. En estas circunstancias, generalmente conviene continuar el picado hasta dejar completamente al descubierto las armaduras. [Ref. 20]

#### 4.2.2.2 Preparación del elemento a reparar

El elemento a reparar y las superficies de contacto, deben tratarse adecuadamente a fin de maximizar la adherencia de la reparación y de evitar nuevos ataques al concreto y a la armadura.

El vaciado debe terminarse procurando secciones adecuadas para el primero de los fines señalados. En caso de parcheos, con superficies de actuación pequeñas, los resultados son excelentes con vaciados en forma de "cola de milano" (Figura 4.9.a). En actuaciones sobre grandes superficies la medida anterior pierde sentido y los bordes se terminan perpendicularmente a la cara exterior (Figura 4.9.b).

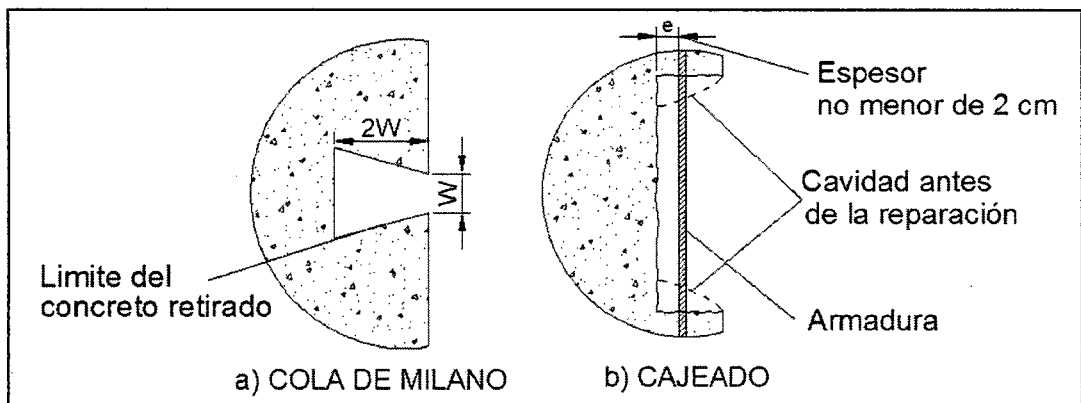


Fig. 4. 9: Preparación del vaciado.  
 (Johnson Sídney, M.; 1973)

Una vez efectuado el vaciado, la superficie de contacto debe limpiarse cuidadosamente antes de colocar el material de reparación. Previo lavado con agua, el método más adecuado resulta ser el chorro de arena. De no ser factible, se puede optar por el cepillado con púas metálicas, decapando previamente con ácido clorhídrico o productos adecuados.

Las armaduras descubiertas deberán limpiarse igualmente de manera que no quede ningún resto de óxido, grasa o suciedad. Gran parte de esta tarea puede realizarla el chorro de arena aplicado para tratar el concreto. Sin embargo, la limpieza de la cara interior de las armaduras, normalmente, debe ser complementada con cepillo.

La operación finaliza con un nuevo lavado y la saturación total de la superficie a tratar (para este fin puede también recubrir con telas empapadas).

Para la mayor parte de las técnicas de recubrimiento (concreto convencional, morteros convencionales no proyectados o resina epóxy), conviene terminar la operación anterior extendiendo una finísima capa de (2 ó 3 mm) sobre la superficie a tratar. En tal caso, el material de reparación debe colocarse inmediatamente después.

Si la pérdida de sección del acero de refuerzo es inferior al 15% puede no ser necesario restaurar la capacidad nominal del acero puesto que no se teme la existencia de problemas estructurales; en caso contrario se debería recalcular la estructura o restaurar la capacidad inicial del acero. La restauración inicial de las armaduras consiste en dos formas, las cuales son: [Ref. 20] y [Ref. 33]

#### a) Empalmes por traslape

Es la técnica que se usa en la unión de barras de acero ya sean para reponer la sección perdida del acero (Figura 4.10) o por el reemplazo de toda una sección de acero deteriorado (Figura 4.11). [Ref. 33]

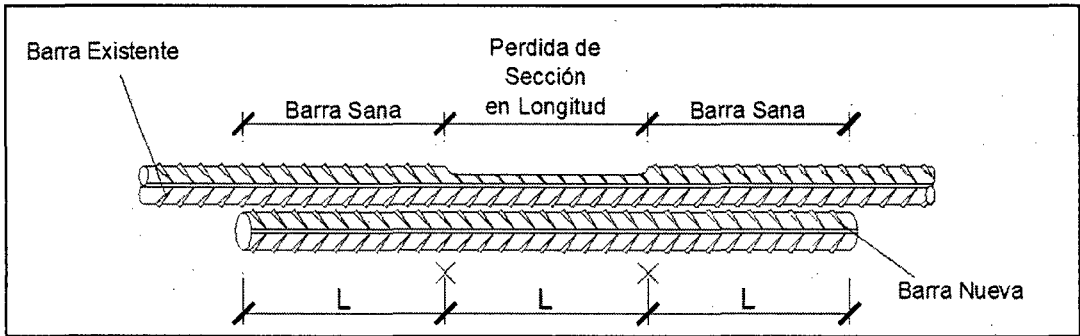


Fig. 4.10: Reponiendo la sección perdida.  
(Paulo Helene, Fernanda; 2003)

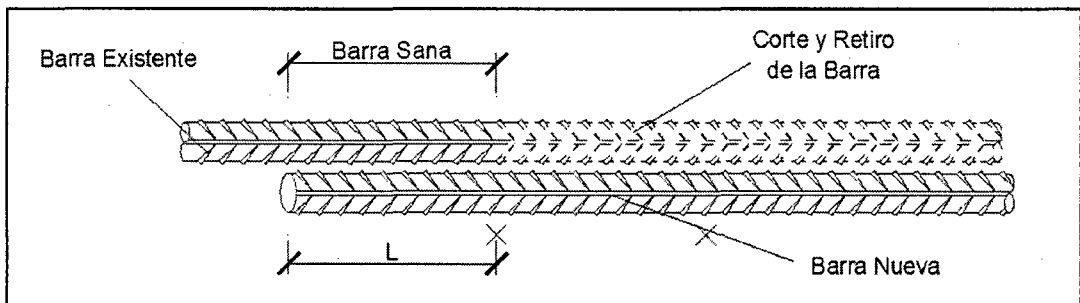


Fig. 4.11: Reemplazo de toda la sección.  
(Paulo Helene, Fernanda; 2003)

b) Empalme por soldadura

Esta técnica también se usa en la unión de barras de acero ya sean para reponer su sección perdida (Figura 4.12) o por el reemplazo de toda su sección deteriorado (Figura 4.13). [Ref. 33]

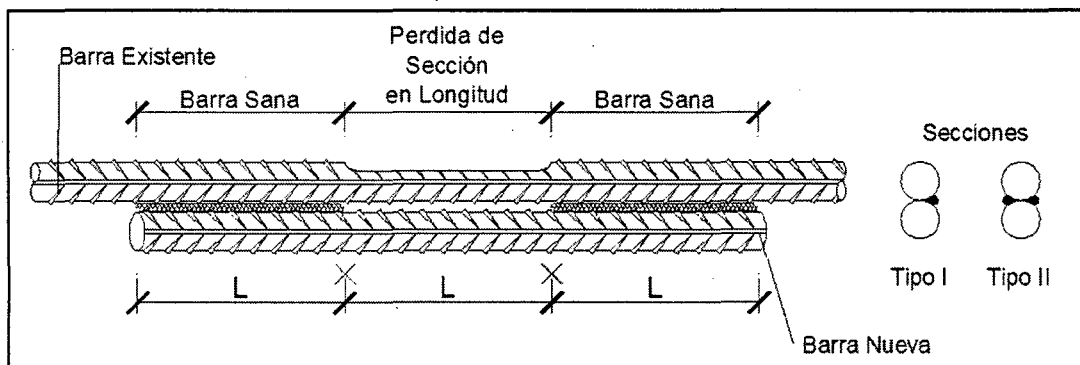


Fig. 4.12: Reponiendo la sección perdida.  
(Paulo Helene, Fernanda; 2003)



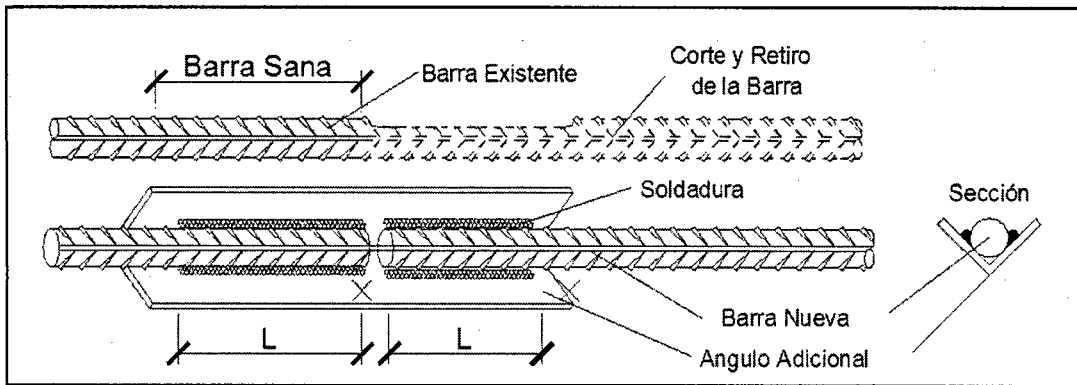


Fig. 4.13: Reemplazo de toda la sección.  
(Paulo Helene, Fernanda; 2003)

#### 4.2.2.3 Colocación o recubrimiento del material de reparación

*Son muchos los materiales y las técnicas de reparación utilizables para sustituir el concreto deteriorado que ha sido eliminado. A continuación en la descripción de los aspectos más señalados de las técnicas de reparación más usuales son:*

[Ref. 20]

##### a) Colocación con encofrado

Esta técnica se utiliza en la reparación de elementos verticales como columnas y en horizontales como vigas, aunque también se aplica en otros casos. Consiste en recubrir la parte del vaciado, recuperando su dimensión original o incluso recreándolo. Para ello se dispone un encofrado que podrá ser de madera, hierro forjado, chapa, concreto prefabricado u otros materiales, según las necesidades y disponibilidades. Este encofrado debe estudiarse con los correspondientes separadores que garanticen una distancia correcta y permanente con la superficie de la pieza original. Asimismo, que sea posible su fácil desmontaje y montaje para inspeccionar el estado de los trabajos.

Existen varios tipos de encofrados dependiendo del tipo de colocación del material, uno de los tipos más empleados son encofrados con corona, estas se usan cuando el material de reparación es vaciado (Figura 4.14). [Ref. 20]

- Vertido de concreto o mortero convencional

La sustitución del concreto deteriorado por otro nuevo de tipo convencional probablemente es un buen método en términos de resistencia y durabilidad. Sin

*EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO EQUIPOS Y MÉTODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS*

embargo para su aplicación se exigen ciertas condiciones: la reparación debe ser fácilmente accesible; el espesor mínimo ha de ser tal que permita la colocación de concreto convencional (8 ó 10 cm); no deben existir dificultades que impidan la perfecta penetración del concreto; la intervención debe sobrepasar las armaduras (Figura 4.14) o, de lo contrario, se debe armar el nuevo concreto, conectando sus armaduras con las originales; el volumen de la reparación debe ser de cierta entidad para que económicamente compense.

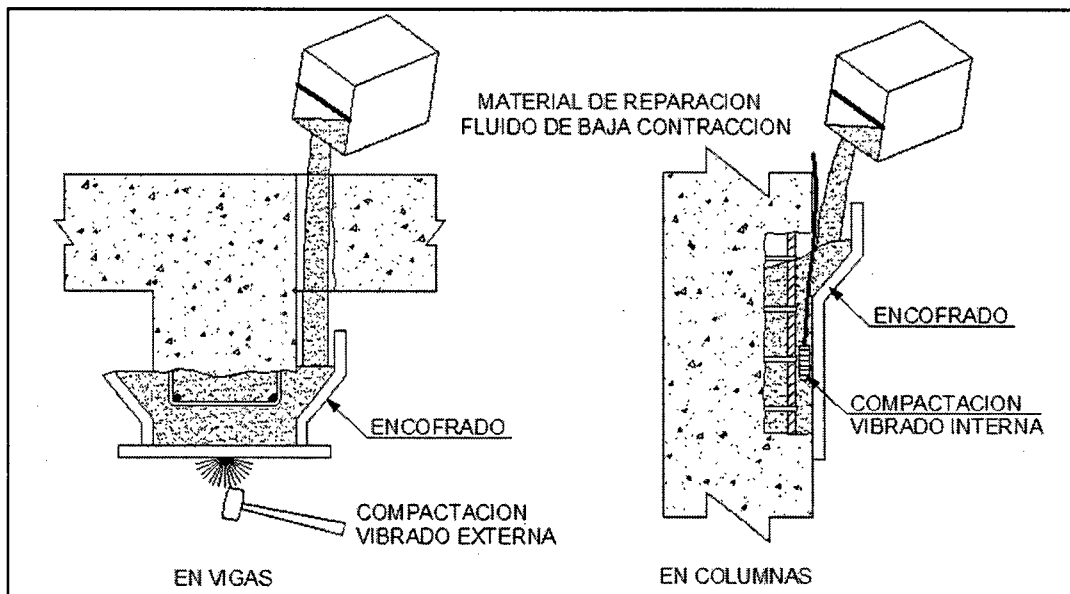


Fig. 4.14: Encofrado con corona para vaciado.  
(Paulo Helene, Fernanda; 2003)

De no darse alguna de las condiciones anteriores, probablemente alguno de los métodos que ya se mencionaron sean los más adecuados, las cuales son: <sup>[Ref. 20]</sup>

- Mortero predosificado
- Concretos y morteros expansivos o sin retracción.
- Concretos y morteros modificados con polímeros.
  
- Empaquetamiento de mortero seco

El mortero seco, como su nombre indica, es un mortero de baja relación agua/cemento que se aplica por métodos manuales y se compacta ejerciendo presión durante su colocación. El bajo contenido en agua disminuye la

retracción, consiguiéndose buena adherencia, resistencia, estanqueidad y durabilidad.

Con la práctica habitual, la relación arena/cemento debe oscilar entre 2.5 ó 3, siendo preferible la utilización de arena fina (tamiz 16). El contenido de agua debe ser el mínimo para su trabajabilidad. La colocación se lleva a cabo extendiendo en capas de, aproximadamente, un centímetro. Cada capa se compacta, por ejemplo, con una madera golpeada con un mazo y se araña para aumentar su rugosidad y favorecer la adherencia de la siguiente. En caso de utilizarse para tapar agujeros, éstos se deben llenar hasta el borde, compactando luego golpeando con una madera, (Figura 4.15). [Ref. 20]

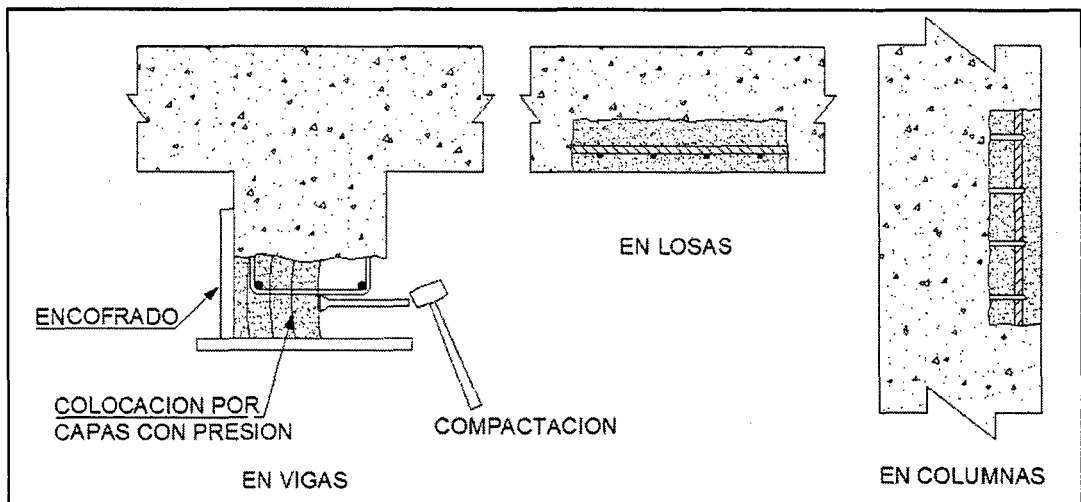


Fig. 4.15: Mortero seco.  
(Paulo Helene, Fernanda; 2003)

- Bombeo o inyección de lechada

Es un método ampliamente utilizado, especialmente en intervenciones de poco volumen en las que pueda admitirse cierta retracción. Permite espesores relativamente reducidos y presenta la ventaja de no requerir una mano de obra muy especializada para su puesta en obra. La relación arena/cemento debe mantenerse entre 2 y 3, con valores inferiores cuanto menor sea la superficie a tratar. El encofrado del bombeado o inyección de la lechada dentro de la cavidad a reparar donde está completamente confinada. Este encofrado debe prever la instalación de tubos de ingreso del material y de ventilación o respiraderos, así como de válvulas o dispositivos de cierre, (Figura 4.16). [Ref. 20]

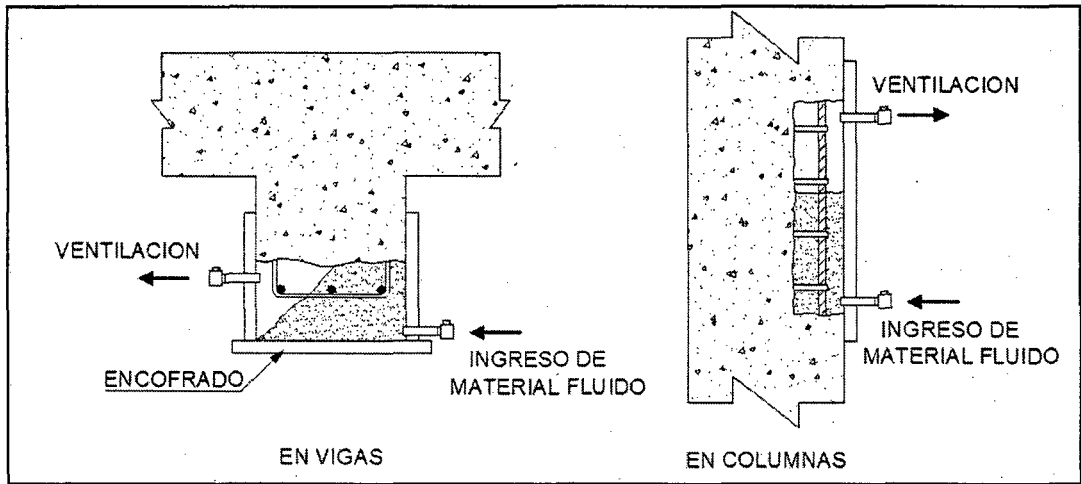


Fig. 4.16: Encofrado para bombeo.  
(Paulo Helene, Fernanda; 2003)

- Concreto Precolado o Grouting

Es un método de colocación de dos pasos, e prepara rellenando los encofrados de áridos gruesos e inyectando posteriormente, de abajo a arriba, concreto líquido o lechada (Grout). Se emplea principalmente en reparaciones profundas de superficie verticales.

En el encofrado debe confinar totalmente la cavidad a reparar, se debe proveer el acceso del grout en la cavidad y la eliminación de burbujas de aire mediante la instalación de tubos roscados y válvulas (Figura 4.17).

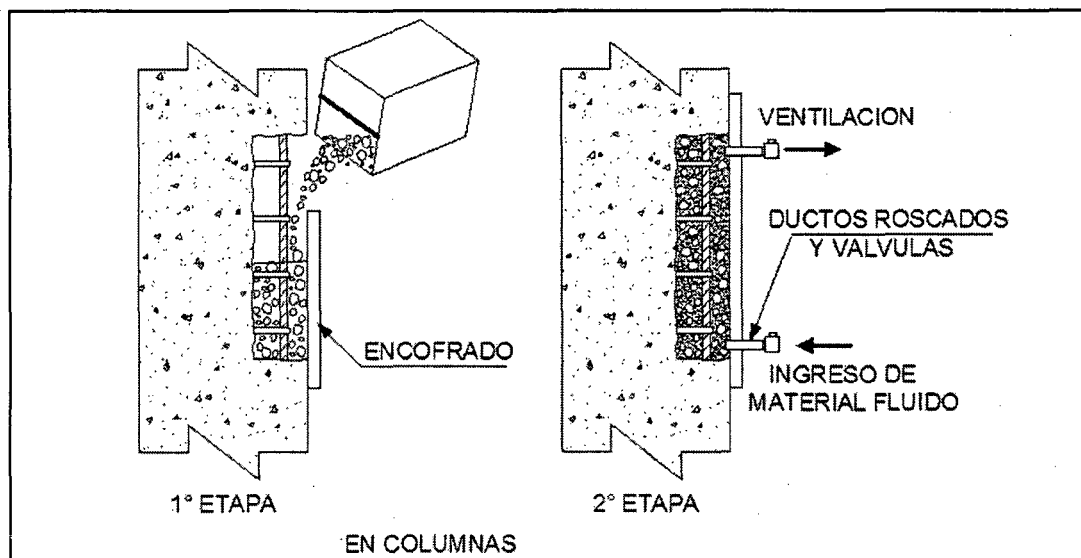


Fig. 4.17: Concreto precolado o grouting.  
(Paulo Helene, Fernanda; 2003)

La colocación del material empieza con la colocación del agregado grueso, previamente lavado, dentro de la cavidad hasta tener una relación de vacíos del orden del 40 a 50%, luego al bombo del grout muy fluido, desde el punto más bajo, llenando los espacios entre agregados en un proceso progresivo hasta llenar toda la cavidad. [Ref. 28]

b) Recubrimiento con mortero o concreto proyectado.

Es una técnica habitual en la reparación de superficies de concreto, verticales, horizontales o inclinadas, cuyo deterioro sea general (Figura 4.18).

Debidamente ejecutado, el sistema proporciona mezclas de elevada resistencia, y una buena adherencia con el material original. Permite conseguir revestimientos de poco espesor (de 3 a 10 cm), pudiéndose ejecutar grandes superficies en poco tiempo. Presenta, sin embargo algunos graves inconvenientes.

- Su aspecto estético es deficiente, muy rugoso y poco uniforme. Cuando se encuentre completamente endurecido se puede proceder a la aplicación de tratamientos de acabado.
- La pérdida de arena por rebote (a veces un 25 %), por tanto no es despreciable y debe tenerse en cuenta en la dosificación.
- El producto es poroso y, por ello, poco durable e ineficaz para proteger las armaduras frente a la corrosión.
- La retracción es considerable, lo que provoca fisuración y disminuye la adherencia. Para contrarrestar estos efectos, la superficie de aplicación debe ser muy rugosa, debiéndose además disponer una malla debidamente anclado en el material original.

A pesar de los problemas mencionados, el concreto proyectado es una técnica ampliamente utilizada y de muchas aplicaciones en la protección, reparación y refuerzo no sólo de estructuras de concreto sino también de muros de diferentes fábricas, estructuras de madera y metálicas. Existen dos métodos dos métodos de concreto lanzado. [Ref. 20]

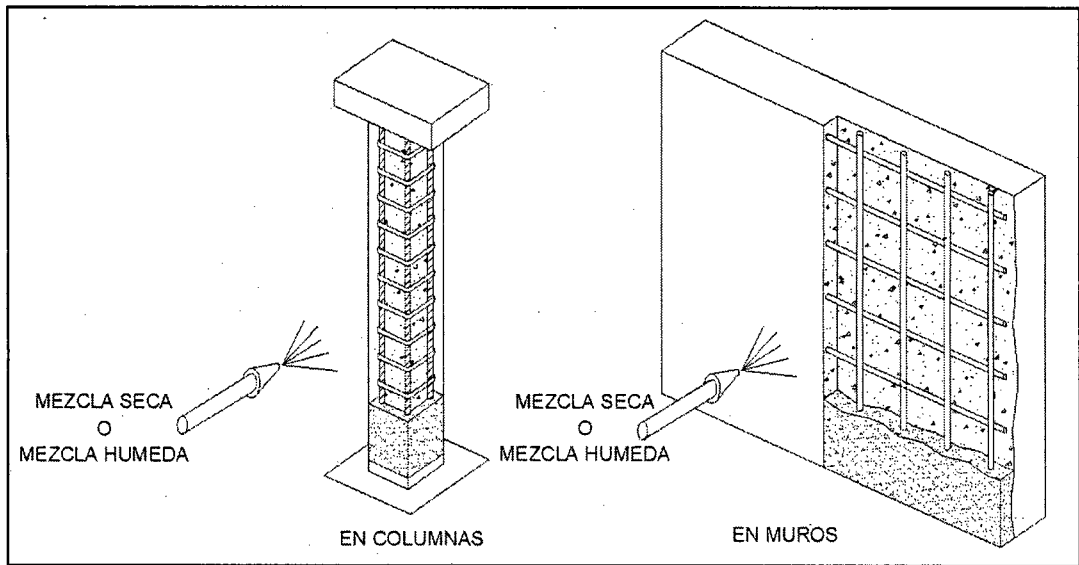


Fig. 4.18: Mortero o concreto proyectado.  
(Paulo Helene, Fernanda; 2003)

#### - Concreto proyectado vía seca

Este método comprende el premezclado y transporte del aglomerante y los agregados en seco (fibras u otras adiciones), la mezcla con agua en la boquilla y el lanzamiento del producto final sobre el sustrato preparado.

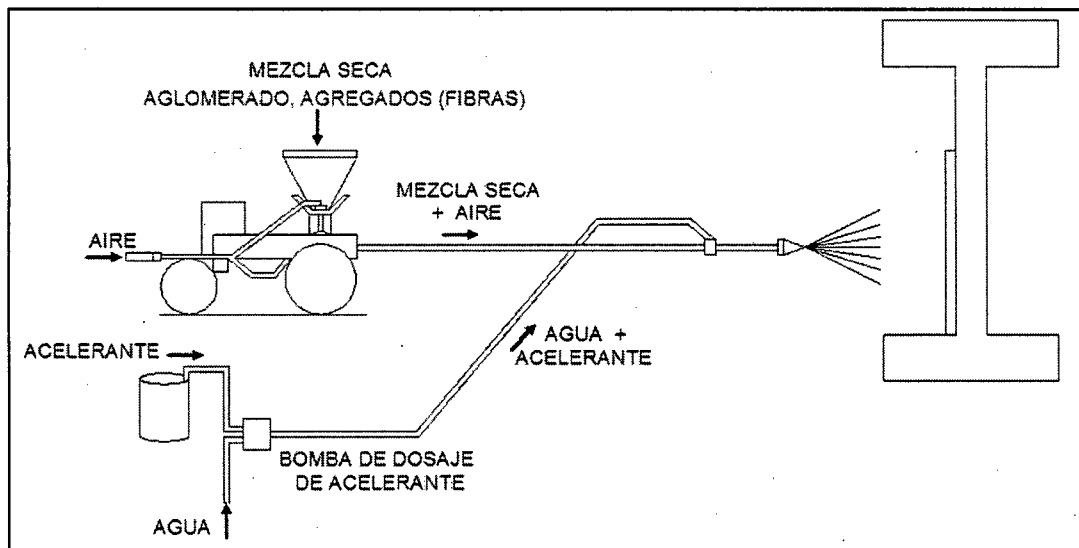


Fig. 4.19: Concreto proyectado vía seca.  
(Paulo Helene, Fernanda; 2003)

Este concreto o mortero requiere de aditivos para mejorar la trabajabilidad y performance del concreto lanzado; ejemplo, el sílice fume y el Metacaulim

mejora las propiedades de adhesión y cohesión del concreto permitiendo la colocación de mayores espesores, incrementa la resistencia a la flexión y compresión, así como la durabilidad frente al ataque químico y efecto hielo-deshielo. [Ref. 28]

– **Concreto proyectado vía húmeda**

Este método comprende: el premezclado y transporte de todos los materiales; aglomerante, agregados, aditivos y agua, el ingreso del acelerante en la boquilla (si fuera necesario) y la propulsión del producto final sobre el sustrato.

El concreto o mortero requiere del uso de aditivos; ejemplo: el sílica fume y las fibras mejoran la durabilidad. [Ref. 28]

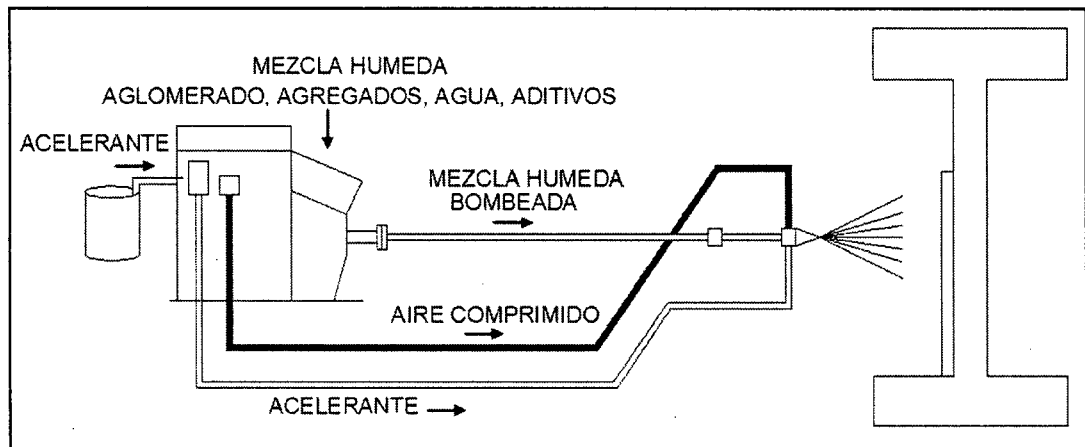


Fig. 4.20: Concreto proyectado vía húmeda.  
(Paulo Helene, Fernanda; 2003)

c) Recubrimiento con mortero por parcheo

Es un revestimiento que se hace a base de mortero de cemento y arena. Su aplicación se realiza con llana, extendiendo dos o más capas de 5 a 10 mm cada una. La dosificación de cada capa debe ser diferente pasando de una relación arena/cemento 2 en la primera capa hasta 3 en la última, (Figura 4.21).

El sistema tiene un espesor limitado (de 2 a 4 cm) por lo que su uso es particularmente aconsejable en reparaciones poco profundas o intervenciones de protección, sobre todo si afectan a superficies reducidas.

Un caso límite de enfoscado es el realizado con lechada de cemento y arena, o de cemento puro. Dado su mínimo espesor (2 ó 3 mm), suele emplearse como protección superficial o como acabado de otro sistema de reparación. En la lechada se pueden disolver impermeabilizantes y colorantes. [Ref. 20]

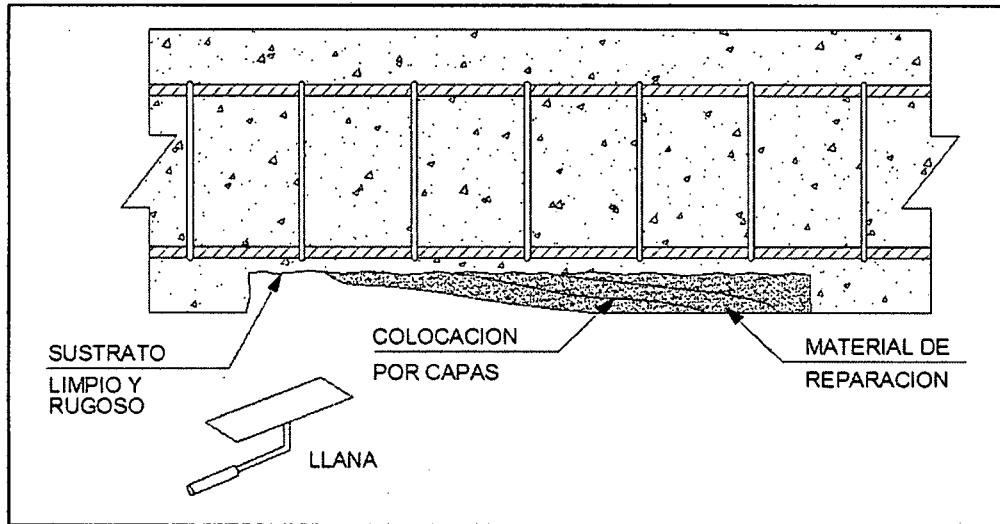


Fig. 4.21: Parcheo con mortero.  
(Paulo Helene, Fernanda; 2003)

#### 4.2.2.4 Tratamientos superficiales de protección

La utilización de revestimientos protectores adecuados permite reducir el ataque de agentes agresivos y, por tanto, aumentar la durabilidad de la obra. Su uso puede efectuarse a título preventivo (concretos no muy bien ejecutados o particularmente expuestos), como terapia ante pequeños deterioros superficiales, o como fase final de una rehabilitación de mayor envergadura. La principal precaución a adoptar es evitar que su aplicación provoque la retención de agua ya absorbida por el concreto o que pueda entrar por zonas porosas no tratados. En esas condiciones el revestimiento podría tener un efecto claramente perjudicial.

Existe gran cantidad de productos en el mercado, muchos de ellos a precios razonables. Por su uso tradicional y generalizado se pueden destacar los aceites, siliconas, y las resinas epóxy. [Ref. 20]



### 4.3 PROCESO DE REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

Dentro de las intervenciones de rehabilitación, las de refuerzo son sin duda las que presentan una mayor complejidad, tanto a nivel de diseño como de cálculo y ejecución. La principal razón de ello deriva del incremento de la capacidad resistente original que las caracteriza.

A continuación se describirá superficialmente algunos sistemas usuales de refuerzo de estructuras de concreto armado. Las diferencias formales y de sollicitación entre los elementos estructurales básicos de la edificación convencional (losas, vigas y columnas), aconsejan estudiar separadamente los sistemas de refuerzo aplicables a cada uno de ellos. [Ref. 20]

#### 4.3.1 Reforzamiento de losas aligeradas

Los métodos de reforzamiento varían desde el punto de vista técnico, económico y tiempo de ejecución. Para ello vamos a exponer algunos métodos de reforzamiento de las losas aligeradas.

Para un análisis más racional, al tratar los sistemas de refuerzo de losas, pueden distinguirse dos grandes tipos de actuaciones: aquellas tendentes a incrementar la capacidad flectora y aquellas destinadas a mejorar la resistencia a cortante (o rasante). Lógicamente, ambos campos no presentan una frontera clara, existiendo sistemas que actúan simultáneamente en ambos sentidos. [Ref. 20]

##### 4.3.1.1 Refuerzos mediante recrecido superior

Esta técnica de refuerzo resulta particularmente efectivo en el caso de losas de varios tramos continuos ya que incrementa notablemente la capacidad flectora de "negativos" al poderse introducir armadura adicional en la cara superior (Figura. 4.22). La actuación también mejora la resistencia frente a momentos positivos, al incrementarse el brazo mecánico de la armadura existente en la cara inferior. Como contraparte, es evidente que también aumenta considerablemente el peso de la losa, lo que afecta no sólo a éste sino también a las correspondientes vigas y columnas. El espesor de recrecido usualmente es de 4 a 8 cm. En el proceso del reforzamiento considerar la limpieza de la superficie del concreto existente (eliminación total de la tabiquería) y el

tratamiento adecuado de la unión (puente de adherencia epóxica) concreto existente con el nuevo. [Ref. 21]

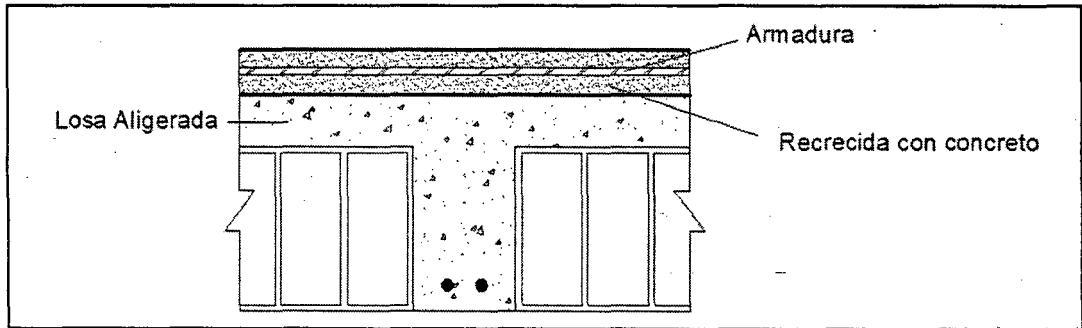


Fig. 4.22: Refuerzo de losas aligeradas mediante recrecido superior.  
(Del Rio Bueno, Alfonso; 2005)

#### 4.3.1.2 Refuerzos mediante recrecido inferior

El recrecido inferior de losas y especialmente de losas aligeradas es un sistema actualmente en fase de investigación, con un limitado número de realizaciones (Figura 4.23). En principio, el sistema es lógicamente muy eficaz en losas aligeradas isostáticas o en tramos con reducidos momentos negativos, ya que al introducirse armadura adicional en la cara inferior de la losa aligerada se incrementa su capacidad flectora frente a momentos positivos. También presenta la ventaja de no exigir la total demolición de la tabiquería. El espesor de recrecido usualmente es de 4 a 8 cm.

El recrecido inferior puede realizarse bien proyectando concreto o bien extendiendo mortero, siempre previa colocación de la armadura adicional. En ambos casos resulta conveniente disponer un adhesivo de mediana potencia, como látex o preferiblemente resina epóxica, en la superficie de contacto. [Ref. 20]

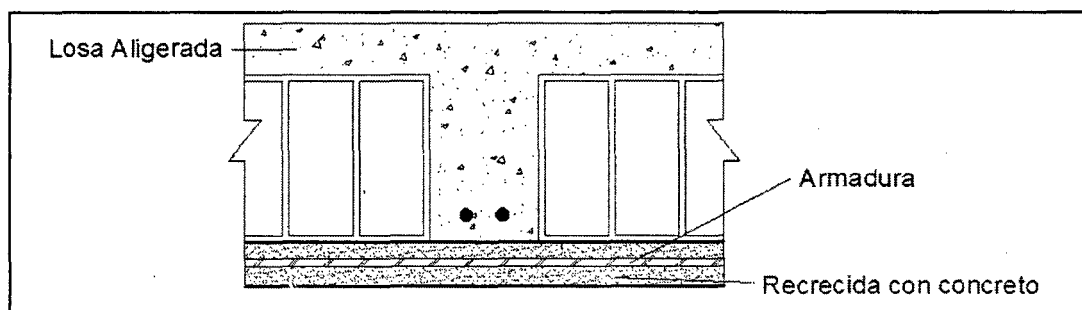


Fig. 4.23: Refuerzo de losas aligeradas mediante recrecido inferior.  
(Del Rio Bueno, Alfonso; 2005)

#### 4.3.1.3 Refuerzo mediante láminas de acero

Sistema para el refuerzo a flexión consiste en el encolado de platinas de acero mediante adhesivos epóxy. Este sistema está indicado en losas aligeradas isostáticas, (Figura 4.24).

En este sistema, la transferencia tangencial de esfuerzos se concentra en superficies reducidas por lo que puede resultar algo más problemática. No obstante, dada la gran potencia de los adhesivos epoxícos y al hecho de que en general bastan espesores muy reducidos en las laminas de refuerzo (2 - 5 mm), este fenómeno no suele resultar crítico. En ciertos casos, existe la posibilidad de llevar la banda hasta los extremos y disponer adicionalmente en ellos elementos metálicos de conexión, anclados preferiblemente en la viga de apoyo. [Ref. 20]

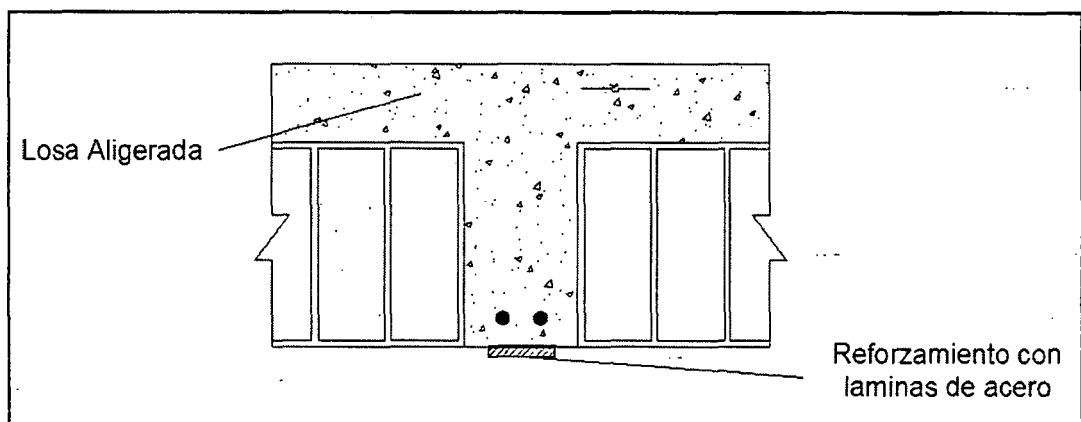


Fig. 4.24: Refuerzo de la viga mediante laminas de acero.  
(Del Rio Bueno, Alfonso; 2005)

#### 4.3.1.4 Refuerzo mediante laminas de fibra de carbono

El refuerzo de una losa aligerada mediante la adhesión externa de armadura de tracción adicional puede llevarse con láminas de fibra de carbono (Figura 4.25).

De hecho, la mayor ligereza y facilidad de montaje de los refuerzos con fibra de carbono hace que este último sistema vaya progresivamente imponiéndose. [Ref. 20]

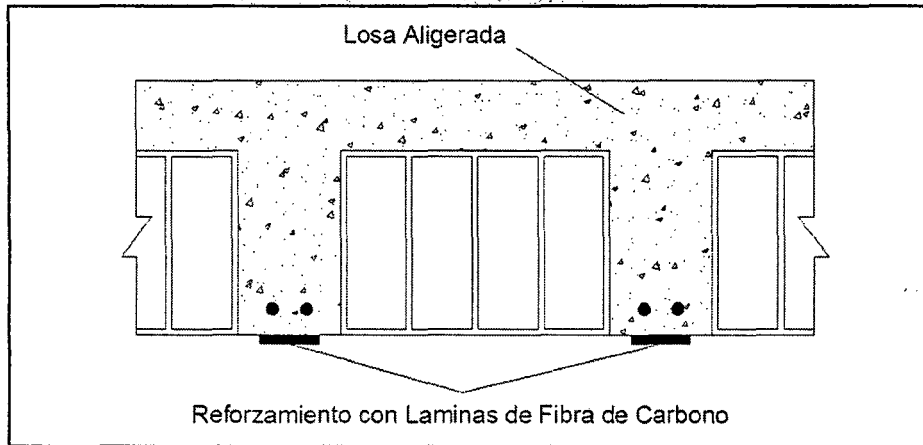


Fig. 4.25: Reforzamiento de las viguetas mediante fibra de carbono.  
(Del Rio Bueno, Alfonso; 2005)

Para el refuerzo de una losa aligerada a flexión positiva o negativa pueden utilizarse tanto laminados preconformados (Figura 4.26.a), como tejido impregnado "in situ" (Figura 4.26.b). Este último es recomendable en caso de superficies con cierta irregularidad o en el caso de losas reticulares, dada su mayor adaptabilidad. [Ref. 20]

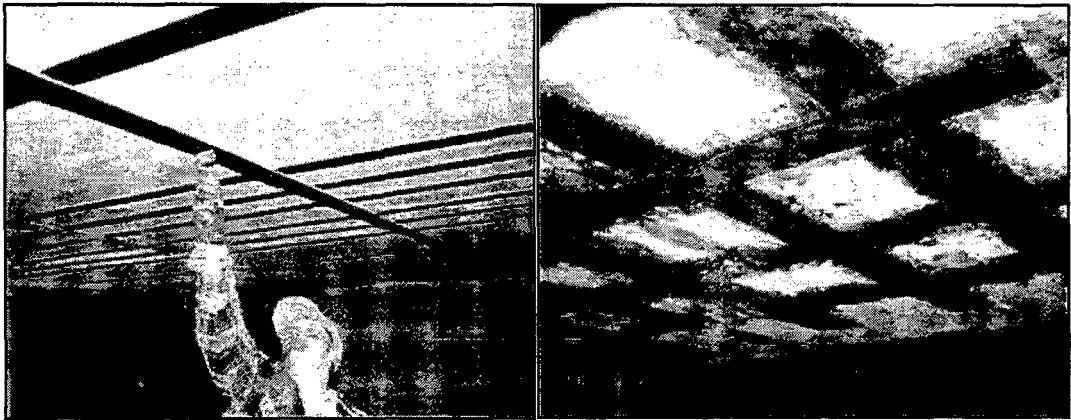


Fig. 4. 26: Refuerzo de losa aligerada mediante: a) laminados de fibra de carbono y  
b) tejido de fibra de carbono.  
(Sika.com.pe)

Conceptualmente los refuerzos con láminas de acero y con láminas de carbono son muy similares. En ambos casos es fundamental controlar la transferencia tangencial de esfuerzos y el no arrancamiento del refuerzo. Las siguientes recomendaciones son importantes al respecto:

- El concreto original debe tener una resistencia característica mínima de  $17 \text{ ó } 20 \text{ N/mm}^2$ .

- No debe aplicarse este tipo de refuerzos sobre soportes deteriorados o con fisuras importantes. (En tal caso es necesario reparar o sellar las fisuras previamente).
  - La superficie de concreto original debe nivelarse de acuerdo con las especificaciones del refuerzo, utilizándose para ello masillas niveladoras epóxy.
  - Es conveniente imprimir la superficie de contacto con una resina epóxica fluida, incrementándose así la resistencia superficial del concreto original.
- [Ref. 20]

### 4.3.2 Reforzamiento de vigas

El refuerzo de vigas exige generalmente importantes concentraciones de esfuerzos en determinadas zonas de la junta de contacto entre pieza original y refuerzo. Ello obliga a cuidar de modo especial los mecanismos de transferencia, e implica una mayor dificultad de análisis estructural. Como contrapartida, se trata de intervenciones menos extensas que, por tanto, afectan a menos elementos constructivos.

Resulta conveniente distinguir entre dos grandes grupos de refuerzos: aquellos básicamente destinados a incrementar capacidad flectora y aquellos cuyo fin primordial es mejorar la resistencia a cortante. Evidentemente la frontera entre unos y otros tipos de refuerzos no es siempre clara, existiendo sistemas que mejoran simultáneamente la resistencia a flexión y a cortante. [Ref. 20]

#### 4.3.2.1 Refuerzos mediante recrecido con concreto armado

Un método muy eficaz para el refuerzo a flexión consiste en recrecer la viga original mediante una sección adicional de concreto convenientemente armado. En función de la armadura adicional que se disponga, ello permite incrementar considerablemente la capacidad frente a flexión positiva.

El refuerzo mediante recrecido inferior es más efectivo en vigas peraltadas, ya que entonces es posible envolver la sección original tanto por la base como por los laterales, creando una camisa de concreto, en la que se aloja una armadura adicional longitudinal y transversal. De este modo, dependiendo de la proporción

de peralte, es posible no sólo incrementar la capacidad flectora sino también la resistencia a cortante.

En la Figura 4.30 se recogen diversas soluciones de refuerzo mediante recrecido con concreto armado. Así en la Figura 4.27.a se observa un refuerzo exclusivamente a flexión realizado recreciendo inferiormente la viga chata. Esta solución requiere la conexión directa de las armaduras longitudinales original y de refuerzo, para lo cual deben disponerse horquillas convenientemente soldadas a unas y otras. En la Figura 4.27.b se muestra una solución apta para vigas con peralte en la que esencialmente se consigue también un refuerzo a flexión, si bien se evita la necesidad de conectar directamente armaduras. Finalmente la Figura 4.27.c representa un sistema de refuerzo tanto a flexión como a cortante mediante el cual pueden alcanzarse considerables incrementos de resistencia.

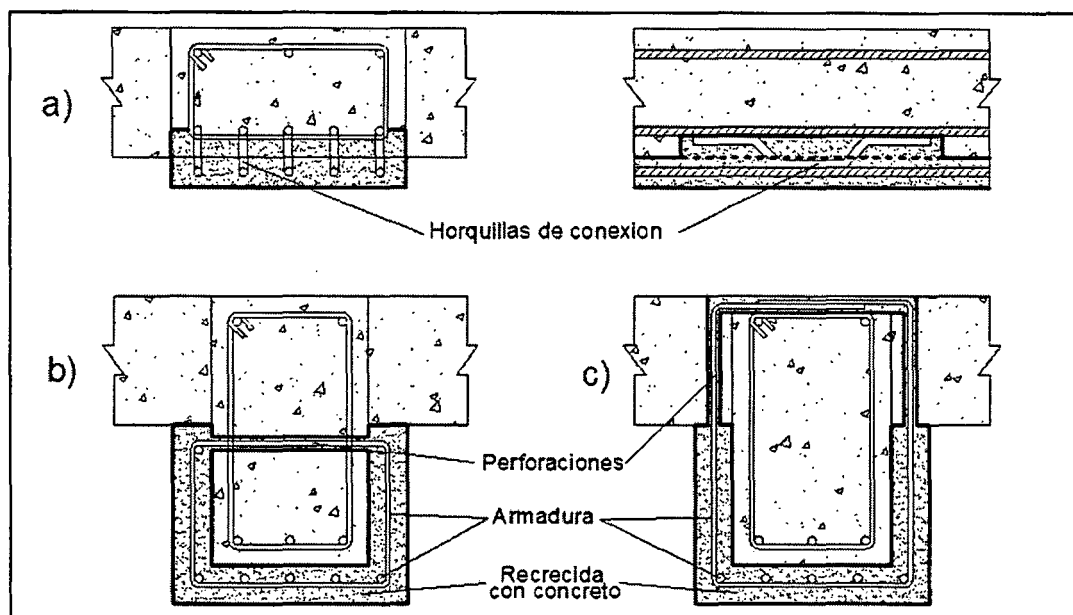


Fig. 4.27: Refuerzo de vigas mediante recrecido con concreto armado.  
(Del Rio Bueno, Alfonso; 2005)

A nivel constructivo, el concreto nuevo del encamisado presenta cierta complejidad. Una alternativa consiste en realizar taladros en la losa desde los que se inyecta el concreto. También es posible proyectar concreto. La dosificación debe ser muy cuidada, garantizando una buena adherencia con el material original. También es posible el recrecido con morteros específicos para el refuerzo y reparación, cada día más generalizados. [Ref. 20]

#### 4.3.2.2 Refuerzo mediante láminas de acero

Un sistema de refuerzo a flexión positiva consiste en la adherencia inferior de láminas de acero mediante adhesivos epoxídicos. Este sistema es aplicable en prácticamente todos los casos, tanto de vigas planas como peraltadas, al exigir espesores muy reducidos (Figura 4.28).

Esta técnica permite en vigas usuales de edificación incrementos de capacidad flectora.

En otro orden de cosas, cualquier refuerzo realizado mediante láminas de acero presenta un pésimo comportamiento frente a fuego. Por encima de 80 ó 100°C, la capacidad resistente de los adhesivos epóxy utilizada es prácticamente nula. Consecuentemente, deben adoptarse las correspondientes medidas de protección. [Ref. 20]

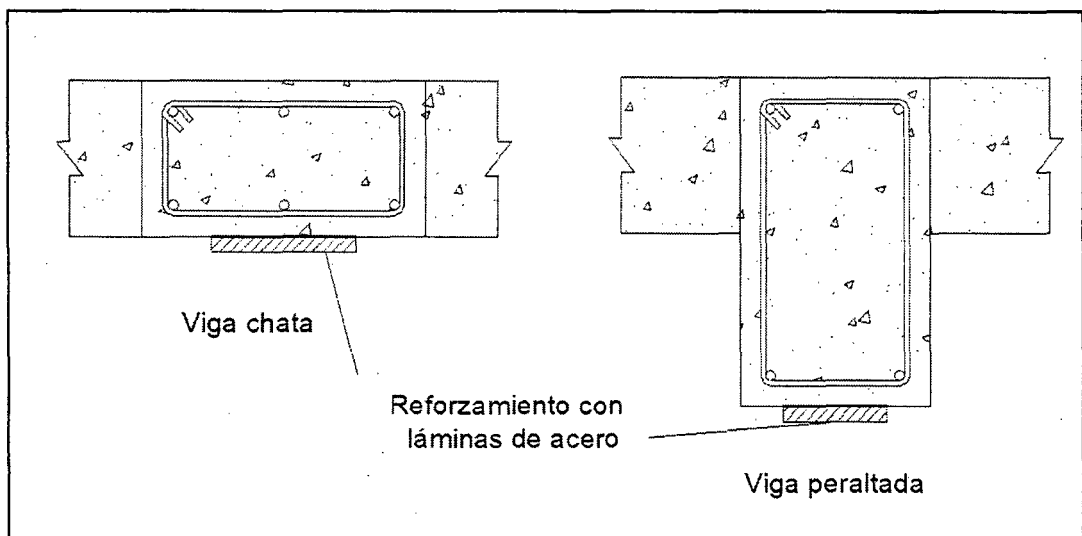


Fig. 4.28: Refuerzo a flexión mediante láminas de acero.  
(Del Rio Bueno, Alfonso; 2005)

#### 4.3.2.3 Refuerzos mediante láminas de fibra de carbono

El refuerzo a flexión de una viga de concreto armado puede reforzarse utilizando laminas compuestas de fibra de carbono. Para ello pueden utilizarse tanto laminados prefabricados como también tejido impregnado "in situ". En principio, esta última alternativa es preferible cuando la superficie de contacto es suficientemente amplia o cuando la misma presenta cierta irregularidad. [Ref. 20]

Las recomendaciones de diseño están basadas en los principios de los cálculos de estado límite último.

El procedimiento de la aplicación de las láminas es simple, se inicia con la limpieza de la superficie donde se tendrá que adherir la lámina de fibra de carbono con un adhesivo epóxico, luego aplicar este mismo sobre la lamina de fibra de carbono. Al final se coloca la lámina de fibra de carbono en la superficie de concreto y presionarla hasta q quede bien adherido, (Figura 4.29). [Ref. 23]

En otro orden de cosas, resulta fundamental insistir en la prácticamente nula resistencia a fuego de este tipo de refuerzos. En el que, el problema no radica sólo en el mal comportamiento del adhesivo, sino que es la propia lámina de refuerzo la que pierde su capacidad resistente a temperaturas muy bajas en términos de incendio. En consecuencia, en caso de que el refuerzo sea estrictamente necesario en caso de incendio, todo el conjunto debe protegerse adecuadamente mediante paneles o recubrimientos ignífugos. [Ref. 20]

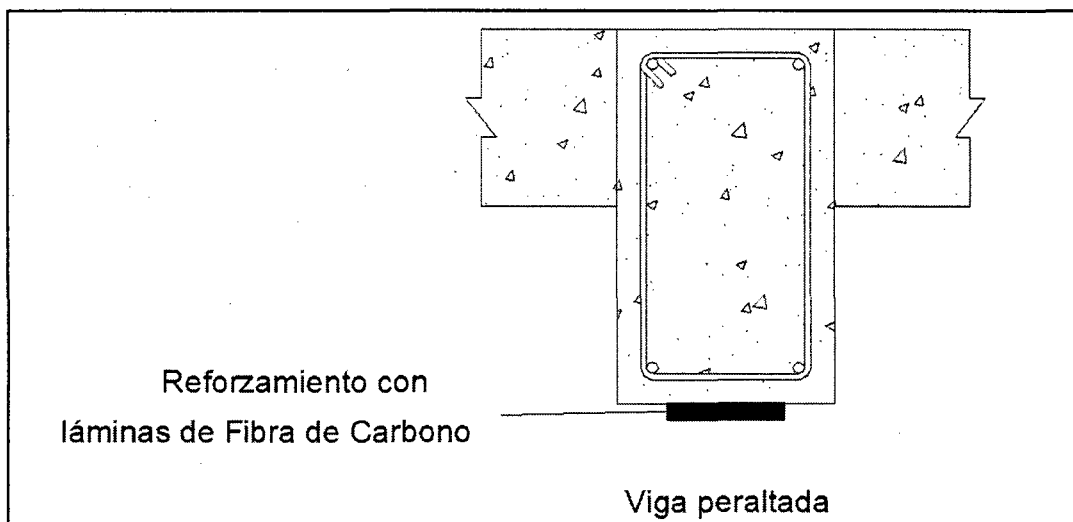


Fig. 4.29: Refuerzo de viga mediante láminas de fibra de carbono.  
(Del Rio Bueno, Alfonso; 2005)

#### 4.3.2.4 Refuerzo de vigas a cortante mediante fibras de carbono

El refuerzo a cortante utilizando materiales compuestos de fibra de carbono. La idea básica en este sentido es adherir tejido o laminados prefabricados de fibra de carbono envolviendo lo más posible la viga (al menos laterales y base), de modo que actúen como armadura transversal adicional.



Las configuraciones más comunes para utilizar las láminas de fibra de carbono son las presentadas en la Figura 4.30 en cambio para utilizar las laminas de fibra de carbono la más común es la envoltura en forma de U (Figura 4.30.b).

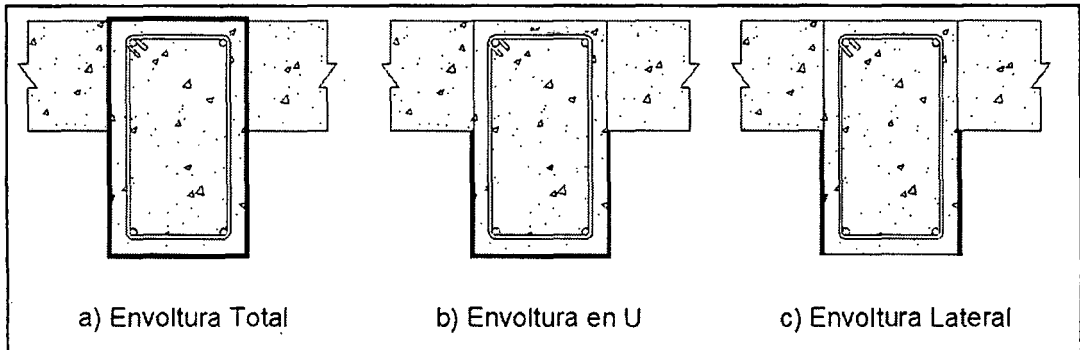


Fig. 4.30: Configuración posible a corte.  
(Del Río Bueno, Alfonso; 2005)

En caso de utilizar tejido impregnado "in situ", la adaptabilidad a la forma de la sección es relativamente fácil dadas las características del sistema. Tan sólo conviene recordar que para evitar una excesiva concentración de tensiones es conveniente redondear o achaflanar las esquinas con radios mínimos de 20 ó 30 mm. Este sistema requiere una mayor superficie de actuación, por lo que los problemas de adherencia y transferencia de esfuerzos son menores. Sin embargo, en caso de vigas con laterales sólo parcialmente accesibles, conseguir que el tejido envuelva la armadura de tracción y se ancle suficientemente en el concreto comprimido puede ser complejo. En caso de utilizar laminados prefabricados, los mismos deben venir ya doblados para poderse adaptar a la forma de la sección. Los principales fabricantes elaboran laminados prefabricados específicos para refuerzos a cortante, adaptables a las formas y dimensiones usuales. Este sistema supone una actuación superficialmente menos extensa. Por ello los problemas de adherencia pueden ser algo mayores, aunque como contrapartida la continuidad del refuerzo alrededor de la viga es menos laboriosa.

En la Figura 4.31 se observan dos intervenciones de refuerzo a cortante utilizando tejido impregnado "in situ" y otra utilizando laminados prefabricados.

[Ref. 20]



Fig. 4.31: Refuerzo de vigas a cortante mediante a) láminas de carbono y b) fibras de carbono.  
(Sika.com.pe)

#### 4.3.2.5 Reforzamiento mediante adición de estribos

El reforzamiento frente a la fuerza cortante puede realizarse mediante la introducción de estribos en la viga existente como se muestra en la Figura 4.32 en muchos casos estos pasan a través de perforaciones espaciadas en la losa y puede ser adherida por empalmes o soldaduras.

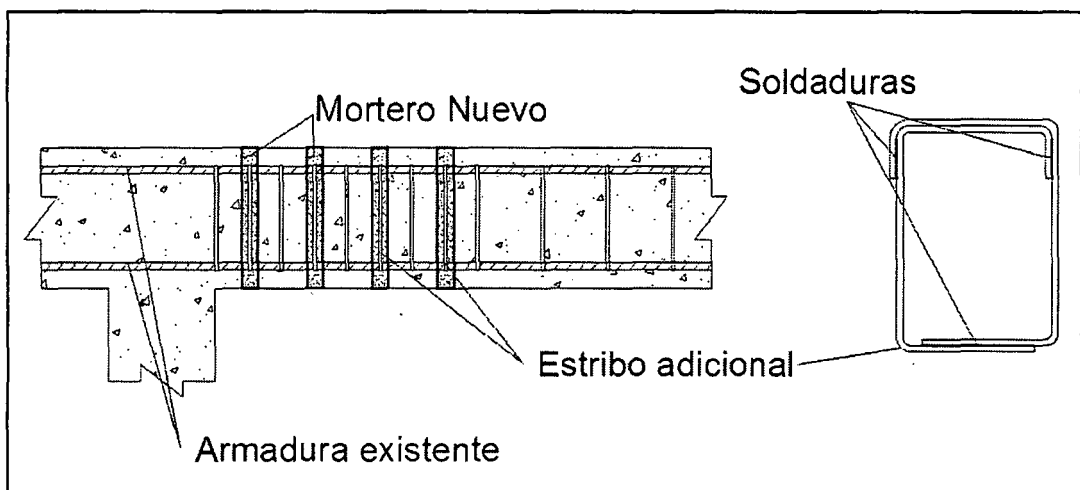


Fig. 4.32: Reforzamiento mediante adición de estribos.  
(Bernal Marcos, Alberto; 1999)

En el proceso de la reparación iniciamos con los trazados de la viga y picar todo el perímetro hasta descubrir las armaduras de refuerzo tanto lo superior como lo inferior, luego pasamos a su limpieza de la franja picada con aire comprimido y aplicar una capa continua de adhesivo (generalmente epóxy).

Por último colocamos los estribos especificados y preferiblemente soldarlos en donde se recubrirá con un mortero predosificado. [Ref. 15]

### 4.3.3 Reforzamiento de columnas

El refuerzo de vigas exige generalmente importantes concentraciones de esfuerzos en determinadas zonas de la junta de contacto entre pieza original y refuerzo. Ello obliga a cuidar de modo especial los mecanismos de transferencia, e implica una mayor dificultad de análisis estructural. Como contrapartida, se trata de intervenciones menos extensas que, por tanto, afectan a menos elementos constructivos.

Los reforzamientos básicamente están destinados a incrementar capacidad flectora y aquellos cuyo fin primordial es mejorar la resistencia a cortante. Evidentemente la frontera entre unos y otros tipos de refuerzos no es siempre clara, existiendo sistemas que mejoran simultáneamente la resistencia a flexión y a cortante. [Ref. 20]

#### 4.3.3.1 Confinamiento mediante tejido de fibra de carbono

Se trata de envolver completamente el soporte original con un tejido de ese material colocado de modo que la dirección predominante de las fibras de carbono se encuentre en el plano perpendicular al eje del soporte. La envoltura del soporte original puede hacerse de modo discontinuo, a base de anillos dispuestos a intervalos, o bien de modo continuo, generalmente rodeándolo en forma de espiral. En este último caso, sólo debe tenerse en cuenta en el cálculo las fibras en dirección perpendicular al eje del soporte.

La superficie del soporte original debe prepararse de modo que esté saneada, limpia y seca al aplicar el refuerzo. Las zonas de concreto deteriorado deben eliminarse y rehacerse con concreto, mortero o resina. Además, se debe aplicar el puente de adherencia, adhesivo de base epóxica en la superficie de concreto y las fibras de carbono deben ser embebidas en resina epóxica antes de ser colocada alrededor de la columna donde se formara un sólida encamisada después del curado.

Generalmente los refuerzos mediante confinamiento están especialmente indicados en soportes circulares. En caso de esquinas, las mismas deben redondearse o achaflanarse con un radio mínimo de 30 mm, a fin de evitar su

rotura y mejorar la eficacia del confinamiento. El sistema no es aplicable en secciones con esquinas convexas (Figura 4.33). [Ref. 20]



Fig. 4.33: Reforzamiento de columnas mediante tejido de fibra de carbono.  
(Sika.com.pe)

#### 4.3.3.2 Refuerzo de soportes mediante recrecido con concreto armado

Consiste en aumentar la sección de la columna debilitada con concreto alrededor de todo el perímetro, mejorando así su resistencia a la compresión.

El recrecido del concreto armado debe armarse longitudinal y transversalmente, incluso con sobreabundancia de estribos, a fin de zunchar y confinar el soporte original. El aprovechamiento de la retracción del nuevo concreto desarrolla un confinamiento activo beneficioso y favorece la unión entre el concreto original y de refuerzo.

En relación con la ejecución de la junta entre concreto original y de refuerzo, existen varios sistemas, dependiendo del estado del soporte original y del alcance del refuerzo:

Una primera solución consiste en limpiar la superficie del concreto, y aplicar una capa continua de adhesivo (generalmente epóxy). Puesto que la operación del concreto de refuerzo puede ser larga, conviene utilizar adhesivos con suficiente tiempo de trabajabilidad (Figura 4.34). [Ref. 20]

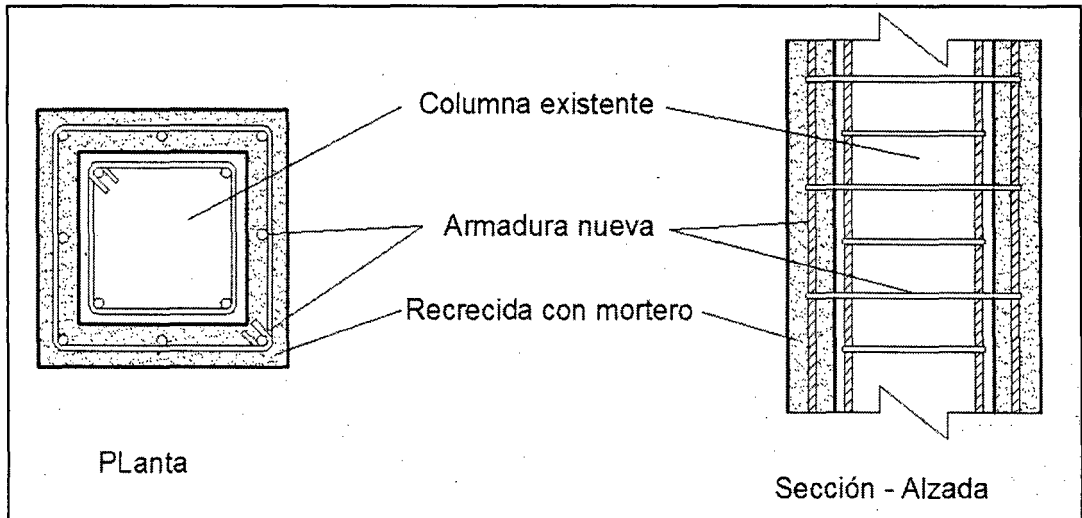


Fig. 4.34: Recrecido con concreto armado por adherencia.  
(Del Rio Bueno, Alfonso; 2005)

Pero lo más adecuado es picar completamente el recubrimiento del pilar inicial, descubriendo sus armaduras y conectándolas a las nuevas mediante horquillas soldadas (Figura 4.35). Al igual que en el caso anterior, el refuerzo debe completarse con un zunchado de paso reducido (10 cm o menos).

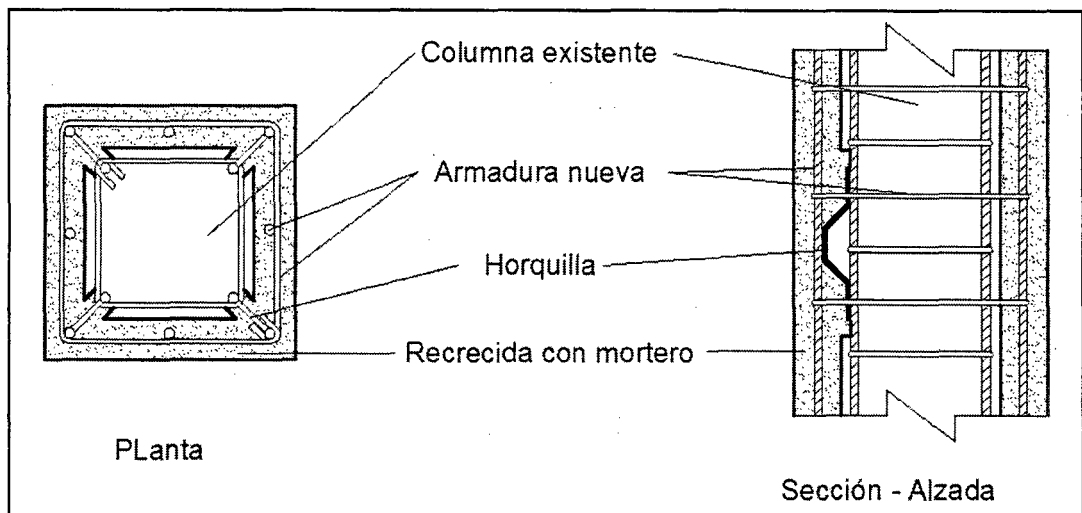


Fig. 4.35: Recrecido con concreto armado por conexión de horquillas.  
(Del Rio Bueno, Alfonso; 2005)

Siempre que el refuerzo afecte a varias plantas, debe procurarse dar continuidad física a las armaduras del refuerzo, taladrando para ello las losas correspondientes. También hay que señalar la conveniencia de apuntalar la columna a reforzar. [Ref. 20]

#### 4.3.3.3 Refuerzo de soportes mediante perfiles de acero

El refuerzo de soportes mediante perfiles de acero angulado y presillas, constituye una técnica muy habitual. Como ventajas principales de este método de refuerzo se encuentran, la rapidez ejecución y que la puesta en carga es inmediata, a diferencia de los recrecidos de concreto. Este método consiste en la colocación de angulares de acero en las cuatro esquinas de pilar a reforzar sujetándolos lateralmente con presillas soldadas a ellos (Figura 4.36).

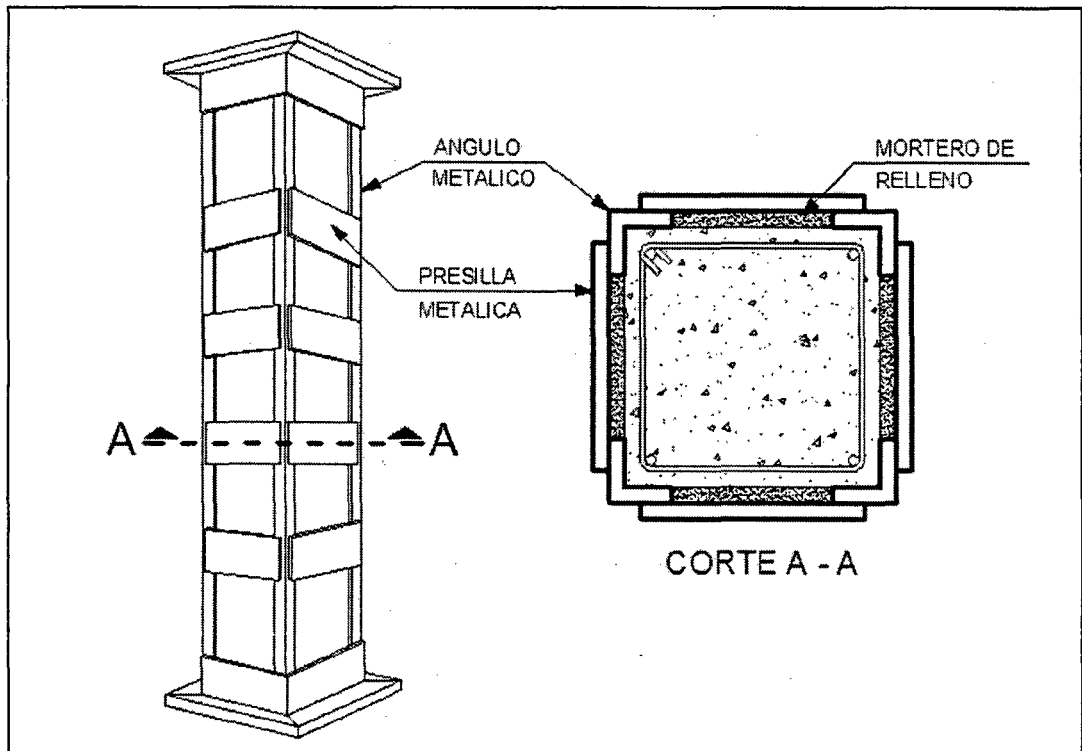


Fig. 4.36: Refuerzo mediante angulares metálicos empresillados.  
(Del Rio Bueno, Alfonso; 2005)

La eficacia del sistema está muy íntimamente relacionada con una cuidadosa ejecución. Una mala ejecución puede tener no conseguir mejorar el funcionamiento de la columna original. Se puede darse en el caso de no transmitir adecuadamente los esfuerzos a los elementos superior e inferior. Para evitar este problema se recomienda realizar capitel y base unidos a la losa superior e inferior mediante un material suficientemente rígido como puede ser la masilla epóxy. Otra forma de evitar es dar continuidad a los refuerzos en los pilares de una misma línea vertical entre diferentes plantas.

La transmisión axial del elemento superior a la columna se produce a través de los capiteles descritos directamente a los angulares. Otra forma de transmisión axial al refuerzo es a través del concreto por fricción entre el concreto y el angular.

La unión de los angulares con las esquinas de la columna deber realizarse con adhesivos epóxicos para asegurar un mejor ajuste y una mayor transmisión de esfuerzos.

En esta técnica de refuerzo el acero se coloca principalmente para soportar esfuerzos de compresión, aumentando la sección del soporte original, pero una vez que el concreto comienza a deformarse lateralmente el esfuerzo también sufrirá tensiones horizontales, además de las de compresión. [Ref. 20]

## CAPÍTULO V: GEOMETRÍA DE UN PARABOLOIDE HIPERBÓLICO DE CONCRETO ARMADO

### 5.1 INTRODUCCIÓN

Entre las superficies de doble curvatura, el paraboloides hiperbólico presenta una importancia particular para la construcción, ofrecen todas las ventajas constructivas de las superficies de doble curvatura sin tener los inconvenientes derivados de los elevados costes de encofrados. El paraboloides hiperbólico significa un encofrado sencillo, ya que sus generatrices son líneas rectas. Otra ventaja del paraboloides hiperbólico reside en el cálculo relativamente sencillo de las fuerzas en presencia. Y, desde luego, es sumamente favorable el trabajo del diseñador al poder representar fácilmente su forma por medio de una superficie reglada, lo cual permite verlo cómodamente en el espacio. [Ref. 35]

### 5.2 DEFINICIÓN DE LA SUPERFICIE

Supongamos dos rectas no paralelas en el espacio, las cuales no se cortan: HOD y ABC (Figura 5.1) y a las cuales provincialmente llamaremos directrices. Las líneas rectas  $h_n$  que interceptan ambas directrices, y que al mismo tiempo son paralelas al plano XOZ que llamaremos plano director con las que definen la superficie. Estas últimas rectas las designaremos como el primer sistema de generatrices.

Las dos directrices precitadas determinan a su vez un segundo plano director YOZ, paralelo a ellas. La superficie puede considerarse como generada por un segundo sistema de generatrices  $i_n$ , paralelo a este plano y que intercepta cualquier generatriz  $h_n$  del primer sistema.

El paraboloides hiperbólico está constituido, por tanto, por dos sistemas de líneas rectas  $h_n$  e  $i_n$ , cada sistema paralelo a un plano director, formando ambos planos un ángulo arbitrario  $w$ . Cada punto de la superficie está determinado por la interacción de dos líneas rectas, que quedan dentro de la superficie. [Ref. 35]



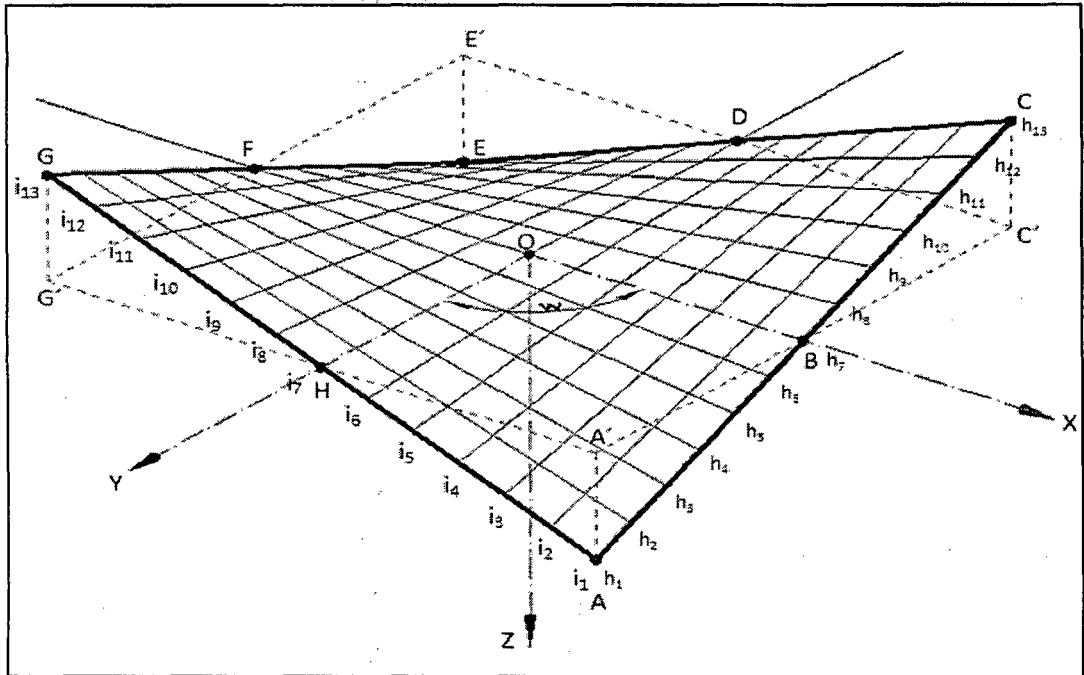


Fig. 5.1: Superficie reglada del paraboloides hiperbólico  
(Vinces Vélez, Fausto; 1962)

Si tomamos como ejes de coordenadas a las dos generatrices que pasan por la corona del paraboloides hiperbólico, y el eje del paraboloides hiperbólico o sea la interacción de ambos planos directores, la ecuación de la superficie, en estas coordenadas birectangulares, será:

$$Z = KXY$$

Siendo  $k$  una constante que presenta la pendiente unitaria o el alabeo del paraboloides hiperbólico, en la Figura 5.1,  $K=AA'/OB.OH$ ;  $XOZ = w$  puede ser cualquier ángulo;  $XOZ$  e  $YOZ$  son ángulos rectos.

Esta es la ecuación más sencilla posible de segundo grado que liga simultáneamente las tres coordenadas de cada punto. Cuando los planos directores forman un ángulo recto ( $w=90^\circ$ ) el paraboloides hiperbólico es equilátero o rectangular. Cuando  $w$  es cualquier otro ángulo, el paraboloides hiperbólico es oblicuo. Las secciones planas paralelas a los planos bisectores del ángulo diedro director  $XOY$  son parabólicas. Se les designan como parábolas principales, y su curvatura es, respectivamente, hacia arriba (GOC), y hacia abajo (AOE); de aquí que la superficie sea de doble curvatura inversa. Todas las demás secciones planas y sus proyecciones sobre el plano  $XY$  son hipérbolas o

su degradación en dos líneas rectas, excepto aquellas paralelas al eje z las cuales son parábolas, y por supuesto, los cortes paralelos a los planos directores, los cuales generatrices rectas.

Como una superficie de traslación según Figura 5.2, el paraboloides hiperbólico puede considerarse como generado por una parábola principal ABC que se mueve paralela a si misma a lo largo de la parábola principal inversa BOF. Por lo tanto, la superficie presenta dos sistemas de generatrices parabólicas. Cada sistema está constituido por parábolas idénticas en planos paralelos. [Ref. 35]

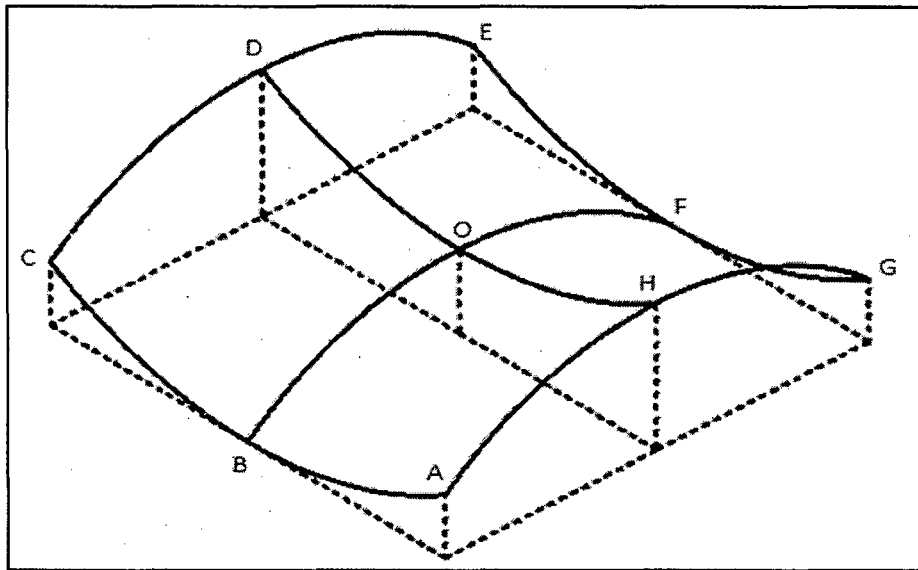


Fig. 5.2: Superficie de traslación del paraboloides hiperbólico.  
 (Vinces Vélez, Fausto; 1962)

### 5.3 CRITERIO DE DIMENSIONAMIENTO

El espesor mínimo que debemos dar a un cascaron de doble curvatura obedece a condiciones que no tienen relación con el cálculo mismo. La impermeabilidad, las facilidades de ejecución obligan a no bajar de ciertos límites.

Para estos cascarones de doble curvatura el espesor mínimo es de 4 cm., a pesar de que los trabajos hechos en laboratorios se ha comprobado que no hay inconveniente para ejecutar espesores menores, no conviene usar dimensiones menores a lo recomendado. [Ref. 26]

## 5.4 PROPIEDADES DEL CASCARON PARABOLOIDE HIPERBÓLICO

Las superficies regladas permiten encofrados más económicos ya que puede usarse tablas de una sola pieza, con muy pocos cortes. No obstante aunque en teoría parece que no es necesario, en estos casos, hacer cortes, en la práctica debido a que la tabla tiene un ancho determinado, hay que hacerlos.

El desencofrado de un cascarón es una operación delicada, que hay que efectuarse con mucho cuidado. Cuando la pendiente no es muy fuerte es suficiente con usar encofrado simple, pero tener presente el uso de concreto seco para evitar el encofrado superior.

Las armaduras se deben disponer en forma de absorber todas las tracciones que resulten del cálculo. Lo más económico es seguir las trayectorias de las isostáticas, pero tratando de simplificarlas por comodidades de ejecución. Su colocación debe ser muy cuidadosa, sobre todo con respecto a los recubrimientos tanto más, cuanto más delgada sea el cascarón.

Si el cascarón es muy grande, es recomendable el uso del concreto pretensado a fin de alejar la posibilidad de tracciones y por lo tanto de fisuración.

En cuanto a la calidad del concreto, se recomienda que no tenga una resistencia  $f'c$  inferior a  $210 \text{ kg/cm}^2$ . Recordaremos que la calidad de concreto va ligada a la calidad de la colocación y demás cuidados en obra. Por otra parte, concretos de menor  $f'c$  tiene deformaciones y retracciones incompatibles con las exigencias de un cascarón. No obstante esta exigencia de calidad se recomienda usar una tensión admisible no superior a  $50 \text{ kg/cm}^2$  (El cálculo del cascarón se hace de acuerdo a la Teoría Elástica) que equivale a tomar un coeficiente de seguridad 4.

La consistencia del concreto dependerá del caso. Si se trata de una lamina ejecutada con un solo encofrado, se usara concreto seco. En los casos de doble encofrado, debe ser lo suficientemente plástico que permita llenar fácilmente una pared tan delgada.

El cálculo de las estructuras laminares se hace en régimen elástico, aunque se han hecho intentos de cálculo plástico, para ciertos tipos de cascarones. La principal dificultad está en que no se conoce el esfuerzo de rotura,

contrariamente a lo que sucede en una placa, en que se sabe que la falla puede ser por punzonamiento o por flexión y hay que limitarse a hallar el mayor esfuerzo que produce algunos de estos efectos.

Parece ser que en un cascarón, los esfuerzos que producen la rotura son los esfuerzos principales, si es que el comportamiento del cascarón fuera estrictamente en membrana, pero como siempre aparece tensiones, debidos a la flexión y torsión, la rotura puede deberse a estas causas ya que el cascarón en si tiene poca resistencia a estos tipos de sollicitación. <sup>[Ref. 26]</sup>

#### 5.4.1 Estado de membrana

Hay casos, que para algunos tipos de cascarones, se puede suponer con suficiente aproximación que las tensiones se reparten uniformemente a lo largo del espesor, y que las tensiones normales  $\sigma_y$  cortantes y  $\zeta$  son constantes en el espesor  $z$ .

Se sabe que el esfuerzo  $N_x$  viene dado por la expresión general:

$$N_x = \sigma \left(1 + \frac{z}{y}\right) dz$$

Donde sí  $z$  es un espesor muy pequeño y  $\sigma_y$  radio de curvatura muy grande,  $z/\sigma_y$  será un término pequeñísimo.

Luego los esfuerzos que quedan son:

$$N_x, N_y, N_{yx} = N_{xy}$$

$$M_x = M_y = M_{yx} = M_{xy} = Q_x = Q_y = 0$$

Y entonces nos queda el cascarón en los que llamaremos estado membrana.

Planteando el estado membrana, tenemos en la Figura 5.3 los esfuerzos que actuaran en un cascarón.

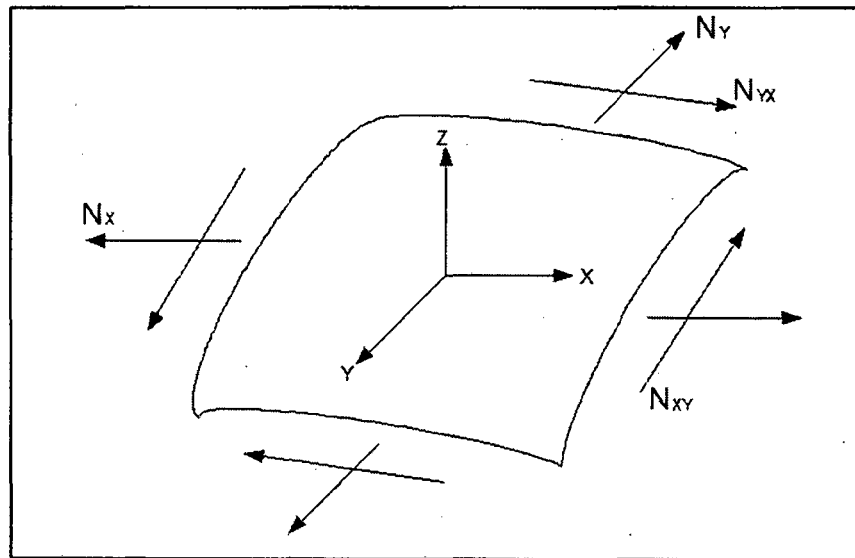


Fig. 5.3: Esfuerzos que actúan en un cascarón.  
(Morales Morales, Roberto; 1965)

En este elemento podemos plantear 3 ecuaciones de equilibrio, que nos basta para determinar las 3 incógnitas

Se puede definir el estado de membrana, como el estado de las cascaras que es isostático.

El estado membrana tiene mucha importancia:

1. Porque muchas de las realizaciones de las cascaras parten de ahí.
2. Porque dentro del estado cascara es la solución más barata, ya que es mejor el trabajo a compresión o a tracción que el de flexión.

Luego, si la membrana nos resiste solo esfuerzos axiales en su plano, es el modo de trabajo más económico.

Es estado membrana, ha permitido realizar muchas construcciones, que no se había podido calcular por estado cascara aunque no a todas las cascaras les es factible convertirse en membrana, pues para ello deben de cumplir ciertas condiciones que veremos.

La solución de la membrada es la solución particular del estado cascara, siempre que las cargas estén más o menos repartidas. [Ref. 26]

#### 5.4.2 Condiciones a cumplir por el cascaron en estado membrana.

1. Tanto los estados de deformación como los de tensiones en los bordes de la membrana deben ser compatibles con la sustentación, es decir, las sustentaciones capaces de producir los esfuerzos que se exijan.
2. El estado de carga no debe exigir la aparición de esfuerzos infinitos para establecer el equilibrio. Siempre las membranas tienen mucho menos deformación que una cascara; la deformación de membrana, como tiene que ser en su plano, que es en la dirección que es muy rígida, la deformación será despreciable; mientras que la cascara las deformaciones serán muchos mayores.

La principal limitación del estado membrana es casi siempre en el de los bordes o por el estado de carga. Si en un cascaron podemos reunir condiciones que la membrana necesita, tendremos al cascaron trabajando en estado membrana. [Ref. 26]

## CAPÍTULO VI: EVALUACION DE LA DURABILIDAD DEL PARABOLOIDE HIPERBÓLICO DE LA FIC - UNI

### 6.1 EVALUACIÓN PRELIMINAR

#### 6.1.1 Generalidades

##### 6.1.1.1 Nombre de la tesis o proyecto

En este caso es el nombre de la tesis es “Evaluación de la Durabilidad de Estructuras de Concreto Armado Utilizando Equipos y Métodos de Ensayos no Destructivos”, pero la aplicación de esta tesis se realizo en una estructura de concreto armado llamado “Paraboloide Hiperbólico” de la FIC-UNI.

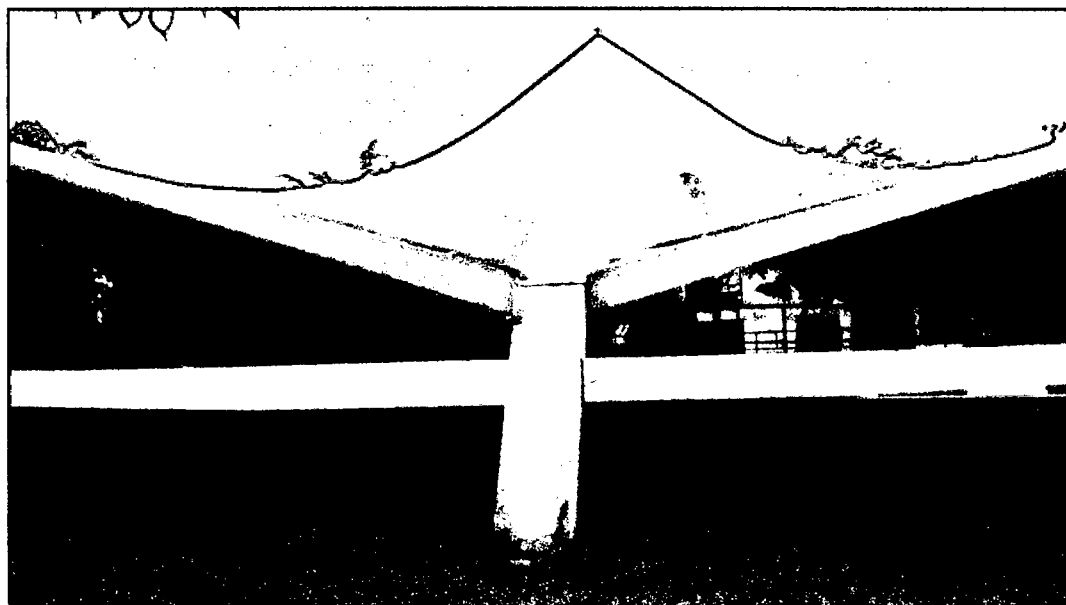


Fig. 6.1: Paraboloide hiperbólico de la Facultad de Ingeniería Civil – UNI.

##### 6.1.1.2 Localización de la estructura

El Paraboloide Hiperbólico del Departamento Académico de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (DAE-FIC-UNI), se encuentra ubicado en la Av. Túpac Amaru N° 210, distrito de Rímac, Departamento de Lima, dentro del campus universitario, facultad de Ingeniería Civil.

Sus coordenadas geográficas aproximadas son: 12°1'15" de latitud sur y 77°2'57" de longitud oeste. En la Figura 1 del anexo A, se presenta la ubicación del Departamento de Lima en el mapa del Perú en la parte central de la costa. La Figura 2 del Anexo A se presenta un esquema de la provincia de Lima.

La zona en estudio pertenece al Distrito del Rímac. La Figura 3 del anexo A presenta un croquis aproximado de la ubicación del lugar de estudio.

#### 6.1.1.3 *Tipo y descripción de la estructura*

La estructura en su totalidad está conformada por una estructura parabólica hiperbólica, un sótano, oficinas y un auditorio amplio.

Pero la estructura en estudio que viene a ser el paraboloides hiperbólico está formada por una combinación de cuadriláteros alabeados (ver capítulo 5), como se muestra en la figuras 6.1 la estructura presentan un techo en forma de paraguas que está conformada por tres superficies de doble curvatura reunidos de manera que formen aristas en un solo plano superior, las cargas se transmiten a 3 soportes en puntos opuestos de la estructura que vienen a ser las columnas inclinadas.

Esta estructura cubre un área aproximado de 543 m<sup>2</sup> teniendo la forma de un hexágono (vista en planta) de 14.45 m la longitud de lado en planta y con una muy buena iluminación ya que alcanza a tener una altura de 9.50 como máximo.

#### 6.1.1.4 *Propietarios y usos (cronológicamente)*

La Facultad de ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería construyó esta estructura en el año de 1963 en un inicio con el fin de acoger al Instituto de Estructuras UNI, pero en la actualidad se viene usando como oficinas del Departamento Académico de Estructuras.

#### 6.1.1.5 *Historial de la estructura*

El Paraboloides Hiperbólico del DAE-UNI-FIC fue inaugurado el año del 1961. El proyecto original estuvo a cargo del Dr. Bozo. A partir de ese proyecto se han modificado algunas partes y usos con el tiempo.



Desde el año que fue inaugurado hasta la fecha, esta estructura ha soportado varios sismos considerables en su vida útil. En donde presentamos una lista resumen de los eventos sísmicos de mayor consideración que fue afectada por la estructura en estudio.

Cuadro 6.1: Resumen de eventos sísmicos soportado por la estructura en estudio.

FECHA	LUGAR epicentro	MÁXIMA INTENSIDAD MM
24/09/1963	Ancash	VII
17/10/1966	Lima	VIII
31/05/1970	Chimbote - Ancash	VII - VIII
03/10/1974	Lima	VIII
18/04/1993	Lima	VI
12/11/1996	Nazca - Ica	VII - VIII
15/08/2007	Pisco	VI - IX

Fuente: INDECI; 1998

Esta estructura corresponde a un edificio esencial con la propuesta de la Norma E030, que define a las edificaciones esenciales como "Aquellas cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después que ocurra un sismo, como edificaciones que puedan ser de refugio después de un desastre".

#### 6.1.1.6 Influencia del medio ambiente en la zona del proyecto:

- Humedad Relativa (HR):

La HR promedio del departamento de Lima desde el año 1990 hasta el 2003 es de 84.6 % (Ver tabla N°1, Anexo A).

Si tomamos de la estación de Chucuito – Callao el promedio de HR de los años de 1988 hasta el 2006 vendría a ser 88.5% (Ver tabla N°2, Anexo A).

- **Temperatura :**

La temperatura máxima, media y mínima del departamento de Lima de los años de 1990 hasta el 2003 es de 22.1°C, 19.4°C y 17.5°C respectivamente (Ver tabla 3, tabla 4 y tabla 5, Anexo A).

Si tomamos los valores de temperatura promedio, máxima y mínima del punto de estación de Chucuito – Callao de los años de 1988 hasta 2006, sería de 19°C, 16°C y 22.4°C respectivamente (Ver tabla 6, Anexo A).

- **Presión :**

La Presión Atmosférica promedio anual del departamento de Lima de los años de 1990 hasta el 2003 es de 1000.0 milibares. (Ver tabla 7, Anexo A).

- **Geología de la zona:**

El Paraboloides Hiperbólico pertenece a la Facultad de Ingeniería Civil y al Campus de la Universidad Nacional de Ingeniería. Está ubicado en el distrito del Rímac, en zona de cauce antiguo del Río Rímac. Las características geológicas de la zona y sus alrededores, Figura 4 del Anexo A, tomado del plano Geológico de Lima presentado por Martínez (1975). Esta localidad está asentada sobre un estrato denominado Op-al, es decir, una unidad estratigráfica perteneciente a la era Cenozoica, sistema cuaternario, serie pleistoceno. Esta zona es estable geológicamente.

- **Sismicidad**

En la Figura 5 del Anexo A presenta un mapa de zonificación de riesgo sísmico de la ciudad de Lima. La zona en estudio tiene una calificación de zona I, por lo que le corresponde un tipo de suelo S1. Se recomienda usar los siguientes parámetros:

- Factor de Zona,  $Z = 0.4$ ,
- Factor de amplificación de ondas sísmicas,  $S = 1.0$ , y
- Periodo de Vibración Fundamental del Suelo,  $T_p = 0.4$  segundos

### 6.1.1.7 Verificación a la exposición de sustancias agresivas

La estructura en estudio está rodeada por un jardín que eventualmente es regada con agua tratada de aguas servidas (figura 6.2), este tipo de agua llega a tener contacto con las columnas de la parte inferior, en la figura 6.3 se muestra un de las columnas como esta en contacto con el jardín sin tener algún tipo de protección y además es continuamente regada.



Fig. 6.2: Vista del Paraboloide Hiperbólico de la UNI-FIC.



Fig. 6.3: Contacto de la columna con el jardín en proceso de riego.

### 6.1.2 Resultados de la inspección visual detallada

A continuación se mostrara un panel fotográfico obtenidas en el proceso de la inspección visual a la estructura del paraboloide hiperbolice UNI-FIC, donde las dividiremos en tres grupos.

#### a) Columnas

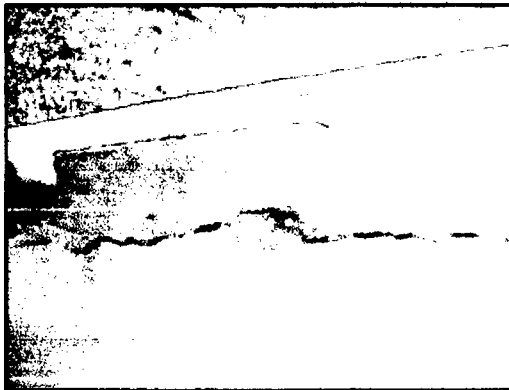


Fig. 6.4: Grietas longitudinales en las columnas formadas por la corrosión del acero de armadura.



Fig. 6.5: Grietas Descascaramiento del concreto en la parte inferior de la columna (contacto con el suelo).



Fig. 6.6: Descascaramiento del concreto por la oxidación del acero en la parte inferior de la columna (contacto con el suelo).

#### b) Vigas

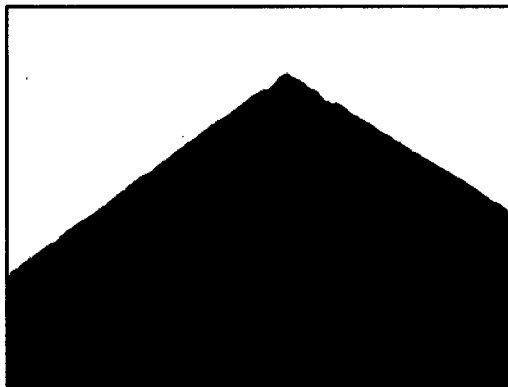


Fig. 6.7: Fisuración por corrosión en la viga.



Fig. 6.8: Cangrejera del concreto en la viga.

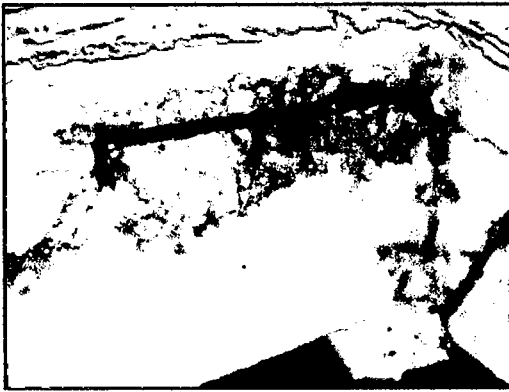


Fig. 6.9: Descascaramiento del concreto por la oxidación del acero en la viga.



Fig. 6.10: Descascaramiento del concreto por la oxidación del acero en la viga.

### c) Cascaron superior

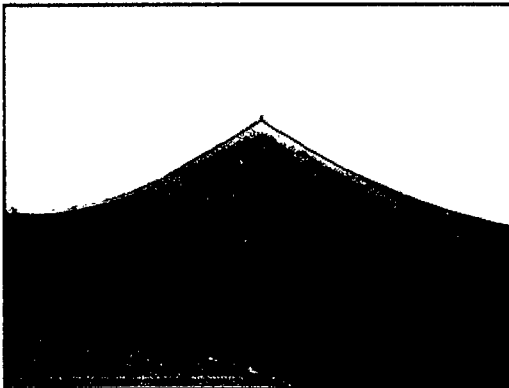


Fig. 6.11: Formación de cultivos biológicos en la parte superior del cascarón.

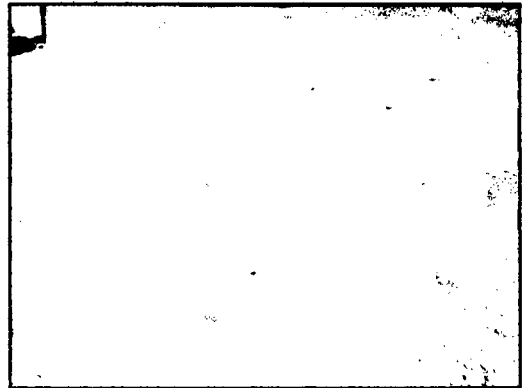


Fig. 6.12: Degradación superficial del cascarón.

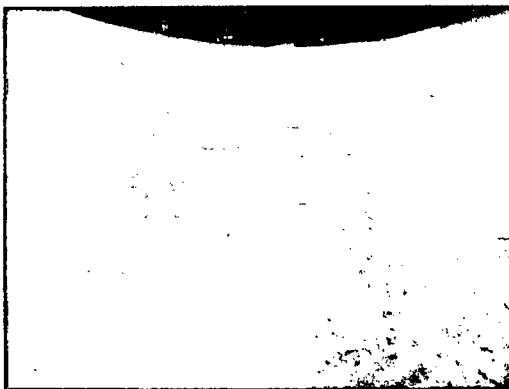


Fig. 6.13: Degradación superficial del concreto en el cascarón.

**d) Cascaron inferior**



Fig. 6.14: Corrosión de las varillas lisas del cascarón.

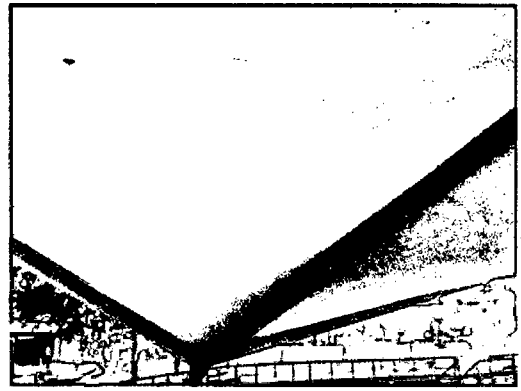


Fig. 6.15: Humedad del cascarón en el centro de la hoja.

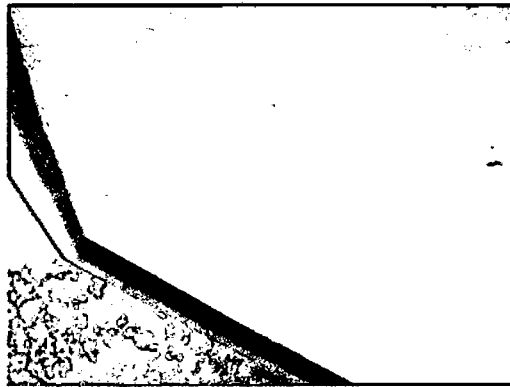


Fig. 6.16: Humedad del cascarón en el extremo de la hoja.



Fig. 6.17: Descascaramiento del concreto por la corrosión.

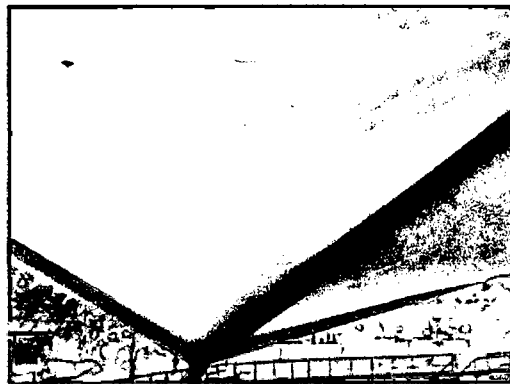


Fig. 6.18: Descascaramiento y humedecimiento del concreto por la corrosión.

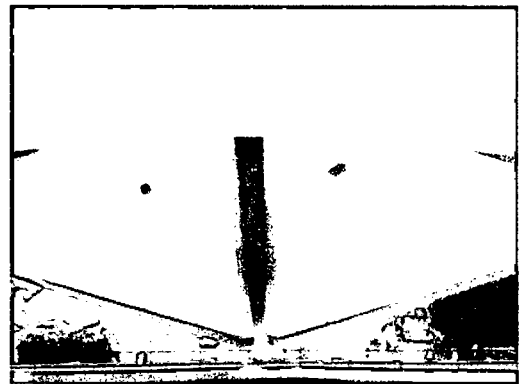


Fig. 6.19: Descascaramiento por la corrosión y humedecimiento del concreto.

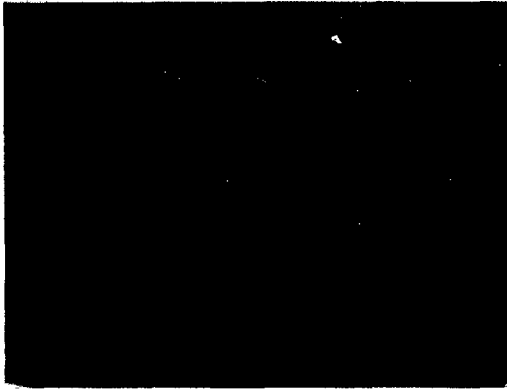


Fig. 6.20: Humedecimiento del concreto.

### 6.1.3 Plan de trabajo posterior (ensayos y áreas donde se realizaran).

- En primer lugar es recomendable hacer un replanteo de la estructura ya que no se encontró planos ni documentación alguna.
- Luego proceder a la localización de todos los daños de la estructura.
- Realizar los ensayos no destructivos físicos, químicos y electroquímicos de la estructura.
- Una vez detectada las zonas dañadas y hechas sus respectivas evaluaciones se procede a la interpretación de los resultados y estudiar cual fue el origen de este tipo de daño.
- Y por ultimo elaborar una propuesta de reparación de los daños y el reforzamiento estructural.

### 6.1.4 Conclusiones y recomendaciones

En la inspección visual se concluyó que la estructura presenta problemas de durabilidad en especial, la corrosión del acero estructural que en consecuencia la formación de fisuras, grietas, descacaronamiento, pérdida de sección del acero, etc.

Lo cual recomendamos proceder a la segunda parte de la evaluación (evaluación detallada) para saber con mayor exactitud las causas que le afectan al deterioro de la estructura, y una estimación de su vida útil o de lo q le queda de ella.

## 6.2 EVALUACIÓN DETALLADA

### 6.2.1 Replanteo de la estructura

Por la ausencia de los planos de la estructura se procedió hacer un levantamiento de la estructura del paraboloides hiperbólico con la ayuda de una Estación Total y Winchas, logrando así un eficiente trabajo.



Fig. 6.21: Levantamiento del paraboloides hiperbólico UNI-FIC con una estación total,  
a) Estación total y b) Ubicación de los puntos con el prisma.

Los planos arquitectónicos obtenidos por el levantamiento se mostraran en el Anexo B, al igual que los planos estructurales.

### 6.2.2 Levantamiento de daños

En las figuras 6.22 y 6.23 se muestran registrada las zonas y puntos de deterioro e indicadores de corrosión, como la fisuración, descascaramiento, humedad, deslaminación, etc.



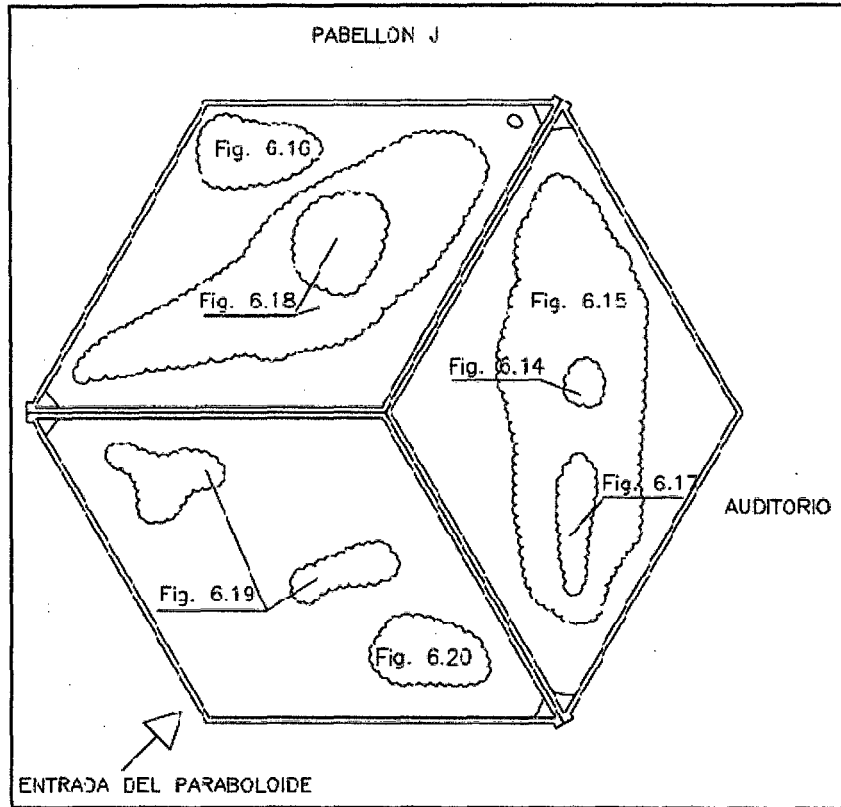


Fig.6.22: Levantamiento de daños parte inferior del paraboloide hiperbólico UNI-FIC.

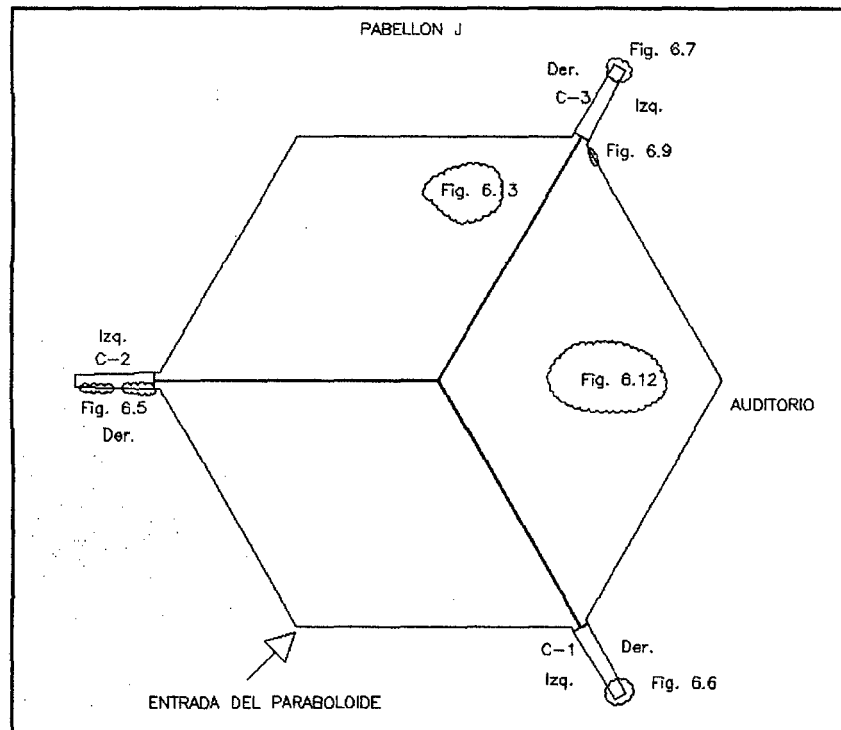


Fig.6.23: Levantamiento de daños parte superior del paraboloide hiperbólico UNI-FIC.

## 6.2.3 Descripción de los ensayos y la ubicación de las muestras

### 6.2.3.1 Ensayo del esclerómetro

#### a) Equipo utilizado

- Esclerómetro de Schmidt
- Accesorios (piedra abrasiva)

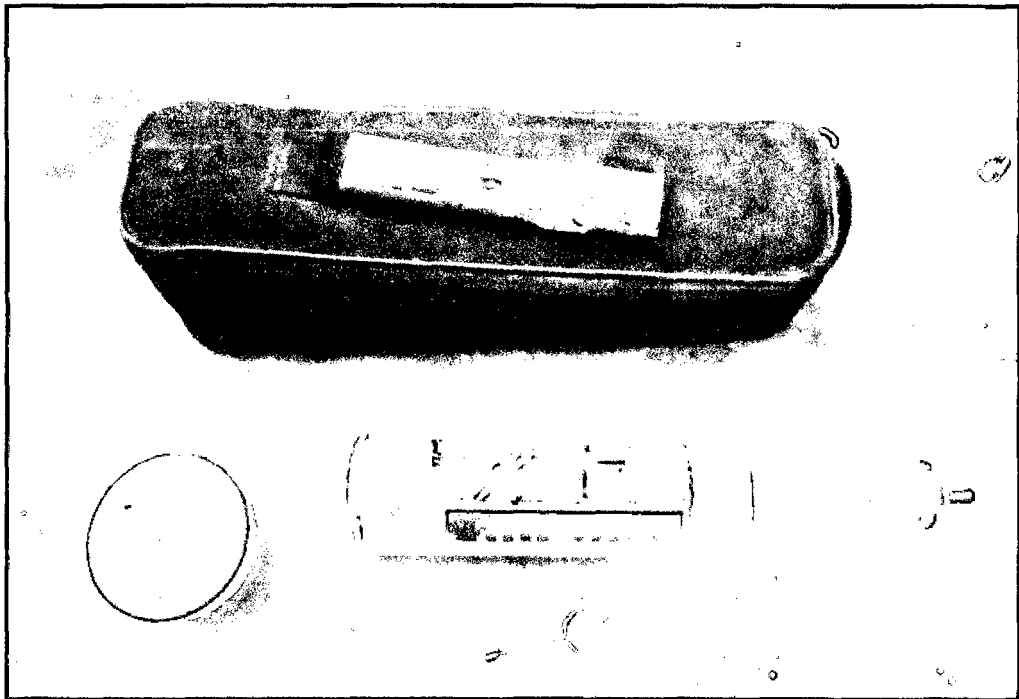


Fig. 6.24: Esclerómetro y accesorio (piedra esmeril).

#### b) Procedimiento

Según las normas ASTM-C805 y NTP 339.181, el primer paso es la ubicación de los 10 puntos a ensayar en la superficie de la estructura, en este caso se estudiara las caras verticales de las únicas columnas inclinadas que tiene el Paraboloides Hiperbólico UNI.

Luego se elimino la pintura y se limpiaron las asperezas de cada punto para obtener una superficie de contacto lisa como se muestra en la figura 6.25.

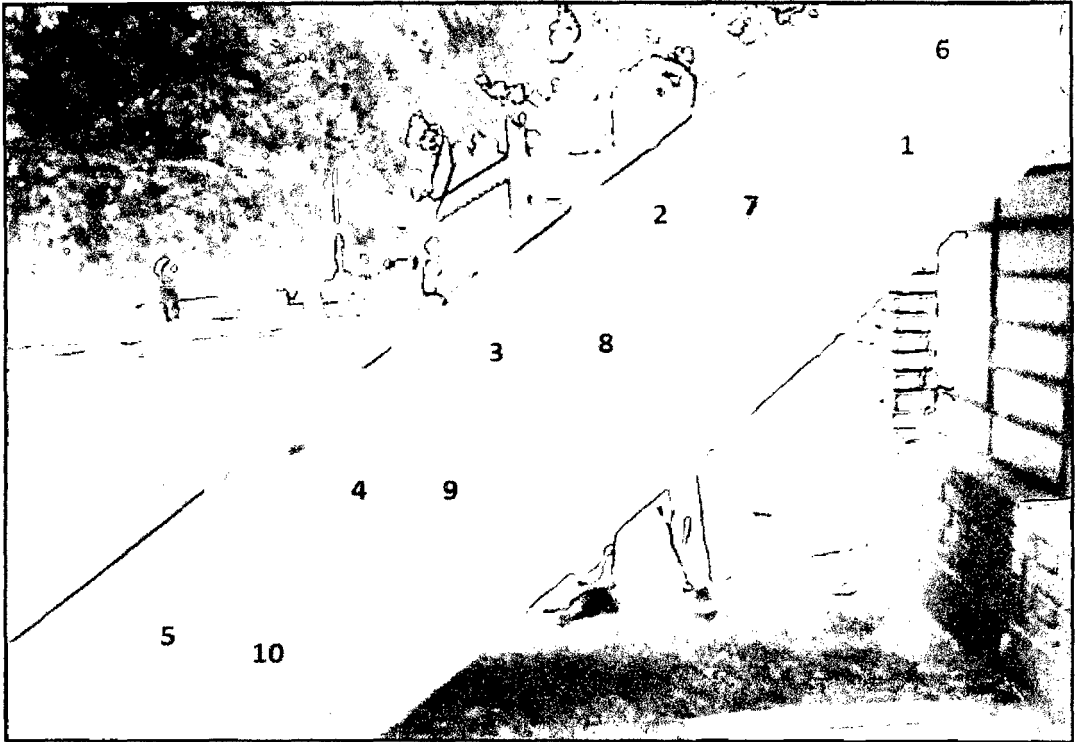


Fig. 6.25: Columna 1 (C-1) lado derecho del paraboloide hiperbólico UNI-FIC.

Por último se ubicara el esclerómetro en cada punto, en forma perpendicular al elemento (ángulo  $90^\circ$ ) para luego presionarlo horizontalmente con mucho cuidado (ver figura 6.26), manteniendo la perpendicularidad, una vez realizada la prueba se tomará la lectura y a la anotación de estas.

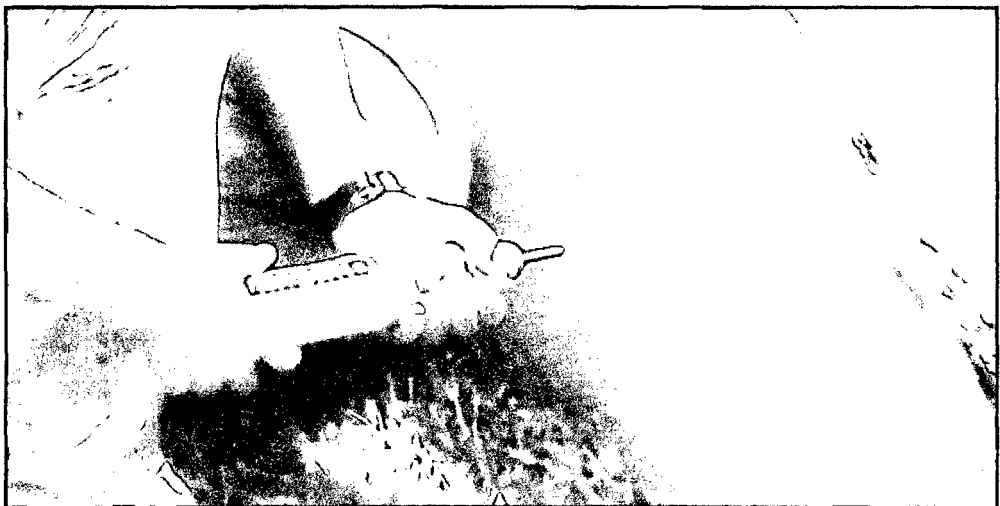


Fig. 6.26: Ensayo de esclerometría en la columna 3 (C-3).

c) Toma de datos

En los siguientes cuadros se presentaran los valores obtenidos durante el ensayo, el valor promedio ( $\xi$ ) y su desviación estándar ( $\sigma$ ).

Cuadro 6.2: Datos obtenidos del ensayo de esclerometria de las 3 columnas.

MUESTRA (Fig. 6.23)	LADO (Fig. 6.23)	NÚMERO DE GOLPES										$\xi$	$\sigma$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
C - 1	Der.	49	48	50	49	49	49	49	45	46	46	48.0	1.7
	Izq.	40	44	44	40	43	41	42	41	42	43	42.0	1.5
C - 2	Der.	39	41	40	39	41	40	43	42	40	44	40.9	1.7
	Izq.	40	40	39	40	41	40	40	44	40	41	40.5	1.4
C - 3	Der.	39	41	40	39	41	42	40	43	44	43	41.2	1.8
	Izq.	41	42	45	44	41	42	41	41	41	39	41.7	1.7

Legenda:

C - X : Columna X, donde (X=1,2 ó 3)

LD : Lado derecho

LI : Lado izquierdo

$\xi$  : Promedio de golpes

$\sigma$  : desviación estándar de los golpes

d) Calibración con el yunque de tarado

Para controlar el buen funcionamiento del esclerómetro, se emplea el yunque de tarado. El tarado del aparato se deberá de realizar antes de proceder al ensayo sobre nuestro concreto objeto de estudio. El yunque debe de ser colocado sobre el suelo. El lugar preparado para recibir la barra de percusión está pulido en forma plana, el peso del yunque será de aproximadamente. 16 kg. de acero duro, dureza a  $66 \pm 2$  HRC según norma.

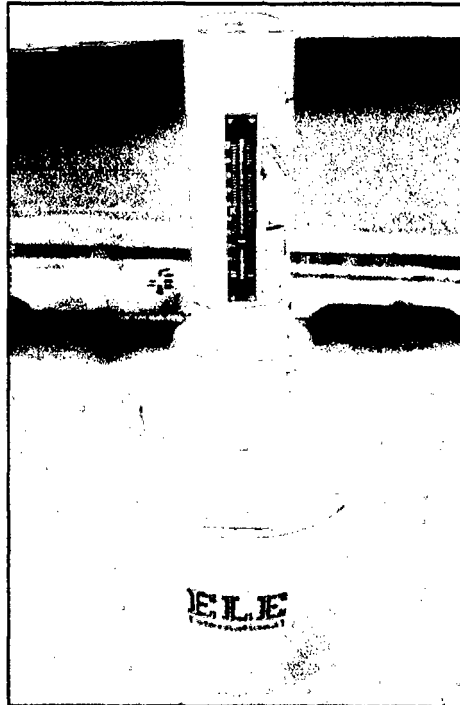


Fig. 6.27: Calibración del esclerómetro con el yunque.

El esclerómetro debe dar, sobre el yunque, medidas comprendidas entre 78 y 82. Para interpretar los ensayos se dispondrá de la siguiente fórmula:

$$R = \frac{80}{R\alpha}$$

R = factor de corrección

Rα= Valor obtenido como media de los valores resultantes del tarado

Cuadro 6.3: Valores obtenidos del tarado.

	10 lecturas										Rα	σ
<b>YUNQUE</b>	81	82	82	80	80	82	82	81	81	80	81.1	0.9

Reemplazando a la ecuación anterior obtenemos que **R= 0.99**, con este factor de corrección modificamos los promedios obtenidos de las columnas ensayadas.

e) Resistencia a la compresión con relación al número de golpe

El la figura 6.28 presenta una grafica con valores de resistencia a la compresión que están relacionadas con el número de golpe del esclerómetro.

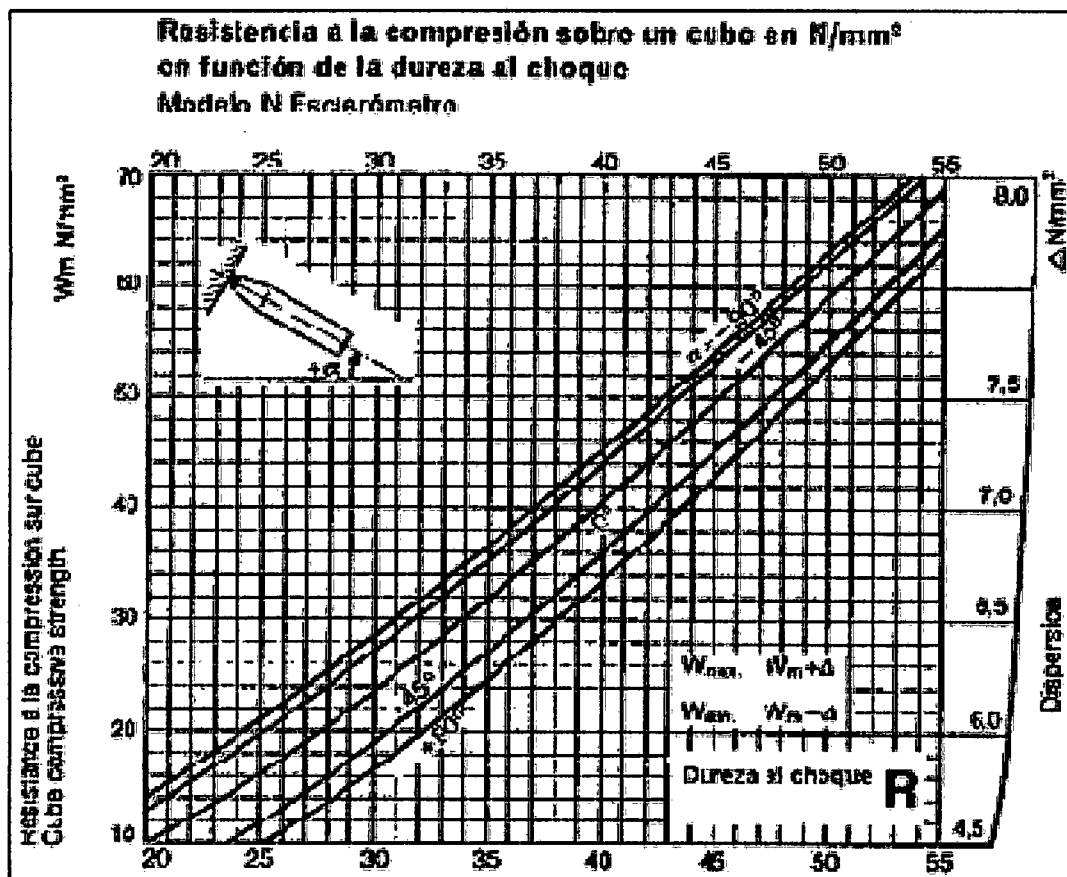


Fig. 6.28: Relación de N° de golpe con resistencia a la compresión.

f) Resultados

Cuadro 6.4: Cuadro de resumen los resultados del ensayo de esclerometria.

MUESTRA (Fig. 6.23)	LADO (Fig. 6.23)	$\xi$	$\sigma$	EVALUACIÓN	PROMEDIO CORREGIDO
C - 1	Izq.	47.5	1.7	Uniforme	47.0
	Der.	42.0	1.5	Uniforme	41.6
C - 2	Izq.	40.9	1.7	Uniforme	40.5
	Der.	40.5	1.4	Uniforme	40.1
C - 3	Izq.	41.2	1.8	Uniforme	40.8
	Der.	41.7	1.7	Uniforme	41.3

### g) Conclusiones

Del Cuadro 6.4, se puede apreciar que la desviación estándar ( $\sigma$ ) siempre es menor a 2.5, concluyendo según la Norma ASTM C803, que todas las áreas estudiadas son uniformes. Esta evaluación se tomó como referencia para elegir los elementos de la estructura de donde se extraerán los testigos diamantinos.

#### 6.2.3.2 Ensayo de compresión

##### a) Equipo utilizado

A continuación se encuentra la lista de equipos utilizados para la detección de acero en elementos estructurales en los que se extraerá el testigo, la extracción diamantina en sí y el ensayo de compresión.

- Detector de acero
- Extractor de diamantina
- Brocas diamantinas de 3" de diámetro.
- Maquina Universal para ensayos de compresión

##### b) Procedimiento

El procedimiento para la extracción y el ensayo de las diamantinas está basado en las Normas ASTM-C042 y NTP 339.059. Para el ensayo se como a continuación se indica.

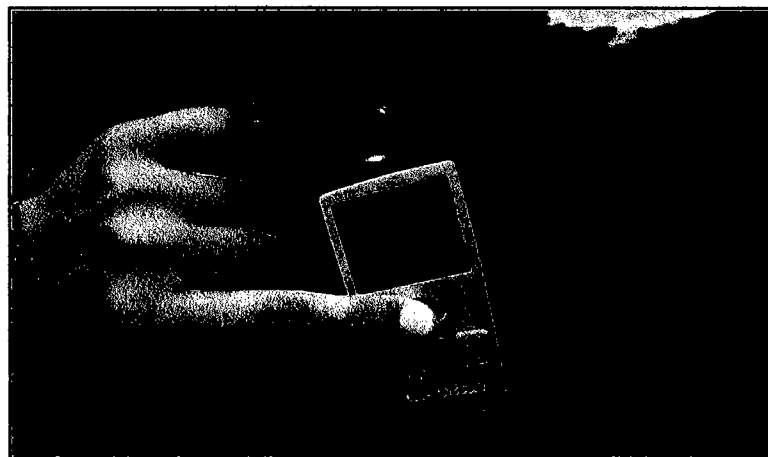


Fig. 6.29: Detector de Acero marca BOSCH modelo DMF 10 Zoom profesional usado para la detección de acero en elementos estructurales.

Se hizo uso del detector de metales para ubicar un área de la columna en el que no se encuentre el acero longitudinal ni el estribo. En esta área se deja una marca teniendo en cuenta que el diámetro de la broca es de 3".

Se extrajeron los testigos a ensayar como se observa en la Figura 6.30 que se extrae de la columna C-1, una de cada columna, en donde se empleó la misma nomenclatura de las columnas (C-1, C-2 y C-3) respectivamente para cada testigo. (Ver en la Figura 6.23).

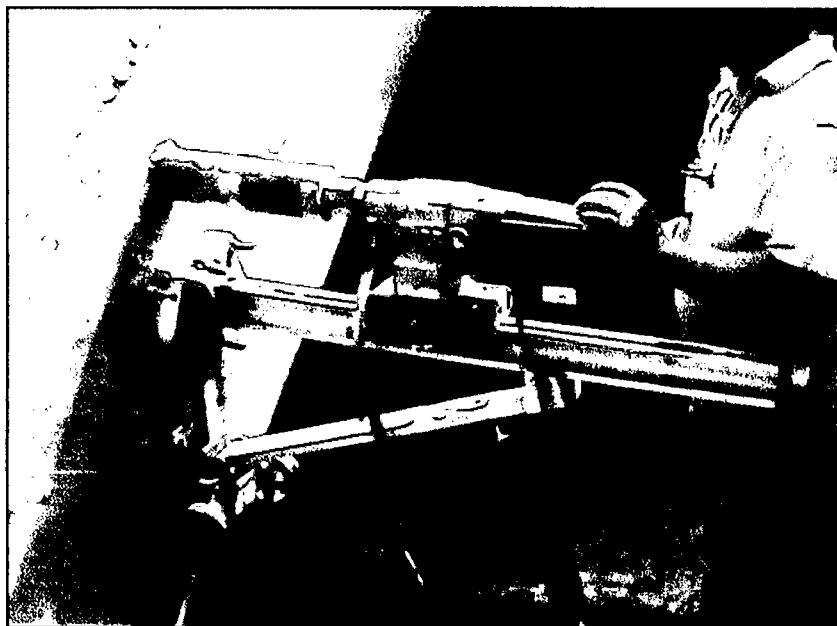


Fig. 6.30: Extracción de la diamantina en la columna C-1.

Una vez extraídas las diamantinas se corta los bordes de las tres diamantinas con una sierra de diamante (cortadora) con alimentación automática.

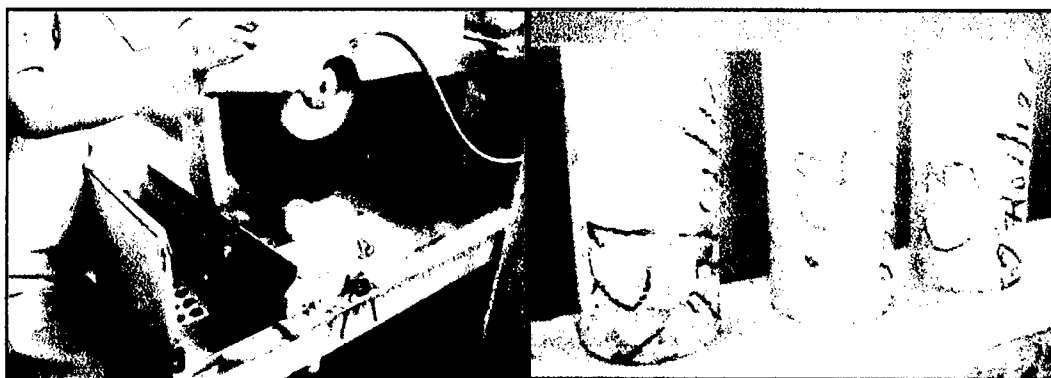


Fig. 6.31: a) Cortadora y b) Testigos perfilados.



Por último hacemos el ensayo de resistencia a la compresión después de los 7 días de la extracción de estas.

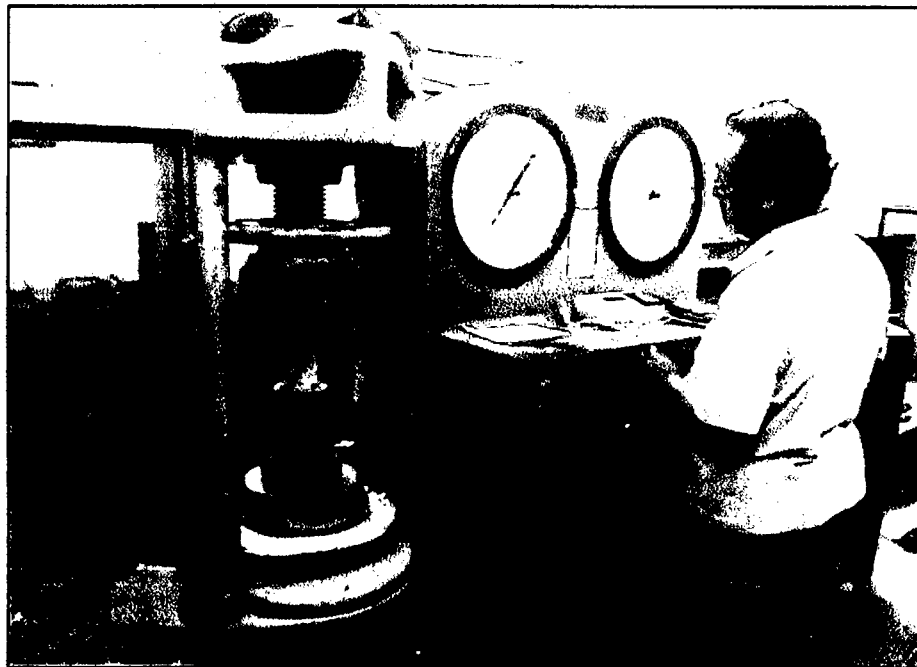


Fig. 6.32: Ensayo a la compresión con la maquina universal.

c) Resultados

Cuadro 6.5: Resultados obtenidos del ensayo de compresión estándar.

MUESTRA	Fuerza (Kg.)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia compresión ASTM C-042 (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de Diseño (Kg/cm <sup>2</sup> ) 100% <i>f</i> ' <sub>c</sub>	85% <i>f</i> ' <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	75% <i>f</i> ' <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	ACI - 318
C - 1	6350	44.18	143.73	210	178.5	157.5	NO cumple
C - 2	11400	44.18	258.04	210	178.5	157.5	Cumple
C - 3	6050	44.18	136.94	210	178.5	157.5	NO cumple

d) Conclusiones

Se observo que de las tres columnas evaluadas con sus respectivos testigos solo una, la columna (C-2) pasa los valores mínimos de condiciones de exposición que señala la Norma ACI – 318-99, capítulo 20, la cual menciona que la resistencia mínima obtenida en los testigos deberán ser el 75% de la  
*EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO EQUIPOS Y MÉTODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS*

resistencia de diseño, en este caso los valores resultaron mayores que 157.5 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que las columnas (C-1 y C-3) se obtuvieron valores por debajo a lo que indica la norma, por tanto no cumple a lo que indica la norma.

### 6.2.3.3 Ensayo de peso unitario

#### a) Equipos

- Balanza de precisión 0.1g
- Vernier

#### b) Procedimiento

Este ensayo se realizó bajo la Norma ASTM C138 y NTP 339.046. El peso unitario (PU), se puede determinar por verificaciones simples de dimensiones, seguidas de cálculos de peso.

$$PU = \frac{\text{Peso (Kg)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}}$$

#### c) Resultados

Cuadro 6.6: Valores de peso unitario de concreto endurecido realizado a los testigos extraídos de los elementos de estudio.

MUESTRA	Peso (Kg.)	Altura (cm.)	Área (cm <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario (Kg/m <sup>3</sup> )
C - 1	1.582	15.0	44.18	0.000663	2387
C - 2	1.574	15.0	44.18	0.000663	2375
C - 3	1.451	14.6	44.18	0.000645	2250

#### d) Conclusiones

De los valores obtenidos del cuadro 6.6, se puede concluir que el peso unitario del concreto de cada muestra está dentro del rango que le corresponde, ya que los valores de densidad del concreto se encuentra entre 2200 – 2400kg/m<sup>3</sup>.

#### 6.2.3.4 Determinación de la profundidad, localización y espesor de la armadura

##### a) Equipos

- Pacómetro modelo DMF 10 Zoom profesional marca BOSCH.
- Pacómetro modelo Rebarscope marca James Instruments. (Ver Anexo F, ítem F3)
- Wincha métrica
- Marcador

##### b) Procedimiento

En primer lugar se procede a ubicar la armadura realizando un barrido rápido con el primer pacómetro ya que este equipo es muy ligero y fácil de manejarlo, además este equipo solamente detecta la ubicación del acero. (Véase figura 6.33).



Fig. 6.33: Pacómetro DMF 10 Zoom profesional.

Una vez barrido la ubicación del acero corroboraremos la orientación de las barras de acero con el pacómetro Rebarscope, con este equipo también se debe determinar el recubrimiento o la capa de protección.

En la figura 6.34.a se observa la determinación del sentido del acero con el sensor del Rebarscope y en la figura 6.34.b se observa la pantalla del equipo mostrando la profundidad del acero.

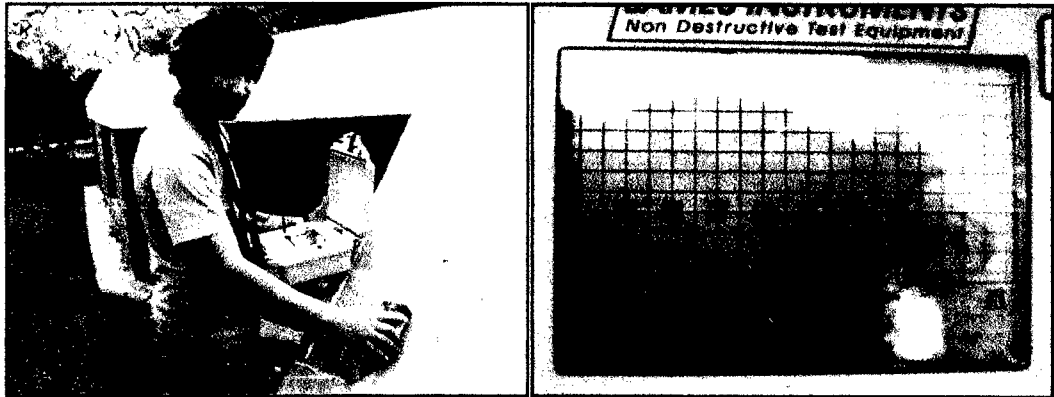


Fig. 6.34: a) Pacómetro Rebarscope y b) Pantalla del pacómetro.

Y por último se determina el diámetro del acero. En la figura 6.35.a, se observa como detecta el recubrimiento del acero de la parte inferior de una de las columnas inclinadas de la estructura, y en la figura 6.35.b, es la pantalla del equipo mostrando el diámetro del acero determinado.

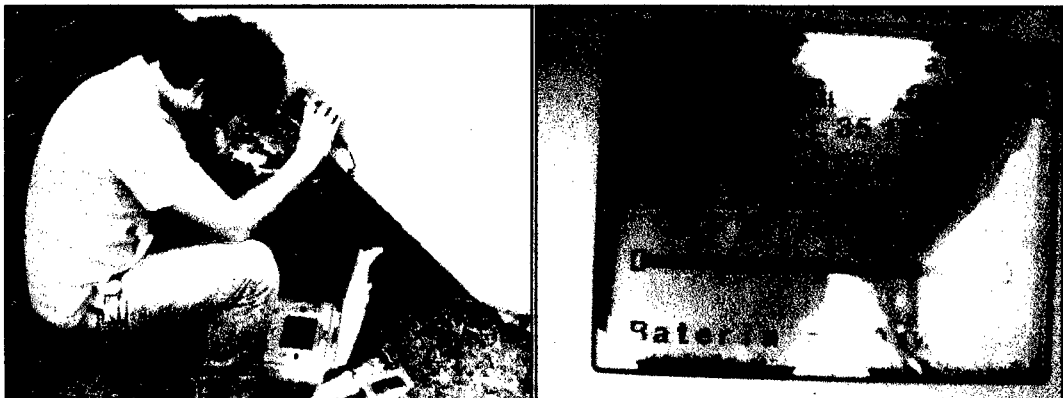


Fig. 6. 35: a) Pacómetro Rebarscope y b) Pantalla del pacómetro.

### c) Resultados

Los resultados de esta evaluación se mostrarán en las Figuras 6.36, 6.37, 6.38, 6.39 y 6.40 o para mejor detalle ver el en el Anexo B, este anexo contiene la ubicación de acero en toda la estructura, los detalles de su recubrimiento y el dimensionamiento del acero en las laminas B1, B2 y B3.

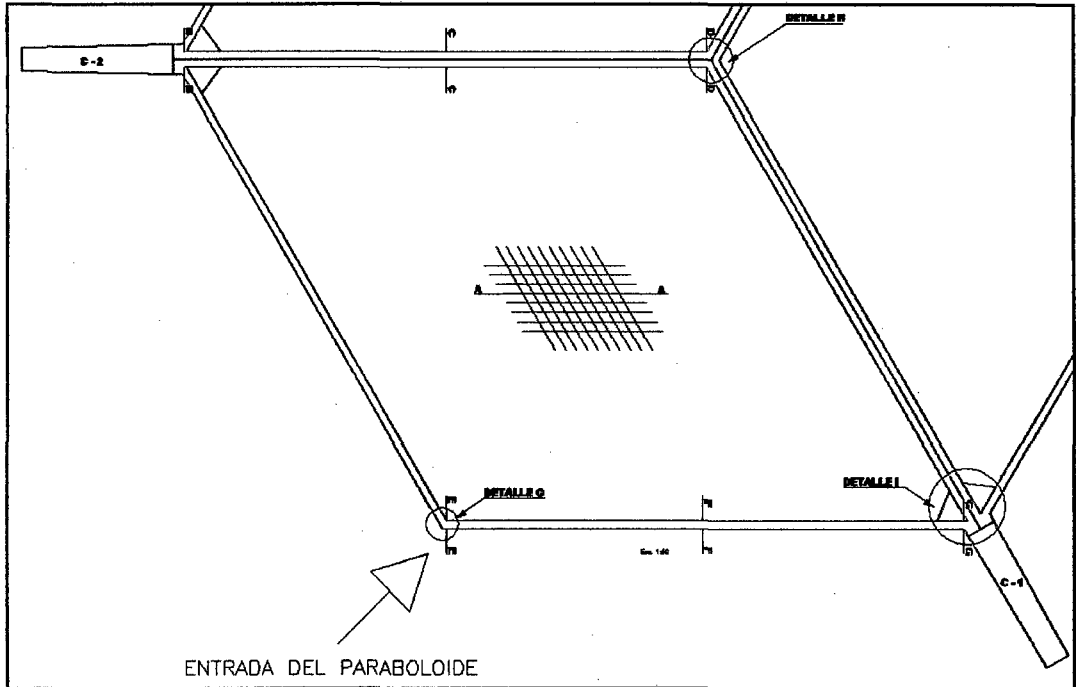


Fig. 6.36: Vista en planta de una parte de la estructura del paraboloide hiperbólico.

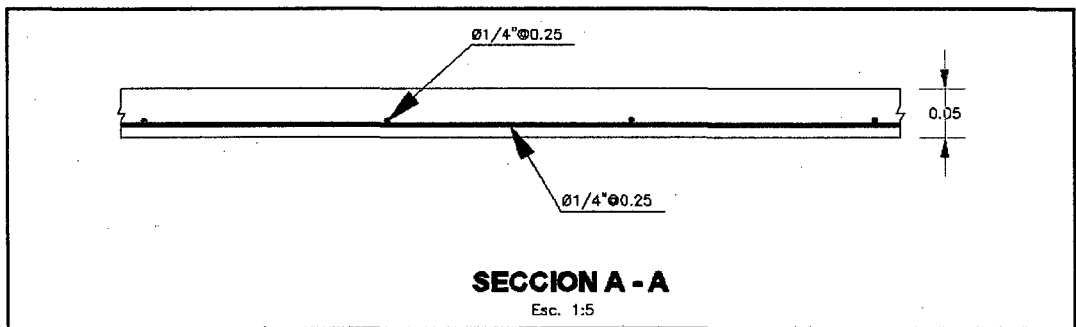


Fig. 6.37: Vista en corte de la sección A-A de la Figura 6.36.

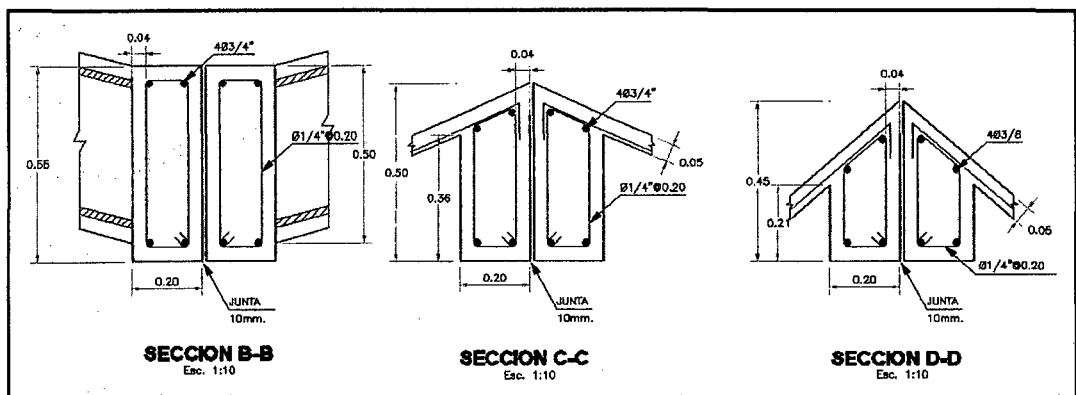


Fig. 6.38: Vista en corte de las secciones B-B, C-C y D-D de la Figura 6.36.

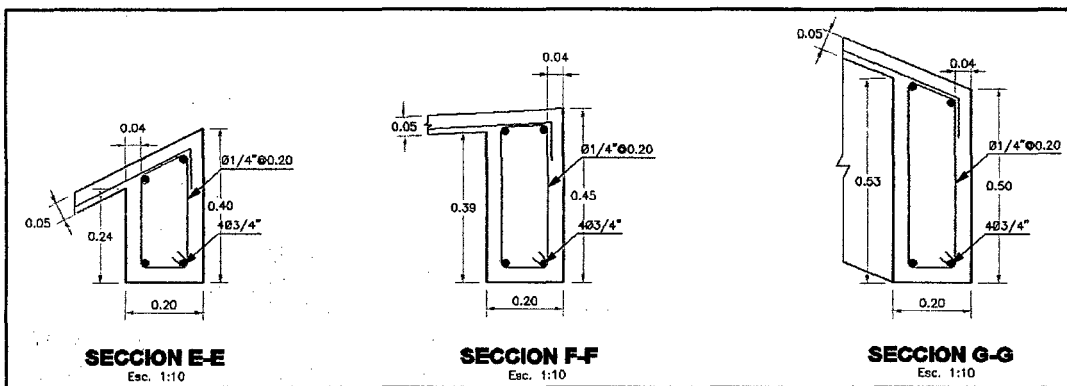


Fig. 6.39: Vista en corte de las secciones E-E, F-F y G-G de la Figura 6.36.

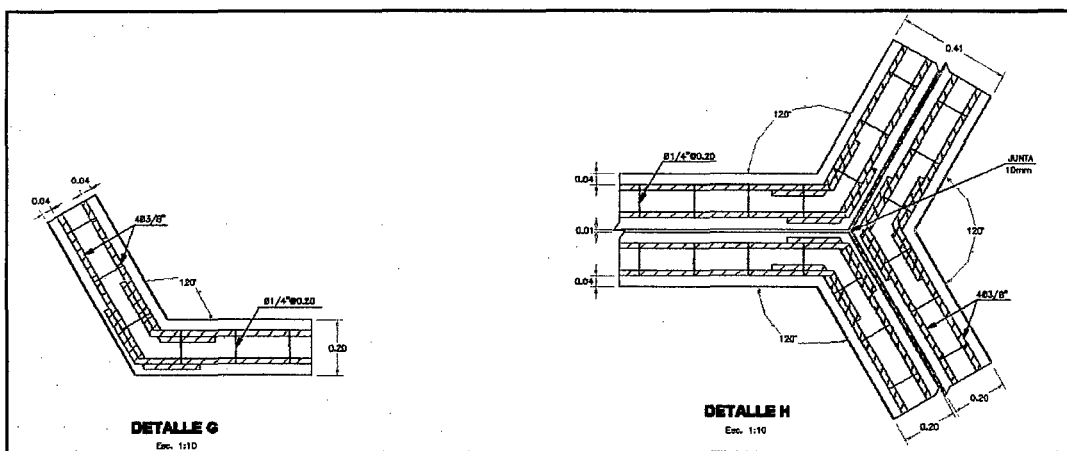


Fig. 6.40: Vista en planta de los detalles G y H de la Figura 6.36.

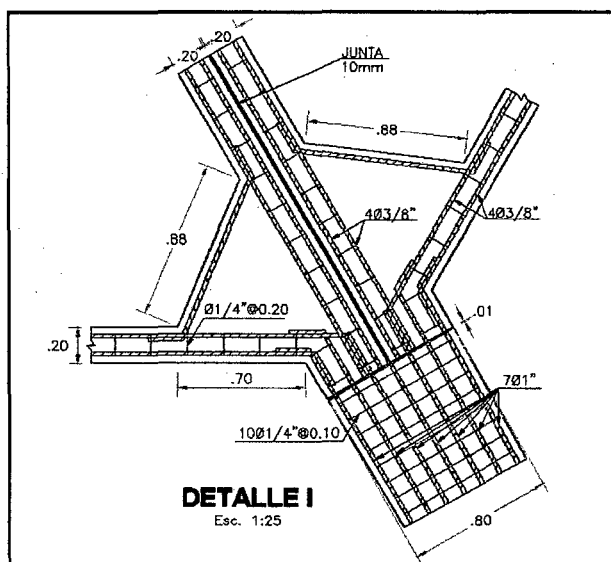


Fig. 6.41: Vista en planta del detalle I de la Figura 6.36.

#### d) Conclusiones

Obtenemos el diagrama esquemático de la estructura en estudio, detallando la ubicación de las armaduras y el diámetro de cada elemento.

Uno de los datos más importantes en este ensayo para la evaluación de la durabilidad de una estructura de concreto armado es el recubrimiento, ya que con este dato, podremos estimar su vida útil de la estructura. En donde el recubrimiento promedio de la estructura es de 4cm.

#### 6.2.3.5 Velocidad de pulsos ultrasónicos

##### a) Equipo

- Acoplante (silicona o vaselina).
- Equipo V-Meter MK IV marca James Instruments (Ver Anexo F, ítem F2).

##### b) Procedimiento

Guiándonos de la Norma ASTM C597, cuidadosamente se elige la muestra o el elemento que se va a ensayar y se toman tres lecturas como mínimo, anotando el tiempo de propagación de la onda en el concreto y la distancia entre transductores; estas distancias no deben exceder de 400 mm y se recomienda que sean lo más constantes posibles para asegurarse de que las lecturas obtenidas sean uniformes.

Como primer paso es introducir valores de calibración al equipo como: la frecuencia de 500 kHz, la densidad del material que es de  $2400 \text{ kg/m}^3$  y la ganancia de 500. Estos valores son recomendables para el estudio en el concreto.



Fig. 6.42: Limpieza de la superficie del concreto a evaluar.

Una vez que la onda se transmite a través del concreto, es captada por el transductor receptor, el cual convierte la energía mecánica de la onda en pulso electrónico. Después de recibido, se obtendrá el tiempo de propagación de la onda en el concreto que, junto con la distancia entre transductores, nos ayudará a saber la velocidad de pulso. Se debe asegurar que los transductores tengan un buen acoplamiento sobre la superficie del concreto. Esto se logra colocando entre la superficie de concreto y los transductores, vaselina.



Fig. 6.43: Ensayo de la velocidad del pulso ultrasónico con el V-Meter MK IV.



Al colocar los transductores sobre la superficie del concreto se debe:

- Procurar no moverlos, ya que se puede generar ruido y consecuentemente lecturas erróneas.
- Mantener firmes los transductores hasta que la lectura sea definida.

c) Resultados

En la Figura 6.44 muestra los tramos donde se realizaron los ensayos, teniendo 5 tramos de 40 cm. de distancia entre puntos y en el tramo 1 está dividido por dos tramos de 20 cm. teniendo a este el tramos 6 y 7.

En la Figura 6.45, 6.46 y 6.47 muestra los tramos 8 (viga), 9 (viga) y 10 (casarón) respectivamente, de 20 cm. distancia entre puntos.

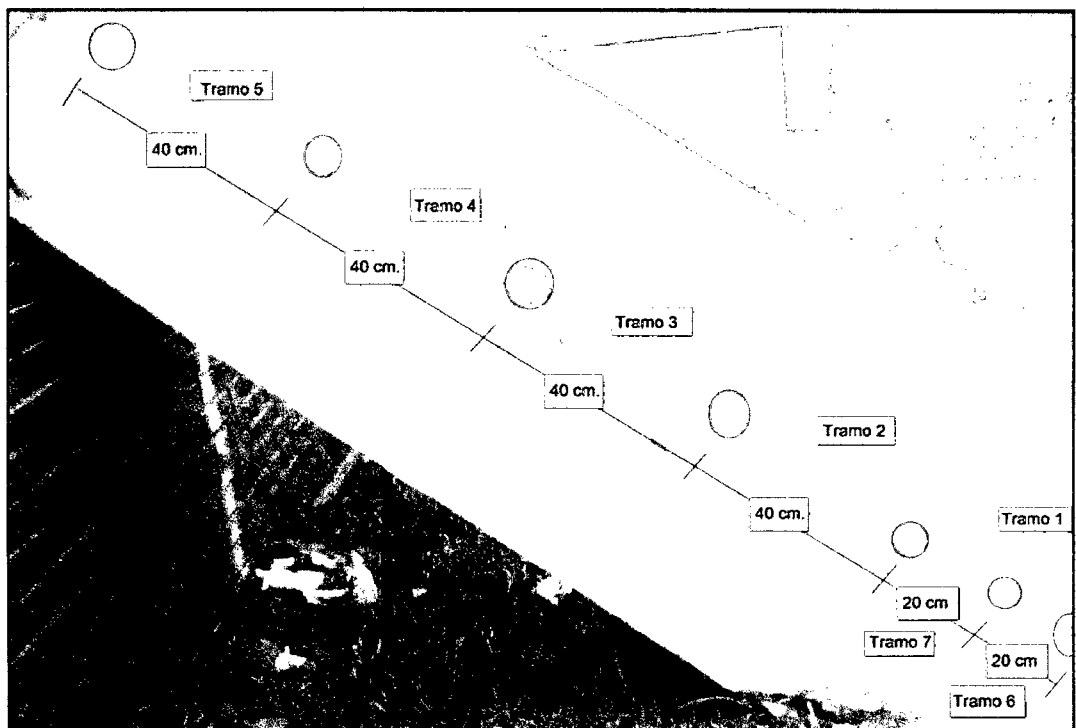


Fig. 6.44 Tramos de ensayo en la columna C-1.

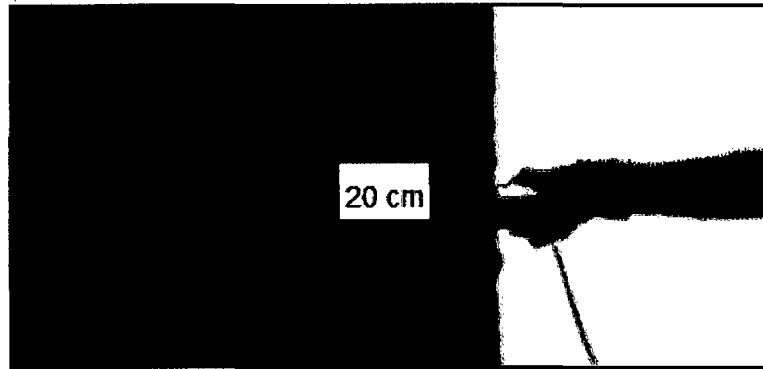


Fig. 6.45: Tramo 8 del ensayo en la viga sobre la columna C-1 lado izquierdo.

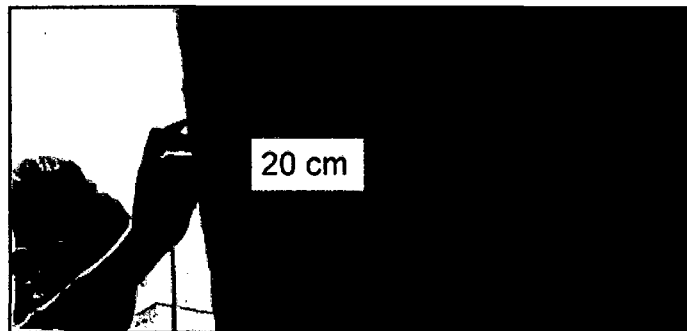


Fig. 6.46: Tramo 9 del ensayo en la viga, sobre la columna C-1 lado derecho.

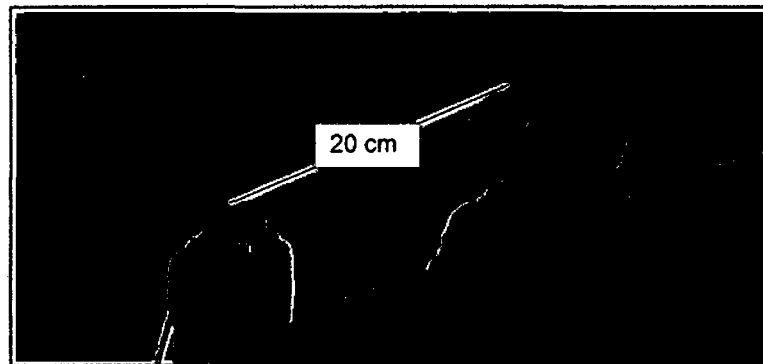


Fig. 6.47: Tramo 10 del ensayo en el cascarón, entre las vigas ensayadas.

A continuación se muestra el Cuadro 6.7 en donde se da los valores de las velocidades con sus respectivas calidad de concreto para cada tramo evaluado de la columna 1 (tramo 1 al 7), de las vigas aledañas a la columna 1 (Tramo 8 y 9) y al cascaron (tramo 10).

Cuadro 6.7: Resultados de las mediciones con el equipo ultrasónico V-METER MK IV.

TRAMO (Fig. 6.44)	TIEMPO MICROSEGUNDOS	DISTANCIA (m)	VELOCIDAD (m/s)	CALIDAD DEL CONCRETO (Tabla 3.1)
1	202.6	0.40	1976	Deficiente
2	226.3	0.40	1769	Deficiente
3	190.6	0.40	2100	Normal
4	195.1	0.40	2052	Normal
5	135.7	0.40	2950	Normal
6	128.9	0.20	1554	Deficiente
7	128.7	0.20	1557	Deficiente
8	163.5	0.20	1225	Deficiente
9	90.1	0.20	2223	Normal
10	199.0	0.20	1007	Deficiente

d) Conclusiones

Se llego a la conclusión según este ensayo que la estructura no tiene una buena homogeneidad, según el Cuadro 6.7, las velocidades son muy variables, además son muy bajas para un buen concreto, según Tabla 3.1.

6.2.3.6 Permeabilidad del concreto

a) Equipo

- Equipo completo Poroscope plus (Ver Anexo F, ítem F1)
- Taladro

b) Procedimiento

El primer paso consta en la preparación del agujero de prueba de 3/8" de diámetro, cual se realizara con un taladro, donde al terminar la perforación de 40mm se procederá a la limpieza del orificio con aire a presión.

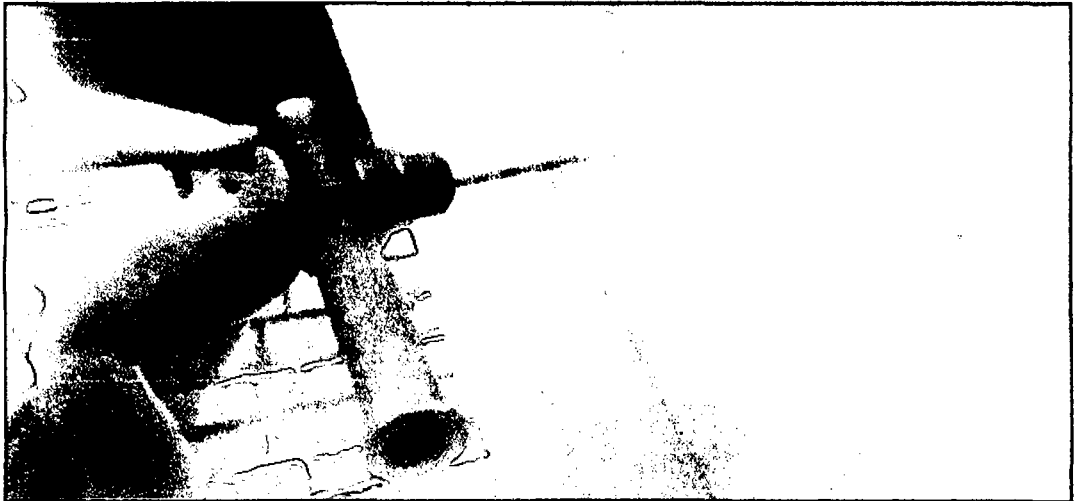


Fig. 6.48: Perforación con el taladro para los agujeros de prueba.

Luego procederemos a la colocación del tapón a los orificios (tornillo y tapón de plásticos). Para este ensayo se realizaron dos orificios con sus respectivos tapones para cada columna (ver Figura 6.49).

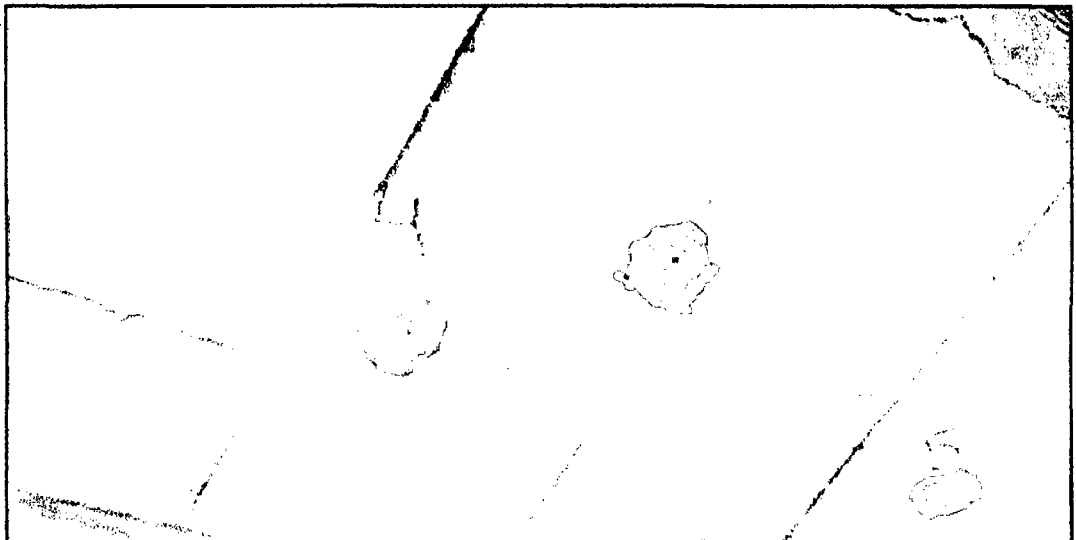


Fig. 6.49: Sellado de los orificios de prueba con tapones y silicona.

Y por ultimo colocar la aguja del equipo y extraer el aire, para luego medir el tiempo en minutos con segundos del equipo (ver figuras 6.50 y 6.51), se realizó dos mediciones por cada orificio de prueba.

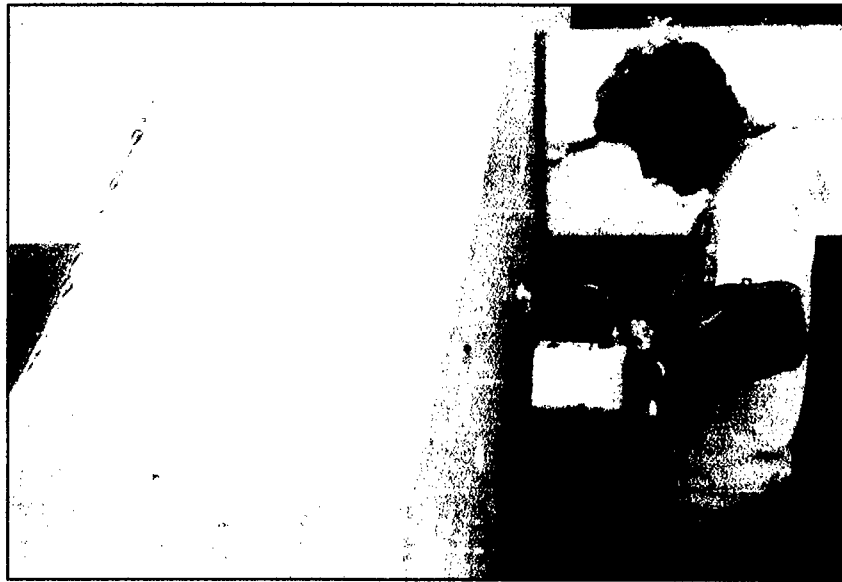


Fig. 6.50: Extracción de aire al orificio de prueba, Columna N° 1.

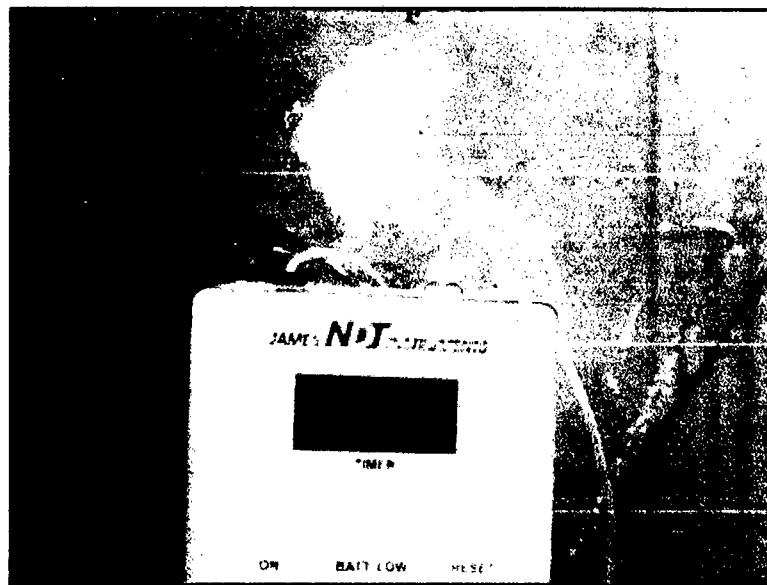


Fig. 6.51: Lectura del tiempo del equipo Poroscope en la Columna N° 3.

Para mayor entendimiento del proceso del ensayo ver el Anexo F: F1, donde está el manual de este equipo.

### c) Resultados

En la siguiente tabla mostraremos los valores obtenidos en la medición por el método del aire.

Cuadro 6.8: Resultados de la medición de la permeabilidad al aire.

MUESTRA	PRUEBA	TIEMPO 1 (s)	TIEMPO 2 (s)	TIEMPO PROMEDIO (s)	CALIDAD PROTECTORA	CATEGORÍA DEL CONCRETO
C - 1	1	69	71	70	No muy bueno	1
	2	50	47	48.5	No muy bueno	1
C - 2	1	81	84	82.5	No muy bueno	1
	2	64	67	65.5	No muy bueno	1
C - 3	1	61	56	58.5	No muy bueno	1
	2	77	72	74.5	No muy bueno	1

#### d) Conclusiones

Finalmente se puede decir que la permeabilidad del concreto es importante por dos razones: los parámetros obtenidos permiten determinar cuan rápidamente las sustancias destructivas pueden penetrar en el concreto, y cuan fácilmente el material puede ser lavado rápidamente del concreto.

Por tanto los resultados del Cuadro 6.8, muestran que la calidad protectora no es buena ya que presenta intervalos de tiempo que están dentro del rango de 30 a 100 segundos según la Tabla 3.2.

#### 6.2.3.7 Ensayo de pH

##### a) Procedimiento

Siguiendo las Normas MTC E 119 y ASTM D 4792 se procede a obtener los valores de pH de cada testigo a diferentes profundidades (2.5, 7.5 y 12.5 cm) desde la cara exterior.

En la Figura 6.52 se observa las muestras de cada testigo a diferentes profundidades, teniendo un total de 9 muestras de 100 gr cada una. Estas muestras se colocan en recipientes con agua destilada, para luego así medir su pH con un papel indicador.

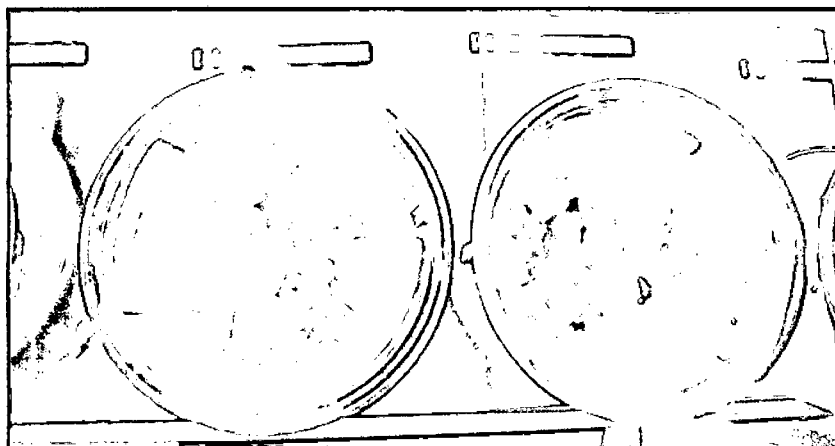


Fig. 6.52: Muestras para el ensayo de pH del concreto.

b) Resultados

A continuación se presenta los resultados de las mediciones de pH a diferentes profundidades como se muestra en el Cuadro 6.9 y el valor del potencial de corrosión  $E(v)$ , que se cálculo de los mapas isotopotenciales (Figuras 6.59, 6.60 y 6.61) de las columnas en donde se realizaron las extracciones de los testigos.

Cuadro 6.9: Valores de pH y Potencial de corrosión ( $E(v)$ ) de los testigos extraídos de los elementos estructurales estudiados.

DENOMINACIÓN	PROF. MUESTRA (cm.)	pH CONCRETO	$E(v)$ CONCRETO
C - 1	2.5	9.06	-300
	7.5	12.06	
	12.5	12.18	
C - 2	2.5	9.00	-350
	7.5	12.10	
	12.5	12.23	
C - 3	2.5	9.26	-250
	7.5	12.13	
	12.5	12.28	

### c) Conclusiones

Se considera que un concreto en buen estado, presenta un pH en el rango de 12 a 14, para que este cumpla con la función de proteger al acero de refuerzo (en estado de pasivación), en el caso en estudio se encontró que en los tres testigo el pH a una profundidad de 2.5 cm es de 9 aproximadamente, por tanto el concreto perdió la característica protectora al acero de refuerzo ante cualquier ataque.

#### 6.2.3.8 Profundidad de carbonatación

##### a) Equipos y materiales

- Wincha
- Piqueta
- Gotero
- Solución indicadora acido-base: fenolftaleína

##### b) Procedimiento

Se realizo el ensayo sobre los 3 testigos extraídos aplicando la sustancia de fenolftaleína a cada uno de estos, siguiendo el procedimiento de la Norma RILEM CPC-18, obteniendo en todas una profundidad de carbonatación.

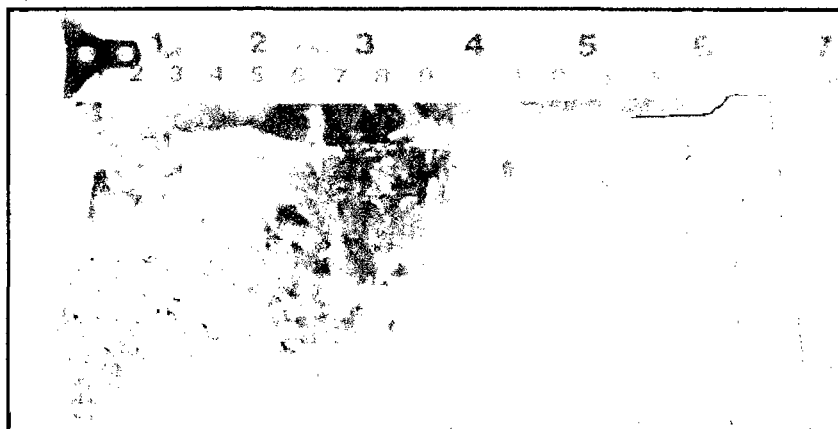


Fig. 6.53: Aplicación de Fenolftaleína al testigo C-1 con una profundidad de carbonatación aprox. de 5 cm.





Fig. 6.54: Aplicación de Fenolftaleína al testigo C-2 con una profundidad de carbonatación aprox. de 3.5 cm.



Fig. 6.55: Aplicación de Fenolftaleína al testigo C-3 con una profundidad de carbonatación aprox. de 2.5 cm.

c) Resultados

Cuadro 6.10: Profundidad de carbonatación y tiempo restante de cada testigo.

MUESTRA	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (cm.)	COEFICIENTE DE CARBONATACIÓN PARA 50 AÑOS (cm/años) <sup>1/2</sup>	TIEMPO RESTANTE PARA LLEGAR A 4cm. (años)
i	$X_i$	$k_i = X_i/\sqrt{50}$	$t_i = \left(\frac{4 - x_i}{k_i}\right)^2$
C - 1	5.0	0.70	0
C - 2	3.5	0.49	1
C - 3	2.5	0.35	18

#### d) Conclusiones

En la realización de este ensayo se observa claramente que existe carbonatación en cada testigo como se muestra en las Figuras 6.53, 6.54 y 6.55 con 5.0, 3.5 y 2.5 cm de penetración respectivamente, teniendo como conclusión que el acero en la columna 1 ya está en proceso de corrosión del acero, la columna 2 está a un año para corroerse y la columna 3 aun a 18 años para el inicio de la corrosión del acero, según las formulas de Fick, (ver figura 2.9 donde se muestra tiempo vs. profundidad de penetración)

También hay que concluir que el cascarón de la estructura tiene un espesor de 5 cm. (ver Figura 6.37) y el recubrimiento más cercano del acero a la superficie es de 1cm. siendo esta una distancia menor a las profundidades de carbonatación de las columnas, por tanto se concluye que la carbonatación ya está atacando al acero de refuerzo del cascaron. Donde este acero es de refuerzo tiene como diámetro  $\frac{1}{4}$ " y por tanto el periodo de propagación es más rápido.

#### 6.2.3.9 Contenido de cloruros

##### a) Procedimiento

Se realizo los análisis de determinación de presencia de cloruros, respecto a las normas: ASTM D 3370:1999 y AASTHO T-291. Estas se realizaron sobre las 3 muestras C-1, C-2 y C-3 (ver Figura 6.23), a tres diferentes profundidades cada una, desde la superficie exterior del concreto, comprendidas entre 0 - 5 cm., 5 - 10 cm. y 10 - 15 cm.

Para las determinaciones de cloruros de cada una de las porciones seleccionados para el ensayo se tomaron 100 gr. de la parte central de cada tramo que corresponde, que viene a ser aproximadamente a los 2.5, 7.5 y 12.5 cm. desde la cara exterior del concreto.

La cantidad máxima de cloruros presentes en la masa de concreto sin dañar la durabilidad de esta se ha tomado de las Normas ACI - 318-99, "Requisitos para concretos expuestos a soluciones que contiene sulfatos".

b) Resultados

Usaremos la norma ACI 318-99 en donde indica que la cantidad máxima de cloruros es el 0.15% del peso del cemento. (Ver tabla 2.1).

Cuadro 6.11: Resultados del ensayo de contenido de cloruros en los 3 testigos.

MUESTRA	PROF. MUESTRA (cm.)	CANTIDAD CLORUROS (ppm)	CANTIDAD CLORUROS (Kg/m <sup>3</sup> )	CANT. MAX. DE CLORUROS $0.15\% \times 297.5 = 0.446$ (kg/m <sup>3</sup> )
C-1	2.5	154	0.154	Cumple
	7.5	148	0.148	Cumple
	12.5	130	0.130	Cumple
C-2	2.5	160	0.160	Cumple
	7.5	93	0.093	Cumple
	12.5	96	0.096	Cumple
C-3	2.5	172	0.172	Cumple
	7.5	145	0.145	Cumple
	12.5	119	0.119	Cumple

c) Perfil de profundidad de penetración de Cloruros.

Para calcular el perfil de profundidades de penetración de cloruros se procede a realizar dos cortes a cada testigo de aproximadamente 5 cm. de espesor. A continuación los perfiles que se obtuvieron de la información del Cuadro 6.11.

### Penetración de Cloruros

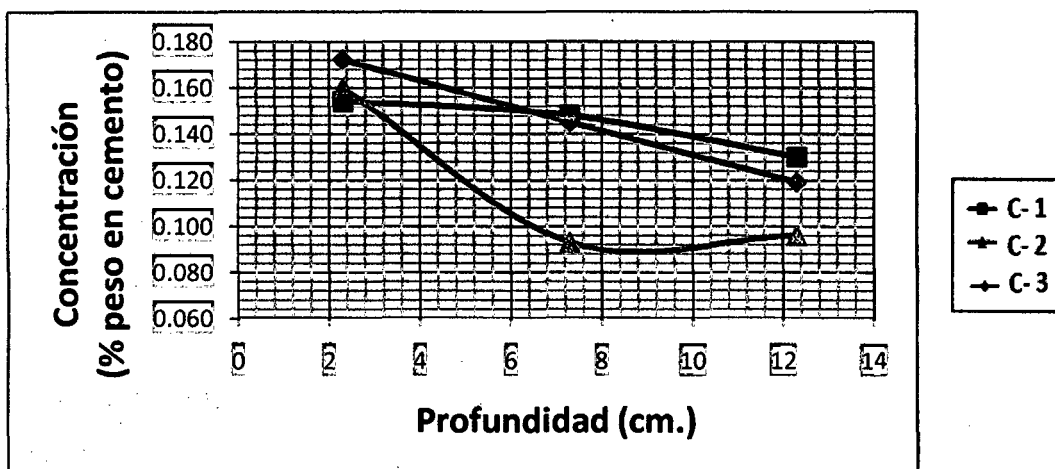


Gráfico 6. 1: Perfil de concentración de cloruros de las columnas.

#### d) Conclusiones

Los valores obtenidos en cada uno de los testigos son relativamente bajos, como indica el ACI-318-99.

Para el análisis a la penetración de cloruros al concreto se corto en tres partes de cada testigo para obtener valores a diferentes profundidades como se muestra en el Gráfico 6.1, en donde observamos claramente la concentración de cloruros con respecto a la profundidad de la probeta (2.5, 7.5 y 12.5 cm.).

#### 6.2.3.10 Concentración de sulfatos

##### a) Procedimiento

Siguiendo el procedimiento de las Normas ASTM E 275:2001 y AASTHO T-290 se toma muestras igual al ensayo de contenido de cloruros

Se tomaron muestras de 100 gr. de diferentes profundidades de los núcleos y se procedieron a la realización del ensayo en el Laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de Ingeniería.

b) Resultados

Cuadro 6.12: Concentración de sulfatos de los testigos en estudio.

MUESTRA	PROF. MUESTRA (cm.)	CANTIDAD SULFATOS (ppm)	RIESGO DE DAÑO ACI - 318-99 (Anexo G)
C-1	2.3	1123	Moderado
	7.3	685	Moderado
	12.3	526	Moderado
C-2	2.3	674	Moderado
	7.3	549	Moderado
	12.3	632	Moderado
C-3	2.3	658	Moderado
	7.3	617	Moderado
	12.3	513	Moderado

c) Conclusiones

Al igual que la concentración de cloruros identificamos la cantidad de sulfatos a diferentes profundidades de los testigos, encontrando así valores moderados según la Norma ACI-318-99.

6.2.3.11 *Medición de potenciales de corrosión*

a) Equipo

- El Concrete Corrosion Mapping System, es el equipo diseñado por la empresa Mc Miller Co. (ver Anexo F, ítem F4)
- Cíncel y comba.
- Escobilla y/o lija.

## b) Procedimiento

El primer paso es la limpieza del área delimitada para el análisis de la estructura del paraboloide hiperbólico UNI-FIC, esta debe de estar limpia de sustancias en contacto debe ser removida, ya sea pintura, oxido, restos de sustancias orgánicas, acabados que protegen al concreto como lechadas, etc.

Para realizar la medición, es necesario que el equipo este en contacto con el acero de refuerzo de la estructura, para lo cual es necesario hacer picaduras al concreto con un cincel hasta encontrar al acero de refuerzo y hacer la conexión con el equipo.

En la Figura 6.56 se muestra la correcta instalación del equipo, desde la colocación de la esponja hasta el voltímetro.

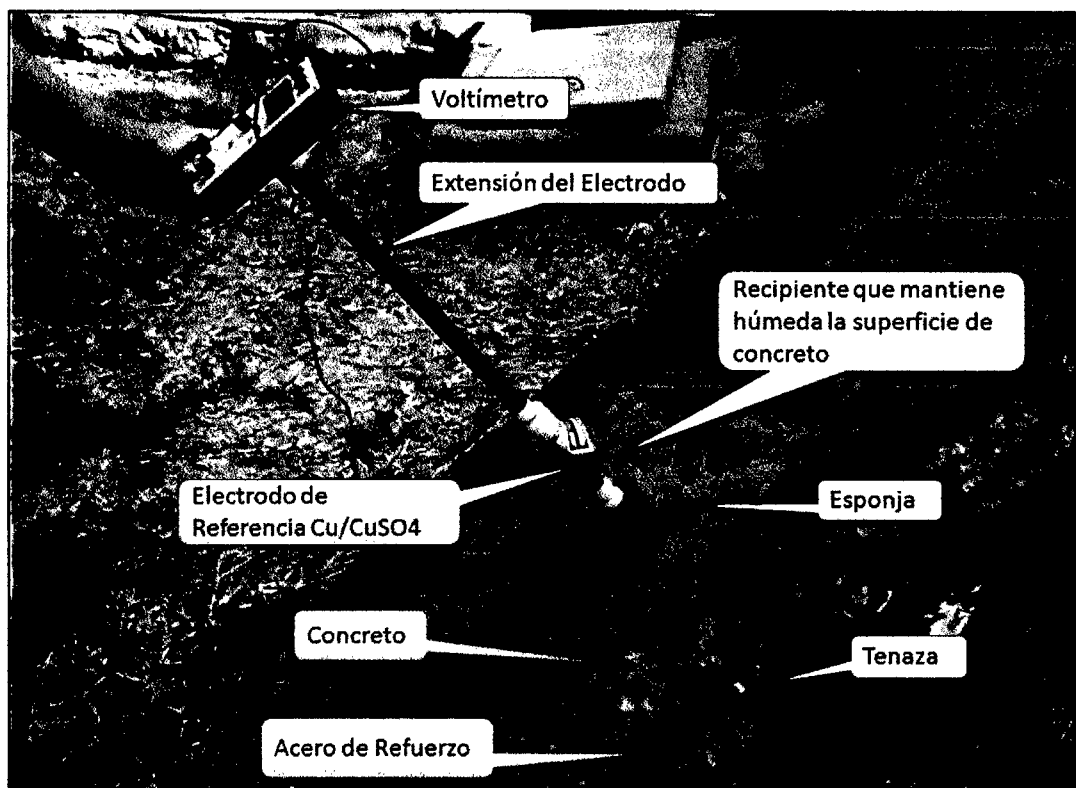


Fig. 6.56: Equipo de concrete corrosión mapping system.

Una vez instalado el equipo, poner sobre la superficie de concreto y tomar nota los valores obtenidos de cada punto.

Previa a la colocación es importante la preparación del voltímetro, que es la colocación de interruptor de función en la posición de corriente continua, colocar el interruptor de selector de gama a 2V la escala y colocar en interruptor de selector de resistencia de entrada a la posición de 25 meg-ohmios.

Una vez tomadas las lecturas de los diferentes puntos a evaluar, se procederá a la evaluación de los resultados de tal manera de dar un diagnostico de los puntos estudiados.

Como primer paso tomaremos las medidas de las columnas C-1, C-2 y C-3 de los lados donde extrajeron las diamantinas, véase Figura 6.57.

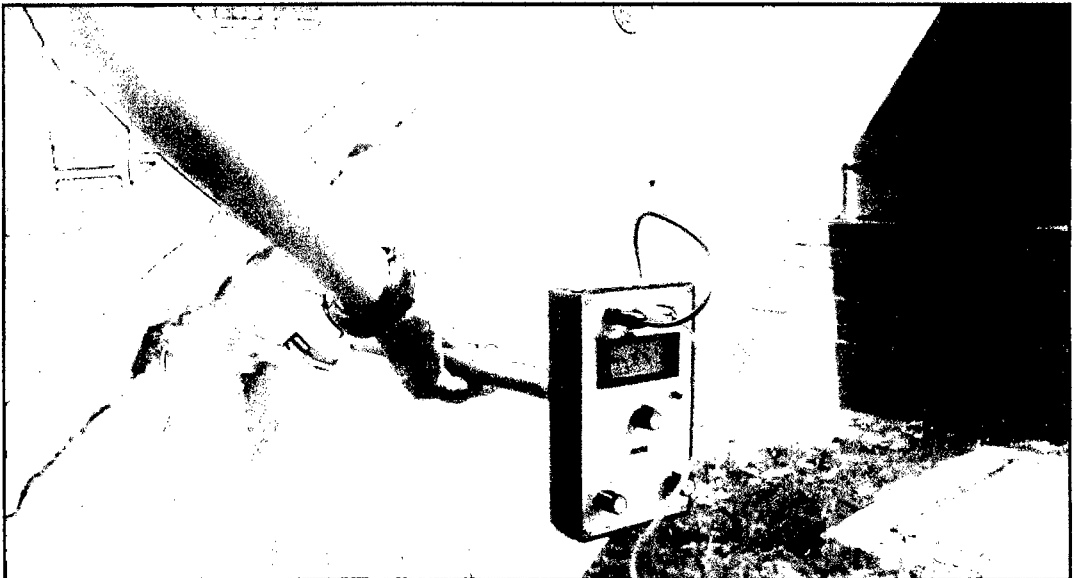


Fig. 6. 57: Medición de la diferencia de potencial de la columna C - 2.

Luego se procedió a medir en potencial de corrosión en toda la superficie del cascaron de la estructura en estudio, con el equipo de "concrete corrosión mapping system".

En la Figura 6.58 se ve como es la medición en un punto del cascaron (paraboloide hiperbólico), donde se recomienda que:

- Siempre el equipo esta perpendicular a la superficie.
- Mantener llena el frasco donde va sumergida la celda.
- Y tratar de no tocar a tierra las tenazas.



Fig. 6.58: Medición de la diferencia de potencial en el cascaron de la estructura.

### c) Resultados

Una vez obtenido las medidas obtenidos de las caras de las tres columnas en donde se realizó la extracción de diamantinas y todo el cascarón del paraboloide hiperbólico se procede a un mapa equipotencial acotado, de esta manera obtener las lecturas de potenciales dibujados a una escala.

Los diferenciales de potenciales acotados y el mapeo de potenciales de las tres columnas en estudio en las Figuras 6.59, 6.60 y 6.61 y el cascarón en la Figura 6.62.

Para las tres columnas se procedió a realizar cuadrículas tomando como línea de referencia el eje central de una de las caras de cada columna, trazando líneas perpendiculares a cada 60cm, como se mostrara en el Anexo C, lamina C - 1.

Para el cascarón se realizaron cuadrículas con líneas paralelas a las generatrices y líneas perpendiculares a estas, paralelas al plano director. Estas divisiones se harán en cada hoja del paraboloide hiperbólico y el total líneas será



de 16 por cada lado de la hoja, dando como resultado una separación de 1 m aproximadamente por cada cuadrícula formada en estas divisiones.

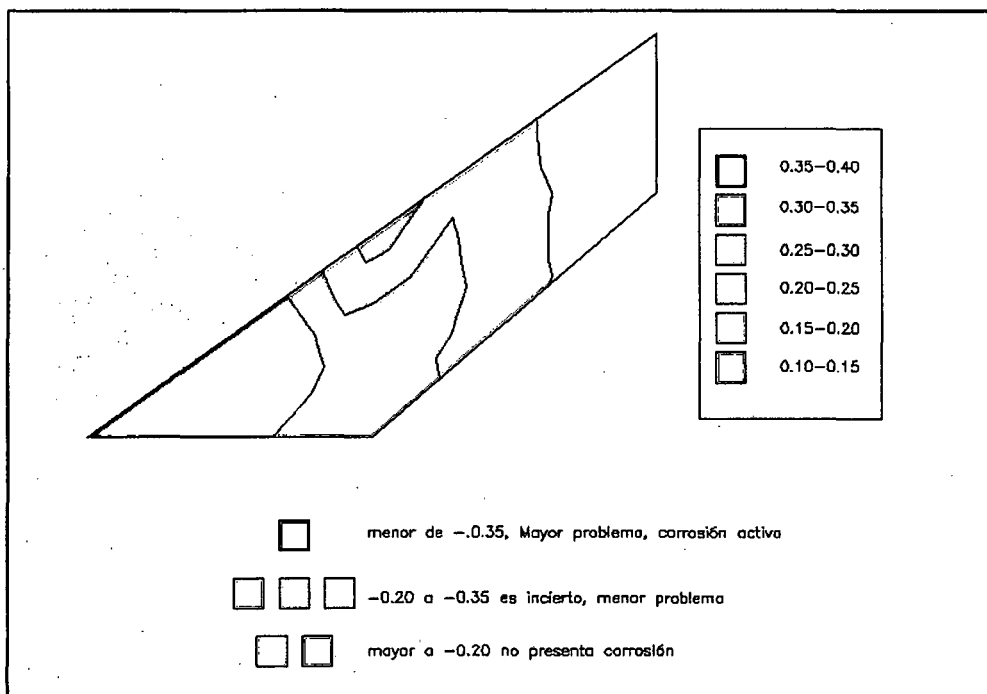


Fig. 6.59: Mapa de potenciales de la columna - 1.

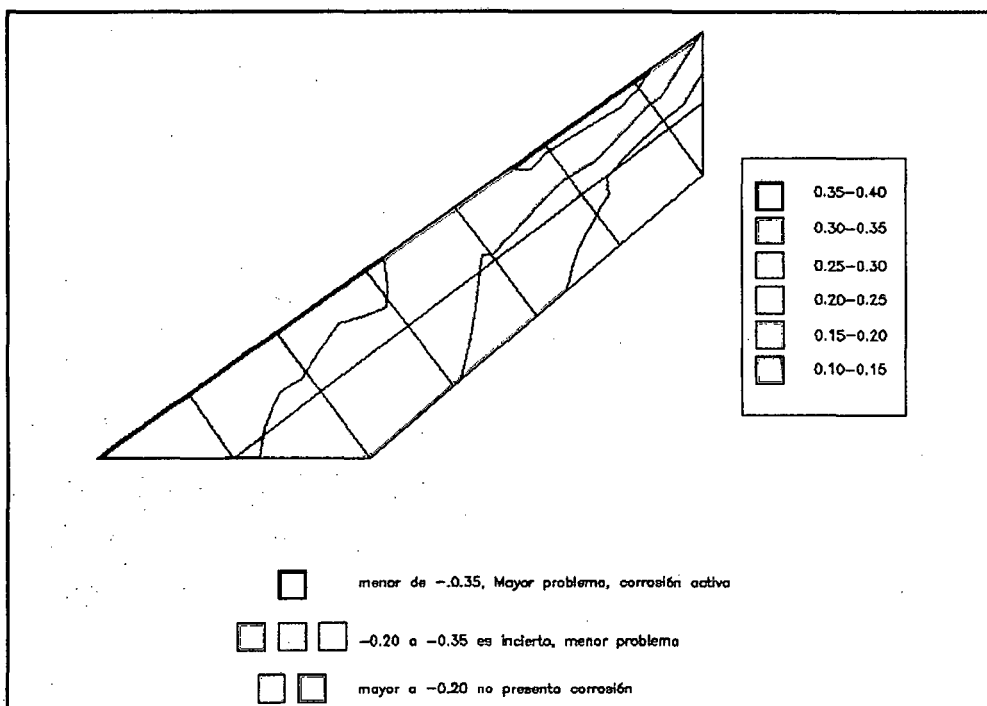


Fig. 6.60: Mapa de potenciales de la columna - 2.

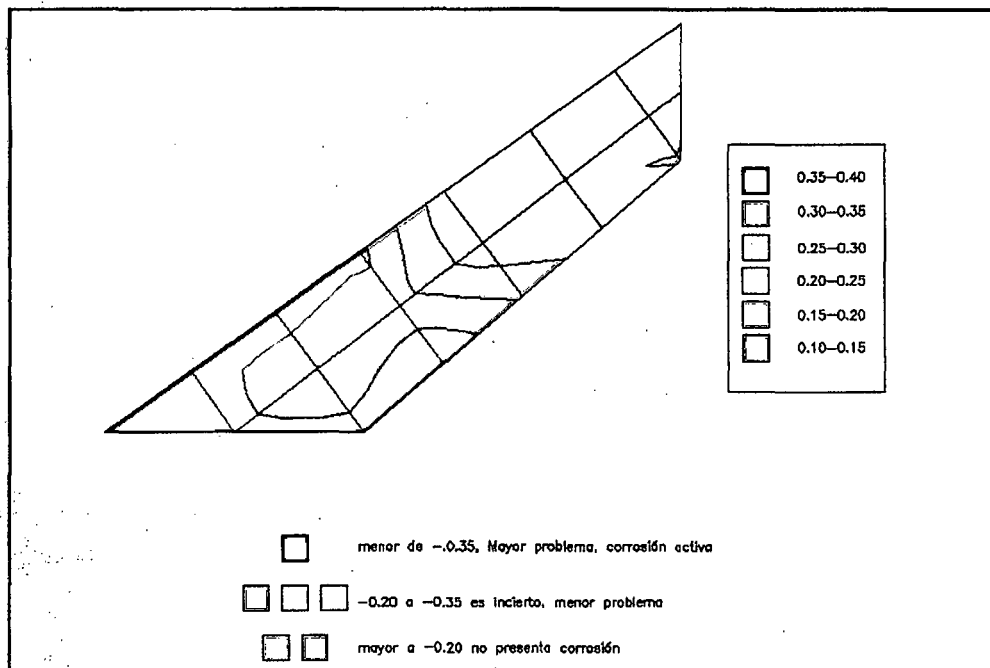


Fig. 6.61: Mapa de potenciales de la columna - 3.

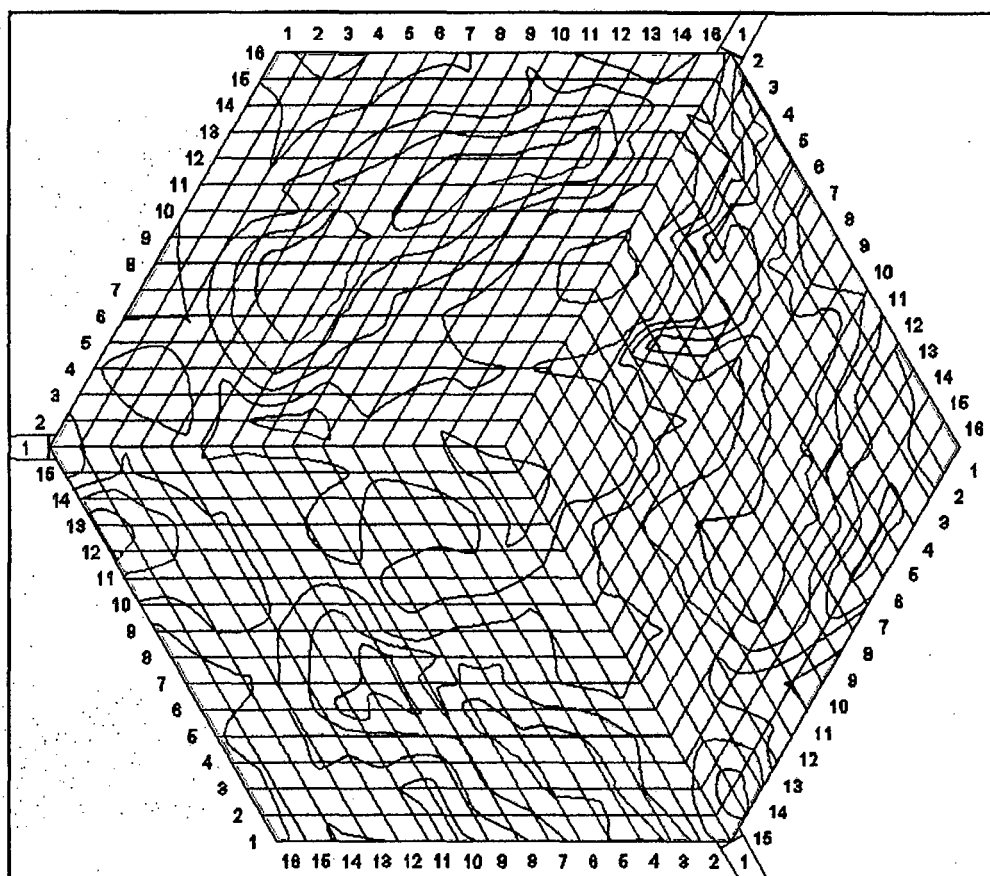


Fig. 6. 62: Mapa de potenciales del cascaron del paraboloide hiperbólico.

Para mejor referencia véase el Anexo C, laminas C1, C2 y C3.

#### d) Conclusiones

En el Mapa de Potencial de Corrosión de las columnas se observa que coincidentemente las tres columnas presentan una corrosión activa (90% de probabilidad que exista corrosión) en la parte inferior de estas en donde están en contacto con el suelo, además estas zonas ya presentan descascaramiento por corrosión. Al contrario de las zonas altas de las columnas inclinadas, estas no presentan corrosión (20% de probabilidad que no exista corrosión) y en la zona media está en una zona incierta de corrosión (50% de probabilidad que exista corrosión).

Mientras que en el cascarón de la estructura se observa que presenta una corrosión activa las zonas media de cada hoja del paraboloides hiperbólico, en donde además estas zonas también presentan descascaramiento por corrosión y humedad. Por lo contrario en los picos o extremos de las hojas del paraboloides hiperbólico no presentan.

### 6.3 DIAGNÓSTICO DE DAÑOS

A partir de las diferentes observaciones que se ejecutaron en el levantamiento de daños que se realizó, de los resultados de los diferentes ensayos no destructivos y mediciones, se formuló el diagnóstico de los daños detectados.

Por tanto se procedió a clasificar a la estructura en dos partes donde calificaremos los daños de cada una de las mencionadas, las cuales son:

- **Columnas** (3 columnas inclinadas en total)
- **Cascarón** (conformada por 3 hojas e incluiremos la cara superior de las vigas)

#### 6.3.1 Calificación de daños y análisis de resultados

Esta calificación se realiza con el fin de tipificarlas tanto del daño en sí como de los posteriores procedimientos de obra para lo cual, basados en los esquemas

de la evaluación de daños se procederá a proponer las técnicas de reparación mencionadas ya en el apartado 4.

#### 6.3.1.1 Columnas

Uno de los problemas que presenta esta parte de la estructura en estudio es la corrosión del acero estructural, en donde se identificó que es una corrosión localizada por picaduras, debido principalmente a la humedad del suelo que está en contacto con la base de las columnas y a la humedad ambiental que originó la formación de carbonatación en el concreto, originando así corrosión en la estructura.

Es importante mencionar que la estructura no presenta evidencias de daños de eventos fortuitos como eventos sísmicos o acciones mecánicas (apartado 1).

A continuación presenta un resumen de los resultados obtenidos en el proceso de la evaluación de la estructura en estudio.

- *Ensayo del esclerómetro*

Con la guía de la Norma ASTM C805, se obtiene que las áreas de todas las columnas presentan uniformidad superficial a la resistencia de compresión en el concreto, así mismo se delimitó fácilmente las zonas bajas de resistencia para los ensayos de diamantinas.

- *Ensayo de compresión*

Se observó que de las tres columnas evaluadas con sus respectivos testigos solo una, la columna (C-2) pasa los valores mínimos de condiciones de exposición que dicta la Norma ACI – 318.99, la cual menciona que la resistencia mínima obtenida en los testigos deberán ser el 75% de la resistencia de diseño, en este caso los valores resultaron mayores que  $157.5 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que las columnas (C-1 y C-3) obtuvieron valores por debajo a lo que indica la norma

- *Ensayo de peso unitario*

Se puede concluir que el peso unitario del concreto de las muestras C-1, C-2 Y C-3 está dentro del rango que le corresponde.

- *Determinación de la profundidad, localización y espesor de la armadura*

Se obtiene el diagrama esquemático de la estructura en estudio, detallando la ubicación de las armaduras y el diámetro de cada elemento.

En donde el recubrimiento promedio de la estructura es de 4cm, la localización y espesor de las armaduras se muestra en el Anexo A.

Además se asume que el esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo es del orden de 2800 t/m<sup>2</sup> que corresponde a la calidad del material empleado en los años 50 en el país según consta en la tesis de Camacho Villegas, Audry.

- *Velocidad de pulsos ultrasónicos*

Guiándonos con la Norma ASTM C 597, podemos llegar a la conclusión según este ensayo que la estructura tiene una mala homogeneidad de la composición del concreto (agregado y cemento), según la tabla 6.8.

- *Permeabilidad*

Los resultados del ensayo de permeabilidad indicados en la Cuadro 6.8 con el equipo de Poroscope Plus muestran que la calidad protectora del concreto de la estructura en estudio no es buena, guiándonos con la Tabla 3.2, esta tabla también se puede encontrar en el manual del equipo (Anexo F – F1).

- *Ensayo de pH*

Como se muestra en el Cuadro 6.9, que el pH de los tres testigos a una profundidad de 2.5 cm es de 9 aproximadamente, por tanto se puede estimar que el concreto de las columnas C-1, C-2 y C-3 perdió la característica protectora al acero de refuerzo ante cualquier ataque.

- *Profundidad de carbonatación*

En la realización de este ensayo se observa claramente que existe carbonatación en las muestra C-1, C-2 y C-3 con profundidades de carbonatación de 5.0, 3.5, y 2.5 cm respectivamente, teniendo como conclusión que el acero en la columna C-1 ya está en proceso de corrosión del acero, la

columna C-2 está a un año para que la carbonatación llegue al acero estructural y la columna C-3 aun a 18 años para que llegue e inicie la corrosión en el acero.

- *Contenido de cloruros*

Los valores obtenidos en cada uno de los testigos son relativamente bajos, según la norma ACI-318.

Para el análisis a la penetración de cloruros al concreto se procedió a cortar en tres cada testigo para obtener valores a diferentes profundidades como se muestra en el Diagrama 6.1, observamos claramente el avance de los cloruros en la estructura de concreto armado en estudio.

- *Concentración de sulfatos*

Los valores obtenidos en este ensayo en cada uno de los testigos son de valor moderado según la norma ACI-318.99.

Y al igual que los cloruros identificamos la penetración de sulfatos a diferentes profundidades.

- *Potencial de corrosión*

En el mapa de potencial de corrosión de las columnas se observa que coincidentemente las tres columnas presentan una corrosión activa (90% de probabilidad que exista corrosión) en la parte inferior de estas en donde están en contacto con el suelo, además estas zonas ya presentan descascaramiento por corrosión. A lo contrario de las zonas altas de las columnas inclinadas, estas no presentan corrosión (20% de probabilidad que no exista corrosión) y en la zona media está en una zona incierta de corrosión (50% de probabilidad que exista corrosión).

#### 6.3.1.2 Cascarón

- *Potencial de corrosión*

Mientras que en el cascarón de la estructura se observa que presenta una corrosión activa las zonas media de cada hoja del paraboloides hiperbólico, en

donde además estas zonas también presentan descascaramiento por corrosión y humedad. Por lo contrario en los picos o extremos de las hojas del paraboloide hiperbólico no presentan.

Cuadro 6.13. Resumen de resultados de algunos ensayos.

Muestras		C - 1	C - 2	C - 3
Ensayo				
Esclerometría		Uniforme	Uniforme	Uniforme
$\sigma < 2.5$	Lado Derecho	1.7	1.7	1.8
	Lado Izquierdo	1.5	1.4	1.7
Resistencia a la compresión		No Cumple	Cumple	No Cumple
$f'c > 157.5 \text{ Kg/cm}$		143.7	258.0	136.9
Peso Unitario		Cumple	Cumple	Cumple
$2300 < \text{PU} < 2400$		2387	2375	2250
Velocidad de pulso ultrasónico		No Homogéneo	-	-
Permeabilidad del concreto		No muy bueno	No muy bueno	No muy bueno
Profundidad de carbonatación		5 cm	3.5 cm	2.5 cm
Contenido de cloruros		Cumple	Cumple	Cumple
Concentración de sulfatos		Moderado	Moderado	Moderado

## 6.4 ESTIMACIÓN DE LA VIDA UTIL DEL PARABOLOIDE

En el apartado 2 define a la vida útil y residual y el pronóstico de estas en una estructura, para la aplicación en la estructura en estudio, procederemos en la estimación de la etapa de la iniciación y luego a la propagación.

### 6.4.1 Periodo de la iniciación de la corrosión

En este periodo está en función de la degradación del concreto por carbonatación y por cloruros.

Por parte a la degradación de cloruros no hay una cantidad considerable que afecte al concreto, mientras la degradación por carbonatación en las columnas y

vigas que tienen 4 cm aproximadamente de recubrimiento se encontró que ya está siendo atacada a la armadura por la columna C-1. También hay que considerar que el cascarón tiene solo 1 cm de recubrimiento por un lado de este, además hay evidencia de manchas, fisuras y descascaramiento por corrosión.

Por tanto el periodo de iniciación de corrosión del acero es 0 años. ( $t_i = 0$ ), poniendo de partida la fecha que se realizó los ensayos químicos.

#### **6.4.2 Periodo de la propagación de la corrosión**

Sin necesidad de analizar el ensayo de potencial de corrosión podemos observar que la estructura ya viene siendo afectada por la corrosión en el acero de refuerzo, especialmente en las columnas en la zona que están con contacto con el suelo,

Por tanto la estructura en estudio se encuentra en el periodo de propagación mas no sabemos con exactitud cuando la estructura perderá todas sus propiedades por eso es necesario una evaluación de la velocidad de corrosión de la estructura en estudio y así poder estimar con mayor probabilidad utilizando el método de modelos estructurales, mostrado en el Apartado 2.

#### **6.5 ALTERNATIVAS DE REPARACIÓN**

En las alternativas de reparación se va a presentar en dos partes, la primera es para las columnas junto con las vigas y la otra es para el cascarón.

En las columnas y vigas lo más recomendable es seguir los pasos de reparación del concreto disgregado donde se indica en el apartado 4.2.2, donde el primer paso es la eliminación de todos los elementos deteriorados donde se observa en las Figuras 6.4 al 6.10 de la evaluación preliminar.

Luego se procede a la preparación de los elementos a reparar, en este paso al momento de hacer las cavidades para la reparación se recomienda profundizar a espesores iguales o mayor de la profundidad de carbonatación para cada columna y para las vigas se recomienda a 4 cm de profundidad (estimación tomada como promedio a las profundidades de carbonatación de las columnas).



En este paso es muy probable que exista empalmes de traslape en el acero de armadura, ya que durante la evaluación preliminar del paraboloide hiperbólico se observo que hay zonas de corrosión en las columnas (ver Figura 6.5 y 6.6) y en las vigas (ver figura 6.9).

Una vez terminada la preparación se procede a recubrir con el material de reparación con los diferentes tipos de colocación como se indica en el Apartado 4.

También se recomienda hacer una evaluación de vulnerabilidad sísmica en la estructura en estudio debido a que esta presenta problemas resistencia de compresión no cumpliendo con las Normas ya indicadas. Esta evaluación servirá para precisar qué tipo de reforzamiento estructural requiere esta estructura, el cual se podría recomendar reforzar con el confinamiento y laminada de tejidos de fibra de carbono.

Para el caso del cascarón el procedimiento de reparación es de un concreto disgregado como ya se indico para el primer caso, pero este es un poco más complicado debido a que cuenta con un espesor de 5 cm, para ello hay que prever medidas de seguridad como colocación de puntales en las zonas a reparar (ver Figuras 6.11 al 6.20), además guiándonos con los mapas potenciales de corrosión del cascarón como se ven en la Figura 6.62, se recomienda eliminar por lo menos toda la zona de color rojo que representa más del 90% de probabilidad de corrosión, esta eliminación es todo el espesor del cascarón, dejando los alambres de  $\varnothing=1/4"$  al descubierto para prepararle para la reparación (limpieza, empalmes, protección a la corrosión y etc.).

Finalmente la colocación del material de reparación colocando un encofrado especial que se amolde a la forma existente y vertido de mortero predosificados.

## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

Esta investigación pretende orientar, guiar, facilitar procedimientos con métodos y ensayos no destructivos para la evaluación por durabilidad de una estructura de concreto armado para poder así diagnosticar el estado actual de la estructura.

Los ensayos no destructivos se realizaron con los equipos del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil recientemente adquiridos encontrándose en muy buen estado y funcionamiento.

Los resultados con los ensayos para la evaluación son los siguientes:

- Con el equipo del esclerómetro podemos concluir que es uno de los métodos más fácil y práctico para poder estimar la uniformidad de resistencia del concreto endurecido y así poder determinar la ubicación de la extracción de diamantinas o testigos. A continuación se presenta una tabla con los resultados de la evaluación con el esclerómetro:

MUESTRA (Fig. 6.23)	LADO (Fig. 6.23)	EVALUACIÓN
C - 1	Izq.	Uniforme
	Der.	Uniforme
C - 2	Izq.	Uniforme
	Der.	Uniforme
C - 3	Izq.	Uniforme
	Der.	Uniforme

- En la prueba de la velocidad de pulso ultrasónica con la aplicación del equipo del V-Meter Mark IV, según la Norma ASTM C 597, podemos determinar la homogeneidad del concreto (uniformidad y calidad relativa). A continuación se presenta con los resultados de la evaluación con el equipo V-Meter Mark IV, recientemente adquirido:

TRAMO (Fig. 6.44)	CALIDAD DEL CONCRETO (Tabla 3.1)
1	Deficiente
2	Deficiente
3	Normal
4	Normal
5	Normal
6	Deficiente
7	Deficiente
8	Deficiente
9	Normal
10	Deficiente

- La permeabilidad medida con el equipo del Poroscope Plus, ayuda a determinar la calidad del recubrimiento en función de la permeabilidad, indicando la calidad protectora y en que categoría se encuentra el concreto (según tabla 6.2). A continuación se presenta con los resultados de la evaluación con el equipo Poroscope Plus, recientemente adquirido:

MUESTRA	PRUEBA	CALIDAD PROTECTORA
C - 1	1	No muy bueno
	2	No muy bueno
C - 2	1	No muy bueno
	2	No muy bueno
C - 3	1	No muy bueno
	2	No muy bueno

- La medición de potencial de corrosión con el equipo del Concrete Corrosion Mapping System, según la norma ASTM C-876, es un método de estimación sencilla usada para medir la diferencia de potencial eléctrico del acero de refuerzo de la estructura de concreto armado respecto a un electrodo de referencia saturado en cobre sulfato de cobre (Cu/CuSO<sub>4</sub>).
- Los elementos del concreto armado (varilla, cemento portland, arena, grava y agua) le confiere propiedades excelentes a este, como la alcalinidad del

concreto (pH entre 12 y 14) proporcionan condiciones ideales para alcanzar la pasividad (protección) del acero.

- El contenido de cloruros varían en función de las características del concreto (pH de la mezcla, contenido de humedad, temperatura, contenido de cloruros y finura del cemento, etc.) y del envejecimiento del concreto.
- La carbonatación en el concreto depende principalmente en la humedad en el concreto, esta carbonatación tiene un proceso por difusión, por tanto su avance en el interior del concreto progresa atenuándose en el tiempo.
- En las situaciones en las que la corrosión compromete la durabilidad de una estructura, en la que consiste en la pérdida de sección y disminución de su resistencia mecánica.
- Los efectos de la corrosión sobre el concreto consiste en formaciones de manchas, grietas y desprendimientos o deslaminaciones en la superficie y condicionan la durabilidad de una estructura de concreto armado.
- Mediante la aplicación de un conjunto amplio de técnicas no-destructivas de ensayo y análisis pudo determinarse que la estructura del concreto armado de la estructura tomada como aplicación presentaba, problemas de corrosión de armaduras causados, en principio, por la suma de distintos factores tales como, defectos constructivos (escaso o inexistente recubrimiento de concreto), acumulación de agua en sus cimientos, humedad ambiental y la edad de la estructura. Conocidas las causas y el grado de avance del deterioro pudieron recomendarse métodos de reparación adecuados a la severidad del problema tratado.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para el desarrollo de una evaluación es imprescindible disponer de una adecuada documentación como base de partida, al inicio de los trabajos, tales como: edad, uso de la estructura, planos o esquemas, tipo de ambiente en el que está inmerso el edificio y/o elemento, entre otros.
- Realizar un cronograma de trabajo de manera de generar una estrategia de intervención, planificar los elementos a ensayar; todo ello con la finalidad de anticiparse a posibles inconvenientes y generar una evaluación estructurada.

- Debido a que en una estructura pueden existir numerosos elementos constituyentes, es ilógico pensar realizar ensayos en cada uno de ellos, por lo que se recomienda generar lotes de elementos que consideren características similares de dimensiones, daños, tipo de material, condiciones ambientales u otro tipo de condición que se considere necesaria.
- Realizar un trabajo minucioso y respetando su cronograma de trabajo, que conlleve un alto grado de fiabilidad de los resultados.
- Que cuente con las herramientas y equipos necesarios para lograr una mejor evaluación de la infraestructura, además si es posible el uso de los equipos que cuenta El laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales de la Facultad de ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, que están en muy buenas condiciones.
- En cuanto a los ensayos realizados es recomendable que cuando una estructura presenta una carbonatación mayor a los 4 cm, ya no es recomendable hacer el ensayo de permeabilidad del recubrimiento, puesto que los resultados serian deficientes. También es recomendable que en cada ensayo realizado es de gran importancia la limpieza de la superficie del concreto en donde se va a realizar el ensayo.
- Seguir el procedimiento de evaluación que se presenta en el capítulo 3, basado con recomendaciones del ACI 364, además los ensayos para la evaluación están sustentadas con Normas ASTM y códigos ACI.
- Finalmente se recomienda utilizar el capítulo 5 donde detalla técnicas y métodos de reparación y reforzamiento de una estructura.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ACI 201.2R-01; "Guía para la Durabilidad del Hormigón".
2. ACI 224.1R-93; "Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Hormigón".
3. ACI 228.1R-03; "In-Place Methods to Estimate Concrete Strength"; 2003.
4. ACI-318-99; "Comisión de diseño estructural en hormigón armado y albañilerías".
5. ACI-364.1R-94; "Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation".
6. ACI 437R-03; "Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings"; 2003.
7. Asociación Internacional de Ingeniería Sísmica; "Guía para la Construcción Sismo Resistente no Ingenieril"; Vol. I, Parte 2; CISMID; Lima; 1980.
8. ASTM C039; "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens"; 2003.
9. ASTM C042; "Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete"; 2003.
10. ASTM C597; "Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete"; 2003.
11. ASTM C803; "Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete"; 2003.
12. ASTM C823; "Standard Practice for Examination and Sampling of Hardened Concrete in Constructions"; 2003.
13. ASTM C 876; "Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete"; 2003.
14. ACI; Capitulo peruano; "Evaluación y Reparación de Estructuras"; Perú; 1997.
15. Bernal Marcos, Alberto; Tesis de Grado: "Evaluación, Reparación y Reforzamiento de Estructuras de Concreto Armado"; Lima; 1999.
16. Camacho Villegas, Audry Victoria; Tesis de Grado: "Vulnerabilidad Sísmica Estructural de los Edificios Principales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería"; Lima; 2011.
17. Cerna Vásquez, Marco & García Guarníz, William; Investigación: "Vida en Estructuras de Concreto Armado desde el Punto de Vista de Comportamiento del Material"; Trujillo; 2010.

18. CONTECVET; "Manual de Evaluación de Estructuras Afectadas por Corrosión de la Armadura"; DG Enterprise; CEC; 2001.
19. De Paula Machado, Ari; Refuerzo de Estructuras de Concreto Armado con Fibras de Carbono"; Belo Horizonte; 2005.
20. Del Rio Bueno, Alfonso; "Patología, Reparación y Refuerzo de Estructuras de Hormigón Armado de Edificación"; Universidad Politécnica de Madrid; España; 2008.
21. Durar Red Temática XV.B; "Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de corrosión en Estructuras de Hormigón Armado"; CYTED; Durabilidad del Hormigón; 2ª Edición; España; 1998.
22. FONTANA, M.G.; "Corrosion Engineering. McGraw-Hill"; 3ª Edition; New York; 1986.
23. Jara Malpartida, Marcial Yvan; Tesis de Grado: "Comparación Técnica y Económica de Reparación y Reforzamiento Estructural de Edificaciones de Concreto Armado – Caso del Ministerio de Industria, Turismo, Integración y Negociaciones Comerciales Internacionales"; Lima; 2005.
24. Molina Benavente, Erick Rocio; Tesis de Grado: "Monitoreo y Diagnóstico de Estructuras de Concreto Armado Afectadas por Corrosión de Cloruros"; Lima; 2009.
25. Montegu Soler, Jorge; "Tecnicas de Reparacion y Refuerzo de Estructuras de Hormigón Armado y Albañilerías"; Chile; 1985.
26. Morales Morales, Roberto; Tesis de Grado: "Diseño de una Iglesia de Concreto Armado en Estructura Laminar de Paraboloides Hiperbolicos"; Lima; 1965.
27. Normas Técnicas de Edificación E-060 Concreto Armado; Lima; 2009.
28. Paulo Helene, Fernanda P.; "Manual de para Reparación, Refuerzo y Protección de las estructuras de Concreto"; Sao Paulo, 2003.
29. RILEM Report 14; "Durability design of concrete structures," Eds. Sarja A. y Vesikari E.; UK: E & FN SPON; London; 1996.
30. Sánchez De Guzmán, Diego; "Durabilidad y Patología del Concreto"; Asociación Colombiana de Productores de Concreto – ASOCRETO; Bogotá; 2002.
31. Sánchez De Rojas Noguera, María José; Tesis de Doctorado: "Extracción Electroquímica de Cloruros del Hormigón Armado: Estudio de Diferentes Variables que Influye en la Eficiencia del Tratamiento"; España; 2004.

32. S. Feliz, C. Andrade (Coord.); "Manual Inspección de Obras Dañadas por Corrosión de Armaduras"; CSIC; Madrid; 1988.
33. Johnson Sidney, M; "Deterioro, Conservación y Reparación de Estructuras"; Editoriales Blume y Labor. 334 pp. Madrid, 1973.
34. Tuutti, K.; "Corrosion of Steel in Concrete", Stockholm, Sweden: Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982.
35. Vincés Velez, Fausto; Tesis de Grado: "Estudio y Diseño del Paraboloides Hiperbólico"; Lima; 1962.



# ANEXOS

# **ANEXO A**

## **Mapas y Tablas**

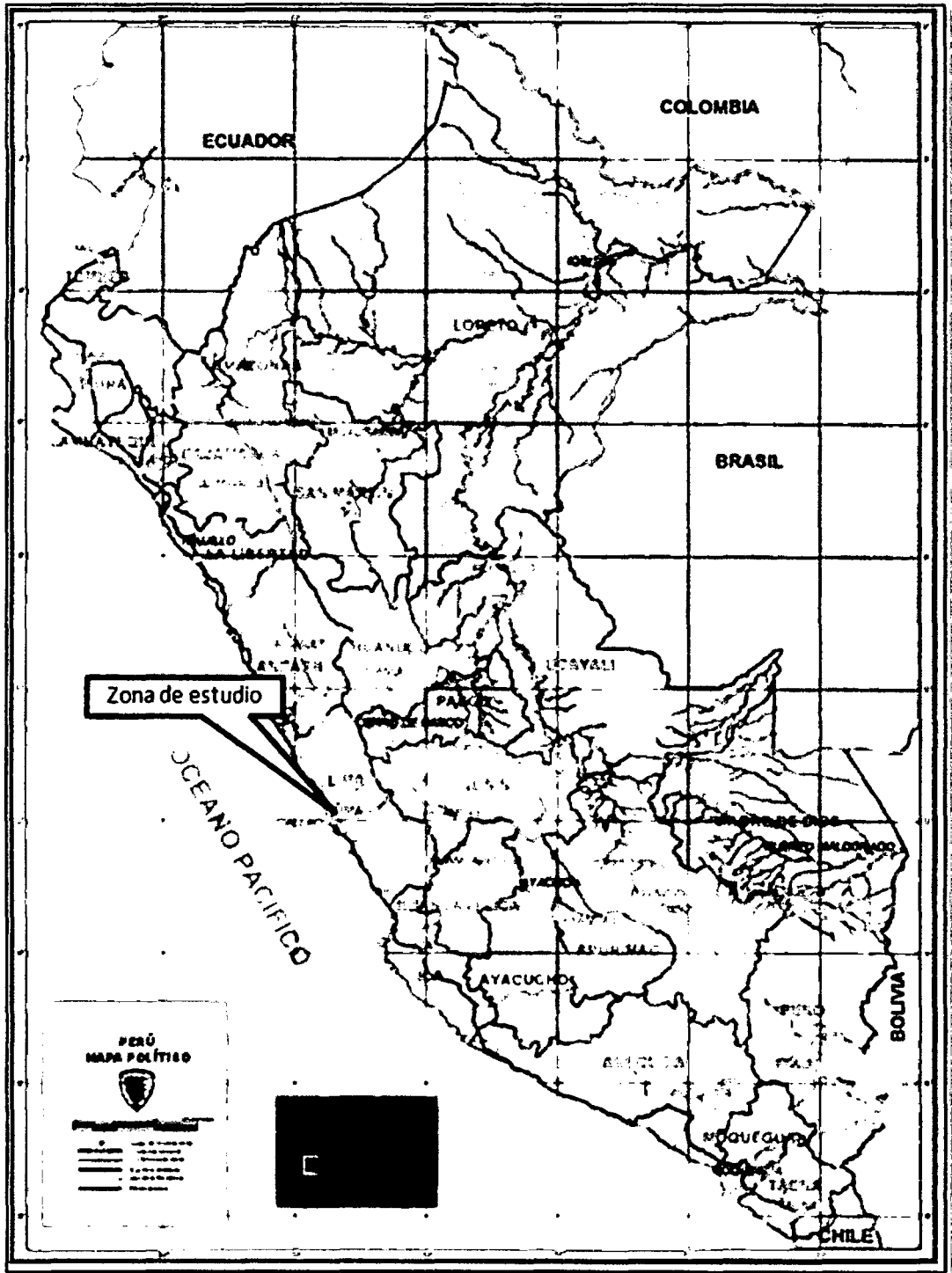


Fig. 1: Mapa del Perú. La zona en estudio se encuentra en el distrito de Rímac, provincia y Departamento de Lima

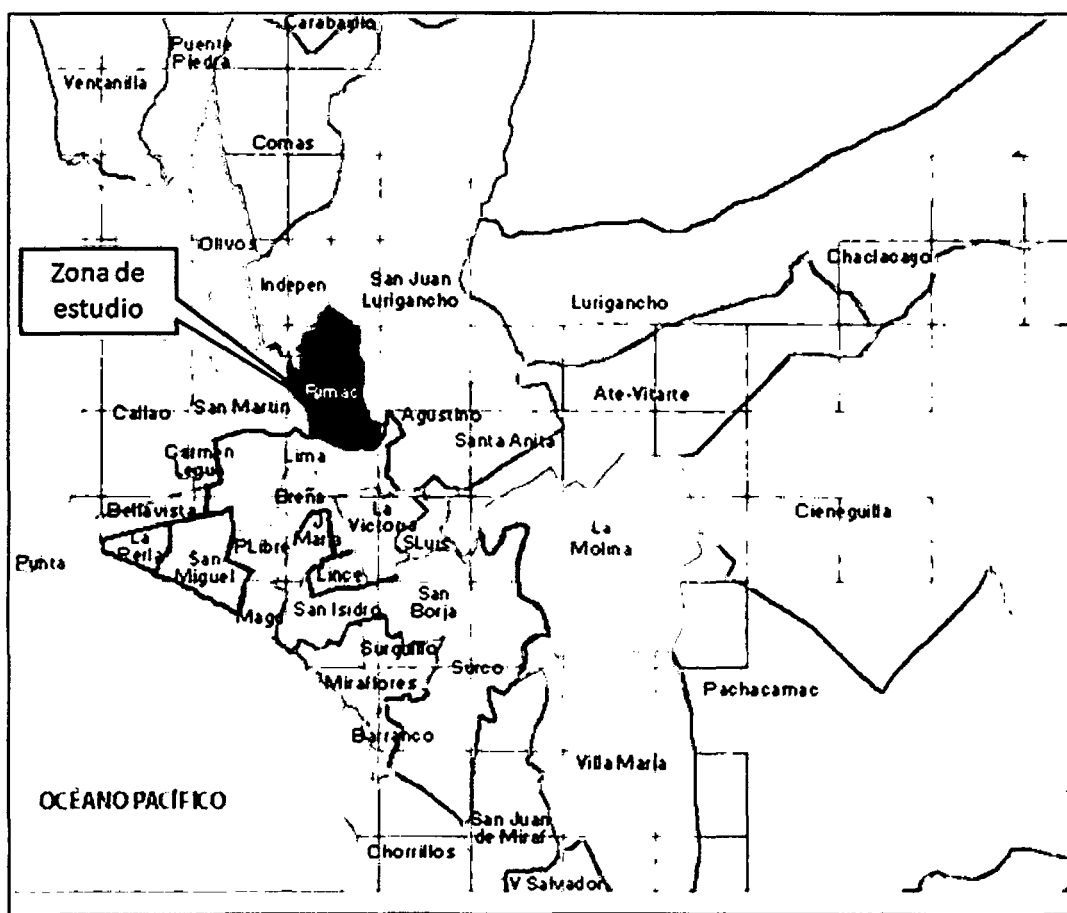


Fig. 2: Mapa de la ciudad de Lima. La Zona en estudio se encuentra en el distrito de Rímac, entre los distritos del Cercado, San Juan de Lurigancho e Independencia.

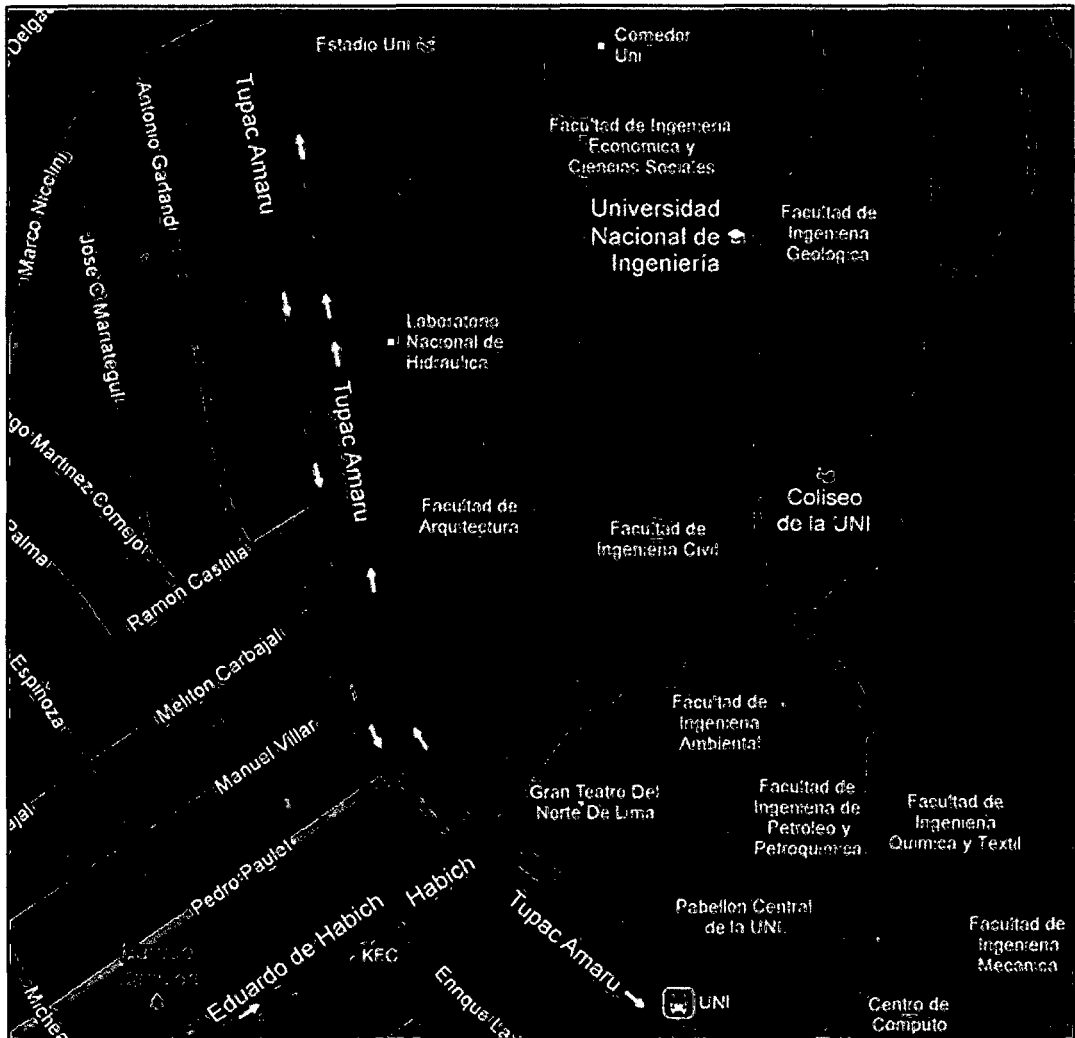


Fig. 3: Vista aérea de la ubicación del Paraboloides Hiperbólico de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.

(Google Earth)

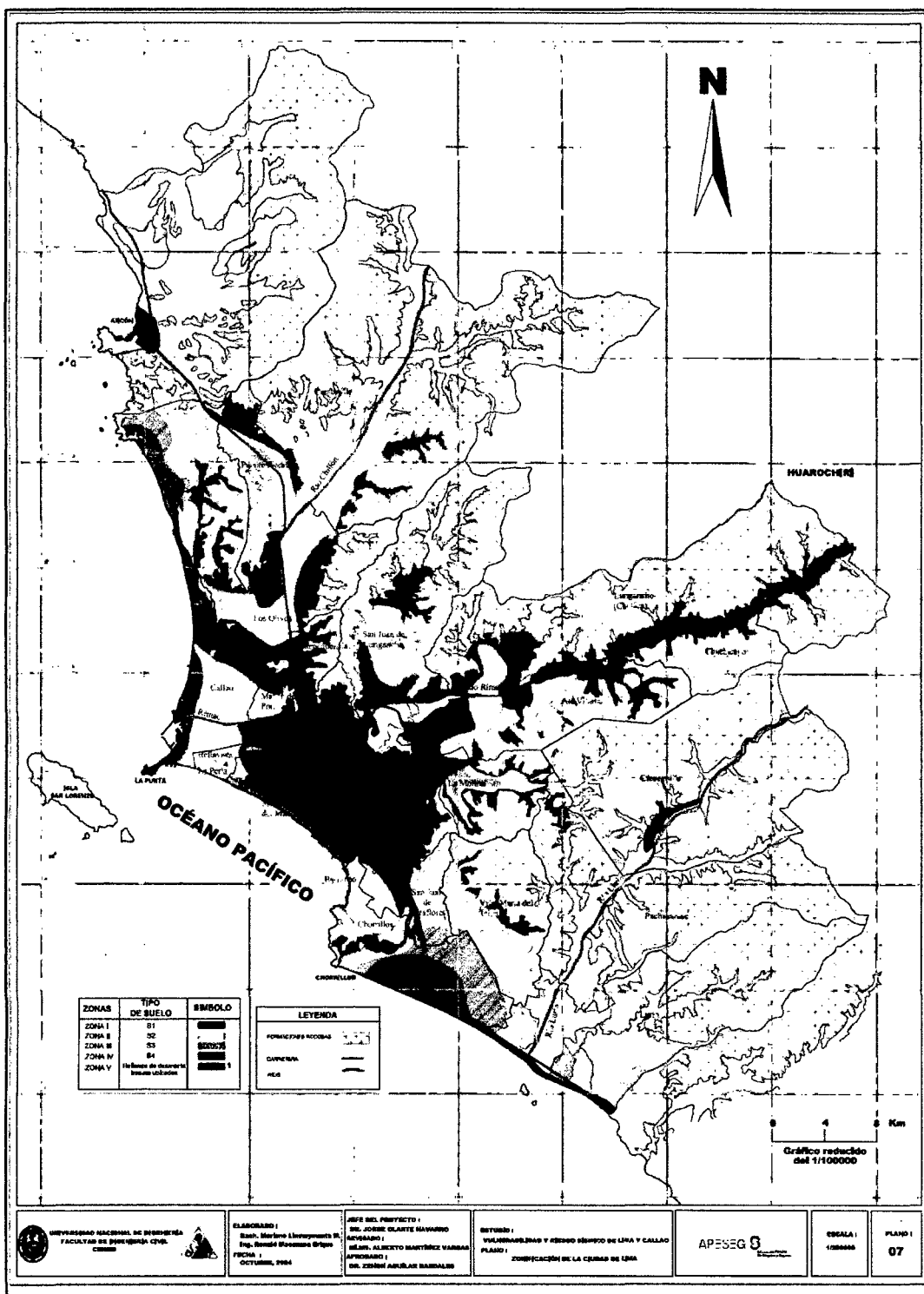


Fig. 4: Zonificación del suelo del distrito de Lima



Fig. 5: Zonificación de la ciudad de Lima

Tabla N° 1: Promedio Anual de Humedad Relativa, según Departamento, 1990 – 2003.  
(Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú)

Porcentaje (%)														
Departamento	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Amazonas	83,0	84,0	84,0	89,0	86,3	86,3	88,2	87,3	85,4	87,2	85,0	81,7	82,8	79,8
Ancash	64,0	66,0	64,0	68,0	60,0	61,4	63,2	63,2	69,6	67,4	67,6	66,7	63,7	63,7
Apurímac	71,0	70,0	71,0	74,0	...	...	91,8	89,0	87,9	91,1	86,8	89,2	91,1	90,0
Arequipa	36,0	43,0	24,0	46,0	33,2	34,9	47,6	51,2	51,3	41,1	51,6	40,8	41,3	40,8
Ayacucho	...	...	...	...	72,9	61,9	64,1	60,8	59,0	63,1	63,0	59,0	58,5	56,7
Cajamarca	66,0	64,0	62,0	65,0	64,3	63,3	64,4	66,2	64,6	63,5	63,2	69,5	72,4	69,7
Cuzco	66,8	65,5	65,8	72,0	76,7	78,0	71,2	71,6	72,1	77,3	75,0	80,1	79,9	76,6
Huancavelica	78,0	73,1	91,1	82,2	94,5	79,6	79,5	84,2	79,2	77,6	74,2	76,8	79,8	76,8
Huánuco	70,0	69,0	73,0	70,0	68,8	64,4	69,5	68,3	64,5	65,2	65,8	64,1	63,8	63,0
Ica	70,0	73,0	72,0	74,0	71,8	71,2	67,5	69,4	70,0	68,3	68,6	77,7	79,6	82,6
Junín	56,0	53,0	50,0	55,0	53,1	51,6	52,1	52,4	54,1	64,8	62,4	64,6	66,2	63,7
La Libertad	83,0	82,0	81,0	80,0	79,9	82,0	85,4	81,6	81,5	83,6	83,0	84,3	81,6	82,3
Lambayeque	...	77,0	75,0	74,0	75,6	75,4	75,7	72,4	78,4	79,2	79,5	80,2	78,1	80,0
Lima	84,0	85,0	84,0	84,0	83,9	84,3	84,4	78,1	85,1	89,3	84,5	87,8	85,5	85,1
Loreto	87,0	89,0	83,0	92,0	92,3	86,2	89,6	89,9	89,2	92,4	89,3	90,4	88,9	91,7
Madre de Dios	86,6	85,6	83,0	81,6	82,8	86,2	S/D	...	86,9	86,3	86,5	82,2	83,5	82,2
Moquegua	66,5	66,5	67,7	69,7	66,6	59,6	59,1	55,0	58,6	54,9	55,0	60,6	55,9	66,1
Pasco	...	...	...	87,6	79,0	77,6	...	79,5	77,8	79,6	81,2	84,7	84,0	83,2
Piura	66,1	68,7	66,7	...	71,9	63,4	64,2	62,0	64,7	62,8	68,6	66,6	66,9	71,7
Puno	55,7	54,0	50,6	56,3	56,8	53,7	44,6	...	...	...	...	...	63,4	61,8
San Martín	86,3	86,8	84,3	83,2	84,8	83,7	81,5	82,4	82,4	83,5	83,4	84,4	84,1	84,0
Tacna	...	...	...	78,6	72,3	76,3	77,5	75,9	74,9	73,6	73,9	76,6	77,7	74,7
Tumbes	79,2	81,4	80,5	82,8	75,9	80,8	83,9	82,5	85,8	87,8	89,1	90,2	87,3	88,3
Ucayali	83,9	84,9	80,3	80,3	88,7	91,0	93,2	89,2	86,0	86,2	82,8	83,6	87,6	87,8

Tabla N° 2: Humedad Relativa máxima, mínima y promedio anual en la estación de medición Chucuito - Callao, 1988 - 2006.  
(Marina de Guerra del Perú – Dirección de Hidrografía y Navegación.)

(Porcentajes)			
Año	Humedad Relativa		
	Prom.	Min.	Máx.
1988	89	83	91
1989	90	86	93
1990	88	86	90
1991	88	84	92
1992	88	86	91
1993	89	87	91
1994	90	89	92
1995	89	88	92
1996	93	91	95
1997	86	79	92
1998	87	83	88
1999	87	84	92
2000	87	84	92
2001	89	87	92
2002	88	86	90
2003	88	86	90
2004	89	87	92
2005	88	87	89
2006	88	85	91



Tabla 3: Promedio Anual de Temperatura Máxima, según Departamento, 1990 – 2003.  
(Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú)

(Grados Centígrados [°C])														
Departamento	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Amazonas	19,2	19,8	19,9	19,8	19,3	20,3	19,8	19,9	20,6	19,5	19,4	20,2	11,9	11,6
Ancash	21,9	22,5	22,6	21,2	21,3	21,8	20,9	21,0	21,1	19,9	...	20,1	5,1	5,9
Apurímac	25,4	25,9	26,5	24,3	...	...	21,0	21,2	22,3	20,7	20,6	20,7	10,3	11,5
Arequipa	23,5	23,4	23,5	23,1	23,2	23,2	23,1	23,7	23,7	21,8	21,5	22,3	10,0	11,2
Ayacucho	...	...	...	24,9	26,2	27,5	27,1	27,4	27,5	26,2	26,0	26,7	7,4	...
Cajamarca	22,2	22,6	22,6	21,5	21,3	21,9	21,5	22,1	22,2	20,9	21,2	21,3	8,3	...
Cuzco	20,3	20,5	20,7	20,0	20,6	21,2	20,3	20,5	22,0	20,8	20,9	20,4	4,4	7,8
Huancavelica	18,0	17,7	16,6	16,4	16,1	17,0	17,2	17,4	17,7	16,9	17,2	16,8	2,5	...
Huánuco	25,4	25,4	25,9	26,1	26,5	27,0	26,2	26,6	27,3	25,7	25,7	26,5	14,5	...
Ica	28,9	28,4	28,8	28,1	28,8	29,3	28,7	29,7	30,2	29,4	29,5	29,7	14,0	13,5
Junín	19,5	19,8	20,4	19,3	19,7	20,6	20,2	20,2	20,7	18,0	...	19,5	5,2	...
La Libertad	24,5	24,9	26,0	25,4	24,9	24,4	23,1	27,7	27,0	23,8	24,4	23,8	17,3	16,8
Lambayeque	...	25,5	26,3	25,9	25,0	25,1	24,6	29,1	27,4	25,3	25,5	25,1	18,2	19,3
Lima	21,6	22,3	23,2	22,6	21,9	22,4	24,8	24,4	22,8	25,1	...	21,0	17,3	17,3
Loreto	32,0	32,7	31,4	32,8	31,7	32,4	31,5	32,4	32,6	31,5	31,6	31,7	22,7	...
Madre de Dios	29,9	30,3	29,6	30,3	30,7	...	...	...	...	32,3	31,6	31,4	17,9	18,3
Moquegua	26,5	26,4	...	...	27,2	26,9	27,0	27,2	26,5	25,6	26,2	27,1	12,0	...
Pasco	12,1	12,9	13,3	9,3	9,5	10,8	...	11,6	11,6	10,1	11,2	10,1	0,5	1,9
Piura	31,1	31,3	31,1	...	...	31,1	30,4	32,8	30,5	29,9	30,4	29,7	20,0	19,4
Puno	14,5	14,6	15,2	15,4	15,6	16,4	16,4	15,3	18,0	16,4	16,1	15,3	3,6	3,0
San Martín	20,4	29,8	28,5	28,9	28,6	29,0	28,2	28,1	28,9	27,7	27,8	27,8	18,6	18,6
Tacna	...	...	...	23,7	23,8	23,6	23,2	24,6	24,1	22,7	22,9	23,2	14,1	...
Tumbes	30,4	31,1	29,3	29,4	28,8	29,2	28,1	31,5	30,7	28,8	28,4	28,4	22,6	22,5
Ucayali	31,9	32,3	32,6	32,0	32,1	31,9	...	...	32,1	30,9	30,9	31,1	21,0	21,3

Tabla N° 4: Promedio Anual de Temperatura Media, según Departamento, 1990 – 2003.  
(Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú)

(Grados Centígrados [°C])														
Departamento	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Amazonas	15,2	15,1	15,2	14,9	14,5	15,0	14,6	15,0	15,4	14,5	14,6	14,7	14,9	15,0
Ancash	12,6	12,4	12,7	12,4	12,3	12,7	12,0	12,6	13,0	11,9	11,9	12,0	12,6	12,6
Apurímac	18,0	18,3	18,6	17,6	...	...	14,6	15,1	15,9	14,8	14,6	14,8	14,8	15,3
Arequipa	16,6	17,1	16,1	16,3	16,5	16,7	16,5	17,0	16,9	16,0	15,2	15,8	16,3	16,3
Ayacucho	...	...	...	16,3	16,4	16,8	18,3	18,6	19,4	18,0	17,2	17,7	18,3	18,0
Cajamarca	14,6	14,4	14,8	14,3	14,7	14,8	14,3	14,9	15,1	14,2	14,0	14,4	14,7	14,8
Cuzco	12,4	12,1	12,4	12,7	12,1	12,8	12,5	12,6	13,5	12,0	11,9	12,0	11,9	12,1
Huancavelica	10,2	10,5	10,9	10,6	11,2	10,3	9,9	10,7	10,6	9,8	10,0	9,9	10,5	10,4
Huánuco	19,5	19,2	19,8	19,9	20,3	20,7	20,1	20,6	21,1	19,9	19,9	20,2	20,5	20,6
Ica	21,0	20,7	22,1	20,0	20,3	20,4	20,9	22,3	22,0	20,8	20,9	22,1	21,6	21,0
Junín	12,4	11,3	11,9	11,8	11,9	12,5	12,4	12,4	13,0	11,9	12,0	12,0	12,3	12,2
La Libertad	20,2	20,8	21,9	21,6	20,7	20,4	19,0	23,4	22,1	19,7	20,2	19,7	20,6	20,1
Lambayeque	21,1	21,9	22,8	21,8	21,5	21,8	20,0	24,3	23,2	20,7	21,0	20,8	21,8	20,9
Lima	18,7	19,3	20,4	19,8	19,4	19,3	17,7	22,0	20,7	18,9	19,1	18,7	19,2	19,0
Loreto	26,8	27,2	27,2	26,5	27,0	27,8	27,4	28,1	28,4	26,8	26,8	26,7	27,6	26,7
Madre de Dios	24,3	26,1	25,0	25,8	26,2	26,6	...	...	26,5	26,3	26,4	26,5	27,0	27,1
Moquegua	19,5	18,5	18,0	18,6	19,6	20,5	19,2	21,2	19,6	18,7	19,4	19,9	19,8	20,0
Pasco	...	...	...	4,4	4,6	4,9	5,0	5,3	6,0	4,6	4,6	4,6	4,9	5,0
Piura	24,3	24,4	25,0	...	23,8	24,4	23,5	26,8	25,1	23,8	24,1	23,8	24,7	24,5
Puno	10,2	10,2	10,4	10,0	10,1	10,4	9,8	9,1	10,9	10,1	9,7	9,8	10,2	10,2
San Martín	24,1	24,1	23,2	22,8	22,9	23,3	22,6	22,7	23,2	22,2	22,5	22,4	22,5	22,3
Tacna	...	...	...	17,3	17,8	17,5	17,4	19,1	18,2	17,3	17,5	17,6	17,8	17,7
Tumbes	25,4	26,0	24,7	25,5	24,8	25,4	24,4	27,4	26,6	25,0	24,6	24,6	25,6	25,3
Ucayali	25,3	26,1	26,5	26,1	26,7	27,1	26,5	27,3	27,9	26,8	26,9	26,3	25,6	25,5

Tabla 5: Promedio Anual de Temperatura Mínima, según Departamento, 1990 – 2003.  
(Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú)

(Grados Centígrados °C)														
Departamento	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Amazonas	9,4	8,8	9,6	9,5	8,7	10,8	10,5	10,2	9,2	8,3	9,0	10,4	11,9	11,6
Ancash	3,5	3,1	4,0	4,3	4,7	4,3	4,3	4,4	4,9	3,9	3,6	4,3	5,1	5,9
Apurímac	11,9	11,6	11,9	11,9	...	...	10,0	10,1	10,8	9,7	9,9	10,1	10,3	11,5
Arequipa	9,8	10,6	8,8	9,2	9,4	9,4	9,2	9,9	10,3	8,7	9,1	9,7	10,0	11,2
Ayacucho	...	...	...	...	4,6	4,1	6,7	5,6	5,9	6,2	5,9	5,9	7,4	...
Cajamarca	7,8	6,9	7,6	8,0	7,9	8,8	7,6	8,3	8,3	7,7	7,2	8,1	8,3	...
Cuzco	3,9	3,3	3,3	5,4	3,8	4,0	3,4	4,1	4,9	3,7	3,8	3,9	4,4	7,8
Huancavelica	0,9	1,9	-3,3	2,8	3,4	2,9	2,0	2,1	2,3	1,6	1,5	2,0	2,5	...
Huánuco	13,1	12,3	12,8	7,8	13,2	13,6	13,3	14,3	14,4	13,6	13,6	13,8	14,5	...
Ica	12,9	12,1	11,5	12,3	13,1	12,8	11,3	15,5	15,2	13,9	13,9	13,8	14,0	13,5
Junín	4,2	3,3	3,8	4,4	3,9	4,1	4,0	4,2	5,2	7,2	...	4,7	5,2	...
La Libertad	16,5	17,1	18,1	18,0	16,8	16,5	13,7	19,9	18,7	16,3	16,9	16,8	17,3	16,8
Lambayeque	...	19,2	20,2	19,9	19,0	19,2	16,4	20,7	19,5	17,0	17,4	17,4	18,2	19,3
Lima	16,5	17,1	18,1	17,7	17,4	17,1	17,6	20,0	18,7	17,0	17,0	16,8	17,3	17,3
Loreto	21,5	22,3	22,3	20,8	21,8	21,9	21,5	22,3	23,1	22,2	22,6	22,5	22,7	...
Madre de Dios	19,9	22,1	20,0	20,4	20,5	...	...	...	...	15,3	17,3	18,1	17,9	18,3
Moquegua	12,0	11,0	11,5	11,0	1,6	11,5	10,4	11,4	12,5	10,5	10,0	12,1	12,0	...
Pasco	0,3	-1,1	-0,4	0,1	-0,2	0,1	...	0,8	0,6	-0,2	-0,2	-	0,5	1,9
Piura	19,1	19,3	19,8	...	...	19,1	18,3	22,1	20,7	18,9	19,3	19,3	20,0	19,4
Puno	2,6	2,3	2,1	2,7	2,6	2,3	2,2	1,9	2,9	3,0	2,6	3,2	3,6	3,0
San Martín	18,3	18,3	18,1	18,3	18,2	18,6	18,3	18,7	19,0	18,3	18,5	18,3	18,6	18,6
Tacna	...	...	...	14,2	13,8	13,4	13,0	15,6	14,7	13,2	13,7	13,9	14,1	...
Tumbes	20,4	21,7	20,5	22,4	22,2	22,2	21,7	24,1	23,0	21,3	21,5	21,7	22,6	22,5
Ucayali	20,9	22,1	22,0	21,8	22,0	22,8	...	...	...	...	20,0	20,5	21,0	21,3

Tabla 6: Temperatura Máxima, Mínima y promedio Anual en la estación de medición  
Chucuito - Callao, 1986 - 2003.  
(Marina de Guerra del Perú – Dirección de Hidrografía y Navegación.)

Año	Lobos de Afuera			Paíta			Chucuito		
	(Lambayeque)			(Piura)			(Callao)		
	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.
1986	19,6	17,6	23,0	22,8	20,4	26,3	18,4	16,0	21,1
1987	21,4	18,4	25,0	24,3	21,4	28,2	19,8	17,1	23,6
1988	18,8	16,0	22,6	23,2	19,3	28,3	18,0	15,0	21,4
1989	19,5	16,8	23,7	23,4	19,7	27,6	18,2	16,1	21,9
1990	19,4	16,5	22,6	22,9	19,6	26,3	18,4	15,7	21,1
1991	20,3	18,1	23,3	23,2	20,5	27,6	18,9	16,5	21,1
1992	21,2	17,6	26,4	24,2	20,4	28,7	20,0	16,4	24,8
1993	20,5	18,0	24,2	24,0	21,2	27,4	19,3	16,9	22,6
1994	19,4	16,9	22,4	23,6	20,6	26,4	18,9	16,4	21,6
1995	19,6	17,1	23,6	23,0	20,3	26,9	18,6	15,8	22,4
1996	18,4	16,0	21,9	22,4	19,4	25,6	17,9	15,7	20,7
1997	23,0	20,3	25,6	26,3	24,8	28,0	21,5	19,9	23,9
1998	21,9	17,6	27,8	25,0	21,7	28,5	20,5	16,4	26,3
1999	19,0	16,6	22,9	23,2	20,4	27,2	18,4	15,6	22,4
2000	19,5	17,2	22,8	23,1	20,3	26,5	18,6	16,7	21,4
2001	19,3	16,4	24,1	23,2	19,6	27,5	18,4	16,1	22,3
2002	20,3	17,1	25,6	23,9	20,6	28,0	18,9	16,0	22,7
2003	19,4	16,7	23,4	23,1	20,0	26,9	18,8	15,8	22,4

Tabla 7: Promedio Anual de Presión Atmosférica; según Departamento, 1990–2003.  
(Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú)

(Milibares (mbi))														
Departamento	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Amazonas	753.8	753.6	753.0	753.9	754.1	753.9	...	...	...	...	...	...	...	...
Ancash	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Apurímac	...	...	...	...	...	...	...	...	739.4	737.0	736.1	736.8	737.7	736.4
Arequipa	...	...	...	...	...	...	757.3	752.1	753.3	752.8	753.0	753.5	753.7	753.5
Ayacucho	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Cajamarca	740.4	740.2	739.8	740.3	740.0	...	741.1	741.0	740.9	740.4	740.4	741.0	741.4	741.3
Cuzco	694.1	694.7	694.2	693.5	693.5	693.3	692.5	692.9	693.5	693.0	693.0	693.4	693.7	693.2
Huancavelica	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Huanuco	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Ica	968.0	965.7	965.9	966.3	966.2	967.6	964.5	964.9	965.9	966.4	967.4	968.9	968.4	964.8
Junín	688.2	688.3	687.8	688.4	688.6	688.8	688.4	688.3	688.9	688.0	687.8	688.4	688.6	...
La Libertad	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Lambayeque	...	...	1008.7	1008.7	1008.1	...	...	1009.7	1010.5	1011.1	1010.5	1010.1	1009.5	1008.9
Lima	1001.0	1001.2	1000.2	1001.0	1001.1	1001.2	1001.3	999.6	1000.5	999.2	999.8	996.8	998.3	998.4
Loreto	999.8	999.8	1000.0	1000.7	1000.1	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Madre de Dios	987.6	986.5	988.4	988.1	987.6	985.3	...	...	...	...	...	...	...	...
Moquegua	858.0	855.5	855.0	854.8	855.5	857.1	856.7	856.9	857.7	858.0	857.9	858.0	858.1	858.2
Pasco	...	...	...	...	450.5	451.7	...	...	...	...	...	...	...	...
Piura	1015.2	1015.5	1015.1	1015.4	...	1016.4	1015.7	...	1014.8	1016.4	1016.2	1016.2	1015.9	1014.8
Puno	646.0	645.9	645.4	645.7	645.8	645.9	645.3	645.1	646.3	645.6	...	...	...	...
San Martín	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Tacna	...	...	...	952.3	953.2	953.6	953.7	952.8	953.1	953.5	953.4	952.5	953.3	952.5
Tumbes	1008.4	1008.2	1007.7	1008.4	1008.7	1008.7	1008.3	...	...	...	...	...	...	...
Ucayali	994.1	992.6	993.6	994.3	994.2	992.3	...	...	...	...	...	...	...	...

# **ANEXO B**

## **Planos**

- Laminas B1**
- Laminas B2**
- Laminas B3**

# **ANEXO C**

## **Potencial de Corrosión**

- Lamina C1**
- Lamina C2**
- Lamina C3**

# ANEXO D

## Resultados de Laboratorio



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO N° 1 ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Pág.1 de 2

## INFORME

Del : Laboratorio N° 1: Ensayo de Materiales  
Tesis : **Bach. Magno Olivares Abad**  
Tesis : **EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO EQUIPOS Y MÉTODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**  
Asunto : Ensayo de Esclerometría.  
Fecha : 01/11/11

1. OBJETIVO : Se Realizó el ensayo de Esclerometría "Martillo de Schmidt", a fin de estimar la uniformidad de la resistencia del concreto endurecido.

2. DEL ELEMENTO : Los ensayos se hicieron en columnas de concreto armado.

3. DEL ENSAYO : El procedimiento se realizó de acuerdo a la Norma NTP 339.181

4. DE LOS RESULTADOS :

COLUMNA 1 (LADO DERECHO)	
Lectura	Valor del Rebote
1	49
2	48
3	50
4	49
5	49
6	49
7	49
8	45
9	46
10	46
Promedio	48.0
Desv. Est.	1.7
Sentido	Vertical

COLUMNA 1 (LADO IZQUIERDO)	
Lectura	Valor del Rebote
1	40
2	44
3	44
4	40
5	43
6	41
7	42
8	41
9	42
10	43
Promedio	42.0
Desv. Est.	1.5
Sentido	Vertical

COLUMNA 2 (LADO DERECHO)	
Lectura	Valor del Rebote
1	39
2	41
3	40
4	39
5	41
6	40
7	43
8	42
9	40
10	44
Promedio	40.9
Desv. Est.	1.7
Sentido	Vertical

COLUMNA 2 (LADO IZQUIERDO)	
Lectura	Valor del Rebote
1	40
2	40
3	39
4	40
5	41
6	40
7	40
8	44
9	40
10	41
Promedio	40.5
Desv. Est.	1.4
Sentido	Vertical

Hecho por : Ing. C.V.M.  
Técnico : T.M.T.

Ms. Ing. Ana Torre Carrillo  
Jefe



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO N° 1 ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Pág. 2 de 2

COLUMNA 3 (LADO DERECHO)	
Lectura	Valor del Rebote
1	39
2	41
3	40
4	39
5	41
6	42
7	40
8	43
9	44
10	43
<b>Promedio</b>	<b>41.2</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>1.8</b>
<b>Sentido</b>	<b>Vertical</b>

COLUMNA 3 (LADO IZQUIERDO)	
Lectura	Valor del Rebote
1	41
2	42
3	45
4	44
5	41
6	42
7	41
8	41
9	41
10	39
<b>Promedio</b>	<b>41.7</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>1.7</b>
<b>Sentido</b>	<b>Horizontal</b>

5. CALIBRACION : El procedimiento se realizó de acuerdo a la Norma ASTM-C 805

YUNQUE	
Lectura	Valor del Rebote
1	81
2	82
3	82
4	80
5	80
6	82
7	82
8	81
9	81
10	80
<b>Promedio</b>	<b>81.1</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>0.9</b>
<b>Sentido</b>	<b>Vertical</b>

Hecho por : Ing. C.V.M.  
Técnico : T.M.T.

Ms. Ing. Ana Torre Carrillo  
Jefe





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUIMICO DE LA FIC-UNI

**TESISTA :** MAGNO OLIVARES ABAD  
**REGISTRO :** LQ 12-123  
**TESIS :** EVALUACION DE LA DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO EQUIPOS Y METODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS  
**UBICACIÓN :** FIC-UNI  
**FECHA:** : 20/03/2012

DIAMANTINAS PARA SU RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CONCRETO							
ANALISIS QUIMICOS							
Nº -Denominación	Designación		SULFATOS	CLORUROS	Prueba de Carbonatación		Comentario
			(SO4)=	Cl-	pH		
			ASTM E 275:2001	ASTM D 3370:1999	MTC E 119		
			AASTHO T-290	AASTHO T-291	ASTMD 4792		
		ppm	ppm				
1.-COLUMNA -I	Fecha	08/03/2012	1123	154	9.06	Positivo	NO presenta Coloración rojo grosella con fenoltaleina
	Diamantina	1					
	Profundidad(cm)	2.5					
1.-COLUMNA -I	Fecha	08/03/2012	685	148	12.06	Negativo	SI presenta Coloración rojo grosella con fenoltaleina
	Diamantina	1					
	Profundidad(cm)	7.5					
1.-COLUMNA -I	Fecha	08/03/2012	526	130	12.18	Negativo	SI presenta Coloración rojo grosella con fenoltaleina
	Diamantina	1					
	Profundidad(cm)	12.5					
2.-COLUMNA -II	Fecha	8/3/2012	674	160	9.00	Positivo	NO presenta Coloración rojo grosella con fenoltaleina
	Diamantina	2					
	Profundidad(cm)	2.5					
2.-COLUMNA -II	Fecha	08/03/2012	549	93	12.10	Negativo	SI presenta Coloración rojo grosella con fenoltaleina
	Progresiva	2					
	Profundidad(cm)	7.5					
2.-COLUMNA -II	Fecha	08/03/2012	632	96	12.23	Negativo	SI presenta Coloración rojo grosella con fenoltaleina
	Diamantina	2					
	Profundidad(cm)	12.5					
3.-COLUMNA -III	Fecha	08/03/2012	658	172	9.26	Positivo	NO presenta Coloración rojo grosella con fenoltaleina
	Diamantina	3					
	Profundidad(cm)	2.5					
3.-COLUMNA -III	Fecha	08/03/2012	617	145	12.13	Negativo	SI presenta Coloración rojo grosella con fenoltaleina
	Diamantina	3					
	Profundidad(cm)	7.5					
3.-COLUMNA -III	Fecha	08/03/2012	513	119	12.28	Negativo	SI presenta Coloración rojo grosella con fenoltaleina
	Diamantina	3					
	Profundidad(cm)	12.5					

  
**CARMEN M. REYES CUBAS**  
 ING. ANALISTA DEL LABORATORIO  
 Lab. Químico de la FIC-UNI

  
**ROSA ALTAMIRA NO MEDINA**  
 ING. JEFE DEL LABORATORIO  
 Lab. Químico de la FIC-UNI

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

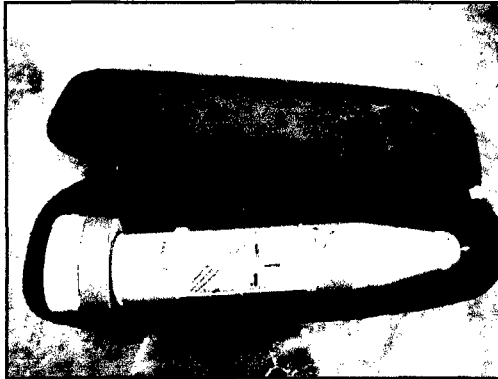
Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Peru  
 Apartado Postal 1301 Lima 100 - Peru Telefax: (511) 481-9845  
 Central Telefonica: 481-1070 Anexo: 295

# **ANEXO E**

## **Panel Fotográfico**

## ENSAYO DEL ESCLERÓMETRO

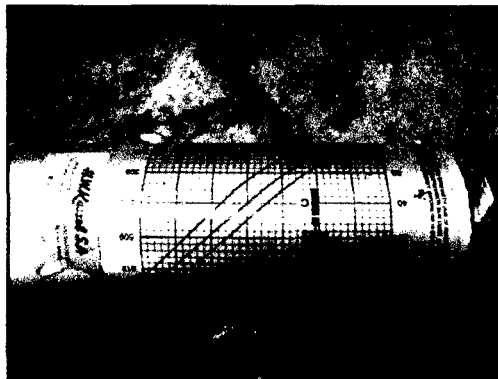
**Esclerómetro de Schmidt**



**Yunque de calibración**



**Grafica con valores de resistencia a la compresión con el número de golpe del esclerómetro**



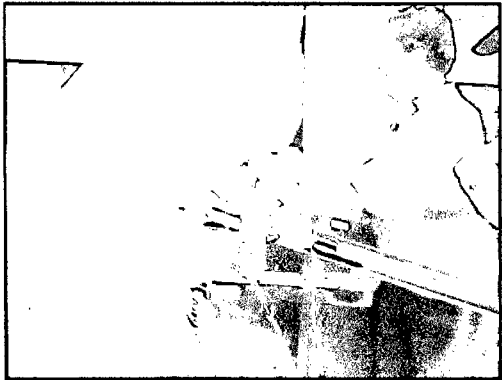

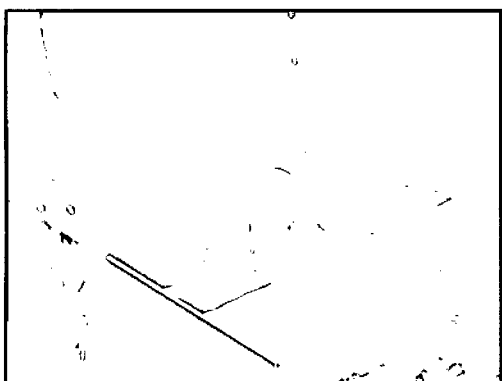
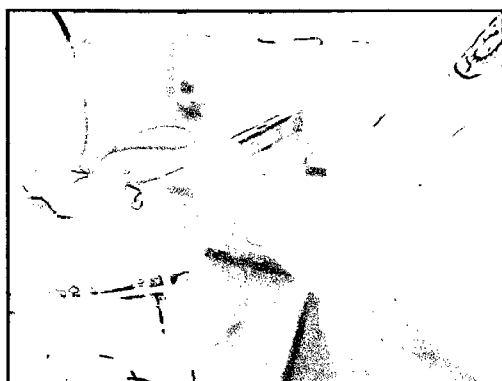
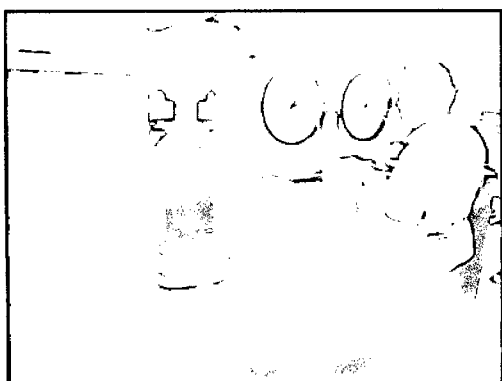
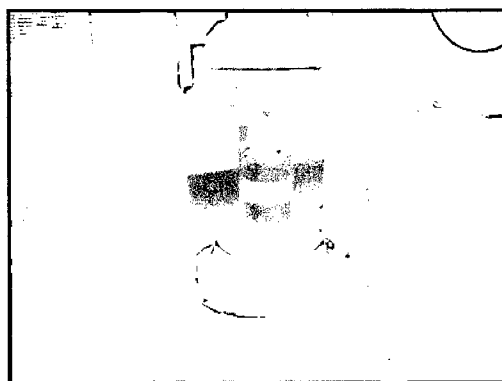
**Ensayo con el esclerómetro en una columna**



**Ensayo con el esclerómetro en una viga**



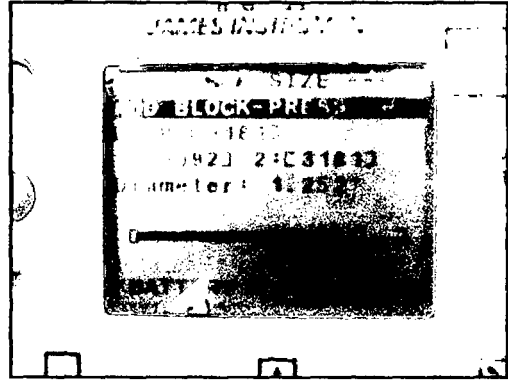
## ENSAYO DE COMPRESIÓN

	
<b>Extracción de los testigos con brocas diamantinas de 3" de diámetro.</b>	
	
<b>Corte del testigo.</b>	<b>Capeado del testigo.</b>
	
<b>Ensayo de resistencia a la compresión con la maquina universal.</b>	

## DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD, LOCALIZACIÓN Y ESPESOR DE LA ARMADURA



**Detección de acero en la columna con el Rebarscope.**



**Pantalla del equipo Rebarscope detectando el diámetro del acero.**



**Detección de acero en la viga con el Rebarscope.**

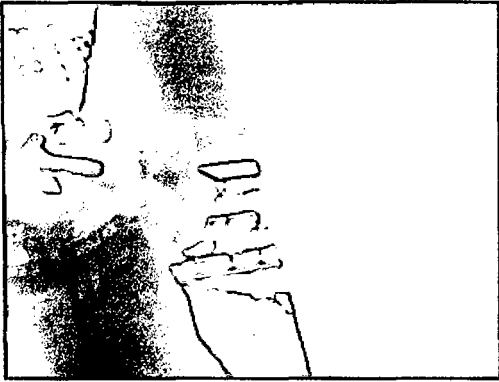

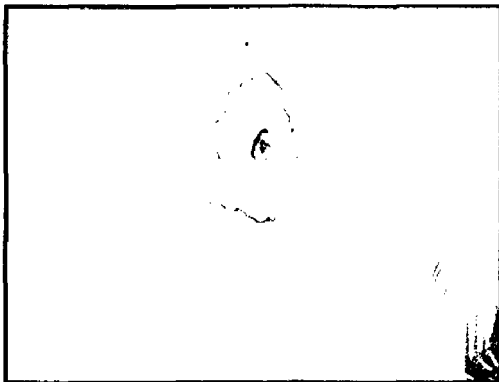
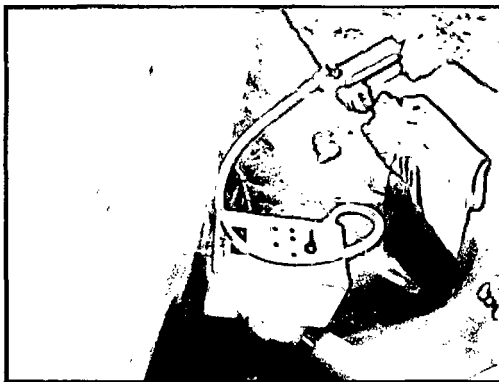
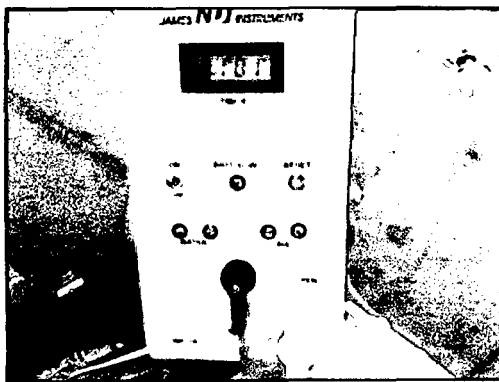



**Detección de acero en el cascaron de la estructura con el Rebarscope.**

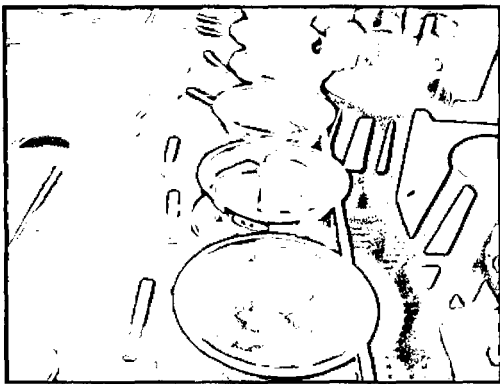
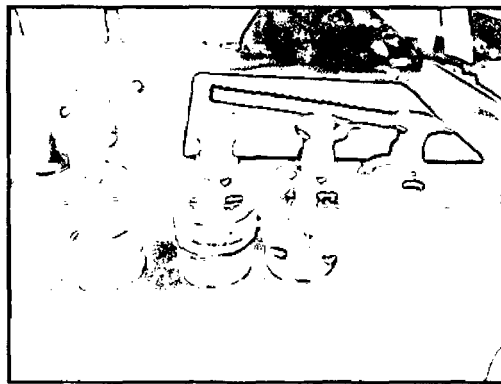
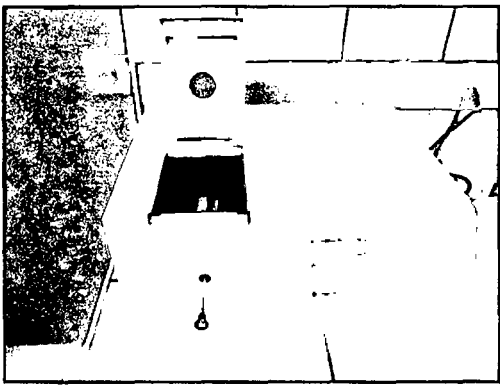

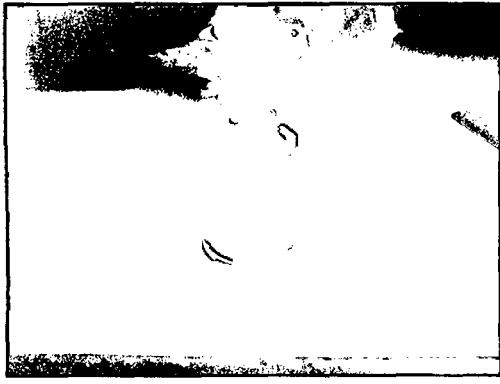

## VELOCIDAD DE PULSOS ULTRASÓNICOS

	
<p><b>Equipo V-Meter MK IV.</b></p>	<p><b>Medición de la velocidad del pulso ultrasónico en una viga.</b></p>
	 <p>JAMES INSTRUMENTS Non Destructive Test Equipment</p> <p>Menu Test ---AV Pulso/Pulso 20 Guardar S Gráfico 0.200 e Velocidad 100.0 usegs. 1007 m/s Bateria = 100%</p>
<p><b>Medición de la velocidad del pulso ultrasónico en un la columna.</b></p>	<p><b>Pantalla del equipo midiendo la velocidad del pulso ultrasónico.</b></p>
	
<p><b>Pantalla del equipo mostrando los datos del ensayo.</b></p>	<p><b>Medición de la velocidad del pulso ultrasónico en el cascaron.</b></p>

## PERMEABILIDAD DEL CONCRETO

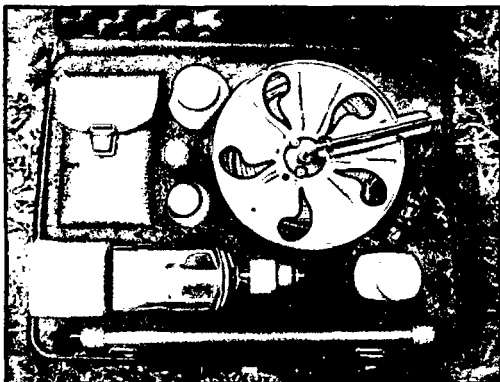
	
<p><b>Perforación de la columna con un taladro.</b></p>	<p><b>Tapón de caucho con silicona para tapar el orificio perforado.</b></p>
	
<p><b>Incrustación de la aguja para la extracción de aire.</b></p>	<p><b>Ensayo de permeabilidad con el Porosicope Plus.</b></p>
	
<p><b>Lectura de tiempo del equipo</b></p>	<p><b>Ensayo en la columna con el equipo Porosicope plus</b></p>

## CONTENIDO DE PH, CLORUROS, SULFATOS Y CARBONATACION

	
<b>Medición del contenido de pH</b>	<b>Compuestos químicos para el cálculo de la concentración de cloruro y sulfato</b>
	
<b>Fotómetro, equipo para medir el contenido de sulfato</b>	<b>Equipo para medir el contenido de cloruro</b>
	
<b>Frasco con Fenolftaleína</b>	<b>Medición de la carbonatación en el testigo</b>



## MEDICIÓN DE POTENCIALES DE CORROSIÓN



**Equipo de medición de potencial de corrosión.**



**Ensamblaje del equipo.**



**Medición de potencial de corrosión en la columna 3.**

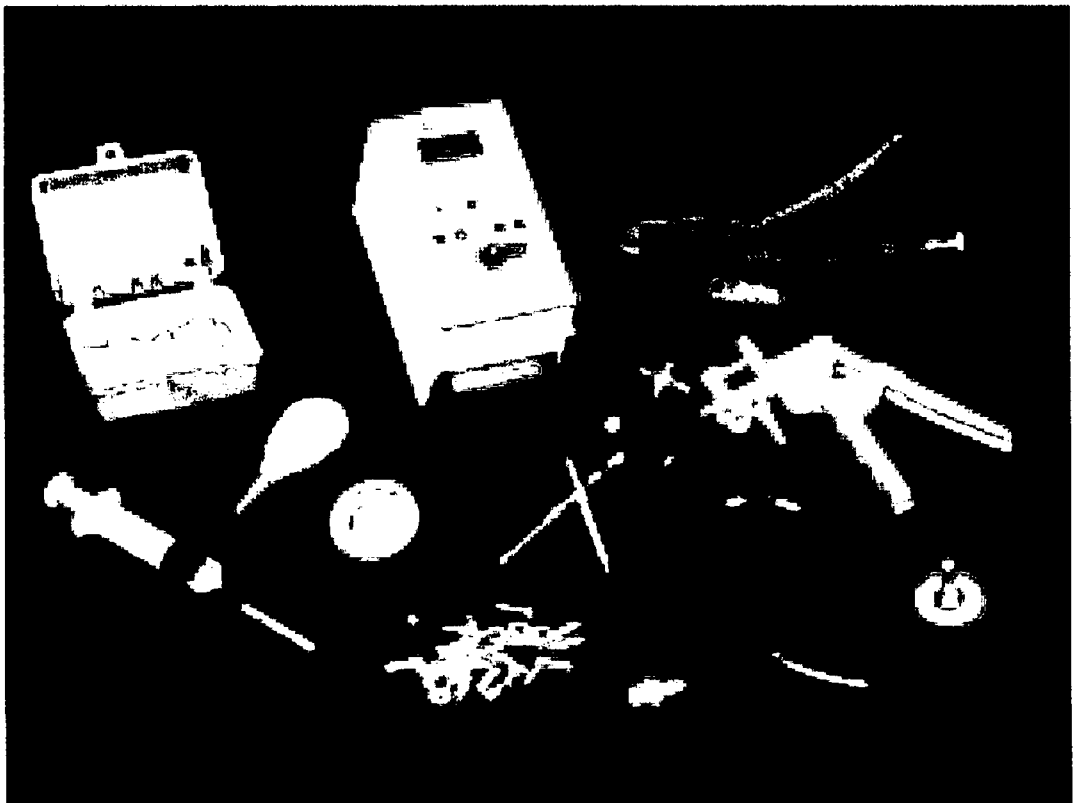


**Medición de potencial de corrosión en el cascarón.**

# ANEXO F

## Manuales de Equipos

- **F1 - Manual del Poroscope Plus**
- **F2 - Manual del V-Meter Mark IV**
- **F3 - Manual del Rebarscope**
- **F4 - Sistema de Mapeo de la Corrosión del  
Concreto MC MILLER**



# **P-6050 & P-6000 Poroscope Plus Manual de instrucciones**

## **TABLA DE CONTENIDOS**

- 1. PREPARACIÓN DEL AGUJERO DE PRUEBA**
  - 1.1. En superficies verticales**
- 2. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA**
  - 2.1. Permeabilidad al Aire**
  - 2.2. Permeabilidad al agua**
- 3. RESULTADOS**
- 4. POROSISCOPE INSTRUCCIONES DE PULSO EN FUNCIONAMIENTO**
  - 4.1. Superficie de ensayo de permeabilidad**
  - 4.2. Resultados**
- 5. INSTRUCCIONES PARA SUSTITUIR EL AGUA DEL TUBO**
  - 5.1. Desembalaje**
  - 5.2. Ensamblaje**

## POROSISCOPE PLUS MANUAL DE INSTRUCCIONES

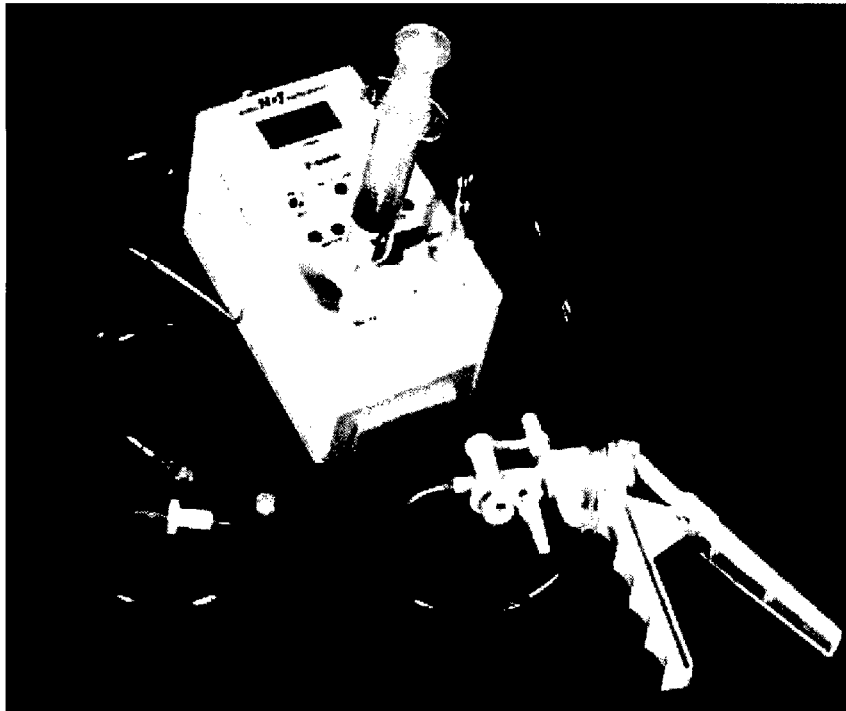


Figura 1: Poroscope, con los dos módulos del sistema de aire y agua.



Figura 1a: Insertar el tornillo de plástico en el tapón de caucho moldeado para la prueba.



Figura 1b: Conexión del poroscope, insertar de rosca de plástico y una aguja de hipotermia en el concreto.

## MANUAL DE INSTRUCCIONES

### 1. PREPARACIÓN DEL AGUJERO DE PRUEBA

- Taladre una serie de agujeros de ensayo de 10 mm  $\approx$  (3/8 pulg.) de diámetro y 40 mm de profundidad exactamente, usando una broca de albañilería equipado con un poco de carburo de tungsteno (Véanse las Figuras 2a - 2b). Por lo menos 3 agujeros de ensayo pero preferiblemente 6, (dispuestos en un grupo compacto) debe ser ensayado y el valor medio de la agrupación toma como una indicación de permeabilidad del concreto aire o concreto agua.
- Los agujeros no debe ser inferior a 30 mm (1 1/4 ") de separación o inferior a 30 mm desde el borde del concreto.
- Sople el polvo suelto de los agujeros con la bombilla de caucho para ventilar.
- Inserte parcialmente un tapón de caucho moldeada en cada orificio de prueba. Si es necesario añada silicona a los lados del tapón de caucho.
- Introduzca el tornillo de plástico en el tapón moldeado de caucho (ver Figura 1a). Atornille con cuidado la inserción de plástico asegurándose de que tanto la inserción de rosca de plástico y la brida superior del tapón se asienta firmemente sobre la superficie de concreto.
- Atornille el tornillo de plástico para sellar el tapón contra la pared del agujero
- Introducir la aguja hipodérmica a través del centro del orificio del tapón de caucho de modo que la cabeza de la aguja hueca sobresalga a través del tapón de silicona moldeada (véase la figura 1b). Limpiar el orificio con un alambre de acero para asegurar la aguja de calibre es libre de obstrucciones.
- El resultado final debe ser un vacío cilíndrico exactamente 20 mm de alto y 10 mm de diámetro con una aguja hipodérmica que lo conecta a la atmósfera.

#### 1.1. En superficies verticales

Para probar en superficies verticales, los siguientes procedimientos deben adoptarse:

- Haga un hoyo de la prueba horizontal, como en la figura 2a, con las dimensiones estándar. Desde la cima del hoyo de prueba, medir una distancia en vertical hacia arriba de 6 " o (152 mm).

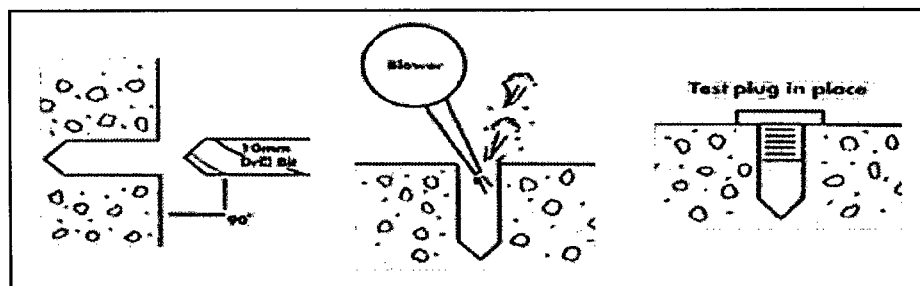


Figura 2a: Perforación y limpieza del pozo de prueba.

- Desde esta posición, medir la posición horizontal a una distancia de aproximadamente 3 "(75 mm), en este punto hacer un agujero de diámetro de anclaje de 1/4" (6 mm).
- Ajuste el anclaje de expansión en el agujero y atornillar el tornillo n ° 8.
- Cuelgue el instrumento de este tornillo de anclaje usando el agujero ranurado en la parte superior de la base del instrumento.

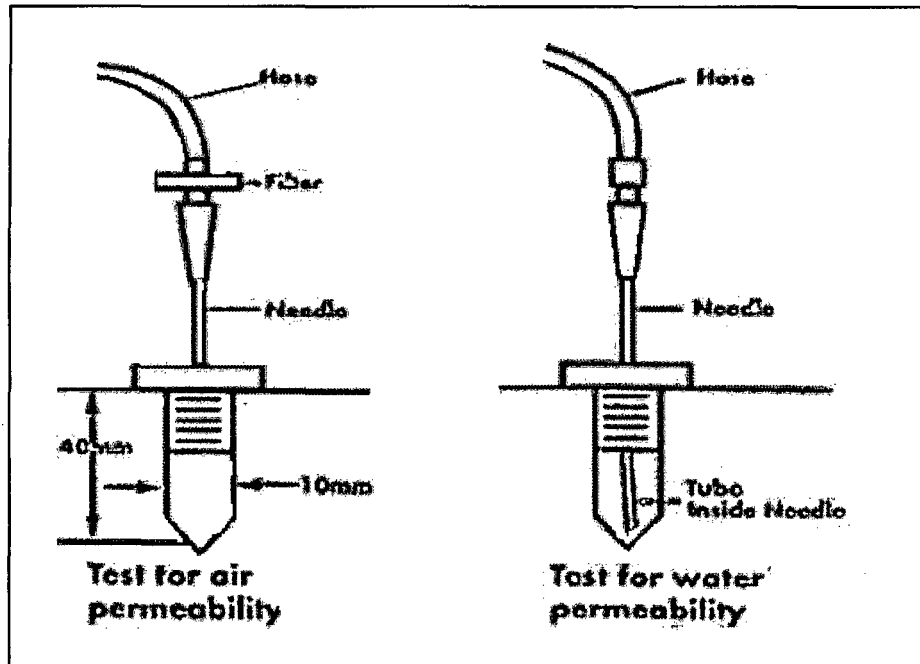


Figura 2b: Métodos de prueba

## 2. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Comprobar el funcionamiento del instrumento.

- Conecte la alimentación.
- Restablecer pantalla del temporizador a cero mediante botón de reinicio.
- Siempre pruebe la permeabilidad al aire antes de la permeabilidad de las pruebas de agua. Incluso cuando la permeabilidad al aire no es necesario, el procedimiento de prueba de aire debe ser hecho de modo que todo el polvo dentro del vacío es aspirado hacia fuera.

### 2.1. Permeabilidad al Aire

- Coloque el extremo macho cónico del filtro tipo Luer en la línea de aire en el receptáculo hembra de la aguja hipodérmica.
- Conecte el tubo flexible con conector macho de la bomba manual de vacío a su mano derecha ajuste del aire marcado, en la parte superior del instrumento. (figura 2b, lado izquierdo)
- Gire la válvula de vacío del instrumento a la posición marcada abierto.
- Con movimientos lentos y mano firme, bombee el sistema de escape a un vacío en exceso de 55 kPa (16,24 en Hg) por debajo de la presión atmosférica. (Durante esta operación, se iluminara de rojo de color rojo los dos focos que están debajo de la pantalla LED y al lado derecho.

- Cerrar la válvula de vacío en el instrumento.
- Asegúrese de que el temporizador de base no se está ejecutando y que todavía se puede leer la pantalla 00.00 (si no, restablezca en consecuencia.)
- Compruebe que tanto este a una presión de -50 a -55 kPa la luz del lado rojo permanecerá iluminado.
- Cuando vacío se reduce a -55 kPa por la infiltración de aire en la cavidad de prueba, la luz roja de lado izquierdo se apaga y el temporizador comenzará a funcionar, a hacer el conteo.
- Cuando se reduce al vacío a -50 kPa, el derecho de LED se apaga y el cronómetro se detendrá.



Figura 3: Extracción de presión

- Tenga en cuenta la lectura del temporizador (minutos: segundos) y convertir a los segundos.
- Este es el momento la variación será de 5 kPa de presión dentro del orificio de prueba desde un -55 kPa a -50 kPa por debajo de la presión atmosférica.
- Repita la prueba, que debe dar el mismo tiempo transcurrido en segundos,  $\pm 2\%$  de la lectura.
- Para evitar fugas entre los agujeros en la misma zona, completar las pruebas de permeabilidad del aire para todos los agujeros antes de comenzar las pruebas de agua.

### 1.3. Permeabilidad al agua

- Introduzca el tubo fino de la cánula central de conexión de agua a través del orificio de la aguja hipodérmica y, a continuación, coloque firmemente el extremo macho cónico tipo Luer del tubo exterior en la aguja hipodérmica. (figura 2b lado derecho)
- Coloque una llave de paso al orificio del equipo con el nombre de WATER y luego la a jeringa en ella, la llave de paso debe estar abierta.



Llene la jeringa con agua a aproximadamente a 20°C (70°F). El uso del grifo filtrado o agua destilada completamente libre de jabón o detergente.

- Presionar el émbolo de la jeringa constantemente hasta que el agua salga del tubo capilar de nylon en el lado izquierdo del instrumento, esto quiere decir que el agujero de prueba está lleno de agua.
- Nótese después que ambos indicadores están encendidos, estos están al lado izquierdo del equipo.
- Después que el agujero de prueba haya sido llenado con agua, ajustar la posición del menisco en el nylon capilar por medio de una manipulación suave del émbolo de la jeringa mediante la aplicación de vacío, para llevar una burbuja de aire del menisco, la burbuja más cercana al equipo se desplazara hacia la cara exterior de la caja del instrumento. Cierre la llave de paso que se coloco entre el instrumento y jeringa.

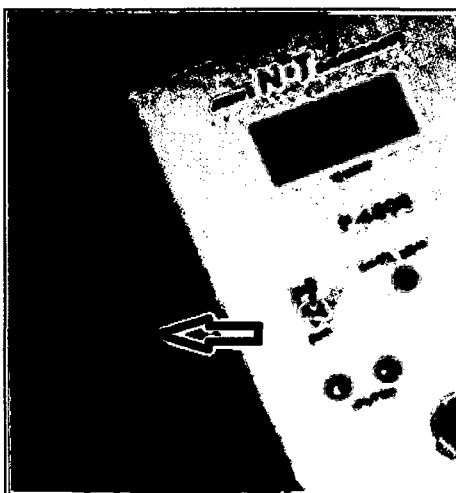


Figura 4: posición del menisco, donde la llave de paso debe estar cerca antes del comienzo de la prueba

**NOTA:** Nunca debe tocarse el menisco de nylon que sale del instrumento y el desplazamiento de la burbuja es por medio de la extracción de aire por el embolo de la jeringa.

- Compruebe que ambos indicadores están encendidos y que la pantalla del reloj no se está ejecutando y que se lee 00.00 (Si no, restablezca a 00.00, presionando un botón que está a la pantalla.)
- Una vez que la burbuja está al lado del equipo, esperar que la burbuja del menisco llegue al sensor #1.
- Cuando el agua pasa del menisco sensor # 1, el LED de la izquierda se apagará y el cronómetro empezará a correr.
- Cuando el agua pasa del menisco sensor # 2, el sistema detector de infrarrojos se apagará y el cronómetro se detendrá.
- Tenga en cuenta la lectura del temporizador (minutos: segundos) y convertir a los segundos. Este es el tiempo requerido para que 0,01 ml de agua es absorbido por el concreto.
- Si las burbujas de aire atrapado en el tubo interior, las luces LED se encienden y se apagan en forma irregular. Cuando esto ocurre, el émbolo de la jeringa debe ser presionado con una presión firme y continua hasta que las burbujas son expulsados del tubo de desbordamiento.

### 3. RESULTADOS

La permeabilidad a veces está influenciada por el contenido de humedad del concreto. A mayor humedad del concreto, más largo será los tiempos de permeabilidad. Completamente saturado concreto dará tiempos extremadamente largos (teóricamente, infinito para el agua: para el aire, el tiempo que refleja la velocidad de disolución de aire atmosférico en el fluido de poro de concreto).

La calificación de exclusión aérea para el concreto puede ser calculada a partir de la fórmula:

$$AER = \frac{t}{\left[\frac{55 \times V}{59} - V\right] \times \frac{55.5}{100}} = 19.05 \times \frac{t}{V} \dots \dots \dots (1)$$

t = tiempo medido es en (s)  
V = volumen del aparato, incluyendo el agujero de prueba (ml): para el Poroscope estándar, V = 77,1 ml;  
AER = 0,247 t.

La tasa de absorción de agua está dada por:

$$WAR = \frac{t}{10} \left(\frac{seg}{ml}\right) \times 10^3 \dots \dots \dots (2)$$

t = tiempo medido en (s)

- La siguiente tabla muestra los valores tentativos para los tiempos de permeabilidad al aire y el agua y se calcularon puntuaciones AER para el concreto de calidad variable de protección para el refuerzo incorporado:

Tabla 1: Valores de la calidad del recubrimiento a la permeabilidad.

Categoría del concreto	Calidad protectora	Aire	Permeabilidad	Agua
		Tiempo (s)	AER Valor (s/ml)	Velocidad de absorción
0	Pobre	<30	<8	<3
1	No muy bueno	30-100	8-25	3-10
2	Mediano	100-300	25-75	10-30
3	Bueno	300-1000	75-250	30-100
4	Excelente	>1000	>250	>100

### 4. POROSCOPE INSTRUCCIONES DE PULSO EN FUNCIONAMIENTO

El Poroscope Plus es un sistema avanzado para la medición de la permeabilidad del concreto en función al aire y el agua, tanto en la superficie y los niveles de sub-superficie. Mientras que el procedimiento de la superficie y de la prueba interna es esencialmente el mismo, la puesta a punto y preparación para cada una es diferente.

#### 4.1. Superficie de ensayo de permeabilidad

Una cámara de acero inoxidable tiene una superficie con la misma área y exactamente el doble del volumen del agujero utilizado en la prueba de la permeabilidad interna, ahora se utiliza como el vacío para esta prueba.

La cámara de superficie se sella al concreto mediante un perfilado en la superficie de concreto para así eliminar los desniveles en donde se va a realizar el ensayo, esta superficie debe estar libre de suciedades, aceite, etc.

La rueda de copa está dimensionada para coincidir exactamente con las dimensiones de la cámara de superficie.

Un par de empaquetaduras montadas concéntricamente en juntas de las bridas de los probadores de la superficie de la cámara a la superficie evitara la fuga de presión por medio de la junta cuando se esté haciendo la prueba.

Para evitar la fuga de aire se hará por sujeción de la cámara a la superficie (tal como se presenta en la fig. 5).

Esta cámara de superficie se utiliza como el vacío para pruebas de porosidad de la superficie, permitiendo la penetración del aire y agua a través de los selladores de concreto, morteros y de superficie similares, para ser activada.

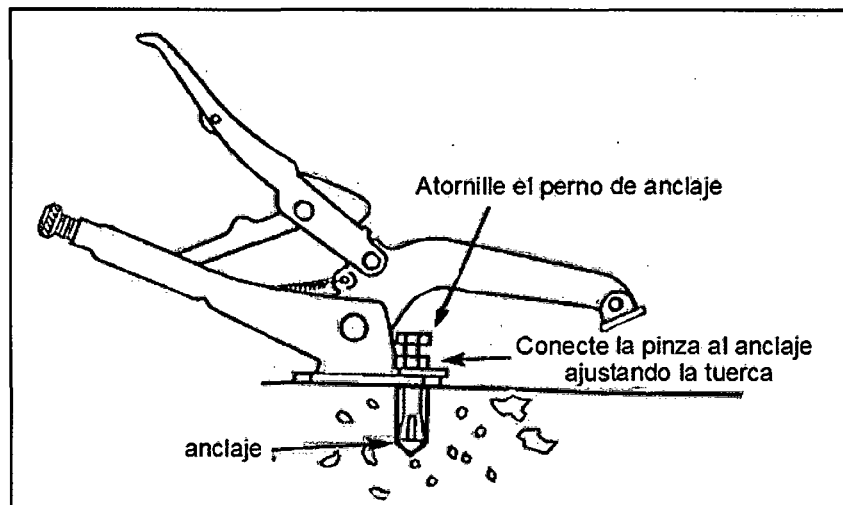


FIGURA 5: Marco de las pinzas de sujeción

La cámara de superficie ha sido diseñada para acomodar fácilmente los archivos adjuntos a la instrumentación.

Por primera realización de la prueba de aire y luego el agua de ensayo (como se indica en la sección de prueba interna), la instrumentación proporcionará el tiempo necesario para que la cámara de vacío a perder 5 kPa, o una vez lleno de agua, 0,01 agua millas. Con el probador de la superficie adjunta al instrumento de los dos números Figg y los índices directos para el aire y la permeabilidad de la superficie del agua puede ser establecida.

## 4.2. Resultados

Para el cálculo de la calificación de exclusión de aire (ARE) utilizar la fórmula (1), pero con:

$$V = 78.7 \text{ ml}$$
$$Y \text{ AER} = 0,242 \text{ t}$$

La tabla 1, se puede utilizar con tiempos de aire se reduce en un 2%; los tiempos de agua son los mismos.

Cuando un sellador se ha aplicado a la superficie de ensayo, los resultados de la prueba deben estar en el rango excelente, como se muestra en la tabla 1.

Si el tubo interior se bloquea con partículas de polvo, debe ser sustituido con un conjunto de tubos de agua nueva de acuerdo con las instrucciones siguientes:

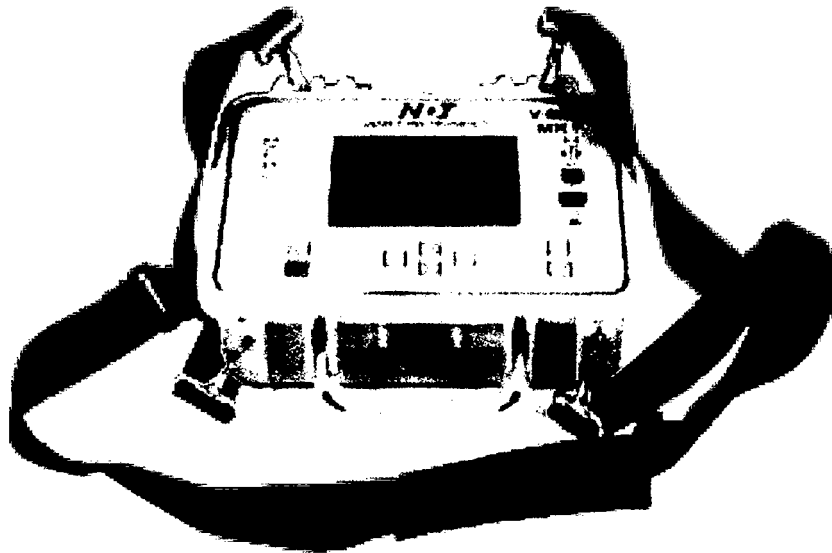
## 5. INSTRUCCIONES PARA SUSTITUIR EL AGUA DEL TUBO

### 5.1. Desembalaje

- 1) Apague el interruptor de encendido-apagado.
- 2) Abrir el casco del Poroscope quitando los 4 tornillos en las esquinas de la base de la caja.
- 3) Separado la parte superior de la base, teniendo cuidado de no romper los tubos de plástico.
- 4) Desconectar el tubo de agua en el interior de la base de plástico gris oscuro tirando del tubo de plástico de 1/8 "(aprox. 3 mm).
- 5) Retire el empalme negro del alivio de tensión en la parte exterior de la base de color gris oscuro, sujetando con los alicates y tirando a fuera de la base (se puede el cortar tubo de suministro de agua fuera de alivio de tensión para facilitar una fácil extracción de ajuste de alivio de tensión.)
- 6) Extraer y retirar el tubo de agua de rebose desde el lado de la caja y el bloque de aluminio unido a la Junta de PC desde el lado de la caja.
- 7) Retire el conjunto completo de tubo de agua de la caja

### 5.2. Ensamblaje

- 1) Alimente el conjunto de tubo de agua nueva a través del agujero en la base gris oscuro instrumento.
- 2) Alimentar tubo de agua de rebose a través del bloque de aluminio y por fuera a través del orificio de rebose de agua en el lado de la caja del instrumento.
- 3) Conectar el pezón dentro de la caja en el extremo del conjunto del tubo de agua a la identificación de plástico 1/8". (3 mm) que conduce a la entrada del agua.
- 4) Lugar adecuado negro de alivio de tensión en el tubo cerca de la base exterior y empujar y bloquear en su lugar en el agujero a través de la base de plástico gris oscuro.
- 5) Con cuidado, sin pellizcar o retorcimiento alguno de los tubos de plástico, colocar la tapa de plástico caso de la luz a la base de color gris oscuro, inserte y apriete los tornillos de turismo.



**V-C-400**  
**V-Meter Mark IV**  
**Operator's Manual**

**Original Instructions: Revision March 2012**

## **TABLA DE CONTENIDOS**

- 1. LISTA DEL CONTENIDO DEL EQUIPO.**
- 2. V-METER INFORMACIÓN GENERAL**
- 3. PANEL DE CONTROL**
- 4. PANTALLAS DE VISUALIZACIÓN DE INSTRUMENTOS**
  - 4.1. Pantalla Prueba de menú (Test Menu)**
  - 4.2. Frecuencia del transductor de pulsos**
    - 4.2.1. Pulso y velocidad de frecuencia**
    - 4.2.2. Ajuste de Velocidad o Distancia**
  - 4.3. Pantalla de la configuración de menú (SETUP MENU)**
    - 4.3.1. Pantalla de calibración**
    - 4.3.2. Pantalla ajuste de densidad**
  - 4.4. Pantalla revisión de menú**
  - 4.5. Pantalla sistema de menú**
    - 4.5.1. Pantalla menú de ajuste del reloj**
    - 4.5.2. Pantalla estado de la batería (OPERACIONES)**
  - 4.6. Pantalla menú E /  $\mu$** 
    - 4.6.1. Tipo E /  $\mu$**
  - 4.7. Pantalla menú de descarga**
- 5. INTRODUCCIÓN DEL VELOCILINX**
  - 5.1. Características**
  - 5.2. Requisitos mínimos del sistema**
- 6. DESCRIPCIÓN DEL VELOCILINX**
  - 6.1. Funciones del software**
- 7. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE**
- 8. LA CARGA DE DATOS**
  - 8.1. Datos tradicionales para subir**
    - 8.1.1. Establecida en Inglés**
    - 8.1.2. Configurar el puerto COM**
    - 8.1.3. Prensione el Lightning Bolt (Rayo)**
    - 8.1.4. Cargar datos**
  - 8.2. Representación gráfica de datos guardados**

## 1. LISTA DEL CONTENIDO DEL EQUIPO.

Cada James Instruments V-Meter viene con los siguientes elementos incluidos en el maletín de transporte.

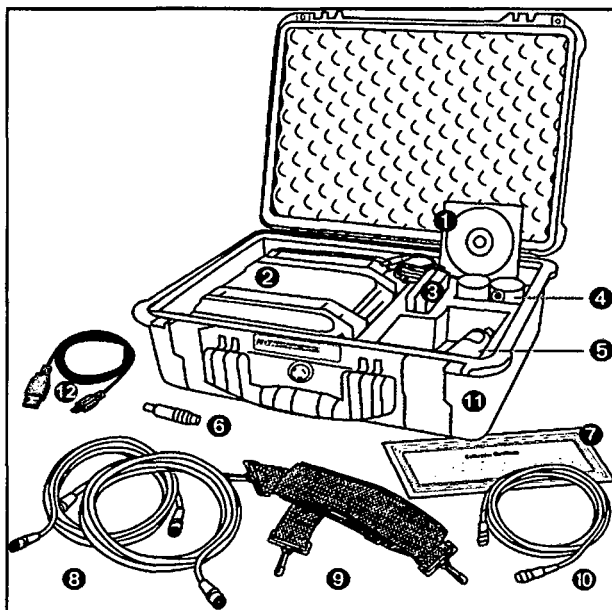


Figura 1: Contenido del V-Meter

### Definición:

- 1) **V-Meter PC software CD-** Se utiliza para cargar los datos de la V-Meter a un PC.
- 2) **V-Meter Instrumento** - probador de la velocidad de pulso ultrasónico dentro de una caja de protección duradera.
- 3) **AC / Cable de alimentación** - Se emplea para alimentar la V-Meter y recargar la unidad.
- 4) **Dos transductores (54kHz)** - Robusto plomo zirconato titanato de cerámica piezoeléctricos elementos montados en cajas de acero inoxidable diseñadas para proporcionar la transmisión acústica de alta eficiencia.
- 5) (Nota: Una carga pequeña se puede acumular en un transductor (s) en un período de tiempo debido a los cristales de ser sometidos a vibraciones durante el transporte Por lo tanto, para evitar el choque de un transductor de carga, se debe tener cuidado al manipular el enchufe de cable coaxial).
- 6) **Tubo de acoplante** - Utilizado en concreto u otros materiales que tienen superficies lisas para asegurar el acoplamiento acústico adecuado.
- 7) **Botón Conector de adaptador coaxial cable del transductor** - adaptador que se conecta al conector del botón del receptor a los cables coaxiales de transductores.
- 8) **Certificado de Calibración** - Certificado para confirmar que el instrumento ha sido calibrado para cumplir o exceder las especificaciones publicadas.
- 9) **dos cables coaxiales de transductores:** se utilizan para conectar los transductores estándar para la V-Meter.

- 10) **Soporte Correa** - Se utiliza para fijar el V-Meter para el usuario durante la prueba.
- 11) **Conector de cable Rec. Cuatro** - Se utiliza para conectar el transductor con el botón del interruptor a la V-Meter.
- 12) **Casco** - Se utiliza para la realización de la V-Meter y accesorios.
- 13) **Cable USB** - se usa para conectar el V-Meter al PC.

## 2. V-METER INFORMACIÓN GENERAL

El siguiente es un resumen de todas las características externas de la V-Meter.

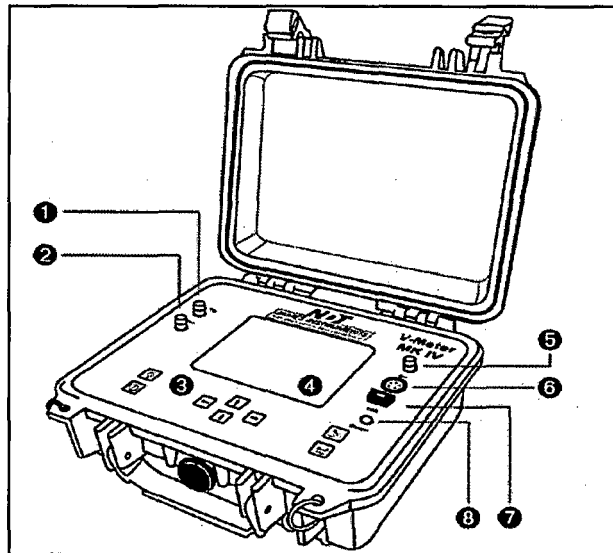


Figura 2: V-Meter Información general

- 1) **OSC TRIG** - Base de tiempo de la señal de disparo para osciloscopio externo
- 2) **Trans BNC** - conector para la transmisión de transductor
- 3) **Panel de Control** - V-Meter panel de control.
- 4) **Pantalla** - 320 por 240 píxeles de pantalla retroiluminada.
- 5) **Osc** - Salida conector BNC para osciloscopio externo
- 6) **Rec.** - Conector cuatro del cable para recibir transductor con el botón del interruptor
- 7) **USB** - Se conecta a la ubicación del puerto USB para cargar los datos en su PC.
- 8) **Cargador** - Se conecta a la fuente de alimentación.

El conector **TRANS (2)** se conecta al transductor transmisor. El conector **REC (6)**, al transductor receptor; que es fácilmente identificado por el botón en el lado de la carcasa. El conector USB (7) se conecta a cualquier puerto USB del PC mediante un cable USB. El conector de la **OSC (5)** le permite conectar el instrumento a un osciloscopio para analizar e identificar las diferentes características de la señal ultrasónica a través del material. El gatillo conector **BNC (1)** debe ser utilizado con un osciloscopio externo, es para empezar a grabar el comienzo de la señal.



### 3. PANEL DE CONTROL

Los siguientes botones aparecen en la James Instruments V-Meter. El instrumento es controlado por las teclas del panel frontal que permite al usuario navegar por los menús del sistema.

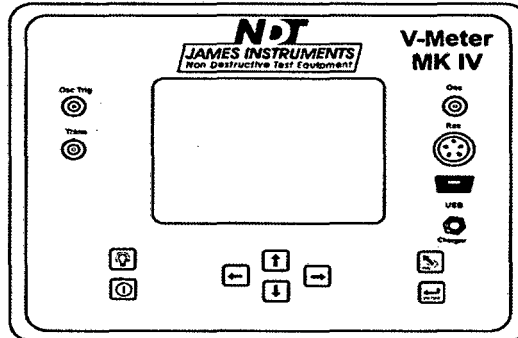










Figura 3: Control de Panel del V-Meter

#### Funciones del instrumento:

A continuación se describe la función de los botones de la V-Meter.

-  El botón de encendido. Esto convierte el instrumento encendido y apagado.
-  La flecha hacia arriba. Se utiliza para desplazarse hacia arriba a través de los menús.
-  La flecha hacia abajo. Se utiliza para desplazarse por los menús.
-  La flecha hacia la izquierda. Se utiliza para cambiar o disminuir el valor mostrado.
-  La flecha hacia la derecha. Se utiliza para cambiar o aumentar el valor mostrado.
-  La tecla Enter. Se utiliza para seleccionar un elemento del menú y guardar los valores indicados.
-  La tecla Esc. Se utiliza para salir de los menús y cancelar las selecciones.
-  El botón de la luz. Enciende y apaga la luz de fondo.

### 4. PANTALLAS DE VISUALIZACIÓN DE INSTRUMENTOS

#### 5.1. Pantalla Prueba de menú (Test Menu)

Cuando el V-Meter se enciende por primera vez en 'on', el menú TEST (abajo) aparece en la pantalla. Si lo desea, esto permite al usuario realizar una prueba de inmediato. (Nota: Para llegar al menú principal de la V-Meter, pulse la tecla de escape una vez.)

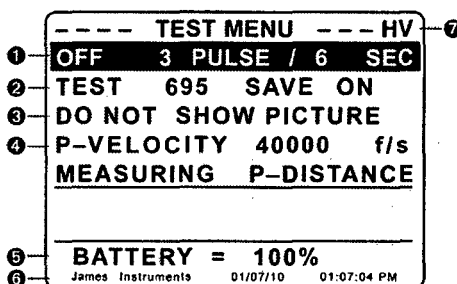


Figure 4: Test Menu

### Definición:

- 1) Muestra si la unidad está apagada o en funcionamiento y le permite elegir el número de impulsos enviados, así como la frecuencia de la prueba. Al presionar "→" cambia la frecuencia de los pulsos, al pulsar "←" cambia el número de impulsos por secuencia. Al pulsar **Enter** carreras y se detiene la prueba.
- 2) Muestra el número de prueba y si la prueba se guarda o no. Al presionar "→" cambios para **SAVE ON** y pulsar "←" cambios para **SAVE OFF**. Cuando la opción **SAVE ON** aparece en la pantalla todas las pruebas realizadas se guardan automáticamente en la memoria.
- 3) Muestra la señal de ultrasonido cuando la opción está activada. Al presionar "→" cambia para MOSTRAR IMAGEN y pulsar "←" cambios en NO MOSTRAR IMAGEN.
- 4) Muestra el P-Distancia (distancia de la trayectoria) o el P-Velocidad (la velocidad de pulso). Al presionar "→" o "←" cambios entre P-DISTANCIA y P-VELOCIDAD.
- 5) Esta opción permite al operador para medir la distancia entre los transductores, suponiendo un valor de distancia o velocidad. Al pulsar la tecla Enter este menú permite que el operador para inicializar el valor de la distancia o velocidad, independientemente de la variable seleccionada para la medición. Sistema de la computadora a continuación, ejecuta unos pocos ciclos para medir el tiempo, y calcula la otra variable.
- 6) Cuando un valor de P-Distancia se escoge las medidas del medidor de V-P-velocidad. Cuando un valor de P-se elige la velocidad de las medidas del medidor de V-P-Distancia.
- 7) Muestra la vida actual de la batería en porcentaje.
- 8) Muestra la fecha y hora actuales.
- 9) Muestra el voltaje del pulso. La carta de HV (alta tensión) o LV (baja tensión) indica la selección de voltaje, se recomienda utilizar la opción de alta tensión para la mayoría de los casos, excepto cuando se analizan muestras de menos de 2 "(5 cm) de espesor.  
El voltaje del pulso se puede cambiar en el menú de configuración.

## 5.2. Frecuencia del transductor de pulsos

Cuanto mayor sea la frecuencia de impulsos del transductor, el más estrecho sea el haz de propagación de impulsos, pero cuanto mayor es la atenuación (o amortiguamiento fuera) de las vibraciones del pulso.

La frecuencia de impulsos utilizados para la verificación de concreto o de madera es mucho menor que la utilizada en las pruebas de metal. Las pruebas de metal requiere impulsos de alta frecuencia para proporcionar un haz estrecho de






energía, pero esas frecuencias no son adecuados para su uso con heterogénea y grueso materiales de grano debido a la considerable cantidad de atenuación que someterse a impulsos cuando pasan a través de estos materiales.

Las frecuencias adecuadas para estos materiales variar de aproximadamente 20 kHz a 250 kHz. . Estas frecuencias corresponden a longitudes de onda que van desde aproximadamente 8 pulgadas (para la frecuencia más baja) hasta aproximadamente .6 pulgadas en la frecuencia más alta. Para las pruebas de campo de concreto, 50kHz es la frecuencia más ampliamente utilizada.

### 5.2.1. Pulso y velocidad de frecuencia

Esto se puede modificar dependiendo de qué material está siendo prueba. Por lo general tres pulsos cada cuatro segundos son suficientes para probar en el concreto y madera. Un solo pulso es normalmente suficiente para la cerámica y los más finos materiales de grano fino. Más largos frecuencias son útiles para materiales muy densos. Mayor número de pulsos por la lectura es mejor para los materiales más porosos (hormigón con áridos de gran tamaño, gravemente madera podrida).

**Para cambiar el pulso y la tasa de frecuencia:**

- 1) Con las teclas   , vaya a **Test Menu** y presione **Enter**.
- 2) Al pulsar  se puede cambiar el número de impulsos por secuencia. Las opciones disponibles de impulsos son (1, 3, 10).
- 3) Presionando  cambie la frecuencia de los pulsos. Las frecuencias disponibles son (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 segundos, y manual).
- 4) Al pulsar  se inicia y detiene la prueba.

### 5.2.2. Ajuste de Velocidad o Distancia

La velocidad de pulsos ultrasónicos de viaje en un material sólido depende de las propiedades elásticas y la densidad del material que está viajando sin embargo. La calidad de los materiales a menudo se relaciona con su rigidez elástica de modo que la medición de la velocidad de pulso ultrasónico en dichos materiales a menudo se puede utilizar para indicar su calidad, así como para determinar sus propiedades elásticas. Los materiales que pueden ser analizados de esta manera incluir, en particular concreto y madera, pero excluyen todos los metales. Cuando la prueba ultrasónica se aplica a los metales, su objeto es detectar defectos internos que envían ecos de vuelta en la dirección del haz incidente y éstos son recogidos por un transductor receptor. La medición de tiempo que tarda el impulso en desplazarse desde una superficie a un defecto y volver de nuevo permite que la posición del defecto que se encuentra.









Dicha técnica no se puede aplicar a materiales heterogéneos como el hormigón o madera ya que se generan ecos en los límites de numerosas de las distintas fases dentro de estos materiales resultantes en una dispersión general de la energía de impulsos en todas las direcciones. El análisis de la calidad de los materiales se realiza por medir con precisión el tiempo de tránsito de los pulsos

ultrasónicos a través del material que está siendo probada. La distancia que recorre el pulso en el material también debe ser medido para permitir que la velocidad se determina a partir de:



$$\text{Velocidad} = \text{distancia} / \text{tiempo}$$

En esta ecuación, el tiempo es suministrado por el sistema de medición y la distancia o velocidad debe considerarse como una constante. El otro parámetro es la variable que se informa.

#### Para establecer la P-Distancia o P-Velocidad:

1. Con las teclas   , vaya a **Test Menu** y pulse **Enter**.
2. Vaya a **P-DISTANCIA** o **P-VELOCIDAD** y pulse **Enter**.
3. Presionar  o  cambia entre **P-DISTANCIA** y **P-VELOCIDAD**.
4. Seleccione el valor por el cual el P-Distancia o P-Velocidad aumenta o disminuye pulsando  .
5. Al pulsar  disminuye el valor. Para aumentar el valor presione .
6. Presione **ESC** para salir.

#### Para iniciar / detener la prueba:

- 1) Conecte el instrumento V-Meter a los transductores que utilizan el cable del **transductor** suministrado y **Rec**. Cuatro conectores del cable. Asegúrese de que cada transductor está bien conectado y se adjunta al lugar que le corresponde en el Instrumento V-Meter y que cada transductor está correctamente instalado en su conector.
- 2) Aplique acoplante en cada cara de los transductores, asegurándose de que toda la superficie del transductor se cubre adecuadamente.
- 3) Con las teclas   , vaya a probar del menú y pulse **Enter**.
- 4) Aplicar los transductores a la superficie del material y pulse Enter del botón en el lado del transductor receptor.
- 5) A medida que cada serie de pulsos pasa desde el transductor hasta el transductor receptor la señal ultrasónica aparece en la pantalla.
- 6) Pulse Enter o el botón en el lado del transductor receptor para detener la prueba. Si el pulso de transmisión no se recibe, o cuando los transductores se retiran del miembro de la prueba, la pantalla mostrará el mensaje "SIN SEÑAL".

### 5.3. Pantalla de la configuración de menú (SETUP MENU)

El menú de configuración se utiliza para ajustar la ganancia del amplificador, velocidad de imagen, la tensión del pulso, calibrar los transductores y establecer la densidad.

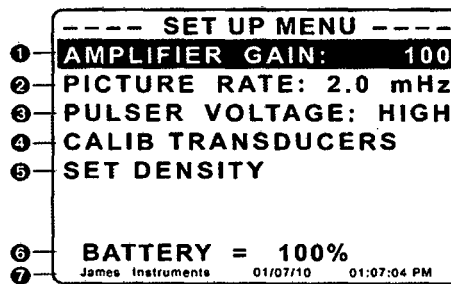


Figure 5: Setup Menu

### Definición:

- 1) Muestra la ganancia del amplificador. Al presionar "→" aumenta la ganancia del amplificador y la tecla "←" disminuye la ganancia del amplificador. Las ganancias de amplificador siguientes están disponibles (1, 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500). La ganancia de 500 se recomienda con el fin de maximizar la cantidad de energía proporcionada por el instrumento.  
En un caso donde la amplitud de onda o energía de las olas tiene que ser controlada, la ganancia del amplificador se puede establecer como el deseo por el usuario, por lo general la ganancia máxima que permite la visualización de máxima amplitud de la señal en la pantalla se selecciona. Cortar la señal tiene que ser evitada cuando la amplitud de la onda se monitoriza.
- 2) Muestra la velocidad de imagen. Al presionar "→" aumenta la velocidad de imagen y pulsar "←" disminuye la velocidad de imagen.  
Los tipos de imágenes disponibles son las siguientes (250kHz, 500kHz, 1.0MHz, 2.0MHz).  
El usuario puede seleccionar el tipo de imagen, por lo que la visualización de la onda en la pantalla es la deseada.
- 3) Muestra el voltaje del pulso. Al presionar "→" cambia el voltaje de emisor de alta y pulsar "←" cambia el voltaje de emisor a bajo. Alto es el valor predeterminado para pulsador tensión.  
Se recomienda el uso de alta para la mayoría de los casos, excepto cuando se analizan muestras de menos de 2 "(5 cm) de espesor.
- 4) Permite al usuario calibrar el sistema. Al presionar **Enter** calibra el sistema para el tipo de transductores y cables que van a ser utilizados. Para hacerlo, hay que colocar los sensores en contacto con el agente de acoplamiento en el medio y, a continuación, pulse **Enter**.
- 5) Permite al usuario ajustar la densidad. Al pulsar **Enter** en la opción **SET DENSIDAD**, se puede establecer la densidad. La densidad se utiliza en el cálculo del módulo de Young. El valor recomendado para el concreto normal es de 2400 kg/m<sup>3</sup> o 150 lbs/ft<sup>3</sup>. Esto también se puede acceder desde el menú de E /  $\mu$ .
- 6) Muestra la duración de la batería actual en por ciento.
- 7) Muestra la fecha y hora actuales.

#### 5.3.1. Pantalla de calibración

Con el fin de calibrar el instrumento para un conjunto dado de transductores y cables, es necesario determinar el tiempo mínimo para que el pulso para ser detectada por el receptor.

**Nota:** No hay calibraciones adicionales deben realizarse después de la calibración inicial, a menos que cambie a diferentes transductores y clientes potenciales. El sistema tiene una lectura para cada valor de la ganancia del amplificador y guarda el resultado como un desplazamiento que se restará de todas las lecturas futuras

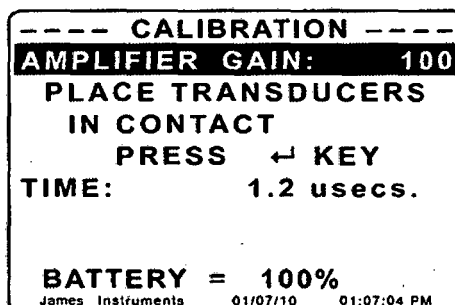




Figura 6: Calibration Menu

**Para calibrar el sistema:**

1. Con las teclas  , vaya a Set up Menu y pulse **Enter**.
2. Desplácese hasta **TRANSDUCTORES CALIB** y pulse **Enter**.
3. Coloque los dos transductores firmemente junto con agente de acoplamiento entre ellos de modo que se toma contacto directo uno con el otro.
4. Pulse **Enter** o el botón en el lado del transductor receptor para iniciar la calibración.  
 Cuando haya finalizado la calibración, aparece el mensaje "La calibración se realizo" aparecerá en la pantalla.
5. Pulse **ESC** para volver al menú principal.

### 5.3.2. Pantalla ajuste de densidad

La densidad se utiliza en el cálculo del módulo de Young. El valor recomendado para el concreto normal es de 2400 kg/m<sup>3</sup> o lbs/ft<sup>3</sup> 150. Esto también se puede acceder desde el menú de E /  $\mu$ .

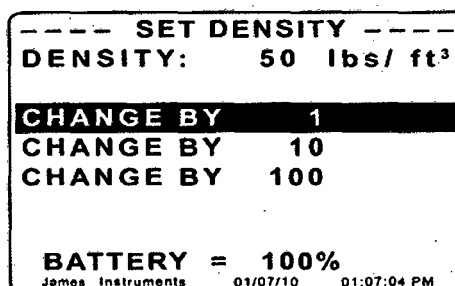




Figura 7: menú de configuración de la densidad

**Para ajustar la densidad:**

1. Con las teclas  , vaya a **Set up Menu** y pulse **Enter**.
2. Desplácese para definir la **DENSIDAD** y pulse **Enter**.

3. Pulse para desplazarse entre los valores siguientes, 1, 10, 100.
4. Utilización de las teclas de flecha o, aumentar o disminuir la densidad por el incremento que se encuentra.
5. Presione **ESC** para confirmar los cambios.

#### 5.4. Pantalla revisión de menú

El menú de revisión se utiliza para revisar los resultados de las pruebas y obtener información detallada acerca de la prueba.

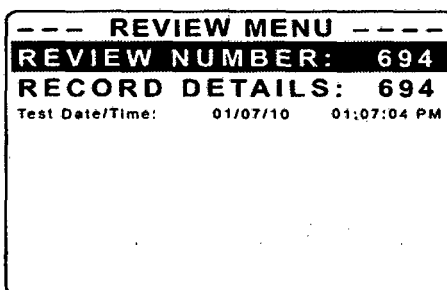






Figura 8: Menú Comentario

Para seleccionar el número de revisión:

- 1) Con las teclas  , vaya a revisar el menú y pulse **Enter**.
- 2) Al presionar  o  aumenta y disminuye el número de prueba.
- 3) Desplácese a **Registrar Detalles** para ver información detallada acerca de la prueba.

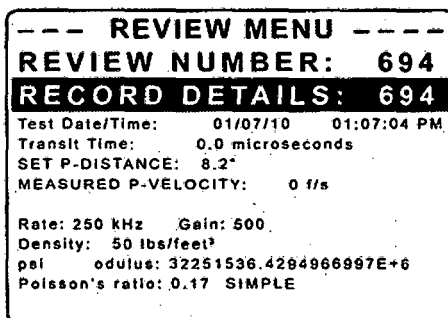


Figura 9: Revisión Detalles del registro del menú

Pulse **Enter** para ver la señal ultrasónica de los datos.

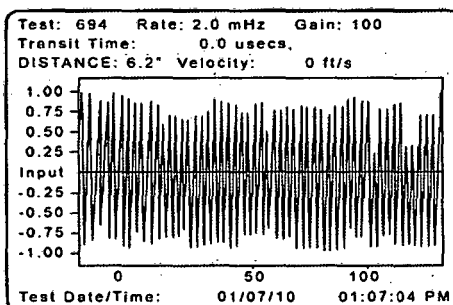


Figura 10: Revisar el menú Señal de ultrasonidos

- 4) Presione **ESC** para volver al registro..

## 5.5. Pantalla sistema de menú

El menú del sistema se utiliza para cambiar el color de la pantalla, el idioma de su elección, las unidades, la hora y fecha, y las operaciones de la batería puede ser elegido.

Los datos guardados también pueden ser borrados desde este menú.

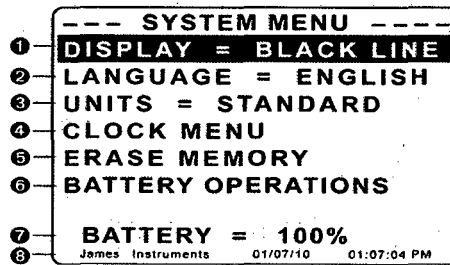


Figure 11: System Menu

### Definición:







- 1) Muestra el color de fondo. Al presionar "→" o "←" cambia la configuración de visualización de un fondo blanco con texto negro resaltado con un fondo negro con texto blanco resaltado.
- 2) Muestra el idioma de funcionamiento. Al presionar "→" o "←" cambia el idioma de funcionamiento. Inglés o español son los dos idiomas disponibles.
- 3) Muestra las unidades en las que opera el instrumento. Al presionar "→" o "←" los cambios de las unidades imperiales a unidades métricas.
- 4) Permite al usuario cambiar la fecha y la hora. Al pulsar **Enter** le permitirá al usuario cambiar la fecha y la hora mostradas.
- 5) Permite al usuario borrar la memoria. Al presionar **Enter** dos veces borra toda información guardada en la memoria del dispositivo.  
La memoria del sistema tiene capacidad para guardar hasta 1.800 pruebas, cuando el número de pruebas llega a 1800, el sistema se sobrepone a la prueba número 1 y así sucesivamente. Para evitar la pérdida de los datos de prueba, el usuario debe cargar los datos a una computadora y luego borrar la memoria V-Meter.
- 6) Muestra el valor de carga / descarga de la batería. Nota: Cuando está totalmente cargada la batería se utilice el instrumento durante 4 horas. Una batería descargada se deben cargar a la tarifa completa durante 6-8 horas. Conecte el instrumento a la red de corriente alterna y dejar que fuera el tiempo que requiere.
- 7) Muestra la vida actual de la batería en porcentaje.
- 8) Muestra la fecha y hora actuales.

### 5.5.1. Pantalla menú de ajuste del reloj

Desde este menú la fecha y hora se puede cambiar.



**Para ajustar la fecha y hora:**

- 1) Con las teclas   , desplácese al menú de sistema | **MENU CLOCK** y presione **Enter**.
- 2) Pulse   para desplazarse entre la hora, minuto, día, mes y año.
- 3) Utilización  o  de las teclas de flecha, ajustar la hora actual, minutos, mes, día y año.
- 4) Pulse **Enter** para confirmar los cambios.

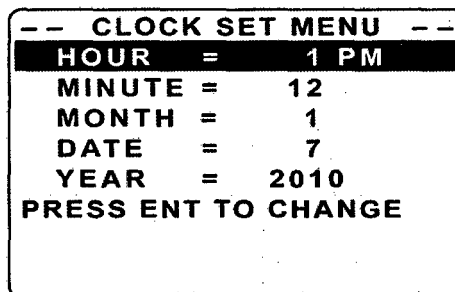


Figura 12: Menú del Reloj

**5.5.2. Pantalla estado de la batería (OPERACIONES)**

En este menú, el estado de la batería se puede ver. Cuando el instrumento está usando la batería, la "descarga ctr" contador debe aumentar y la "ctr cargo" contador debe permanecer constante. El instrumento puede ser operado de la red eléctrica al enchufar el cable de carga de AC en el enchufe en el panel frontal. Cuando el instrumento está conectado a la red eléctrica, el "ctr cargo" contador debe aumentar y la "descarga ctr" contador debe permanecer constante.

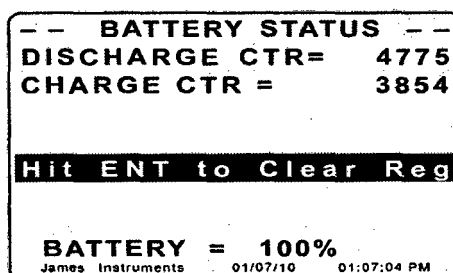


Figura 13: Menú de Estado de la batería

(Nota: Pulse 'Enter', mientras que, una vez en esta pantalla para reiniciar los contadores. Esto debe hacerse preferiblemente después de una carga completa se realiza, como el % de batería se convertirá en 100%).

**5.6. Pantalla menú E / μ**

En este menú, puede seleccionar las unidades que el instrumento mostrará. Al seleccionar las unidades imperiales, los parámetros se muestran en unidades imperiales. Cuando se selecciona métrica, los parámetros se muestran en milímetros.

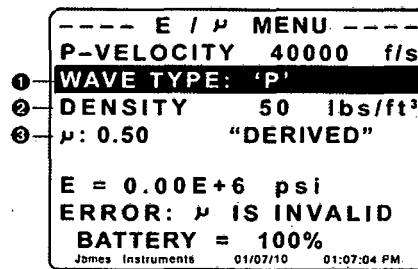


Figure 14: Menu E /  $\mu$

### Definición:

- 1) Una onda de tipo (**WAVE TYPE**) - Al pulsar "→" o los cambios "←" el tipo de onda.  
El sistema permite la selección de ondas de compresión (P) o las ondas transversales (S).  
El sistema no puede detectar qué tipo de onda se está supervisando. Es necesario, por tanto, para el operador para especificar el tipo de onda, para que la  $\mu$  funciones (relación dinámica de Poisson) y E (módulo dinámico de elasticidad de Young) que se determine correctamente.
- 2) **DENSIDAD** - La densidad se utiliza en el cálculo del módulo de Young. El valor recomendado para el concreto normal es de 2400 kg/m<sup>3</sup> o lbs/ft<sup>3</sup> 150. Esto también se puede acceder en el menú Configuración.
- 3) **Tipo - E /  $\mu$**  - Este artículo le da al operador tres opciones para el cálculo de  $\mu$ .
  - E simple
  - Derivados:  $\mu$  se calcula después de cada lectura.
  - Arbitraria:  $\mu$  es fijado por el operador (de concreto,  $\mu = 0,17$  se recomienda), y se mantiene como una constante.

### 5.6.1. Tipo E / $\mu$

Módulo de Young (E) es una medida de la rigidez de un material elástico isotrópico. Es el coeficiente de elasticidad de una sustancia, que expresa la relación entre una tensión que actúa para cambiar la longitud de un cuerpo y la variación relativa de longitud causada por esta fuerza.

Módulo de Young se puede calcular por dos métodos, el más simples de los dos es una aproximación a la otra.

#### Método Simple:

$$E = \frac{V_p^2 \rho}{144g}$$

Si se elige este método (sin  $\mu$ ), el tipo de onda debe ser p

#### Método Arbitrario:

$$E = \frac{V_P^2 \rho}{144g} \left( \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{1-\mu} \right)$$

Si se elige este método (sin  $\mu$ ), la onda de tipo debe ser p.  
Desplazamiento para ajustar  $\mu$  y presionando "→" aumenta el valor de  $\mu$ , ientras que la tecla "←" disminuye el valor de  $\mu$ .

**Método Derivado:**

$$\mu = \frac{V_P^2 - 2V_S^2}{2(V_P^2 - V_S^2)}$$

$$E = \frac{V_P^2 \rho}{144g} \left( \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{1-\mu} \right)$$

Este método requiere que el sistema está equipado con transductores de tipo de ondas P y S. Cuando los dos tipos de velocidad se puede medir este método se debe utilizar, y la voluntad en general, obtener la mejor precisión.

- E : Módulo de Young de elasticidad
- $V_P^2$  : Plaza de la compresión de velocidad de la onda de onda (P) (m / s)
- $V_P$  : Velocidad de la compresión (P) de onda
- $V_S$  : Velocidad de la transversal (S) de onda
- $\rho$  : Densidad del medio (lbs/ft<sup>3</sup>)
- g : aceleración debida a la gravedad

Coeficiente de Poisson ( $\mu$ ) es la relación de la cepa contracción o transversal (perpendicular a la carga aplicada), a la extensión o deformación axial (en la dirección de la carga aplicada).

Coeficiente de Poisson se puede determinar utilizando la siguiente ecuación:

$$V = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_y}$$

- V Relación Resultante de Poisson
- $\epsilon_x$  Deformación transversal, - la tensión axial, + para compresión axial
- $\epsilon_y$  Esfuerzo axial,+ tensión axial, - para la compresión axial

## 5.7. Pantalla menú de descarga

El software de PC que ha sido desarrollado para la V-Meter es para fines de carga de datos. El V-Metro tiene la capacidad para transferir los datos guardados en la memoria V-Meter a un PC mediante un cable USB y el CD del programa suministrado. El menú de carga se muestra a continuación se utiliza en conjunción con el software V-Meter para cargar datos. Consulte el capítulo Datos Subir en la página 45 para obtener instrucciones sobre la carga.

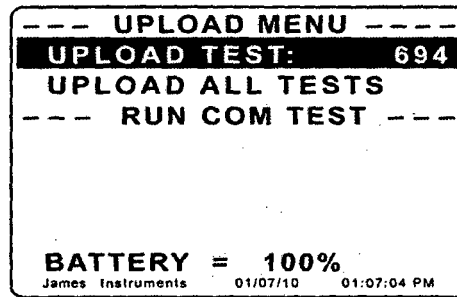


Figura 15: Menú Subir

## 6. INTRODUCCIÓN DEL VELOCILINX

El software de la V-Meter Velocilinx permite al usuario cargar datos desde el dispositivo V-Meter a un PC. Los datos guardados pueden ser leídos y gráficamente. Velocilinx también se puede utilizar para controlar la V-Meter remota. Ajustes de configuración se puede ajustar, y nuevos conjuntos de datos pueden ser recogidos, todo de forma remota.

Cuando se ordenó de forma remota a tomar un nuevo conjunto de mediciones de datos, el V-Meter a subir los nuevos datos a la PC, y el manejador de datos se guarda automáticamente los datos a un archivo. Los conjuntos de datos individuales también se pueden cargar y representar gráficamente para analizar más a fondo los datos del medidor-V. La adición de la funcionalidad de control remoto hace que la V-Meter una herramienta muy poderosa.

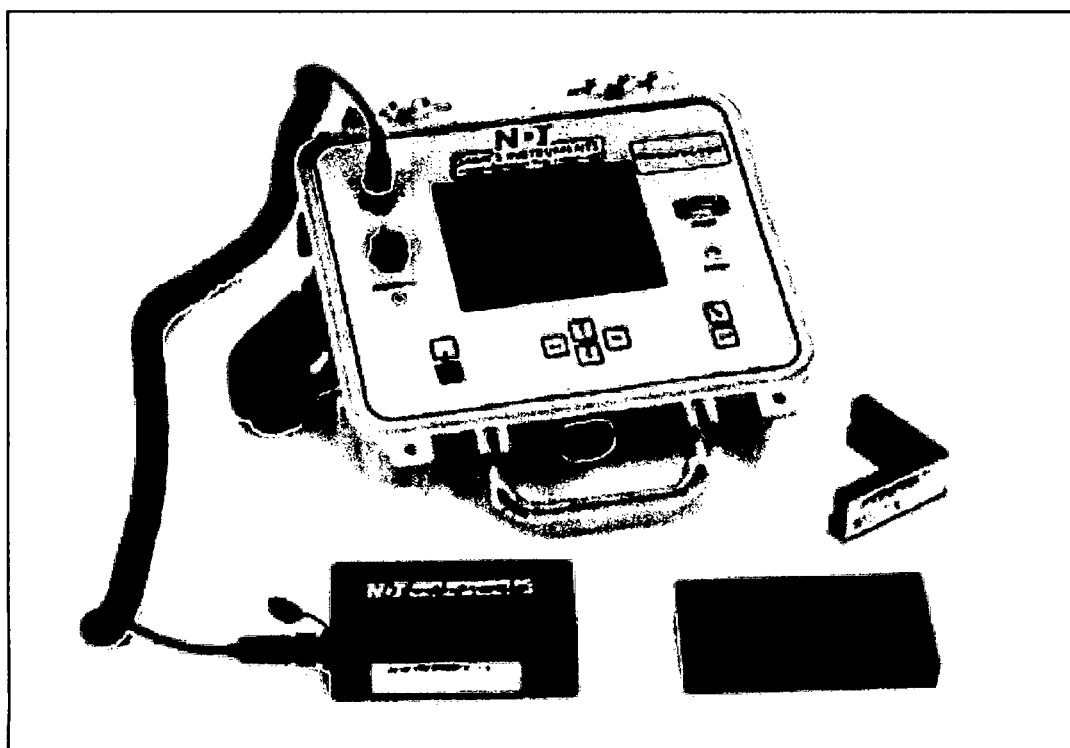
### 6.1. Características

- La capacidad para ejecutar una prueba de forma remota.
- La capacidad de revisión y datos de la gráfica de la prueba.
- La capacidad de ajustar el menú de prueba, menú de configuración, y E / Mu parámetros del menú. Estos artículos incluyen: la ganancia del amplificador, la tasa de imagen, la tensión de emisor, el método de cálculo E o Mu, la densidad del material, el modo de medida, la distancia de recorrido materiales o de tiempo, el tiempo de ciclo, y el número de impulsos por secuencia.

### 6.2. Requisitos mínimos del sistema

#### Velocilinx V-C-410

- Sistema operativo : Windows Vista o Windows 7
- Memoria : 1 GB de RAM
- Procesador : 1 GHz de procesador Pentium
- Capacidad : 1 MB de espacio en disco duro



**RC-400, RC-450, RC-410**

**Rebarscope**

**Manual del operador**

Instrucciones originales: Revisión Febrero 2012

## Tabla de contenidos

1. Contenido del Instrumento Lista
2. Contenidos Lista
3. Panel de control
4. Botones del panel de control
5. Menu Layout
6. Uso de la Ubicación de Rebarscope
  - 7.1. Extracción de la tapa
  - 7.2. Colocación del soporte de hombro correas
7. Sensor de la sonda
8. Corto / Deep Modo
9. Localización de metales ferrosos y no ferrosos
10. Determinación de Cubierta
11. Determinación del tamaño de Barra
12. En cuanto a barra de tamaño Notas y de precisión
13. Pitch & Resolución
14. Utilizar la función Portada Mapa
15. Sistema de menús
16. Cursor Display
17. Opciones de idioma
18. Unidades de medida
19. Reloj Menú
20. Borrar la memoria
21. Funcionamiento de la batería

## 1. Contenidos Lista de Instrumentos

Cada Rebarscope Viene con los siguientes elementos incluidos en el funda de transporte.

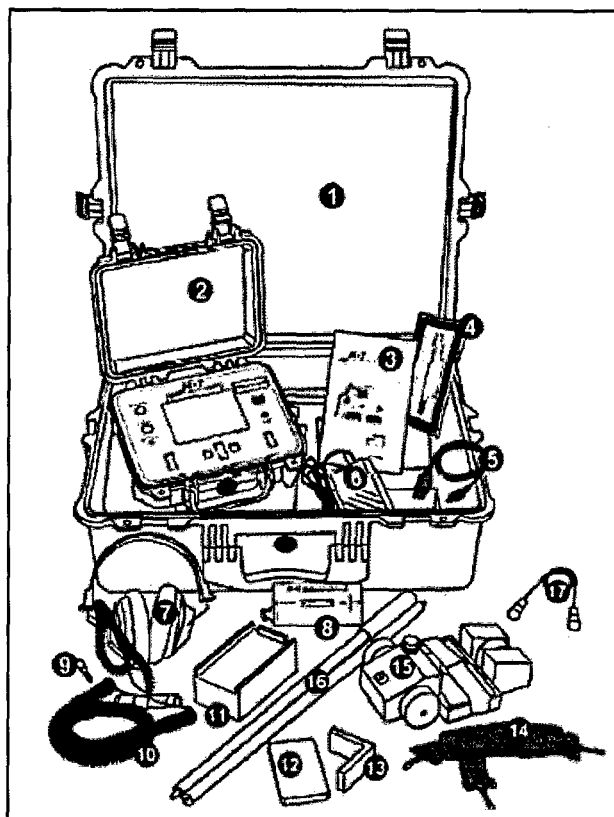


Figura 1: Contenidos del sistema Rebarscope

## 2. Contenido de la lista

### Artículo # Descripción

- 1) **Casco** - Se usa para llevar el Rebarscope y accesorios.
- 2) **Rebarscope Instrumentos** – Barras de refuerzo de localizador dentro de un estuche protector resistente.
- 3) **Manual de instrucciones** - Manual de instrucciones para Rebarscope.
- 4) **Certificado de Calibración** - Certificado para confirmar que el instrumento ha sido calibrado para igualar o mejorar especificaciones publicadas.
- 5) **Cable USB** - Cable de serie utilizado para conectar el Rebarscope a un PC para cargar datos.
- 6) **Adaptador de corriente** - Se emplea para alimentar la Rebarscope y recargar la unidad.
- 7) **Auriculares** - Utilizado en entornos ruidosos.
- 8) **Sensor de la sonda** - Muestra la dirección de refuerzo.
- 9) **Teléfono Jack** - Para auriculares.
- 10) **8 'Cable en espiral** - Se usa con el sensor de la sonda.
- 11) **1 5/8 "Spacer Block** - Se utiliza para agregar espacio en la parte baja cubrir situaciones.
- 12) **3/8 "Spacer Block** - Se usa para dimensionar característica.

- 13) **Localización de plantilla** - Se usa para dimensionar característica.
- 14) **Correa Soporte** - Se utiliza para fijar el Rebarscope al usuario durante las pruebas.
- 15) **Scan carro** - (opcional) Viene con sistema completo solamente.
- 16) **Escanear polacos Cesta de Extensión** - (opcional) Se utiliza para guiar al carro de escaneo.
- 17) **Escáner Cesta Cable** - (opcional) Cable amarillo se utiliza para conectar Analizar la cesta a la unidad principal.

### 3. Panel de control

Los siguientes botones aparecen en los instrumentos James Rebarscope sistema.

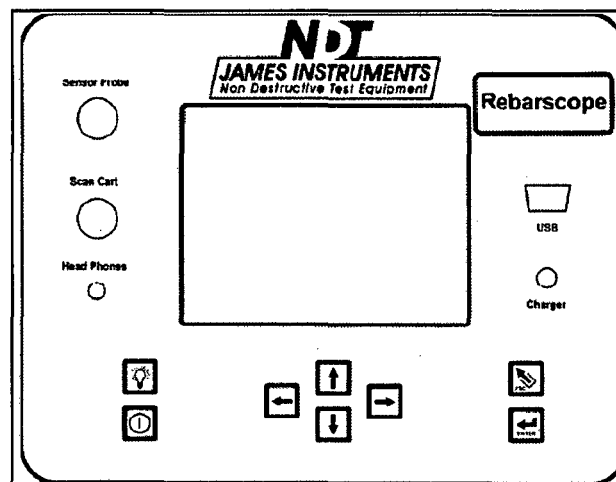


Figura 2: Botones de sistema Rebarscope

### 4. Botones del panel de control

Tecla	Definición
	El botón de encendido. Momentáneamente presione esta tecla para activar la unidad "On". Presionando de nuevo se apaga la unidad. Al el encendido, la unidad mostrará la pantalla de localización. Presione la tecla de escape para ir al menú principal.
	El botón de flecha hacia arriba. Esta tecla se utiliza para desplazarse por diversos ámbitos y marcos de onda.
	El botón de flecha hacia abajo. Esta tecla se utiliza para desplazarse a través de diversos ajustes.
	El botón de flecha izquierda. Esta tecla le permite desplazarse a través de diversos ajustes.
	El botón de flecha hacia la derecha. Esta tecla le permite desplazarse a través de diversos ajustes.
	El botón ENTER. Pulsando esta tecla le permite elegir opciones del menú principal. También la tecla ENTER le permite preparar el Rebarscope para su funcionamiento.
	El botón de escape. Pulsando esta tecla le permite volver al menú principal desde cualquier pantalla de la pantalla secundaria.





El botón de luz de fondo. Presionando esta tecla la luz de fondo de la pantalla se enciende. Presionando de nuevo la tecla convierte la luz de fondo.

## 5. Menú Layout

Para referencia rápida, en "BUSCA CUBRIR" de la pantalla:

1. Para el modo Automático (RS), corto o profunda, vaya a la línea [REDACTED] y pulse el botón de flecha izquierda para cambiar entre los ajustes.
2. Para la función de audio – vaya a [REDACTED] y pulse el botón de la flecha derecha una vez para oír pitidos, dos veces para el tono continua y tres veces para el audio.
3. Opciones de material - barras de refuerzo (cable poste de tensión) / Conductos /Cobre.

## 6. Uso de la Ubicación de Rebarscope

### 6.1. Extracción de la Tapa

Para facilidad de uso en el campo, la tapa del Rebarscope se puede quitar e instalar las correas de hombro. Para ello, abra completamente la tapa y cuidadosamente empuje los pins, la bisagra del caso.

### 6.2. Colocación de las correas de hombro de apoyo

Las bandas de soporte Rebarscope puede ser usado para mantener el Rebarscope, una vez eliminado la tapa del Rebarscope colocar la correa de apoyo, asegúrese de que un gancho del ojal esté conectado a cada esquina del Rebarscope. Dos de los clip de ganchos para las juntas teóricas, mientras que los otros dos clips alrededor de la bisagra.

#### ➤ Siga los pasos a continuación:

1. Fije la parte recta de la correa de soporte para los dos aros de metal delante del Rebarscope.
2. Coloque las otras dos correas (que son cosidas a la porción recta del arnés) a las nuevas bisagras expuestas del casco.
3. Tire de la correa de apoyo suministrado por encima de su cabeza para que el caucho protector está descansando en la parte posterior del cuello del usuario.
4. Ahora ajuste la correa en consecuencia, para que el Rebarscope sea de fácil acceso y fácil de leer. (ver figura 3).

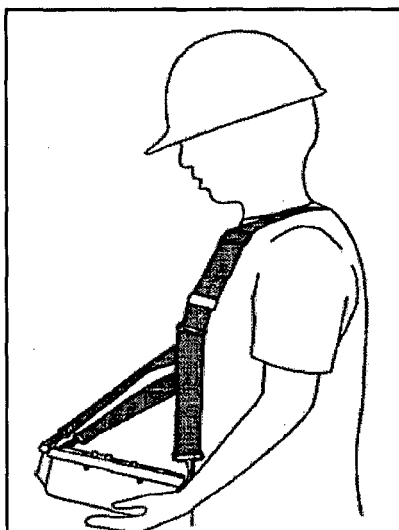


Figura 3: Correa Soporte Rebarscope

## 7. Sensor de la sonda

El James Instruments Rebarscope utiliza lo último en tecnología de detección de corriente Foucault. El corazón de esta tecnología se encuentra en el sensor de la sonda que ha sido específicamente diseñado para reaccionar a la superficie exterior de los objetos de metal. Con esta capacidad, la unidad es capaz de localizar con precisión, de determinar la profundidad, y estimar el tamaño de los objetos de metal dentro de estructuras de concreto armado. Este hace que el sensor de la sonda Rebarscope sea muy superior a otros sistemas de localización de barras de refuerzo disponibles en el mercado.

La sonda de detección Rebarscope es compacta y pesa sólo 1 libra (0,454 Kg) y de dimensiones de 5 "x 2.4" x1.6 " y todavía muy resistente y duradero para aplicación en el campo. La sonda ha sido calibrada en nuestras instalaciones para el funcionamiento con sólo la unidad de registro de datos con que fue comprado. Si un sensor de la sonda es necesario una nueva, se recomienda enviar la unidad completa para la calibración adecuada. No calibrar el sensor sonda y la unidad de registro de datos en conjunto pueden causar una inaceptable ubicación, la cubierta y barras de tamaño alterados. Para más información en cuanto a la reparación y calibración por favor póngase en contacto con nuestra oficina.

## 8. Modo Corto / Profundo

El Rebarscope facilita el análisis de la ubicación barras, tapa y dimensionamiento de barras, permitiendo al usuario realizar mediciones en modo corto o modo profundo. El Rebarscope también proporciona al usuario la capacidad para cambiar automáticamente entre el modo profundo y/o corto.

**Nota:** La única sonda de detección funciona de manera eficiente en ambos modos.

Cuando el sistema se enciende inicialmente "on", el (RS) es el modo automático del valor predeterminado. Para cambiar esto, vaya a la pantalla de la cubierta Localizador.

- Una vez en la pantalla Localizar Cubierta, utilice las teclas de flecha en el panel frontal para resaltar la barra gráfica [REDACTED].
- Cuando la marca está sobre la barra, pulse la tecla de flecha izquierda para entrar a los modos de cambio. (Nota: Las letras RS en la parte superior izquierda esquina de la pantalla indican el rango automático está "on".)
- Siga el procedimiento anterior para desactivar Auto que van, y cambiar manualmente entre los modos profundo y corto como se ve en la línea 1 de esta pantalla.

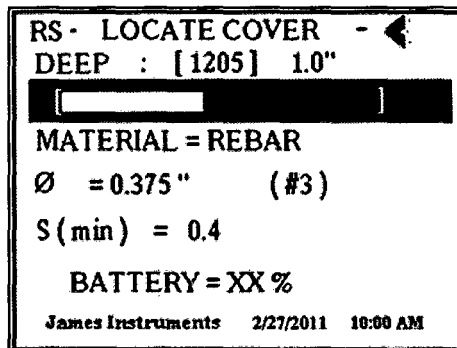


Figura 4: Localice la cubierta de la pantalla

Modo Corto: Ideal cuando los rangos de refuerzo de cobertura son de 0,5" a 3.0". Localización, determinación de cubierta y tamaño de la barra todo se puede medir en este modo de tiempo. Debe tenerse en cuenta un error de  $\pm .125$  ", durante la medición de la barra de metal o la ubicación de la tubería.

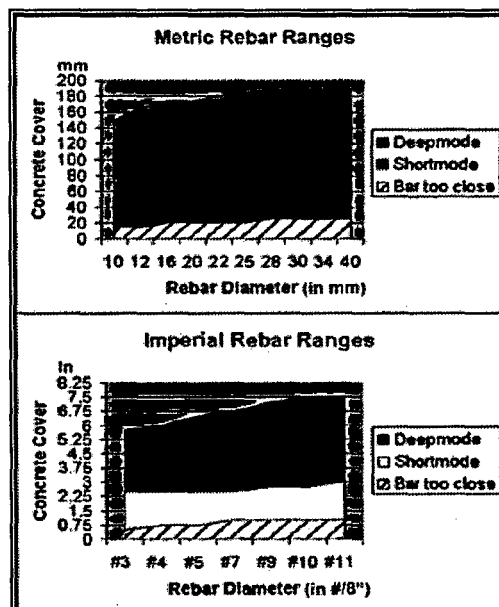


Figura 5: Gráficos métricas e imperiales para las gamas de barras de refuerzo.

Modo Profundo: Ideal cuando los rangos de refuerzo de cobertura son de 2,75" a 8". Localización, cubierta Determinación y tamaño de la barra todo se puede medir en este modo de tiempo. Un error de  $\pm .125$  "Debe tenerse en cuenta durante la medición de la barra de metal o la ubicación de la tubería.

## 9. Localización de metales ferrosos y no ferrosos

Los Rebarscope usa la detección de corriente de Foucault y tecnología de microprocesadores, y es ideal para la localización de metales ferrosos y no ferrosos.

Los metales detectados con facilidad son lo siguiente:

- Imperiales y Métricas barras de refuerzo
- Tubería de cobre estándar
- Estándar conducto de tubo
- Cable de Tensión Post (usar el modo Rebar)

El Rebarscope permite al usuario localizar metales mediante el uso de dos opciones en la pantalla LCD.

### Opción 1 - Visualización del gráfico de barras

La barra de acción mostrada en la segunda línea de la pantalla, permite al usuario determinar cuándo el centro de la barra de metal / tubo ha sido detectado. Cuando la sonda del sensor esta directamente sobre el centro de la barra de metal / tubo, esta pantalla bar habrá alcanzado su punto más alto. Cuando el sensor de la sonda ha pasado el centro de la barra de metal / tubo, la barra mostrará Disminución del tamaño.

### Opción 2 - Visualización del número

Esta opción consiste en la salida un valor de numérico entre corchetes de la línea 1 de la de la pantalla de la cobertura de localización. El rango de este número es de 0 a 4095. A medida que la sonda vaya hacia la varilla / tubo el número aumentará. Cuando la sonda está entonces sobre el centro de la varilla / tubo verá el mayor número en la pantalla. A medida que la sonda avanza de distancia del centro de la armadura / tubo el número comenzará a disminuir.

También esta técnica puede ser útil para determinar si el modo corto o profundo es necesario para la correcta ubicación, cubierta, y el análisis de tamaño.

## 10. Determinación de Cubierta

El Rebarscope permite al operador la facilidad para determinar el recubrimiento de concreto armado. Puesto que el Rebarscope utiliza la tecnología de corriente de Foucault, la cubierta se determina con una precisión aún mayor que su predecesor. Con esto, sólo la barra / tubo se encuentra y no las pequeñas partículas de metales (tales como cenizas volantes) en el concreto puede influir en la medida. Los siguientes pasos permiten mediciones adecuadas de la cobertura:

**Paso 1:** Elegir entre unidades métricas o imperiales en el menú del sistema Screen.

**Paso 2:** Decida si el modo de corto o profundo es necesario para su prueba. Si es necesario ajustar esta configuración.

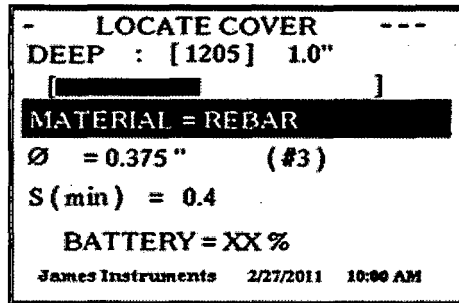


Figura 6: Localice la cubierta de la pantalla

**Paso 3:** Con la tecla de flecha abajo, desplácese a la sección resaltada hasta la categoría diámetro de la barra. Una vez que esta línea está resaltada, utilizar las teclas de flecha izquierda o derecha para seleccionar el diámetro de la barra apropiada.

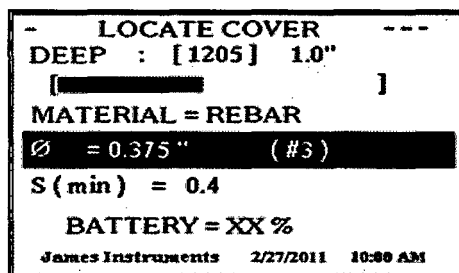


Figura 7: Elegir diámetro de la barra

**Paso 4:** Ahora, pasar la sonda en la superficie de la estructura en la prueba hasta que la cobertura más pequeña aparezca en la esquina derecha de la pantalla.

**Paso 5:** El Rebarscope permite al usuario elegir la cobertura mínima con la que se analizará.

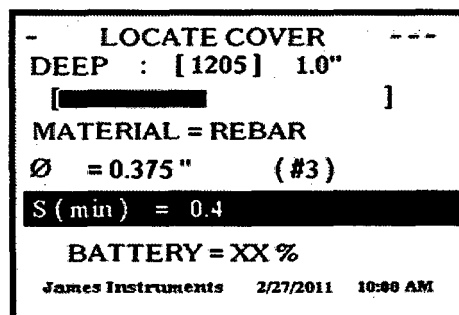


Figura 8: Configuración mínima de la cubierta

Esta característica se conoce como el Smin. Usando la tecla arriba o abajo, desplácese el resaltador hasta la categoría la Smin y utilice las teclas de flecha izquierda o derecha para elegir un Smin que va desde 0,4 hasta 5,0.

**Paso 6:** Ahora pase la sonda de detección en la superficie de la estructura de la prueba hasta que el más pequeño de la cobertura aparezca en la esquina derecha de la pantalla. La función de audio / auricular permite al usuario también, precisamente, localizar el centro de la barra de refuerzo con el audio señal. Esta característica del audio nos ayuda a cubrir con más precisión.

Los siguientes pasos muestran cómo elegir correctamente la señal de audio para su aplicación.

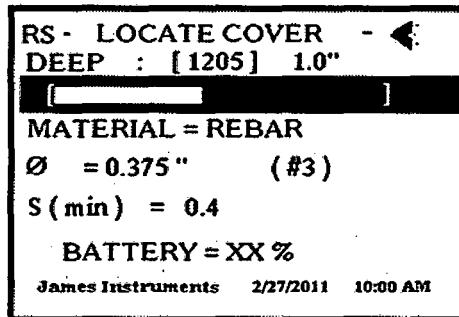


Figura 9: Pantalla Bar Dinámico

**Paso 6A:** Ubicar la cobertura en la pantalla, usando las flechas arriba / abajo para desplazar el cursor a la barra de acción en la pantalla.

**Paso 6B:** Use la tecla de flecha hacia la derecha para elegir un tipo de sonar del audio o una señal de tono continuo de audio. Un pequeño icono de altavoz aparecerá en la esquina superior derecha de la pantalla cuando la función de audio está habilitada. También se han encontrado auriculares suministrados con el Rebarscope para ayudar al usuario escuchar una señal más clara de audio en ambientes ruidosos.

**Paso 6 C:** Al pulsar la tecla de flecha derecha una vez más después del tono continuo desactivara la función del audio, y el icono del altavoz en la esquina superior derecha ya no aparecerá en la pantalla.

## 11. Determinación del tamaño de la barra

El diámetro de la barra se puede determinar con facilidad con el Rebarscope sin el conocimiento previo de la cubierta. Esto es posible mediante la toma de dos lecturas, una a la superficie de la estructura y la otra en el mismo lugar pero a 3/8 de pulgadas de distancia. Un espaciador casilla de 3/8 de pulgadas incluye con el sistema de localización junto con una plantilla. Esta plantilla en forma de L ayuda a mantener la ubicación exacta de la primera lectura Al tomar la segunda lectura con el bloque separador de 3/8 pulgadas (ver fotos abajo).

(Nota: El tamaño de la barra que se realizara sólo en el modo profundo, y a una profundidad máxima de 4,5 pulgadas aproximadamente)

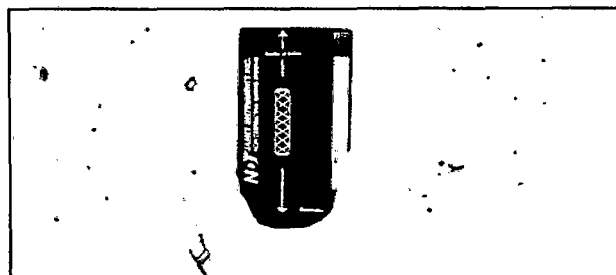


Figura 10: Localización de Rebar

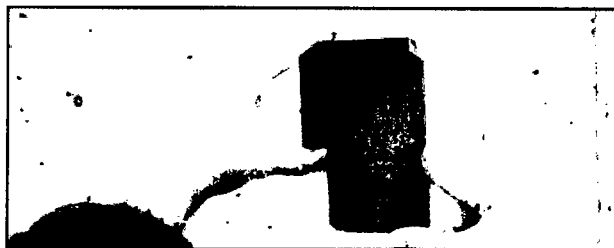


Figura 11: 3/8 "Espaciador con plantilla en forma de L

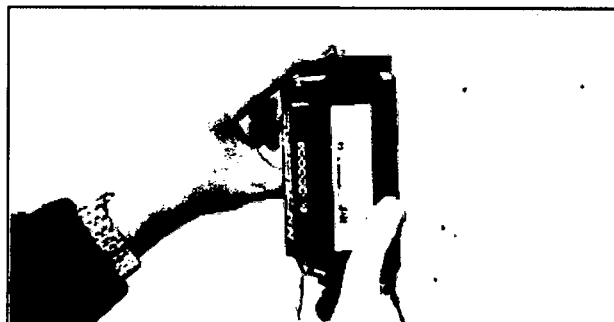


Figura 12: Localización de barras de refuerzo con espaciador



Figura 13: Análisis de datos

Si el equipo muestra en la pantalla fuera de rango en el **tamaño de la barra**, y la lectura de la pantalla es de 3000 o más grande, esto significa que las barras de refuerzo están demasiado cerca de la superficie. La primera lectura entonces se debe tomar con el complementario bloque espaciador de 1 5/8 de pulgada, y el segundo con un bloque separador de 3/8 de pulgada. Vea las fotos abajo.

(El bloque espaciador suplemento sólo se utiliza para aumentar el espacio entre la superficie y el sensor de la sonda. Su tamaño no es crítico cuando se realiza la medida de función.)

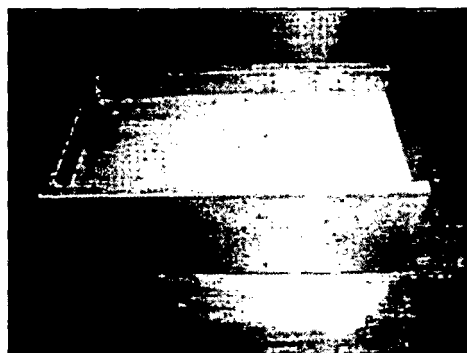


Figura 14: Bloque de 1 5/8 de pulgada. Figura 16: Bloque de 3/8 de pulgada.

Los siguientes pasos permiten adecuadas mediciones del tamaño de barras:

**Paso 1:** Pulse ESC para salir de la pantalla Ubicar cubierta.

**Paso 2:** En la pantalla del menú principal Utilice las teclas de flecha para navegar el cursor a la categoría Locate.

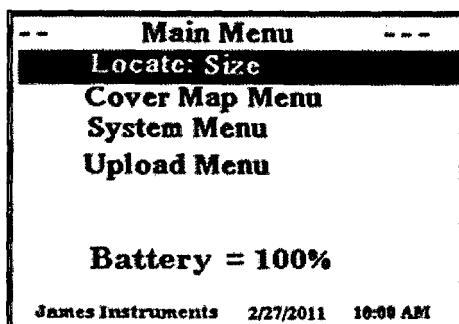


Figura 16: Función Tamaño Bar

**Paso 3:** Pulse la tecla de flecha hacia la derecha en el panel frontal para elegir **Localizar: Tamaño** y pulse enter.

**Paso 4:** En el **tamaño de la barra** en la pantalla, use el sensor de la sonda para localizar el centro de la barra de refuerzo ya sea utilizando la visualización de la barra o de salida el valor numérico entre corchetes [ ].

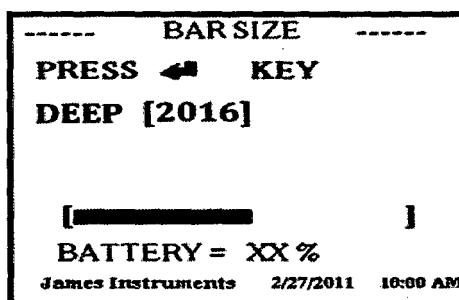


Figura 17: Tamaño de la barra de la pantalla

**Paso 5:** Colocar el sensor en la parte superior de la superficie, donde el diámetro de las barras se va a medir. Si la lectura en la primera línea es mayor que 3000, utiliza el bloque espaciador de 1 5/8 de pulgadas entre la superficie de concreto



y el sensor. Si lectura sigue siendo por encima de 3000, puede ser necesario añadir un bloque adicional no metálico debajo del bloque 1 5/8 de pulgada.

**Nota:** El rango de cobertura óptimo para la medida es entre 1.7 " y 4.2" y se producen los calibres más precisa cuando la primera medición es aproximadamente 1200.

**Paso 6:** Una vez que el centro ha sido determinado, pulse enter durante unos segundos para almacenar el resultado.

**Paso 7:** El Rebarscope ahora leerá **ADD BLOCK PRESS ENT** en la línea superior.

En este punto, la plantilla de localización tiene que ser colocado junto a la sonda de sensor, por lo que la ubicación exacta de la primera lectura se puede mantener (Véase la Figura 12 y 13 en la página 18).

**Nota:** Tomando la segunda lectura en la ubicación exacta como la primero es crítico para la precisión.

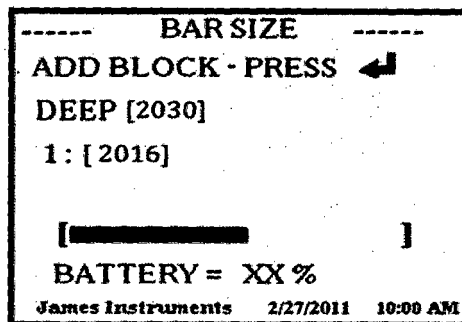


Figura 18: Bloque aparezca AÑADIR

Mientras sostiene la plantilla de localización, quitar la sonda del sensor y colocar el bloque espaciador de 3/8 pulgada a lo largo de la localización de la plantilla.

**Paso 8:** Ahora coloque la sonda sobre el bloque espaciador de 3/8 pulgada y pulse Intro. Rebarscope El ahora mostrará el diámetro medido aproximado de la armadura. Rebarscope La precisión se puede determinar el tamaño del bar hasta una versión de 4,5 "(115 mm) en el modo Deep.

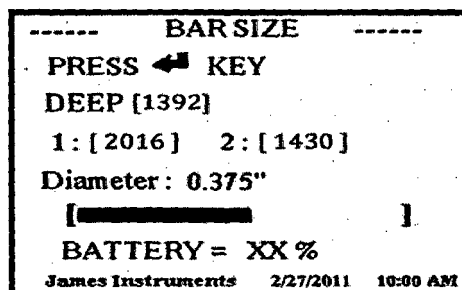


Figura 19: Diámetro estimado se visualiza

## 12. En cuanto a barra de tamaño Notas y de precisión

Tallas Bar es una exactitud de medición muy sensible y requiere tanto como sea posible por el operador. No ser dentro del rango operativo mínimo o máximo de la unidad, así como no ser paralela a la barra puede influir directamente en las lecturas. También hormigón de escoria de metal y otros aditivos que pueden afectar negativamente a los resultados de las lecturas de tamaño tan inexactos pueden ocurrir.

La longitud de la barra de refuerzo bajo prueba es crítica. Una longitud mínima de barras de refuerzo de 2 pies (600 mm) se debe utilizar Al realizar esta función. Por último, la influencia de fuentes electromagnéticas externas pueden afectar las lecturas del sensor también. Por ejemplo, monitores de ordenador, de la cercana cajas de metal de herramientas, martillos, incluso algunos relojes de pulsera puede afectar perjudicialmente las lecturas encontradas.

## 13. Resolución de Pitch

Las medidas pueden estar influenciados por el vecino bar menudo paralelo (s). El siguiente gráfico muestra la separación mínima correspondiente a un bar.

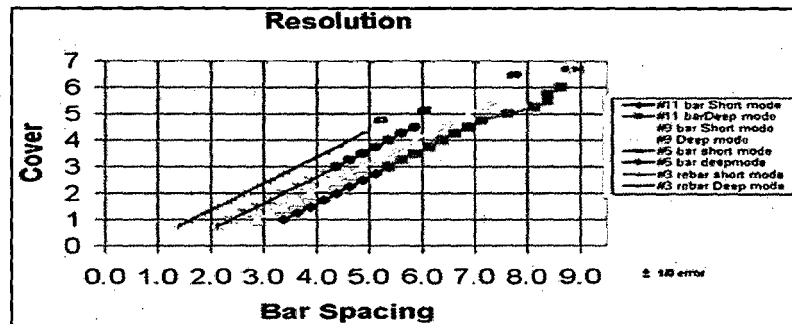


Figura 20: Espacio mínimo de barra

## 14. Utilizando la función Cover Map

El James Instruments Rebarscope ha incorporado un fácil de usar mapa de cobertura adicional para ayudar en el análisis de campo. El modo de mapa de cobertura permite al usuario marcar la ubicación de una cubierta y barras de refuerzo en una cuadrícula. Las líneas de la cuadrícula están numeradas numéricamente con el eje Y a partir de las 1 de izquierda a derecha. El eje X es numéricamente también se numeran comenzando con el número 1 en la parte superior de la rejilla.

Los tres símbolos a continuación han sido seleccionados para permitir al usuario distinguir el estado de la lectura actual. Una caja llena sombreada representa que la cobertura sea inferior a la seleccionada S min. min La S es la cobertura mínima Ha seleccionado el Rebarscope dije a detectar. un cuadro sombreado con tres líneas gruesas Esto significa que la tapa está dentro del alcance de la S seleccionado min. una delgada caja interior con 3 líneas Eso significa que el Rebarscope no ha detectado una barra / tubo.

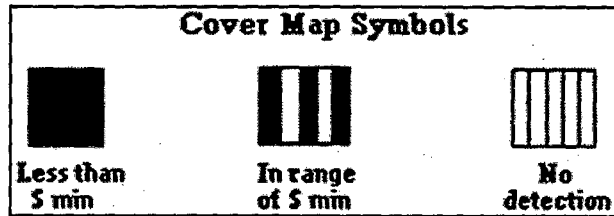


Figura 21: Símbolos mapa de la cubierta

Por favor, siga este procedimiento para preparar correctamente la Rebarscope para las operaciones de mapa de cobertura:

**Paso 1:** Pulse la tecla de escape en el panel frontal para llegar a la pantalla del menú principal.

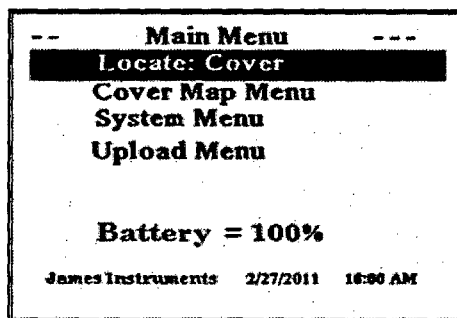


Figura 22: Función Cubierta

**Paso 2:** Navegar el cursor resaltado utilizando las flechas arriba y abajo teclas de flecha para **CUBRIR MAPA DEL MENÚ** opción y pulse Intro.

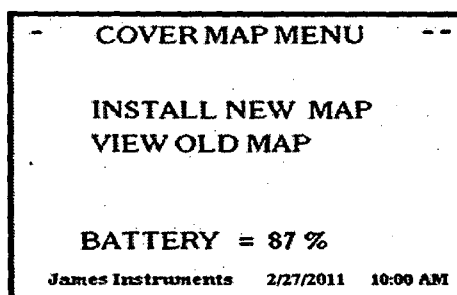


Figura 23: Menú Portada Mapa

**Paso 3:** Elija si desea **INSTALAR NUEVO MAPA** vieja visión o **MAP**, poniendo de relieve una y pulsando Enter.

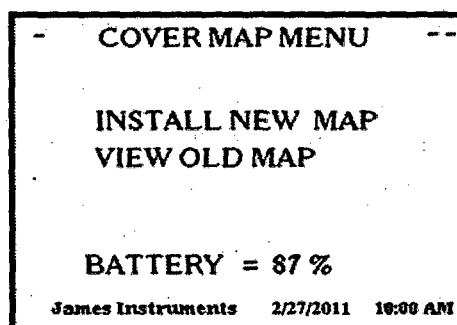


Figura 24: Instalación de nuevo mapa o Vea Mapa Antiguo

**Paso 4:** Si mapa Antiguo se elige por favor continúe con el paso 4B, si no por favor siga las instrucciones a continuación directamente para la instalación de un nuevo mapa.

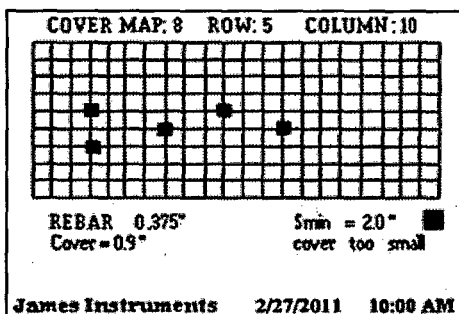


Figura 25: Visualización del mapa

**Paso 4 A:**

- 1 El Rebarscope genera automáticamente un número de mapa.
- 2 En la línea de categoría Material, elegir los materiales objeto de la investigación. (Rebar, conducto, cobre)
3. Elegir el diámetro de los materiales objeto de la investigación.
4. Elija el min S (cobertura mínima)
5. Seleccione el rango de detección o **SHORT DEEP**, que la cubierta se hará en el análisis.
6. Pulse Intro.
7. En la pantalla se muestra la rejilla de la cubierta.

**Paso 4B:**

1. Después de elegir para ver el mapa antiguo mapa de cobertura **REVISIÓN** pantalla del menú aparecerá.

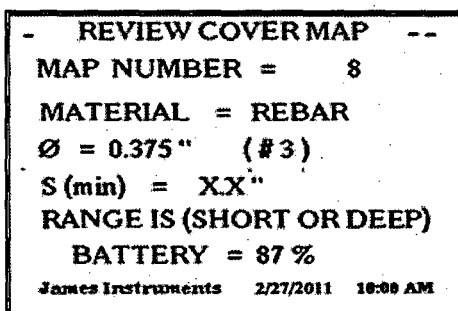


Figura 26: Pantalla comentario Mapa Cubierta

2. El sistema no permite el ajuste de los parámetros del grupo anterior.
3. La función sólo se puede cambiar Esa es aquello de lo que se asignan a ver.
4. Seleccione el número de mapa para ver y pulse Intro.
5. En la pantalla se muestra la rejilla de la cubierta con los datos previamente guardados. Los nuevos datos se pueden guardar en el mapa cuadrículado Junto con los datos más antiguos.

**Paso 5:** Utilizando las teclas Arriba o Abajo teclas de flecha del panel frontal eligió el lugar para su primera marca.

**Paso 6:** Pasar el sensor de la sonda sobre el área objeto de investigación, el cursor se convertirá en uno de los tres símbolos de portada en la página 25.

**Paso 7:** Al presionar la tecla Enter salvar este símbolo en la pantalla y guardar en la memoria la información de ubicación se ve en la parte inferior de la pantalla. Esta información también aparece especialmente para este punto en la pantalla de la PC software de carga.

## 15. Sistema de menú

La opción de configuración del sistema en la pantalla del menú principal Permite realizar modificaciones en las configuraciones del sistema. Una vez en la modificación de la configuración del sistema submenú se pueden hacer a los siguientes

- Display
- Idioma
- Unidades
- Reloj menú
- Borrado de la memoria
- Funcionamiento con batería
- Si se pulsa la tecla de escape lo lleva a la pantalla del menú principal (ver también tabla Menu flujo).

## 16. Cursor Display

Para cambiar la visibilidad del cursor de visualización, estos pasos siguen:

- Pulse la tecla arriba o abajo hasta llegar a la opción de menú System Setup. Pulse Intro. Las sub menú de configuración de la pantalla debería aparecer.
- Desplácese por el menú de configuración mediante los botones arriba o hacia abajo tecla de flecha. Seleccione la opción Mostrar pulsando Intro. La pantalla debe indicar lo siguiente.  
DISPLAY = Negro Líneas
- Al pulsar las teclas de flecha izquierda o derecha le dará al usuario la opción de elegir Negro (resaltado) o White Lines (resaltado) Líneas, así como el color de fondo.

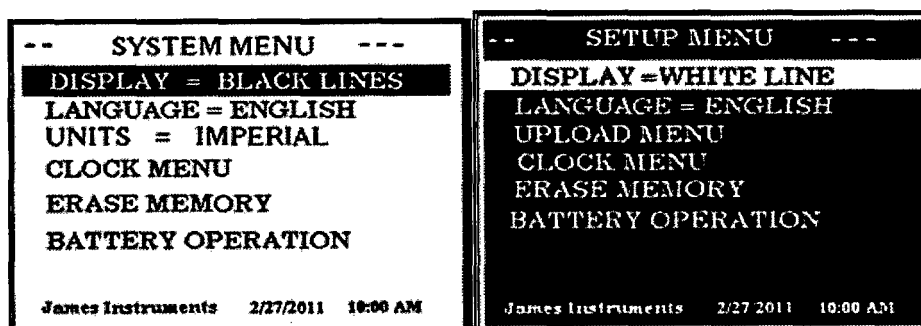


Figura 27: Pantalla con líneas negras o blancas

- Al pulsar la tecla Escape, volverá a la pantalla de menú principal.

## 17. Opciones de idioma

Para elegir el idioma que será el operativo Rebarscope, siga estos pasos:

- Pulse la tecla arriba o abajo hasta llegar a la opción de menú System Setup. Pulse Intro. Las sub menú de configuración de la pantalla deberían aparecer.
- Desplácese por el menú de configuración mediante los botones arriba o hacia abajo tecla de flecha.

Seleccione la opción de menú Idioma, pulse Intro. La pantalla debe indicar lo siguiente.

LANGUAGE =

- Utilice las teclas de flecha izquierda o derecha para elegir Inglés o español como el idioma que opera en su Rebarscope.

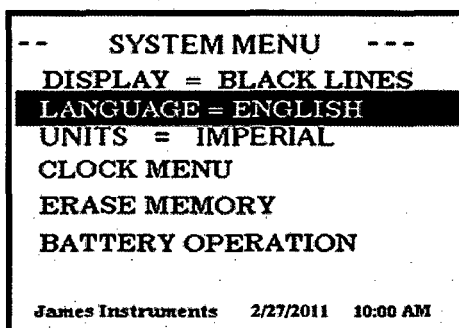


Figura 28: Ajuste del idioma

- Al pulsar la tecla Escape, volverá a la pantalla de menú principal.

## 18. Unidades de Medida

Inglés unidades métricas y están disponibles para que el usuario elija. Los pasos siguientes permiten al usuario seleccionar las unidades de medición vieron:

**Paso 1:** En la pantalla del menú principal Utilice las teclas de flecha hacia abajo en el panel frontal para navegar hacia el sistema establecido categoría.

**Paso 2:** Pulse Intro.

**Paso 3:** En la pantalla de configuración del sistema Utilice las teclas de flecha del panel frontal para navegar hasta el **UNIDADES** categoría.

**Paso 4:** Use la tecla de flecha hacia la derecha para elegir entre Imperial (Inglés) o en unidades métricas de medición.

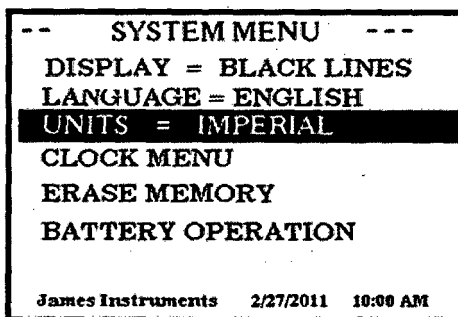


Figura 29: Ajuste de las unidades

**Paso 5:** Pulse la tecla ESC para volver a la pantalla del menú principal y continuar las mediciones.

### 19. Reloj Menu

Para cambiar la fecha y la hora, siga estos pasos:

- Pulse la tecla arriba o hacia abajo hasta llegar a la opción del menú de configuración.

Pulse Enter. Las sub menú de configuración de la pantalla deberían aparecer.

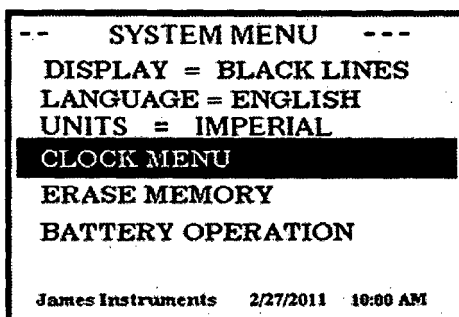


Figura 30: Menú del reloj se pone de relieve

- Desplácese por el menú de configuración mediante los botones arriba y abajo teclas de flecha.

Seleccione la opción presionando Menu Reloj Intro. La pantalla debe ser similar a lo siguiente.

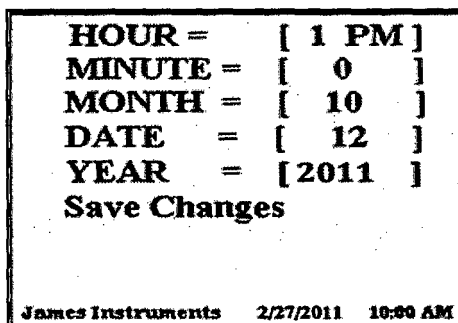


Figura 31: Ajuste de la fecha y hora

- Si se pulsa la tecla de flecha hacia la izquierda o hacia la derecha aumentará los dígitos en la pantalla.
- Use la tecla arriba y hacia abajo para seleccionar cada hora y opciones de fecha.
- Desplácese hasta la opción Guardar cambios con la tecla arriba o abajo flecha.

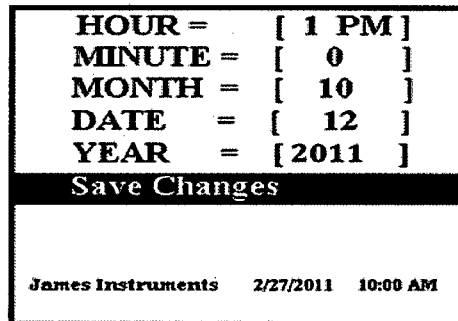


Figura 32: Guardar cambios cuando haya terminado

- Si se pulsa la tecla Intro almacenará la fecha y la hora y volverá a la pantalla del menú principal.

## 20. Borrado de la memoria

Para borrar de la memoria almacenada Rebarscope, siga estos pasos:

- Pulse la tecla arriba o abajo hasta llegar a la opción de menú System Setup. Pulse Intro. Las sub menú de configuración de la pantalla debería aparecer.

**MENÚ DE CONFIGURACIÓN:** Desplácese por el menú de configuración mediante los botones arriba o hacia abajo tecla de flecha.

Seleccione la opción Borrar memoria pulsando Intro. La pantalla debe indicar lo siguiente.

**BORRAR LA MEMORIA:** Pulse Intro una vez y aparecerá un mensaje que le indica que pulse Intro de nuevo para verificar esta acción debería aparecer.

**PULSE INTRO DE NUEVO:** Si se pulsa Intro por segunda vez, se borrará **TODOS** almacenado en la memoria del sistema Rebarscope. Cuando se haya completado, la frase "los errores de 0" debe ser vista en la pantalla.

Al pulsar la tecla Escape, volverá a la pantalla de menú principal.

## 21. Funcionamiento con batería

Una batería recargable 14.8V está incluido en el Rebarscope. A plena carga el menú principal mostrará **BATERÍA = 100%**. Monitoreo de la batería se puede hacer mediante la introducción del modo de funcionamiento de la batería en la pantalla de menú del sistema. En este modo, el estado de la batería puede ser monitoreada. Este sistema funciona cuando el cargador está suministrando energía a la unidad, salvo en las siguientes pantallas.



- Coloque la cubierta
- Barra de tamaño
- Cubierta mapa

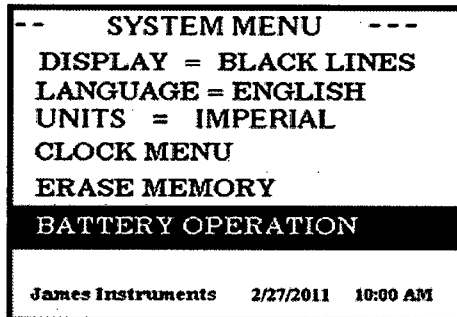


Figura 33: Menú de operación de la batería se pone de relieve

Se recomienda cargar la unidad antes de cualquier prueba de campo se hace larga. Conectar el S-31 800 cargador al conector de entrada de carga en el frente de la unidad, y luego a la toma de corriente.

En el "Estado de la batería" de la pantalla de la batería puede ser controlada por la carga y descarga de los números del contador. pulsando "Aceptar" en esta pantalla la carga de la batería y vertido puede ser puesto a cero, y el porcentaje de batería se restablecerá a su lectura actual .

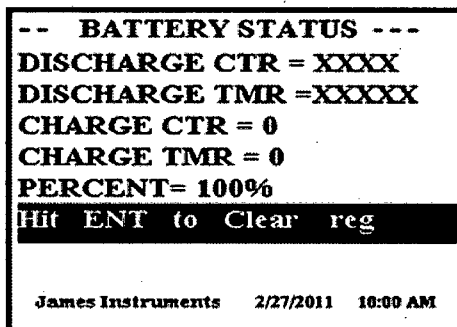


Figura 34: Eliminación Cargador Registrarse

Cuando se conecta a una toma de corriente, la carga Incrementar contador hasta que la batería esté completamente cargada. El tiempo de carga de la batería es de aprox. 4 horas. Si el contador de carga desacelera hasta detenerse y no aumenta, que está completamente cargada. clic en "Enter "para restablecer los contadores y para mostrar al 100%. Una batería completamente cargada permite (como mínimo) de 4 horas de pruebas de campo continuo.



# **Concrete Corrosion**

## **Mapping System**

### **Reference Guide**

**Guía referencial del sistema de mapeo de  
la corrosión del Concreto**

## **Tabla de contenidos**

- 1. Corrosión del acero en hormigón**
- 2. CuCuSO4 Cartografía de los posibles**
- 3. Prueba de continuidad**
  - 3.1. Las mediciones de media celda para la continuidad
  - 3.2. El procedimiento de ensayo consiste en los pasos siguientes
  - 3.3. El análisis de los datos puede simplificarse en tres categorías
- 4. Técnica de papeo de posibles**
  - 4.1. Preparación de la superficie de hormigón para ensayos
  - 4.2. Preparación de un electrodo de referencia nuevo
  - 4.3. Preparación del recipiente contacto eléctrico
  - 4.4. Hacer la conexión a la barra de refuerzo
  - 4.5. La colocación del medidor en la operación
  - 4.6. Haciendo la medición del potencial
  - 4.7. El registro del potencial
- 5. Interpretación de las lecturas**
  - 5.1. Formato sugerido del informe final
  - 5.2. Mapa típico Contorno equipotencial

## 1. Corrosión del acero en el concreto

Una explicación de la corrosión del acero en el concreto comienza con un entendimiento de por qué el acero no se corroe en el concreto. La combinación de acero y el concreto es un material de construcción viable de durabilidad comprobada. El entorno del concreto normalmente alcalino, una fina capa de óxido se forma sobre la superficie del acero de refuerzo.

Esta película de óxido aísla el acero a partir del medio ambiente y evita corrosión durante el tiempo que la capa de óxido se mantiene intacta. Protegido dentro del concreto, la capa de óxido es raramente perturbada y la integridad estructural de la combinación concreto-acero no se ve afectada por la corrosión. El óxido se conoce como (Gamma- $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

El deterioro del concreto por la corrosión de la cubierta de los puentes fue investigado por la FHWA. La causa principal se determinó que era la corrosión del acero de refuerzo. El producto óxido formado durante la corrosión proceso ocupa un volumen mucho mayor que el acero original miembro.

El esfuerzo de tracción ejercida por los productos de corrosión puede exceder los límites de la fractura a tracción del hormigón y el agrietamiento de la causa o de laminación que eventualmente se convierte en astillas.

La identificación de la corrosión como una causa de hormigón cuarteado llevó a la necesidad de determinar las razones de la corrosión de las normalmente de acero pasivo. El mecanismo para la interrupción de la capa de óxido pasivo se encontró que era una reacción compleja entre el óxido y cloruro de capa en el hormigón. La capa de óxido en el presencia de cloruros se transforma en  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , oxidación. El cloruro iones permanecen en solución para continuar su degradación de la gamma-  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Una vez que las películas pasivas se retiran, el acero de refuerzo está sujeto a la corrosión galvánica.

## 2. $\text{CuCu SO}_4$ Mapeo de los posibles

Un medio para determinar la corrosión del acero en el concreto es posible mediante el uso de mediciones de media celda, utilizando el MC Miller concreto a la corrosión del sistema de asignación. La naturaleza de la corrosión es un intercambio de energía dentro de las diferentes secciones de acero de refuerzo. Este intercambio de energía se puede medir por el potencial.

Aunque este es un proceso eléctrico de transferencia de iones, también implica cambios químicos. En el ánodo, se produce la corrosión y son iones liberados en el electrolito. Los niveles relativos de la energía puede ser determinada en relación con un electrodo de referencia con una estable potencial electromecánico (MCM RE Serie  $\text{CuCuSO}_4$  Las media celdas).

Un voltímetro de alta impedancia (MCM LC - 4) está conectado entre el acero de refuerzo y el electrodo de referencia colocado en la superficie del concreto. La medición de potencial resultante (lectura) sobre los LC - 4 metros, es una indicación de los niveles de energía eléctrica - corrosión actividad - del acero en

la vecindad de referencia la media de celda. La metodología para esta medida y guías para interpretación se describen en la norma ASTM C 876-87.

Algunas precauciones deben ser observadas en la obtención de un medio de células mediciones de potencial. Una conexión eléctrica directa a la acero de refuerzo se requiere. Si el acero expuesto no está disponible para este objetivo, la excavación / destrucción del hormigón, en una selecta zona, para exponer el acero puede ser necesario. Debido a los métodos utilizados para interconectar el acero de refuerzo, la rejilla de refuerzo no puede ser interconectada eléctricamente a través de la cubierta o estructura.

Los procedimientos estándar de ensayo están disponibles para la determinación de la continuidad eléctrica y será discutido en la sección siguiente.

Las pruebas de cualquier tipo no deben llevarse a cabo o intentadas, cuando soldadura eléctrica está en curso, como podría ser el caso en que la reparación o las obras de renovación que se está haciendo al mismo tiempo que la programación de esta prueba.

Debido a la alta resistencia inherente en el circuito de medición, el voltímetro debe tener impedancia de entrada con precisión suficiente para medir los potenciales de la media celda. Por esa razón, el medidor MC LC - 4 voltímetro con una resistencia de entrada seleccionable (de 10 megas de 200 Ohms MEG) es utilizada. Para reducir la resistencia de contacto entre la superficie de concreto y el electrodo de la serie RE MCM, un especial decantador fue diseñado y fabricado para contener la referencia celular y solución contacto eléctrico con un dispensador integrado esponja. El uso de este procedimiento y el aparato de MC Miller, con la esponja húmeda, puede causar la medición del potencial para inicialmente aparecer en la pantalla un voltímetro inestable a causa de la lenta acción humectante de la superficie del concreto por la esponja. Un medio de reducir este problema es un uniforme humectación previa de toda la superficie.

Pre-humectación puede sin embargo, tener la desventaja de interconectar las áreas de ánodo y catódica que pueden tender a nivelar los potenciales medidos y producen menos pronunciada contornos cuando se representa en un gráfico.

Las medidas de potencial de la media celda permiten un estudio exhaustivo del puente cubierta/estructura para llevar a cabo en un período corto de tiempo.

Cuando se trazan en una vista en planta de la estructura, los potenciales iguales pueden estar interconectados para formar un mapa de contorno de los niveles potenciales del acero revestido de concreto. Estos contornos se pueden utilizar para localizar probables áreas de corrosión y presentar la superficie total del cubierta/estructura de la superficie sujeta a la corrosión.

### **3. Prueba de continuidad**

La interconexión eléctrica de los componentes metálicos dentro de un puente entre cubierta/estructura puede ser verificada por los métodos de pruebas eléctricas. El refuerzo de acero es usualmente interconectado por lazos de alambre y apoya silla y suelen ser eléctricamente continua. A veces sin embargo, hay son segmentos aislados dentro de la estructura. Los componentes metálicos de otros que el acero de refuerzo a veces se presentan un puente entre la cubierta y estructura. Estos componentes pueden incluir alcantarillas, barandas, juntas de expansión, conducto eléctrico, etc.

Las pruebas de campo para la continuidad utilizan el conocimiento de la posible electricidad circuitos dentro de las esteras de acero de refuerzo.

### **3.1. Medida de la media celda para garantizar la continuidad**

El equipo necesario para llevar a cabo una prueba de continuidad basado en potencial consiste en un voltímetro de alta impedancia (MCM LC-4), un electrodo de referencia portátil (MCM RE Serie  $\text{CuCuSO}_4$ ), Un carrete de cable aislado cable de prueba, y los cables de prueba para la interconexión de aparato. Conexión directa con el acero de refuerzo y otros componentes metálicos son necesarios. Se pueden hacer conexiones a las expuestas de metal, las zonas rehabilitadas o excavaciones hechas para la prueba propósito. Las conexiones deben estar libres de escombros, productos de corrosión y recubrimientos o películas.

### **3.2. El procedimiento de ensayo consta de los pasos siguientes**

- 1) Uso de la MC concreta Miller Referencia conjunto de electrodos, colocar el aparato  $\text{CuCuSO}_4$  sobre la superficie de hormigón en un área protegida de pie y el tráfico por carretera. Asegúrese de que la esponja está mojado y solución suficiente contacto eléctrico está en el contenedor para mantener el concreto húmedo por el término de la prueba.
- 2) Conectar la celda de referencia con el carrete de alambre de prueba.
- 3) Conectado un cable de prueba en el acero armado expuesto o de metal componente.
- 4) Uso del LC-4 voltímetro, medir y registrar el potencial de diferencia entre la celda de referencia y el acero de refuerzo o metálica componente.
- 5) Con la referencia de celda lugar de montaje sin cambios, repita los pasos 3 y 4 anteriores para otro sitio de refuerzo de acero o de otro tipo componente metálico.
- 6) Repita cuantas veces sea necesario para obtener los datos suficientes.

### **3.3. El análisis de los datos puede simplificarse en tres categorías**

- 1) Metal medidas posibles dentro de  $\pm 0.001\text{v}$  (1 mV) de la entre ellos la continuidad = probable eléctrica.
- 2) Potencial de metal mediciones superiores a  $\pm 0.001\text{v}$  (1 milivoltios), pero inferior a  $\pm 0.003\text{v}$  (3 milivoltios): = Eléctrica continuidad incierta.
- 3) Mediciones de potencial de metal superior a  $\pm 0.003\text{v}$  (3 milivoltios): = discontinuidad probable eléctrica.

## **4. Técnica de Cartografía de los posibles**

### **4.1. Preparación de la superficie de concreto para el ensayo real**

- Use una cinta métrica para trazar una cuadrícula de la ubicación de la prueba (Generalmente) en cuatro (4) centros de pies que cubren toda el área que se va a probar. (Pruebas no tiene que hacerse directamente sobre las barras de refuerzo).
- Marque cada ubicación de la prueba con la pintura en aerosol.

- Retire todo el asfalto, la superficie impermeabilizada o películas de aislamiento de cada lugar de la prueba. Esto sólo requiere un punto de 2" cuadradas. La escarificación superficial que es generalmente se realiza para tableros de puentes muchos durante la reparación y / o renovación suele ser suficiente.
- Todos los puntos de prueba debe ser humedecido con el contacto eléctrico solución antes de la prueba, y la ubicación todavía debe estar húmedo en el momento de las pruebas reales.
- Totalmente exponer una barra de refuerzo en cada panel de cubierta del puente o la estructura de la sección de unos pocos centímetros. Use un cincel o un archivo de limpiar la armadura hacia abajo al metal brillante, esto se utiliza como un punto de conexión para las pruebas que se harán en el panel. Si una barra de refuerzo ya está expuesto a causa de desprendimiento, puede ser utilizado como un punto de conexión, previa preparación adecuada.

#### **4.2. Preparación de un electrodo de referencia de Nueva**

Desatornille la parte superior del electrodo nuevo y llenarlo hasta el borde con agua destilada o solución anticongelante MCM. Atornille la parte superior con fuerza (Con la mano solamente). Agite el electrodo durante un par de minutos y a continuación, asegúrese de que todavía hay algo de cobre disuelto sulfato cristales en el tubo. Si no, quite la parte superior del electrodo y añadir más cristales. No es posible tener cristales demasiados. Hacer

No quite la tapa protectora de plástico del tapón poroso ensamblado en la parte inferior del electrodo hasta que esté listo para su uso. Es sugirió que el  $\text{CuCuSO}_4$  electrodo se prepara un día antes de programada de pruebas. Esto le dará tiempo para el tapón poroso que llegan a estar completamente saturado con la solución de sulfato de cobre.

#### **4.3. Preparación de la solución de contenedores de contacto eléctrico.**

Retire el tapón del depósito de surfactante con el electrodo conectado. Fijar la solución de dispensación esponja firmemente a la parte inferior del surfactante decantador depósito. Llene el recipiente, aproximadamente  $\frac{3}{4}$  completa con la solución preparada contacto eléctrico. Tal solución estaría compuesto por una mezcla de 95 ml de agente humectante (Agente humectante disponible en el mercado) o de un líquido de uso doméstico detergente se mezcla completamente con cinco (5) galones - 19 - litros de agua potable. Bajo temperaturas de trabajo de menos de aproximadamente 50 grados F (10 grados C), aproximadamente el 15% en volumen de cualquiera alcohol isopropílico o desnaturalizado se debe añadir para evitar empañamiento de la solución de contacto eléctrico desde enturbiamiento puede inhibir penetración del agua en el hormigón a ensayar.

Una vez llenado, colocar el tapón del depósito de la superficie w / electrodo en la decantador tan pronto como sea posible y apriete a mano cómodamente. Inicialmente puede haber algo de exceso de solución dispensado a través de la esponja hasta se crea un vacío dentro del recipiente depósito tensioactivo.

**Nota:** Mientras que el manejo y el uso del conjunto de electrodos que siempre tenga una posición vertical. Consulte las precauciones en MSDS en el manejo de  $\text{CuCuSO}_4$  cristales y MCM solución anticongelante.

Conjunto de montaje en aparatos de medición

Presione la placa de adaptador en la parte inferior de la LC-4 (las almohadillas de Velcro mantenerlos juntos). Atornille una de 15 "electrodo intermedio extensión en el receptáculo roscado en la placa adaptadora. Añadir el segundo 15 "extensión del electrodo intermedio para la primera una ya instalada. Enrosque el depósito de surfactante w / electrodo ensamblado en el otro extremo de la segunda extensión. Enchufe el Adaptador de cable flexible de la placa en el negativo (Negro) terminal del metro.

#### **4.4. Realizar la conexión a la barra de refuerzo**

Fijar agarre vicepresidente pinzas en las barras de refuerzo anteriormente expuesto y clip de una final de la prueba de 250 pies conducir a las pinzas y conecte el otro extremo en el enchufe positivo (centro rojo) de la LC-4 metros. Este procedimiento se repite para cada panel de la estructura. Este conexión debe ser a una barra de refuerzo en el panel se está probando.

#### **4.5. Colocar el medidor en funcionamiento**

Colocar el selector de funciones del LC-4 metro, en la posición DC. Colocar el selector de margen en la escala de 2V. Por último, coloque la resistencia a la entrada del interruptor de selección en el 25 meg-ohm posición.

El uso del interruptor de entrada resistencia seleccionable permite al operador compensar el error causado por un contacto del electrodo de alta resistencia, lo más prominente encontrado al tomar el potencial mediciones en suelos secos o de hormigón en seco y no sería habitual cuando se utiliza el MC Miller concreta sistema de mapeo de la corrosión aparato. Ver la LC-4 manual del propietario para más detalle información.

#### **4.6. Realizar las mediciones de potencial**

Coloque el conjunto de electrodo de referencia en contra de la preparación localización en la superficie del hormigón adyacente al punto marcado. Si el conexión eléctrica a la barra de refuerzo es bueno, y lo concreto y interfaz de esponja son lo suficientemente húmedo, una lectura estable (de medición) -0,010 -0,600 y entre voltios deben obtenerse en el metro el plazo de 3-5 segundos. Una pequeña variación en el último dígito (milésima lugar) puede ser considerado normal. Si la configuración de prueba está funcionando satisfactoriamente, debería ser posible volver a una ubicación y obtener una lectura idéntica dentro de  $\pm 0.020\text{v}$  de la lectura original.

#### **4.7. Registro de las posibles lecturas**

Todas las posibilidades deben ser redondeadas con una precisión de 0,01 voltios y ingresó (por conveniencia) en una hoja de datos se establece en un patrón de



rejilla a escala aproximada similar a la estructura del puente / panel de estar probado.

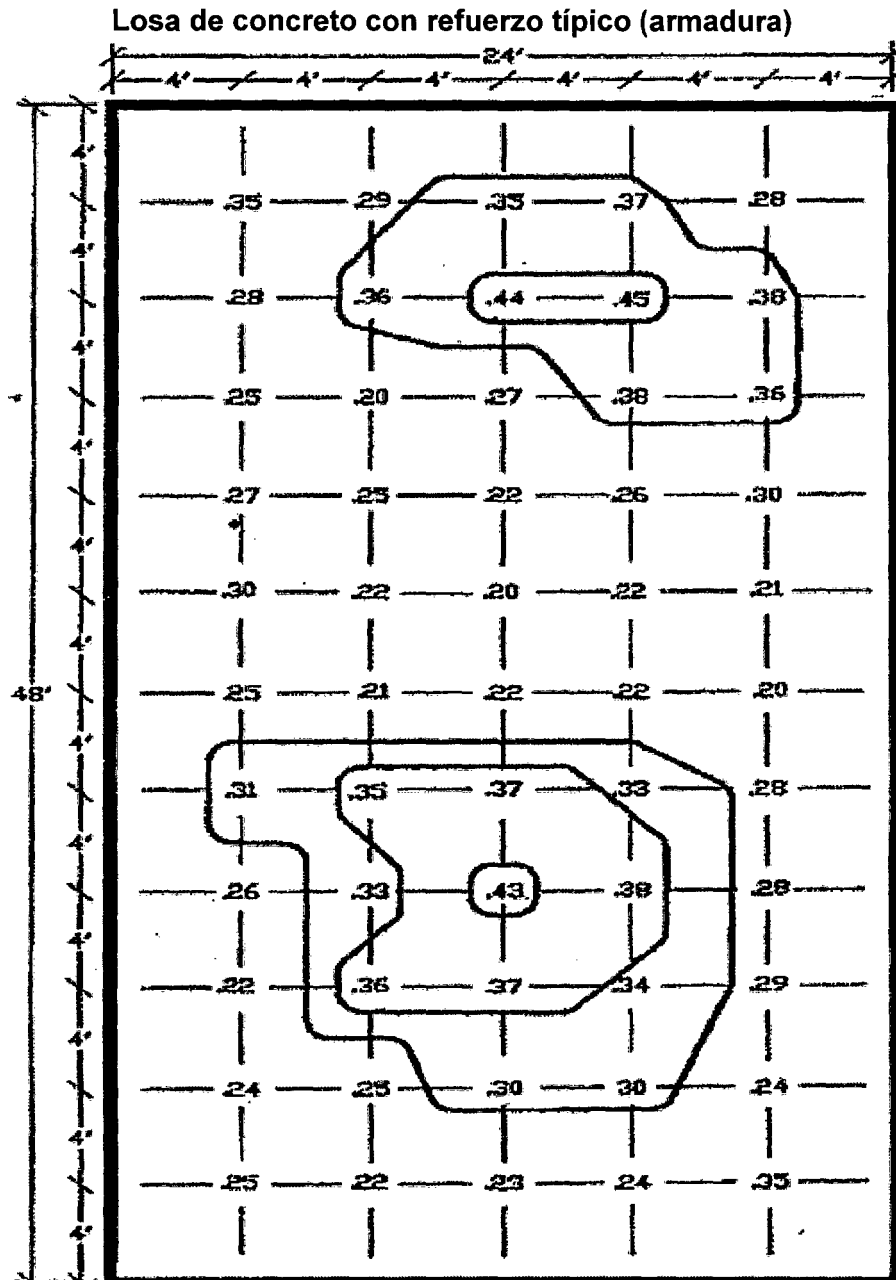
## 5. Interpretación de las lecturas

- Los potenciales menos negativos que -0,20 voltios en general indican, probabilidad 90% mayor de no tomar a la corrosión lugar en el momento de la medición.
- Potenciales en los voltios-de 0,20 a -0,35 no son concluyentes.
- Potenciales mayor que -0.35 voltios indicado en general, 90% o mayor probabilidad de corrosión activos en el área a el momento del ensayo.
- Potenciales positivos (signo negativo no se muestra), si obtiene, generalmente indican humedad insuficiente en el hormigón y no debe ser considerada válida. Sin embargo, perdidas de corriente continua, también pueden causar mediciones de potencial y por lo tanto, crítica cuidadoso análisis de los datos obtenidos se requiere.

### 5.1. Formato sugerido del informe final.

Tras la finalización del trabajo de campo, un informe debe ser preparado y, como mínimo, las siguientes;

- 1) Mapa de contorno equipotencial a escala aproximada con todo potenciales trazados y curvas de nivel que pasa por los puntos de igual o interpolar los valores de la igualdad. Curvas de nivel máximo intervalos debe ser 0,10 voltios
- 2) Estimación de la temperatura del electrodo de referencia del cobre durante la prueba.
- 3) Método de pre-humedecer el hormigón.
- 4) Método de fijación de cables de prueba a las barras de refuerzo.
- 5) Porcentaje de la lectura en cada panel o sección que son más negativo (-) que -0.35 voltios
- 6) Porcentaje de la lectura en cada panel o sección que son menos negativo (-) de -0,20 voltios
- 7) Todas las lecturas positivas (si lo hubiere obtenido) y su exacta ubicación, como representa en el mapa de contorno.



## 6. Otros usos de la LC-4 Medidor

El modelo CL-4 medidor está diseñado específicamente para la corrosión y las pruebas de protección catódica en todo tipo de estructuras. Si catódica protección está instalado en un tablero del puente para el control de la corrosión, el metros se puede utilizar para localizar averías de la unidad de alimentación, verifique el cableado para la continuidad, y comprobar el rendimiento de la protección catódica instalación.

Con el uso de un accesorio de derivación, DC corrientes de hasta 20 amperios puede medirse con precisión. Consulte el manual de LC-4.5 manual específico en cuanto a cómo llevar a cabo estas pruebas.

## 6.1. Descargo de responsabilidad

El MC Miller Co. Inc. publica esta guía de referencia de conformidad con la mejor tecnología actual con respecto a este tema específico. Este Guía de referencia representa un consenso de todas las personas involucrados en la revisión de este documento. Se pretende que sea sólo una guía a los que tienen alguna experiencia con el control de la corrosión / catódica técnicas de protección de pruebas. El MC Miller Co., Inc. no asume ninguna responsable de la interpretación o el uso de esta guía de referencia.

Los usuarios de esta guía es responsable de revisar la salud adecuada, safty y reglamentario los documentos y para la determinación de su aplicabilidad en relación con esta guía de referencia para su uso.

## Requisitos de los materiales

### Descripción

5203	LC - 4.5 metros w / estuche y manual
570	Extensión del electrodo placa adaptadora
16200	Extensión del electrodo intermedio (15 ") se requieren 2
15625	Tensioactivo depósito con electrodo
30501	Agra carrete de mano (de aluminio) con:
30807	N ° 16 AWG de pruebas de cable de conexión (aislamiento de los cables de color rojo) 250'
16906	Sulfato de cobre-cristales, 12 oz
17150	Electrodo solución anticongelante, botella de 8 oz
15627	Botella de reemplazo con surfactante Esponja
15628	Concentrar, solución surfactante botella 4 oz
MAN060	CCMS Guía de Referencia
CAS 015	V-100 de transporte (18.24 "W x 7.75" D x 14.5 "H)

Los siguientes artículos también serán necesarios y por lo general se puede obtenerse localmente.

- El riego puede o equivalente para mojar lugar de la prueba.
- Los aerosoles de pintura de colores brillantes para marcar las ubicaciones de prueba.
- 100 pies de una cinta de medir.
- pinzas de agarre y los Vicepresidentes o abrazadera de puesta a tierra.
- Solución contacto eléctrico para ser utilizado en la dispensación decantador y / o de hormigón pre-remojo. Solución puede estar formado por mezclando a fondo aproximadamente 3 onzas líquidas de una hogar de detergente líquido en 5 galones de agua. Agregar 15% en volumen de alcohol desnaturalizado, si la temperatura de trabajo es menor de 50°F.

Nota: El MC Miller Co. fabrica una  $\text{CuCuSO}_4$  referencia - RE 5U - (15109) para su uso en la posición invertida para probar la parte inferior de las estructuras de hormigón tales como tableros de puentes, techos de túneles, parte inferior de aparcamiento garajes, etc. Póngase en contacto con nosotros o con su distribuidor local para más información.

# **ANEXO G**

## **Normas Usadas**

## REGLAMENTO

## COMENTARIO

usarse en exposiciones moderadas a los sulfatos. Los tipos apropiados según ASTM C 595 son los IP(MS), IS(MS), I(PM)(MS), e I(SM)(MS). Para exposiciones severas, se especifica cemento Tipo V con un contenido máximo de 5% de  $C_3A$ . En ciertas áreas, el contenido de  $C_3A$  de otros tipos de cemento disponibles como los Tipo III o Tipo I, pueden ser menores de 8% ó 5%, y se pueden utilizar en exposiciones a sulfatos moderadas o severas. Debe hacerse notar que el cemento resistente a los sulfatos no aumenta la resistencia del concreto a algunas soluciones químicamente agresivas, por ejemplo el nitrato de amonio. Las especificaciones del proyecto deben abarcar todos los casos especiales.

El empleo de ceniza volante (ASTMC 618, Clase F) ha demostrado que mejora la resistencia del concreto a los sulfatos<sup>4,9</sup>. También ciertos cementos Tipo IP fabricados con puzolana Clase F y cemento pórtland con un contenido de aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) superior al 8% pueden proporcionar resistencia a los sulfatos en casos de exposición moderada.

Una nota a la Tabla 4.3.1 considera el agua de mar como "exposición moderada", aún cuando generalmente contiene más de 1 500 ppm de  $SO_4$ . Para exposiciones a agua de mar, pueden emplearse otros tipos de cemento con un contenido de  $C_3A$  hasta de 10% si se reduce la relación agua-material cementante máxima a 0.40.

El método de ensayo ASTM C 1012<sup>4,2</sup> puede ser usado para evaluar la resistencia a los sulfatos de mezclas que contengan combinaciones de materiales cementantes.

TABLA 4.3.1 — REQUISITOS PARA CONCRETOS EXPUESTOS A SOLUCIONES QUE CONTIENEN SULFATOS

Exposición a sulfatos	Sulfato acuoso soluble ( $SO_4$ ) en suelo, porcentaje en peso	Sulfato ( $SO_4$ ) en el agua, ppm	Tipo de Cemento	Concreto de peso normal, relación máxima agua-material cementante en peso*	Concreto de peso normal y ligero, $f'_c$ mínimo, MPa*
Insignificante	$0.00 \leq SO_4 < 0.10$	$0 \leq SO_4 < 150$	—	—	—
Moderada <sup>†</sup>	$0.10 \leq SO_4 < 0.20$	$150 \leq SO_4 < 1\ 500$	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0.50	28
Severa	$0.20 \leq SO_4 < 2.00$	$1\ 500 \leq SO_4 < 10\ 000$	V	0.45	31
Muy severa	$SO_4 > 2.00$	$SO_4 > 10\ 000$	V más puzolana <sup>‡</sup>	0.45	31

\* Cuando se consideran las ambas Tablas 4.3.1 y 4.2.2, se debe usar la menor relación máxima agua-material cementante aplicable y el mayor  $f'_c$  mínimo.

<sup>†</sup> Agua de mar

<sup>‡</sup> Puzolana que se ha determinado por medio de ensayos o por experiencia que mejora la resistencia a sulfatos cuando se usa en concretos que contienen cemento tipo V.

Además de la selección apropiada del cemento, son esenciales otros requisitos para lograr concretos durables expuestos a concentraciones de sulfatos, tales como: baja relación agua-material cementante, resistencia, adecuado contenido de aire, bajo asentamiento, adecuada compactación, uniformidad, recubrimiento adecuado del refuerzo, y suficiente curado húmedo para desarrollar las propiedades potenciales del concreto.

4.3.2 — El cloruro de calcio no debe emplearse como aditivo en concretos sometidos a exposición a sulfatos severa o muy severa, como se definen en la tabla 4.3.1.