

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NÚCLEO ORIENTADO PARA A INOVAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

**APORTE AL ESTUDIO SOBRE LA INCIDENCIA DE LOS FENOMENOS
PATOLOGICOS EN PUENTES DE HORMIGON ARMADO EN EL URUGUAY**

José Claudio Barboza Franco (UDELAR)

Porto Alegre

2012

José Claudio Barboza Franco (UDELAR)

**APORTE AL ESTUDIO SOBRE LA INCIDENCIA DE LOS FENOMENOS
PATOLOGICOS EN PUENTES DE HORMIGON ARMADO EN EL URUGUAY**

Disertación presentada en el Programa de Maestría Interinstitucional (MINTER) entre la Universidad Federal de Rio Grande del Sur (UFRGS - NORIE) y la Universidad de la República (UDELAR - FARQ), como parte de los requisitos para obtener el Título de “Maestre en Ingeniería”.
Orientación: Prof. Angela Borges Masuero, Dra.

Porto Alegre

2012

José Claudio Barboza Franco (UDELAR)

**APORTE AL ESTUDIO SOBRE LA INCIDENCIA DE LOS FENOMENOS
PATOLOGICOS EN PUENTES DE HORMIGON ARMADO EN EL URUGUAY**

Esta Disertación de Maestría fue juzgada adecuada para la obtención del título “MAESTRE EN ENGENHARIA”, Área de Construcción, y aprobada en su forma final por el profesor Orientador y por el Programa de Pos Graduación en Ingeniería Civil de la UFRGS.

Porto Alegre, 8 de marzo de 2012

Prof. Angela Borges Masuero

Dra. por La Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) / Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Alexandre Pacheco (UFRGS)

PhD. por la Pennsylvania State University

Prof. Jairo Andrade (PUC/RS)

Dr. por La Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Prof. Mauricio Mancio (UNISINOS)

PhD. por la University of California, Berkeley

A mis queridos hijos Facu y Pili, soportes
primordiales de este gran desafío.

AGRADECIMIENTOS

A mi orientadora Ángela por su apoyo cierto y siempre cordial en estos muchos meses de trabajo, con cuyo auxilio me fue posible asomar al mundo de la elaboración del conocimiento.

A todo el personal del Departamento de Estructuras de la Dirección Nacional de Vialidad del MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas) y en especial a Gabriela Dupuy sin cuya colaboración este trabajo nunca hubiera sido posible.

A los colegas y compañeros de curso Gianella Mussio y Fernando Tomeo, quienes con su aporte permitieron iniciar el camino para la concreción final del presente texto.

Al NORIE en su conjunto y a los profesores en particular, quienes compartieron con nosotros sus valiosísimos aportes.

A nuestra Facultad de Arquitectura y en especial al Instituto de la Construcción, quienes posibilitaron junto a la UFRGS transitar este recorrido.

.

RESUMEN

El estudio de las manifestaciones patológicas en el hormigón armado surge como una valiosa herramienta para la comprensión de los procesos involucrados, en la medida que posibilita optimizar su uso en todas las etapas del proceso constructivo. En función de esta circunstancia entendiéndose valioso realizar un levantamiento de sus principales daños en el Uruguay, para lo cual fueron catalogados 93 informes con 313 evaluaciones sobre 147 puentes en el periodo 2004 / 2010. De su análisis verificóse la preeminencia de la lesión “Corrosión de armaduras”, la que se localiza principalmente en la zona costera Sur. A sí mismo, constata-se que “Tablero” es el elemento más afectado de estas estructuras seguido por “Protección lateral” y “Veredas”, donde “Armadura expuesta” y “Manchas de humedad” son las lesiones más relevantes.

Palabras clave: durabilidad; hormigón armado; procesos patológicos; daños; corrosión

ABSTRACT

The study of pathological manifestations in concrete emerges as a valuable tool for understanding the processes involved, in it as long as it makes possible to optimize its use in all stages of the construction process. Under this circumstance it was considerate valid to make a survey about the major damages in Uruguay, for which 93 reports were labeled with 313 assessments on 147 bridges in the period 2004 / 2010. From their analyst's it was verified of injury "Corrosion of reinforcement", located mainly in the coastal South. Makeover, it was found that "Board" is the most affected of the elements followed by "Side Shields" and "Sidewalks", where "Exposed reinforcement" and "Humidity stains" are the most prevalent problems.

Keywords: durability; reinforced concrete; pathological manifestations; damage; corrosion.

SUMARIO

LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABLAS	X
1 INTRODUCCION	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.2 ESTRUCTURA	4
1.3 DELIMITACIONES	4
2 EL HORMIGON Y EL HORMIGON ARMADO	5
2.1 EL CEMENTO PORTLAND	6
2.2 PROCESOS PATOLOGICOS EN EL HORMIGON ARMADO	8
2.3 ESTUDIO PATOLÓGICO PREVIO O DIAGNOSTICO	12
2.4 ANALISIS DE LAS PRINCIPALES CAUSAS DE DETERIORO	13
2.4.1 Efectos Térmicos y Cambios de Humedad – Aspectos generales	13
2.4.1.1 Variaciones térmicas	15
2.4.1.2 Pérdida de agua en las primeras edades	16
2.4.1.3 Sedimentación o Asentamiento plástico	18
2.4.1.4 Retracción plástica	20
2.4.1.5 Contracción térmica inicial	22
2.4.1.6 Retracción hidráulica	23
2.4.1.7 Fisuración en mapa	27
2.4.2 Corrosión de armaduras - Aspectos generales	28
2.4.2.1 El proceso de corrosión	31
2.4.2.2 Ataque por cloruros	35
2.4.2.3 Disminución del pH en el hormigón	39
2.4.3 Carbonatación	39
2.4.4 Fisuración	41
2.4.5 Creep o Fluencia	47
2.4.6 Deformaciones excesivas	50
2.4.7 Pretensado	50
2.4.8 Asientos del terreno	51
2.4.9 Cambios de color	51
2.4.10 Erosión	51
2.4.11 Agresión medioambiental	54
2.4.12 Ataques químicos	56
2.4.13 Ataque de ácidos	58
2.4.14 Ataque de bases	58
2.4.15 Formación de sales expansivas. Sulfatos	59
2.4.16 Exposición al agua de mar	61
2.4.17 Reacciones deletéreas de los agregados	63
2.4.17.1 Reacción álcali-agregado	64

2.4.18 Lixiviación y eflorescencias	67
2.4.19 Acción de la helada	70
2.5 REPARACION Y REFUERZO O TERAPIA	72
3 SISTEMATICA EMPLEADA EN LA COLECTA Y ORGANIZACION DE DATOS...	74
3.1 OBJETO DE ESTUDIO.....	74
3.2 ORDEN DE ACTUACION.....	75
3.3 REGISTRO DE DATOS.....	79
3.4 EXPOSICION DE LA INFORMACION	82
3.5 FOCALIZACION DE DATOS	82
4 PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	88
4.1 DATOS GENERALES	88
4.1.1 Aspectos generales.....	88
4.1.2 Aspectos generales - Síntesis 1.....	97
4.1.3 Aspectos generales - Síntesis 2.....	97
4.2 RESULTADOS CONTEMPLANDO LOS DATOS POR RUTA.....	99
4.2.1 Accesos A MVD.	99
4.2.2 Ruta 1	100
4.2.3 Ruta 2	101
4.2.4 Ruta 3	104
4.2.5 Ruta 5	105
4.2.6 Ruta 8	108
4.2.7 Ruta 9.....	110
4.2.8 Ruta “Costera”	111
4.2.9 Ruta 11	112
4.2.10 Ruta 39.....	114
4.2.11 Ruta 60	115
4.2.12 Datos por ruta – Sinopsis	118
4.3 LESION + TERRITORIO	121
5 CONCLUSIONES	129
6 SUGERENCIAS Y ELEMENTOS A EMPLEAR EN FUTUROS TRABAJOS.....	131
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	133
ANEXO 1 – SECTORES CON CONTRATOS DE MANTENIMIENTO.....	141
ANEXO 2 – NIVELES DE SERVICIO	150
ANEXO 3 – COMPONENTES DE LAS OAM.....	154
ANEXO 4 – TEXTO DE LAS INSPECCIONES (EJEMPLO).....	155

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CRECIMIENTO DE LOS CRISTALES C-S-H (BECKER F, 2010).....	7
FIGURA 2 - INFLUENCIA DE LA RELACIÓN A/C SOBRE LA INTERRELACIÓN DE LOS C-S-H Y LA RESISTENCIA DE LA PASTA (CEMENTO + AGUA) (BECKER, 2010 F)	7
FIGURA 3 - INCIDENCIA DE LAS MANIFESTACIONES PATOLÓGICAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO (HELENE, 2007)	8
FIGURA 4 - INFLUENCIA DE LA RELACIÓN A/C SOBRE LA PERMEABILIDAD RELATIVA AL RECUBRIMIENTO PARA PROTEGER LA ARMADURA (CALAVERA, 1999)	9
FIGURA 5 - INCIDENCIA DEL CURADO EN LA PERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN (CALAVERA, 1999).....	9
FIGURA 6 - RELACIÓN ENTRE LA EVOLUCIÓN DE LOS COSTOS Y EL DESEMPEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES (HELENE, 1988 APUD PAZINI, 1989)	10
FIGURA 7 - FISURACIÓN POR VARIACIÓN TÉRMICA AMBIENTAL (PAZINI-O'REILLY, 2003)	14
FIGURA 8 - EFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN NUEVO DESPUÉS DE 83 DÍAS DE SECADO (VIDIELA-TAPIA, 2007)	15
FIGURA 9 - REDUCCIÓN DE VOLUMEN POR EFECTO DE LA EXUDACIÓN (BECKER, 2010 B)	16
FIGURA 10 - GRAFICO PARA CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE HUMEDAD SUPERFICIAL (CALAVERA, 2005) + EJEMPLO SEGÚN BECKER (2010 A)	17
FIGURA 11 - ASENTAMIENTO PLÁSTICO PARA EL CASO DE UNA LOSA DE CIMENTACIÓN (CALAVERA, 2005).....	18
FIGURA 12 - FORMACIÓN DE FISURA POR PRECIPITACIÓN OBSTRUIDA (PRICE, 1982 APUD ACI 224.1R, 2007).....	18
FIGURA 13 - FISURAS POR ASENTAMIENTO PLÁSTICO EN VIGAS (BECKER, 2010 A).....	19
FIGURA 14 - EXUDACIÓN Y ASENTAMIENTO PLÁSTICO EN LOSAS DE DIFERENTES ESPESORES (CONCRETE SOCIETY, 1992 APUD BECKER, 2010 B).....	19
FIGURA 15 - FISURACIÓN POR ASENTAMIENTO DE LOS AGREGADOS EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE LA BARRA O ALAMBRE, DEL ASENTAMIENTO Y DEL RECUBRIMIENTO DEL HORMIGÓN (DAKHIL ET AL., 1975 APUD ACI 224.1R, 2007).....	20
FIGURA 16 - EVOLUCIÓN DE LOS FENÓMENOS PRESENTES DURANTE EL PRIMER DÍA DEL HORMIGÓN (CALAVERA, 2005).....	20
FIGURA 17 - CONFIGURACIÓN TÍPICA DE FISURACIÓN POR RETRACCIÓN PLÁSTICA (PRICE 1982 APUD ACI 224.1R, 2007).....	22
FIGURA 18 - EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL HORMIGÓN EN RELACIÓN A SU ENTORNO INMEDIATO (CALAVERA, 2005).....	22
FIGURA 19 - FISURACIÓN POR RETRACCIÓN HIDRÁULICA (FIGUEIREDO-O'REILLY, 2003)	23
FIGURA 20 - EVOLUCIÓN DE LA RETRACCIÓN CON EL TIEMPO (MONTROYA ET AL. 1994).....	24
FIGURA 21 - RELACIONES ENTRE RETRACCIÓN Y EDAD PARA HORMIGONES BAJO DISTINTAS CONDICIONES DE HUMEDADES (TROXEL ET AL., 1958 APUD ACI 224R, 2001)	24
FIGURA 22 - INFLUENCIA DE LA RELACIÓN A/C Y DEL CONTENIDO DE AGREGADO SOBRE LA RETRACCIÓN (OLDMAN, 1968 APUD ACI 224R, 2001)	25
FIGURA 23 - EFECTO DE LA FLUENCIA LENTA SOBRE LA TENSIÓN DE TRACCIÓN (ACI 224R, 2001).....	25

FIGURA 24 - CAMBIOS DE LONGITUD EN UN HORMIGÓN C/COMPENSADOR DE RETRACCIÓN Y EN UN HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND (HUMEDAD RELATIVA = 50%) (ACI 224R, 2001)	26
FIGURA 25 - EVOLUCIÓN DE LA RETRACCIÓN EN UNA LOSA DE PAVIMENTO Y EN UN PILAR (CALAVERA, 2005).....	26
FIGURA 26 - CONFIGURACIÓN TÍPICA DE FISURAS POR DESECACIÓN SUPERFICIAL (PAZINI-O'REILLY, 2003).....	27
FIGURA 27 – PRIMER AÑO DEL HORMIGÓN (CALAVERA, 2005).....	28
FIGURA 28 - INFLUENCIA DEL RECUBRIMIENTO EN LA TENSIÓN MÁXIMA DE ADHERENCIA (MOLINA ET AL. 2004).....	29
FIGURA 29 - INFLUENCIA DEL DIÁMETRO DE LA BARRA EN LA TENSIÓN MÁXIMA DE ADHERENCIA PARA RELACIÓN: RECUBRIMIENTO / Ø = 2 Y 0 (MOLINA ET AL. 2004)	30
FIGURA 30 - PATRONES DE FISURACIÓN EN UNA BARRA DE REFUERZO CON 3.2% (A) Y 16.8% (B) DE PORCENTAJE DE CORROSIÓN (GRASSI-DAVIES, 2010)	30
FIGURA 31 - REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA CELDA DE CORROSIÓN ELECTROLÍTICA EN EL HORMIGÓN ARMADO (NIEVES ET AL. 2004)	32
FIGURA 32 - REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA SOBRE LA EVOLUCIÓN DE LA FISURACIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO AFECTADAS POR CORROSIÓN (HUSNI ET AL. 2007)	33
FIGURA 33 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA EVOLUCIÓN DEL DETERIORO EN ESTRUCTURAS AFECTADAS POR CORROSIÓN DE ARMADURAS (HELENE, 2010).	35
FIGURA 34 - CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO (PAZINI-O'REILLY, 2003).....	35
FIGURA 35 - POSTE DE HORMIGÓN CON PROCESO DE CORROSIÓN POR ATAQUE DE CLORUROS (JOUKOSKI ET AL. 2004).....	38
FIGURA 36 - ESQUEMA DE VARIACIÓN DEL CONTENIDO CRÍTICO DE CLORUROS EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD DEL HORMIGÓN Y LA HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE (ANDRADE, 1988 APUD BECKER, 2010 A)	38
FIGURA 37 - GRADO DE CARBONATACIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DE LA HR AMBIENTE (G. COCHET & F. SORRENTINO, 1995 APUD BECKER, 2010 A)	40
FIGURA 38 – MUESTRA DE HORMIGÓN A LA QUE SE HA APLICADO LA TÉCNICA DE LA FENOLFTALEÍNA (OCAMPO ET AL. 2005).....	41
FIGURA 39 - ASPECTOS A CONTEMPLAR EN LA VALORACIÓN DE LA FISURACIÓN DEL HORMIGÓN (MESEGUER, 1988 APUD PAZINI, 1989).....	42
FIGURA 40 - FISURAS PRODUCTO DE LA IMPOSIBILIDAD DEL HORMIGÓN DE SEGUIR LA DEFORMACIÓN DEL ACERO (CALAVERA, 2005)	43
FIGURA 41 - FISURAS PRODUCIDAS POR EL ESFUERZO CORTANTE (CALAVERA, 2005).....	43
FIGURA 42 - FISURACIÓN POR FLEXIÓN Y CORTE (HIDALGO M, 1994 APUD PAZINI-O'REILLY, 2003)	43
FIGURA 43 - FISURACIÓN POR COMPRESIÓN EXCESIVA (PAZINI-O'REILLY, 2003)	44
FIGURA 44 - FISURAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS EN UN ELEMENTO TRACCIONADO (ACI 224.2R, 2004)	45
FIGURA 45 - RELACIÓN DE DISTANCIA ENTRE EL OBSERVADOR Y EL ANCHO DE FISURA ACEPTABLE SEGÚN DESTINO (CALAVERA, 2005).....	46

FIGURA 46 - ANCHOS DE FISURAS SEGÚN AMBIENTE DE EXPOSICIÓN (MONTROYA ET AL. 1994)	47
FIGURA 47 - DEFORMACIONES EN EL HORMIGÓN ANTE LA APLICACIÓN DE UNA CARGA SOSTENIDA (MONTROYA ET AL. 1994).....	48
FIGURA 48 - INCIDENCIA DE LA DEFORMACIÓN EN FUNCIÓN DEL PERIODO DE CARGA (MONTROYA ET AL. 1994).....	48
FIGURA 49 - DEFORMACIÓN POR FLUENCIA PARA EL CASO DE UN PILAR (CALAVERA, 2005)	49
FIGURA 50 - FLUENCIA EN TRACCIÓN (CALAVERA, 2005)	49
FIGURA 51 - PERDIDA DE TENSIÓN EN ARMADURAS DE POS TENSIÓN (CALAVERA, 2005)	50
FIGURA 52 - ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES POR DESCENSO DE UN PILAR (CALAVERA, 2005)	51
FIGURA 53 - VISUALIZACIÓN DE LESIONES POR ABRASIÓN Y DESGASTE (PAZINI-O´REILLY, 2003)...	52
FIGURA 54 – ESTRUCTURA EXPUESTA A CAVITACIÓN (PAZINI-O´REILLY, 2003).....	53
FIGURA 55 - “EMPOLVAMIENTO” Y DESAGREGACIÓN SUPERFICIAL (BECKER, 2010 C)	53
FIGURA 56 – RELACIÓN ENTRE AGRESIVIDAD MEDIOAMBIENTAL, TEMPERATURA Y RECUBRIMIENTO (CALAVERA, 1999).....	55
FIGURA 57 - VISUALIZACIÓN DEL DETERIORO POR LA ACCIÓN DE SOLUCIONES ACIDAS (PAZINI- O´REILLY, 2003).....	58
FIGURA 58 - DETERIORO POR LA ACCIÓN DE UNA SOLUCIÓN ALCALINA (PAZINI-O´REILLY, 2003)....	59
FIGURA 59 - DETERIORO POR SULFATOS (FIGUEIREDO-O´REILLY, 2003).....	60
FIGURA 60 - ZONAS MARINAS Y RIESGO ASOCIADO DE CORROSIÓN (L. TRAVERSA, 2001 APUD BECKER, 2010 A).	62
FIGURA 61 - ATAQUE TÍPICO DEL AGUA DE MAR SOBRE UN PILAR SEMI SUMERGIDO (E. F. IRASSAR, 2001 APUD BECKER, 2010 A).....	63
FIGURA 62 - FOTOGRAFÍAS CON CORTES DE HORMIGONES EN PRESENCIA DEL GEL EXPANSIVO. A LA IZQUIERDA SE LO SEÑALA EN LA INTERFACE PASTA-AGREGADO Y A LA DERECHA, CON UNA MUESTRA TRATADA, SE DENOTA SU PRESENCIA EN FISURAS Y POROS (BECKER, 2010 D).....	65
FIGURA 63 - CORTE DE HORMIGÓN AFECTADO POR RAS. LA FLECHA INDICA LA PRESENCIA DEL GEL RODEANDO AL AGREGADO (PORTALND CEMENT ASOCIATION APUD BECKER, 2010 D).....	66
FIGURA 64 – VISUALIZACIÓN DE LA FISURACIÓN EN ESTRUCTURAS AFECTADAS POR REACCIÓN ÁLCALI- SÍLICE (BECKER, 2010 D)	66
FIGURA 65 - FISURACIÓN POR REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO (PAZINI-O´REILLY, 2003)	66
FIGURA 66 – RELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO UNITARIO DE CEMENTO Y EL CONTENIDO DE ÁLCALIS EN EL HORMIGÓN POR APORTE DE ESTE (FARNY-KOSMATKA, 1997 APUD BECKER, 2010 D) ...	67
FIGURA 67 - EFLORESCENCIAS Y CRIPTO EFLORESCENCIAS EN LADRILLOS Y PIEZAS DE REVESTIMIENTO (MONJO CARRIO, 2007).....	68
FIGURA 68 - VISUALIZACIÓN DE EFLORESCENCIAS (PAZINI-O´REILLY, 2003).....	68
FIGURA 69 - EFLORESCENCIAS PRIMARIA (BECKER, 2010 E).....	69
FIGURA 70 – EFLORESCENCIA SECUNDARIA (BECKER, 2010 E).....	70
FIGURA 71 - AUMENTO DE LA POROSIDAD, DESCAMACIÓN Y DESAGREGACIÓN SUPERFICIAL POR LA ACCIÓN DE CICLOS DE HIELO-DESHIELO (PAZINI-O´REILLY, 2003).....	70
FIGURA 72 - VISUALIZACIÓN DE FISURA POR LA ACCIÓN DE CICLOS DE HIELO-DESHIELO (PAZINI- O´REILLY, 2003).....	71

FIGURA 73 - NUEVAS DISCIPLINAS INTRODUCIDAS EN LA INGENIERÍA EN LOS ÚLTIMOS AÑOS (ARCILLA ET. AL 2007)	72
FIGURA 74 - CARTA GEOGRÁFICA DEL URUGUAY CON RUTAS DONDE, SEGÚN LA INFORMACIÓN APORTADA, REALIZARON-SE INSPECCIONES BAJO EL RÉGIMEN DE “CONTRATOS DE MANTENIMIENTO”	76
FIGURA 75 – VISTA GRAL Y DETALLADA DE LA PLANILLA N° 1 DONDE SE DETALLA SECUENCIA DE ACTUACIÓN PARA REALIZAR EL RELEVAMIENTO.....	77
FIGURA 76– VISTA GRAL DE LA PLANILLA N° 2 CON CÓDIGOS PARA REALIZAR LOS REGISTROS EN LA N°1. POR EJ. CORROSIÓN DE ARMADURAS EN PILA = N° DE REGISTRO 69	78
FIGURA 77 – N° DE INCIDENCIAS (A) Y VALOR % (B) DE INFORMES REALIZADOS POR RUTA.....	80
FIGURA 78– N° DE INCIDENCIAS (A) Y VALOR % (B) DE EVALUACIONES REALIZADAS POR RUTA.....	80
FIGURA 79 – INCIDENCIA PORCENTUAL DE LOS JUICIOS EMITIDOS IGUAL NÚMERO DE VECES (REFERIDA A LOS 471 JUICIOS VINCULADOS AL HORMIGÓN)	83
FIGURA 80 - INCIDENCIA PORCENTUAL ACUMULADA DE LOS JUICIOS EMITIDOS IGUAL NÚMERO DE VECES (REFERIDA A LOS 471 JUICIOS VINCULADOS AL HORMIGÓN).....	84
FIGURA 81 – LESIONES CITADAS 10 O MÁS VECES (2% O MÁS) + SÍNTESIS 1 + SÍNTESIS 2	85
FIGURA 82 – GRÁFICOS EMPLEADOS.....	85
FIGURA 83- GRAFICO DE “BURBUJAS”	86
FIGURA 84 - MANEJO GRAL DE LA BASE DE DATOS	87
FIGURA 85 – PUENTES TOTALES + NO INSPECCIONADOS + SI INSPECCIONADOS.....	88
FIGURA 86 - CARTA GEOGRÁFICA DEL URUGUAY CON RUTAS Y PUENTES INSPECCIONADOS	89
FIGURA 87 –INCIDENCIA PORCENTUAL ORDENADA DE LA TOTALIDAD DE LOS JUICIOS EMITIDOS.....	90
FIGURA 88 –INCIDENCIA PORCENTUAL ORDENADA POR CATEGORÍAS DE LESIONES RELACIONADOS CON EL HORMIGÓN ARMADO	91
FIGURA 89 –INCIDENCIA PORCENTUAL ORDENADA POR CATEGORÍAS AGRUPADAS DE LESIONES RELACIONADOS CON EL HORMIGÓN ARMADO	92
FIGURA 90 –INCIDENCIA PORCENTUAL ORDENADA DE LOS ELEMENTOS AFECTADOS.....	93
FIGURA 91– INCIDENCIA PARTICULAR DE LAS LESIONES CITADAS 10 O MÁS VECES EN PLANILLA N° 1 ..	96
FIGURA 92 –INCIDENCIA PORCENTUAL DE LAS LESIONES CITADAS 10 O MÁS VECES EN PLANILLA N° 1	96
FIGURA 93 – PARCIALES DE CATEGORÍAS GRAL SEGÚN SÍNTESIS 1.....	97
FIGURA 94 – PARCIALES DE CATEGORÍAS GRAL SEGÚN SÍNTESIS 2.....	98
FIGURA 95 – ACCESOS A MVD - PARCIALES DE CATEGORÍAS	99
FIGURA 96 – ACCESOS A MVD – UBICACIÓN E INCIDENCIA DE LESIONES.....	100
FIGURA 97 – RUTA 1 - PARCIALES DE CATEGORÍAS.....	100
FIGURA 98 – RUTA 1 – UBICACIÓN E INCIDENCIA DE LESIONES.....	101
FIGURA 99 – RUTA 2 - PARCIALES DE CATEGORÍAS.....	102
FIGURA 100 – RUTA 2 – UBICACIÓN E INCIDENCIA DE LESIONES.....	102
FIGURA 101 - CARTA GEOGRÁFICA DEL URUGUAY CON DESTAQUE DE RUTAS 1 Y 2 + UBICACIÓN DE PUENTES INSPECCIONADOS (EL VALOR EN ROJO MARCA EL KM).....	103
FIGURA 102 – RUTA 3 - PARCIALES DE CATEGORÍAS.....	104
FIGURA 103 – RUTA 3 – UBICACIÓN E INCIDENCIA DE LESIONES.....	105

FIGURA 104 – RUTA 5 - PARCIALES DE CATEGORÍAS	106
FIGURA 105 – RUTA 5 – UBICACIÓN E INCIDENCIA DE LESIONES.....	106
FIGURA 106 - CARTA GEOGRÁFICA DEL URUGUAY CON DESTAQUE DE RUTAS 3 Y 5 + UBICACIÓN DE PUENTES INSPECCIONADOS (EL VALOR EN ROJO MARCA EL KM).....	107
FIGURA 107 – RUTA 8 - PARCIALES DE CATEGORÍAS	108
FIGURA 108 – RUTA 8 – FACTORES BIOCLIMÁTICOS RELEVANTES (DNM, 2012)	109
FIGURA 109 – RUTA 8 – UBICACIÓN E INCIDENCIA DE LESIONES.....	109
FIGURA 110 – RUTA 9 - PARCIALES DE CATEGORÍAS	110
FIGURA 111 – RUTA 9 – UBICACIÓN E INCIDENCIA DE LESIONES.....	111
FIGURA 112 – RUTA “COSTERA” - PARCIALES DE CATEGORÍAS	111
FIGURA 113 – RUTA “COSTERA” – UBICACIÓN E INCIDENCIA DE LESIONES.....	112
FIGURA 114 – RUTA 11 - PARCIALES DE CATEGORÍAS	113
FIGURA 115 – RUTA 11 – UBICACIÓN E INCIDENCIA DE LESIONES.....	113
FIGURA 116 – RUTA 39 - PARCIALES DE CATEGORÍAS	114
FIGURA 117 – RUTA 39 – UBICACIÓN E INCIDENCIA DE LESIONES.....	115
FIGURA 118 – RUTA 60 - PARCIALES DE CATEGORÍAS	115
FIGURA 119 – RUTA 60 – UBICACIÓN E INCIDENCIA DE LESIONES.....	116
FIGURA 120 - CARTA GEOGRÁFICA DEL URUGUAY CON DESTAQUE DE RUTAS 8, 9, 11, 39, 60 Y “COSTERA” + UBICACIÓN DE PUENTES INSPECCIONADOS (EL VALOR EN ROJO MARCA EL KM)	117
FIGURA 121 - CARTA GEOGRÁFICA DEL URUGUAY CON RUTAS DONDE REALIZARON-SE INSPECCIONES BAJO EL RÉGIMEN DE “CONTRATOS DE MANTENIMIENTO” + CANTIDAD DE EVALUACIONES	123
FIGURA 122 - CARTA GEOGRÁFICA DEL URUGUAY CON RUTAS DONDE REALIZARON-SE INSPECCIONES BAJO EL RÉGIMEN DE “CONTRATOS DE MANTENIMIENTO” + CANTIDAD DE EVALUACIONES + INDICADORES DE “FISURAS”	124
FIGURA 123 - CARTA GEOGRÁFICA DEL URUGUAY CON RUTAS DONDE REALIZARON-SE INSPECCIONES BAJO EL RÉGIMEN DE “CONTRATOS DE MANTENIMIENTO” + CANTIDAD DE EVALUACIONES + INDICADORES DE “DISGREGACIÓN”	125
FIGURA 124 - CARTA GEOGRÁFICA DEL URUGUAY CON RUTAS DONDE REALIZARON-SE INSPECCIONES BAJO EL RÉGIMEN DE “CONTRATOS DE MANTENIMIENTO” + CANTIDAD DE EVALUACIONES + INDICADORES DE “MANCHAS DE HUMEDAD”.....	126
FIGURA 125 - CARTA GEOGRÁFICA DEL URUGUAY CON RUTAS DONDE REALIZARON-SE INSPECCIONES BAJO EL RÉGIMEN DE “CONTRATOS DE MANTENIMIENTO” + CANTIDAD DE EVALUACIONES + INDICADORES DE “CORROSIÓN DE ARMADURAS”	128

LISTA DE TABLAS

TABLA 1- GASTOS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO EN ALGUNOS PAÍSES EUROPEOS (UEDA, TAKEWAKA, 2007 APUD FARIAS-HELENE, 2009).....	2
TABLA 2 – VALOR CRITICO DE CLORUROS SEGÚN LA NORMATIVA DE DISTINTOS PAÍSES (DURAR-CYTED, 2000).....	36
TABLA 3 - ANCHOS DE FISURA RAZONABLES BAJO CARGAS DE SERVICIO (ACI 224 2R, 2004)	46
TABLA 4 - DEFORMACIONES REVERSIBLES E IRREVERSIBLES (MONTTOYA ET AL. 1994)	48
TABLA 5 - CLASES DE DESGASTE Y CONSIDERACIONES ESPECIALES PARA LOGRAR UNA BUENA RESISTENCIA EN PISOS Y LOSAS (ACI 302.1R APUD ACI 201.2R, 2001)	52
TABLA 6 – PROCESOS DE CORROSIÓN SEGÚN AGRESIVIDAD AMBIENTAL (CALAVERA, 1999)	55
TABLA 7 – ATAQUES AL HORMIGÓN SEGÚN AGRESIVIDAD AMBIENTAL (CALAVERA, 1999).....	56
TABLA 8 - EFECTO DE LOS AGENTES QUÍMICOS DE USO HABITUAL (ACI 201.2R, 2001).....	57
TABLA 9 - FACTORES QUE ACELERAN O MITIGAN EL ATAQUE (ACI 201.2R, 2001)	57
TABLA 10 – LISTADO DE LOS JUICIOS PRESENTES EN LOS 93 INFORMES	81
TABLA 11 – LESIONES POR ELEMENTO	94
TABLA 12 – DETALLE CON LESIONES CITADAS 10 O MÁS VECES Y DE VALOR PORCENTUAL IGUAL O MAYOR AL 2%	95
TABLA 13 – RESUMEN DE LA INFORMACIÓN SOBRE LOS PUENTES S/ RUTA	118
TABLA 14 – RESUMEN DE LA INFORMACIÓN + LESIONES PREEMINENTES SOBRE LOS PUENTES S/ RUTA	119
TABLA 15 – LESIONES DE MAYOR INCIDENCIA SEGÚN NÚMERO DE CASOS POR RUTA	120
TABLA 16 – LESIONES DE MAYOR INCIDENCIA SEGÚN NÚMERO DE CASOS POR RUTA	121

1 INTRODUCCION

La rehabilitación y mantenimiento de estructuras es hoy, según Branco (2007), un tema particularmente oportuno debido al generalizado interés presente por la optimización del patrimonio ya construido. Esta inquietud, que pasa necesariamente por el aumento en la vida útil y durabilidad de las edificaciones, implica conocer las causas que generan las anomalías, posibilitando así su mantenimiento en forma consciente, económica y durable.

El termino patología, que conceptualmente tiene sus raíces en la ciencia médica y que etimológicamente proviene de los griegos Pathos (enfermedad) y Logos (tratado o estudio) (ELEGUERO, 2004), desde nuestra óptica puede ser definido como la parte de la Ingeniería dedicada al estudio de los síntomas, mecanismos, causas y orígenes de los defectos en las obras civiles (HELENE, 2007).

Esta particular disciplina, que como rama de la Ingeniería Estructural o más ampliamente de la Ciencia y Técnica de la Construcción no constituía inicialmente un cuerpo normalizado (MESEGUER, 1985), ha ido paulatinamente venciendo obstáculos para su desarrollo pese a la reserva con que fueron siempre tratados los temas por ella estudiados; fallas de proyecto, errores de concepción, desconocimiento de suelos, materiales etc. (THOMAS, 1998). En este marco, tanto sistemas complejos sometidos a múltiples agentes de deterioro, las edificaciones han debido enfrentar la tendencia creciente de sociedades como las nuestras no muy proclives al mantenimiento de los objetos usados (FERNÁNDEZ, 1998).

Si bien los procesos degresivos no son los únicos que determinan la intervención sobre estructuras preexistentes, para Rio Bueno (2005), su creciente incidencia hace necesario el profundizar su estudio. Viabilizar esto implica conocer alcance y significado de conceptos como diagnostico, terapia, profilaxis o vida útil, los que abordados en forma holística, sistémica e integral pueden posibilitar la generación de acciones coordinadas en todas las etapas del proceso constructivo; concepción, planeamiento, proyecto, ejecución y uso (PEREIRA-HELENE, 2007 a).

En términos generales los fenómenos patológicos encuentran su origen en cada una de las etapas citadas, mostrando diferencias y similitudes según las peculiaridades del país considerado. En lo que nos es propio, y más allá que lo nuevo no puede seguir siendo nuevo¹, parece apropiado no desatender la mayor inversión realizada por

¹ Blachere (1978) apud Fernández (1998) y Peralta et al. (2005)

nuestros países en bienes de capital, las infraestructuras, las que han debido afrontar la degradación originada por los efectos del medio ambiente, el paso del tiempo, la ausencia de mantenimiento y/o los errores en su diseño y construcción (FERNANDEZ, 1998; BRANCO, 2007). Atento a esto, según Mancio et al. (2004) y Taus et al. (2005), el enfoque moderno en el diseño de estructuras es preciso incluya hoy un cuidadoso análisis de la durabilidad a largo plazo, ya que la escalada en los costos de reemplazo y el énfasis puesto en el ciclo de vida están obligando a los profesionales a tomar conciencia sobre la importancia de estos temas.

Si bien para nosotros relevantes estos problemas no nos son propios, ya que según Rio Bueno (2005) en Europa no existe en general una mínima política de conservación que incluya labores periódicas de inspección, diagnóstico y mantenimiento, lo que se ve agravado por el hecho de que en la mayor parte de los casos ni siquiera se lleva un mínimo archivo documental de la ejecución final de la obra. Esta situación que compromete cuantiosos recursos materiales, determina que según DURAR/CYTED (2000) las estadísticas muestren que en los EEUU más del 31% de la inversión total en construcción civil sea destinada a obras de rehabilitación y en los países europeos este monto se ubique en el entorno del 50% (Tabla 1)².

Tabla 1- Gastos de reparación y mantenimiento en algunos países europeos (UEDA, TAKEWAKA, 2007 apud FARIAS-HELENE, 2009)

Pais	Gastos en construcciones nuevas	Gastos en mantenimiento y reparacion	Gastos totales en construccion
Francia	85,6 billones de euros (52%)	79,6 billones de euros (48%)	165,2 billones de euros (100%)
Alemania	99,7 billones de euros (50%)	99,0 billones de euros (50%)	198,7 billones de euros (100%)
Italia	58,6 billones de euros (43%)	76,8 billones de euros (57%)	135,4 billones de euros (100%)
Reino Unido	60,7 billones de libras (50%)	61,2 billones de libras (50%)	121,9 billones de libras (100%)

Observacion: Todos los datos se refieren al año 2004, excepto en el caso de Italia que se refiere al año 2002

La realidad planteada ha determinado el creciente interés de los equipos técnicos (FREITAS et al., 2007), ya sea por razones estrictamente económicas o como alternativa válida ante los desafíos planteados por la revalorización del patrimonio arquitectónico existente (ALVAREZ, 2003; LERSH, 2003; SALAS-OTEIZA, 2009).

² En idéntica dirección según Mancio et al. (2004) el costo total directo de la corrosión en los EE.UU. se estima en unos US\$ 267 mil millones por año, lo que equivale al 3,1% de su producto nacional bruto (PNB).

Según los autores aproximadamente el 15 % de los 586.000 puentes se registran como estructuralmente deficientes debido fundamentalmente a la corrosión y el costo anual directo generado por ésta en las carreteras asociadas se estima en aprox US\$ 8,3 mil millones.

Frente a esta multiplicidad de requerimientos no permanece ajeno uno de los principales agentes de la industria de la construcción, el hormigón armado, cuya operación y mantenimiento ha sido relegada a un segundo plano debido a la errónea creencia de su supuesta inalterabilidad (BRANCO, 2007; FARIAS-HELENE, 2009). La lenta progresión del daño que éste muestra, al contrario de lo sucedido con la madera o el metal, ha hecho que se prescindiera de prácticas de mantenimiento regulares y sólo se accione ante manifestaciones externas del problema ya instalado (fisuras, desprendimientos, marcas de corrosión, deflexiones, desviación de elementos portantes etc.) (ARCILLA et. al, 2007).

Si bien el hormigón de cemento portland, según Helene (2007), ha probado ser el material más adecuado para la construcción de estructuras, según Rio Bueno (2005) muestra a diario situaciones en las que es precisa una intervención temprana a fin de verificar, mantener, restituir y/o mejorar su capacidad portante. Su proceso natural de envejecimiento, el incremento de la polución en ciudades y polos industriales, el desconocimiento del grado de agresividad de los parámetros medioambientales, recubrimientos insuficientes³, utilización de hormigones de bajo costo, falta de mantenimiento y un sin número de factores más, han motivado que la actuación sobre estas estructuras sea cada vez más frecuente (PATO-OLIVARES, 2001).

En el caso particular de Uruguay donde este material cumple un rol determinante, entendió-se valdiero explorar su situación presente tentado ofrecer un aporte en relación a lo detallado. Con este objeto, recurrió-se al MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Publicas), quien está a cargo de la construcción y mantenimiento de las rutas y puentes de jurisdicción nacional, considerando que como producto de su actividad el mismo cuenta con valiosos datos referidos a estos temas. Obtenida la información opto-se por generar una visión de carácter global, para lo cual se priorizo el especificar los daños y su ubicación en el territorio.

1.1 OBJETIVOS

En función de lo anteriormente expuesto determino-se como objetivo central del presente estudio;

³ Según Taus et al. (2005) la calidad y espesor del recubrimiento juega un rol fundamental en la durabilidad del acero ya que debe este realizar una doble tarea; crear una capa de pasivación para su protección y actuar como barrera física contra la penetración de los agresivos. No obstante, en general este no cumple bien su cometido ya que no es tan compacto como el hormigón interior al ser más poroso debido a las condiciones de colada, el efecto de los encofrados, la segregación. el "efecto pared", la rápida evaporación, la refrigeración temprana y los gradientes no lineales de humedad y temperatura.

- efectuar un relevamiento de las manifestaciones patológicas del hormigón armado en el Uruguay, empleando en particular la información referida a los puentes.

A su vez, como objetivos específicos se plantearon;

- establecer cual o cuales de estas manifestaciones son más habituales;
- valorar si con el seguimiento de algunas de ellas pudiera-se obtener una visión general del estado de conservación de estas estructuras;
- establecer que elementos son más afectados;
- Identificar las zonas del territorio donde los daños más relevantes son también más frecuentes.

1.2 ESTRUCTURA

Según lo explicitado la presente disertación organiza-se en 6 capítulos;

- en el presente capítulo 1 se abordan marco general, trascendencia y objetivos;
- en el capítulo 2 se reseñan algunos de los aspectos más significativos de “EL HORMIGÓN y el CEMENTO PORTLAND” y se detallan los “PROCESOS PATOLÓGICOS DEL HORMIGÓN ARMADO” vinculados al caso;
- en el capítulo 3 se aborda la sistemática empleada para la colecta y organización de datos;
- en el capítulo 4 se exponen los resultados a partir de lo detallado en capítulo 3;
- en el capítulo 5 se adjuntan las conclusiones;
- en el capítulo 6 se ofrecen sugerencias y recomendaciones para futuros trabajos

1.3 DELIMITACIONES

Se plantea en este sentido que las fuentes de información en el medio no son todo lo diversas que se hubiere deseado, más allá del indudable valor de lo proporcionado por el MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas).

A sí mismo, ha de contemplarse que los resultados, conclusiones y sugerencias contemplan el conjunto de la información obtenida y no una muestra, la que es recabada según una singular forma de constatar los daños y referida a una fracción de los puentes en total. En función de estas especificidades entendió-se oportuno centrar el estudio en la incidencia de las lesiones y no en su gravedad, destacando particularmente aquellas que presentan un mayor valor relativo.

2 EL HORMIGON Y EL HORMIGON ARMADO

El más antiguo hormigón descubierto hasta la fecha data del año 7000 AC y fue encontrado en 1985 cuando una niveladora descubrió un pavimento durante la construcción de una carretera en El Yiltah, Israel ⁴. Otro ejemplo al respecto refiere a alrededor del año 5600 AC y salió a la luz durante las excavaciones realizadas a orillas del Danubio en Lepenski Vir – Yugoslava.

La evidencia hasta ahora descubierta parece indicar que por el 5000 AC su fabricación puede-se haber interrumpido y tenemos que ir hasta alrededor del 2500 AC para rever la emergencia de cualquier tipo de hormigón. Si bien hay todavía informes contradictorios al respecto, parece ser un tipo de este material el empleado entre los bloques de la Gran Pirámide de Giza (Andent-Egipto 2500 AC)⁵, estimándose que con el tiempo el arte de su fabricación se extendió al Mediterráneo y en el 500 DC empleaba-se ya en la antigua Grecia (BCA, 1999).

Si bien sus primeros usuarios habituales pueden ser considerados los egipcios son los romanos, según Ramírez Ortiz (1998), quienes desde el 300 AC supusieron un hito para su desarrollo. Fueron éstos por ej. quienes documentaron su fabricación e incorporaron a los componentes básicos de entonces la “arena rosada” obtenida en Pozzuoli ⁶ con la cual lograban incrementar la resistencia. No solo establecieron el material en sí sino una tecnología para su empleo, mediante la cual les fue posible materializar realizaciones de variado tipo (palacios, edificios, puentes, acueductos, puertos, carreteras etc.). Cumplida esta etapa continuaron su evolución sumando desafíos ⁷ y es de hecho a partir de sus palabras 'Caementum” (piedra en bruto) y 'Concretus” (creciendo juntos) que contamos hoy con términos que lo describen.

No hubo grandes cambios en la elaboración hasta 1824, cuando José Aspdin de Leeds patentó la fabricación del cemento portland (material obtenido a través de la mezcla, machacado y cocción de arcilla y piedra caliza). Fue a su vez en 1830 cuando la publicación británica "The Encyclopaedia of Cottage, Farm and Village Architecture" sugirió el empleo de un entramado de varillas de hierro en el interior de la masa y dieciocho años después cuando un abogado francés sorprendió con la construcción de

⁴ Para este se emplearon los mismos compuestos básicos de hoy y cal como aglomerante.

⁵ Según algunos autores este parece ser un hormigón de cal, mientras que otros afirman que el cementante fue producido a partir de yeso quemado. Por otra parte la ilustración más antigua conocida puede-se ver en un mural de Tebas, Egipto, el que data de alrededor del 1950 AC.

⁶ La hoy denominada puzolana es el material silíceo o silíceo y aluminoso que en sí posee escaso valor cementicio, pero que finamente dividido y en presencia de humedad reacciona con el hidróxido de calcio a temperaturas habituales formando compuestos que poseen propiedades cementicias (ACI 116R, 2005)

⁷ Incorporaron materiales ligeros y bronce como refuerzo, el que falló por la diferencia existente en los coeficientes de dilatación.

un barco de tales características. Este último hito, exhibido en la Exposición de París de 1855, es el momento hoy considerado como el nacimiento del hormigón armado, pese a que ya en 1854 William Wilkinson había solicitado una patente para su uso en la protección de edificaciones contra el fuego (CPA, 2002a).

2.1 EL CEMENTO PORTLAND

El cemento portland es una compleja mezcla de compuestos que, como se dijo, es elaborado calcinando conjuntamente piedra caliza y arcilla hasta una temperatura de entre 1300°C / 1500° C, y aunque entre el veinte y treinta por ciento de esta mezcla se funde durante el proceso la mayor parte de las reacciones tienen lugar en estado sólido. Una vez enfriado el “clinker” resultante se muele hasta obtener un fino polvo de textura particular, al que se añaden pequeñas cantidades de yeso como regulador de fraguado (sulfato de calcio di hidratado).

El trabajo de los primeros investigadores, desde 1882 con Le Chatelier, ha demostrado que mayoritariamente el “clinker” cuenta con los siguientes compuestos básicos:

Silicato tricálcico (C₃S)

Silicato dicálcico (C₂S)

Aluminato tricálcico (C₃A)

Ferroaluminato tetracálcico (C₄FA)

Los silicatos (C₃S y C₂S) son los principales componentes ya que aportan alrededor del 80% de lo generado en las reacciones de hidratación y son responsables, a su vez, del desarrollo general de la resistencia. Mientras que el C₃S actúa sobre el incremento de la resistencia temprana (hasta los 28 días), el C₂S presenta una hidratación diferida, actuando fundamentalmente sobre la resistencia final. Por otra parte el C₃A, que se encuentra en pequeñas cantidades, actúa sobre el tiempo de fraguado y la resistencia en las primeras horas, haciendo su presencia vulnerable el hormigón a la acción de los sulfatos. Por último el C₄FA se considera casi un subproducto de la fabricación y actúa principalmente sobre la coloración, aportando también cierta vulnerabilidad ante la presencia de sulfatos. De esquematizar la hidratación de los silicatos podría-se obtener:



C_nS: silicatos de calcio

H₂O: agua

Gel C-S-H: silicatos de calcio hidratados o gel de tobermorita (o gel de cemento)

Ca(OH)₂: hidróxido de calcio

Mientras el gel C-S-H es el principal responsable del desarrollo de la resistencia y la durabilidad, el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (hidróxido de calcio) es muy poco resistente desde el punto de vista mecánico, ofreciendo cierta vulnerabilidad ante la presencia de aguas puras y sulfatos. No obstante, el rol de este último es fundamental para la protección del acero ya que su elevado valor de pH (aproximadamente 12,5) priva a éste de un medio apto para el desarrollo de la corrosión (CPA, 2002 a; BECKER, 2010 f). Las Figuras 1 y 2 a continuación detallan los procesos de interrelación entre las partículas de cemento y la incidencia que en estos tiene la relación a/c.

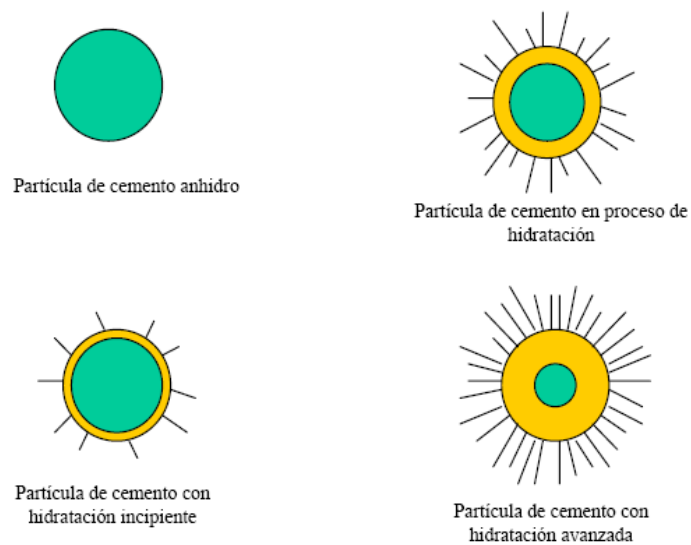


Figura 1 – Crecimiento de los cristales C-S-H (BECKER f, 2010)

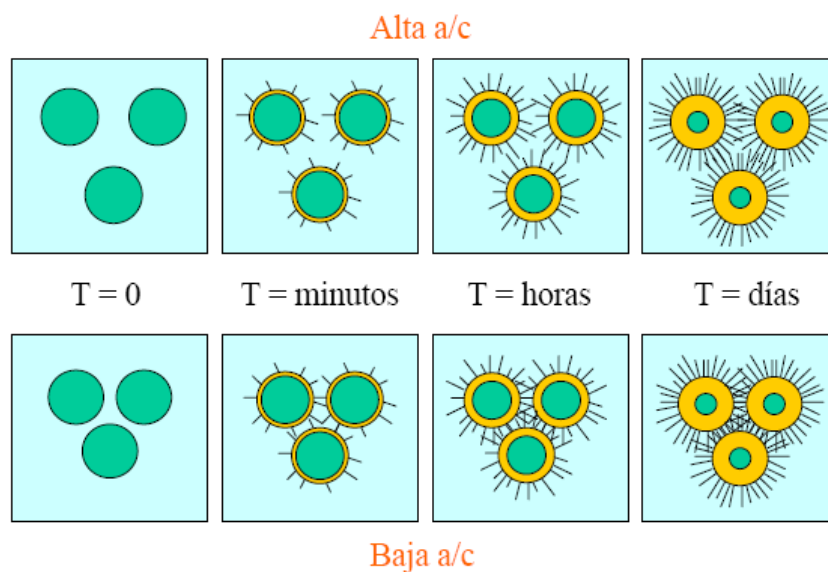


Figura 2 - Influencia de la relación a/c sobre la interrelación de los C-S-H y la resistencia de la pasta (cemento + agua) (BECKER, 2010 f)

2.2 PROCESOS PATOLOGICOS EN EL HORMIGON ARMADO

En los últimos años ha crecido el número de estructuras de hormigón armado con manifestaciones patológicas tales como corrosión de armaduras, reacción álcali agregado o lixiviación, procesos desencadenados por el envejecimiento precoz experimentado debido el uso y/o acción del medio que las rodea (PEREIRA-HELENE, 2007a).

Estos procesos patológicos, que salvo excepciones es posible afirmar no deben su origen a una única causa (Figura 3), presentan manifestaciones externas características (daños, síntomas o lesiones) que ocurren a través de un proceso o mecanismo generalmente evolutivo y con tendencia a agravarse (HELENE, 2007).

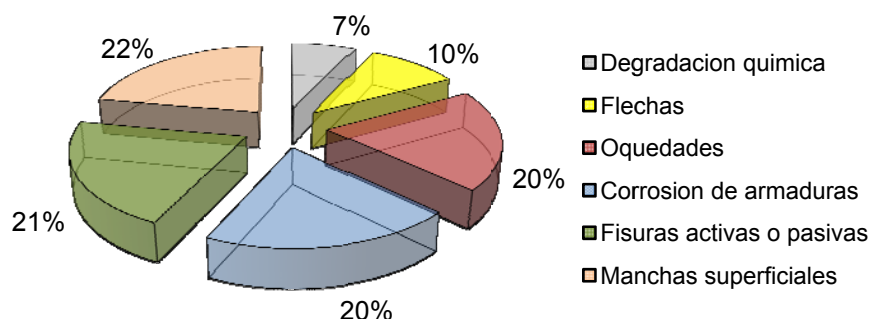


Figura 3 - Incidencia de las manifestaciones patológicas en estructuras de hormigón armado (HELENE, 2007)

Considerando que el hormigón es un material naturalmente hidrófilo (FARIAS-HELENE, 2009) es generalmente la presencia de agua el factor desencadenante de los procesos degresivos, ya que constituye éste el principal mecanismo de aporte de agresores hacia el interior. De forma genérica este ingreso puede-se producir por:

- **Permeabilidad:** Fenómeno presente ante gradientes de presión (tanques de agua, presas, canalizaciones de agua bajo presión). La mayoría de las veces no es un mecanismo importante ya que un buen hormigón puede-se considerar impermeable a la mayoría de los líquidos, más allá que no es fácil conseguir una estructura de tales características. En general hay siempre pequeños defectos por donde el agua puede percollar (fisuras, juntas frías de hormigonado, puntos de fijación de encofrados etc.). La Figura 4 marca la influencia que la relación a/c tiene en la necesidad de recubrimiento, donde puede-se observar que pasar de un valor de 0.5 a otro de 0.65 conduce a precisar el doble de espesor para obtener la misma protección. Seguidamente, la Figura 5 destaca la importancia del curado en el comportamiento de este parámetro.

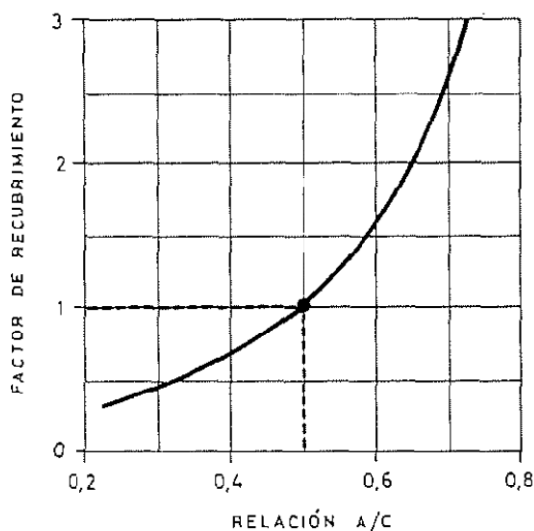


Figura 4 - Influencia de la relación a/c sobre la permeabilidad relativa al recubrimiento para proteger la armadura (CALAVERA, 1999)

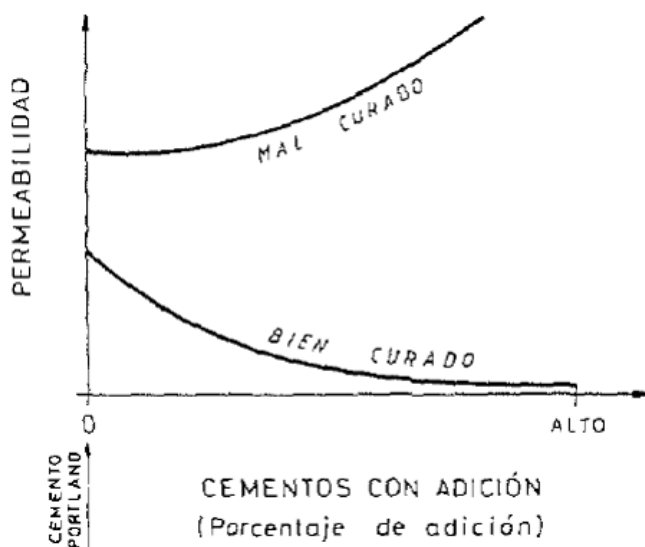


Figura 5 - Incidencia del curado en la permeabilidad del hormigón (CALAVERA, 1999)

- **Absorción capilar:** Fenómeno predominante en ausencia de presión. Los poros capilares absorben agua debido a las fuerzas de tensión superficial que actúan en sus paredes y la transportan hacia el interior. Este mecanismo colabora activamente en el ingreso de sales y humedad, deteriorando paulatinamente la estructura del elemento. Ha de destacarse en relación a los puntos citados su vínculo con la valoración del desempeño en el recubrimiento, ya que según Taus et al. (2005) la falta de un método único capaz de predecir su comportamiento ha determinado su caracterización mediante el uso de valores indirectos (absorción y permeabilidad).

- **Difusión:** Mecanismo que permite el ingreso de sustancias por el movimiento de zonas de mayor concentración a otras donde no existen o lo hacen en baja proporción, o sea gradientes de concentración (Humedad, Sales, CO₂, O₂) (ARCILLA et. al, 2007).

En términos generales, en condiciones de servicio, el hormigón debe enfrentar diversos procesos patológicos tales como los generados por los ácidos, los sulfatos y/o la reacción álcali-agregado y el refuerzo debe hacer lo propio fundamentalmente con el gas carbónico CO₂ y el ion cloruro Cl⁻ (PEREIRA-HELENE, 2007 a).

La situación planteada que incide directamente en los costos (Figura 6), pone de manifiesto la importancia de introducir preceptos de desempeño en la concepción de estructuras, proyectando no únicamente para la seguridad estructural sino también para la durabilidad.⁹ (MODEL CODE C.E.B. 90 apud CALAVERA, 1999; SANCHES DE JUAN, 2004; PERALTA et al. 2005; TAUS et. al., 2005; FARIA, 2009; FERNÁNDEZ CÁNOVAS, 2010).

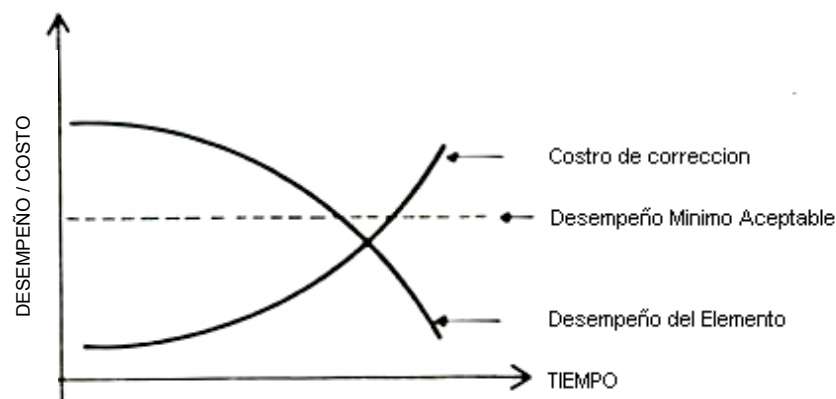


Figura 6 - Relación entre la evolución de los costos y el desempeño de los elementos estructurales (HELENE, 1988 apud PAZINI, 1989)

Si bien según Calavera (1999) han dado-se importantes avances en relación a estos temas, los directamente relacionados con la patología del hormigón no están todavía suficientemente cubiertos por la normativa, ya que el estado del arte al respecto no ha permitido alcanzar una estructura científica tal que posibilite su normalización.

No obstante, según Pereira-Helene (2007 a), existe acuerdo en el ámbito técnico sobre aspectos que han de ser contemplados si el objeto es optimizar la durabilidad de

⁸ Si bien estos no atacan deletéreamente al primero si restringen la protección que este brinda al acero

⁹ Capacidad de comportarse en forma satisfactoria sin intervenciones excepcionales durante la vida útil prevista.

estas estructuras. En este sentido, para los autores, debe ser respetada en todo caso la llamada regla de los **4C**:

- Composición adecuada del hormigón
- Compactación efectiva en la estructura
- Curado efectivo en la estructura
- Cobertura o espesor suficiente del recubrimiento

A continuación, a partir del apartado 2.3 detallan-se los PROCESOS PATOLÓGICOS DEL HORMIGÓN ARMADO en base el criterio explicitado por Monjo Carrio (2001), quien sugiere subdividir su estudio en 3 partes:

- ESTUDIO PATOLÓGICO PREVIO O DIAGNOSTICO
- ANALISIS DE LAS PRINCIPALES CAUSAS DE DETERIORO
- REPARACION Y REFUERZO O TERAPIA

En función de los objetivos plantados en esta instancia realiza-se especial hincapié en las PRINCIPALES CAUSAS DE DETERIORO, enfocando los ítems de DIAGNOSTICO y TERAPIA de forma genérica.

2.3 ESTUDIO PATOLÓGICO PREVIO O DIAGNOSTICO

El estudio patológico previo o diagnóstico es una labor eminentemente interdisciplinaria, que tiene por objeto determinar con la mayor certeza posible las causas que dieron origen al proceso patológico. En términos generales consiste en el análisis del estado actual de la estructura, para lo cual entre otros emplean-se elementos tales como; inspecciones visuales, recolección de datos, determinación del grado de urgencia de una posible intervención, detección de la etapa en que se origino el proceso de degradación, estimación de la capacidad residual etc. (DURAR-CYTED; 2000; HELENE, 2007).

Si bien según Helene (2007), la evolución tecnológica y el conocimiento actual permiten diagnosticar con certeza la mayor parte de los problemas patológicos, según Da Silva Arana (1994) el éxito de esta etapa está basado fundamentalmente en los procedimientos de inspección, realizados periódica y sistemáticamente por parte de equipos técnicos especializados. Al respecto, según Moran Cabre (1994) los profesionales actuantes han de afrontar una serie de dificultades que son inherentes a la actividad, algunas de las cuales pueden-se reseñar como síntesis a continuación:

- Falta de instrucciones, normas, recomendaciones, guías y publicaciones técnicas con criterios y reglas prácticas para el tratamiento sistemático.
- Diversidad de casos y situaciones.
- Inconvenientes económicos, sociales y medioambientales de posibles intervenciones.
- Dificultad para la obtención de información completa o suficiente sobre la estructura existente.
- Dificultad para la aplicación de métodos y técnicas de reconocimiento.
- Necesidad de suplir lagunas en la información aplicando la experiencia y el criterio personal.
- Dificultad de valorar la incidencia de defectos tales como; errores de armado, fisuración y deterioro en el comportamiento estructural, seguridad y vida útil de las estructuras.
- Necesidad de llegar a una valoración realista de la situación huyendo de la tentación de cubrir la incertidumbre con simplificaciones más o menos groseras (admisibles en el proyecto).

2.4 ANALISIS DE LAS PRINCIPALES CAUSAS DE DETERIORO

Si bien según CPA (2002 a), la mayor parte de las estructuras de hormigón armado se comporta en forma favorable, una minoría ha mostrado deficiencias originadas en defectos propios o por acción del medio que las rodea.

Las manifestaciones patológicas resultantes y su exposición es según Montoya et al. (1994) una tarea vasta para la cual se han tentado categorizaciones varias. A modo de ej., entre otras, pueden-se citar la planteada por los mismos Montoya et al. (1994); S.M Johnson (1973) apud Rio Bueno (2005); DURAR/CYTED (2000); Morales (2001); Calavera (2005) y Pereira-Helene (2007 a). Constatada esta situación busco-se ofrecer una visión global del presente tema, para lo cual opto-se por emplear el criterio adoptado por Calavera (2005) en razón de su claridad y acuerdo con los objetivos del presente estudio. Presenta-se a continuación esta clasificación con el aporte singular de varios autores.

2.4.1 Efectos Térmicos y Cambios de Humedad – Aspectos generales

Los efectos que los factores climáticos tienen sobre las propiedades del hormigón son en general adversos, afectando fundamentalmente su trabajabilidad y resistencia. En sus etapas iniciales las condiciones climáticas actúan sobre la conformación de la micro estructura, alterando los procesos de hidratación, fraguado y endurecimiento. Particularmente en el árido es donde se observa uno de los factores más trascendentes, no sólo por su comportamiento con la temperatura ¹⁰ sino por ser éste el componente porcentualmente más elevado de toda la mezcla (ORTIZ LOZANO et al. 2008).

Ya en servicio, según Husni et al. (2007), pueden ser relevantes las variaciones entre -3°C / $+70^{\circ}\text{C}$ y los cambios de humedad originados por ciclos de mojado, ya que en situaciones reales producen-se alteraciones no lineales de tratamiento analítico y conceptual similar. Al respecto, según Dal Molin (1998), las alteraciones de temperatura en el correr del día tienen por lo general poca influencia, ya que de poseer la pieza un volumen relevante su bajo coeficiente de conductividad térmica le inhabilitaría a sufrir cambios. No obstante, bajo condiciones favorables pueden-se generar variaciones importantes, las que de manifestarse en toda la sección de una pieza inducirían tensiones en los vínculos propiciando la formación de fisuras.

¹⁰ La trabajabilidad y resistencia a la compresión en el hgon son susceptibles de variación en función de la temperatura, ya que se altera la velocidad de absorción y rozamiento interno de los áridos afectando las prestaciones finales (estado fresco y endurecido) y su coste (consumo de cemento).

La acción cíclica de estos fenómenos, a su vez, provoca una acción perjudicial por acumulación de efectos, donde una fisuración inicial menor puede comprometer la durabilidad de un elemento al franquear el ingreso a los agresivos (Figura 7).



Figura 7 - Fisuración por variación térmica ambiental (PAZINI-O'REILLY, 2003)

Las diferencias de temperatura dentro de una estructura pueden también ser generadas por las velocidades a las que se pierde el calor de hidratación, ya que en función de las particulares condiciones de exposición éstas pueden enfriarla y/o calentarla en forma desigual. Planteado este escenario, si las tensiones originadas en el hormigón superan su capacidad de deformación el mismo se fisurará. En general, si las alteraciones volumétricas son provocadas por distintas tasas de disipación del calor de hidratación sólo afectarán al hormigón masivo, mientras que si son provocadas por cambios en la temperatura ambiente pueden afectar a cualquier elemento estructural (ACI 224.1R, 2007).

En lo que hace a la elaboración, según Ortiz Lozano et al. (2008), un incremento en la temperatura a la que se produce el curado acelera las reacciones de hidratación y la exposición a elevados valores durante y después del contacto inicial del cemento con el agua ocasiona una prematura hidratación de la pasta. Por otra parte según Powers (1947) apud Moreno et al. (2008), la hidratación del cemento se reduce significativamente cuando la humedad dentro de los poros capilares cae por debajo del 80%, razón por la cual ha de asegurarse este umbral mínimo con el objeto de garantizar el mayor rendimiento posible y el máximo beneficio en su utilización.

Es ilustrativo en relación a los fenómenos descritos el estudio realizado por Vidiela-Tapia (2007), donde se aprecia el deterioro producido en las propiedades resistentes

del material como resultado de su exposición a un ambiente con humedades menores a las de saturación (Figura 8).

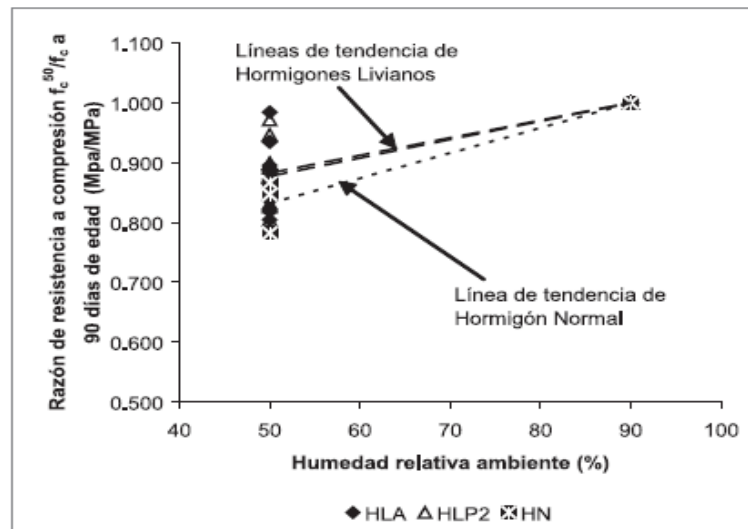


Figura 8 - Efecto de la humedad relativa ambiente en la resistencia a la compresión de un hormigón nuevo después de 83 días de secado (VIDIELA-TAPIA, 2007)

En relación a los descensos de temperatura, según Montoya et al. (1994), la contracción producida por estos es análoga a la originada por la retracción, produciéndose una acumulación de efectos donde a menudo es difícil distinguir la una de la otra. Existe no obstante la diferencia fundamental de que en el primer caso el hormigón y el acero se deforman en conjunto, aspecto que no se presenta en el desarrollo del segundo.

En términos generales los cambios de humedad y temperatura, según Pazini-O'Reilly (2003), implican fisuras activas, franqueo al ingreso de los agresivos, deterioro progresivo del hormigón y corrosión del refuerzo.

2.4.1.1 Variaciones térmicas

Si bien con frecuencia se afirma que la semejanza entre los coeficientes de dilatación del acero y el hormigón es la clave para la existencia del hormigón armado, según Calavera (2005) esto no es del todo cierto, ya que la velocidad a la que ambos varían su temperatura difiere bastante. En el hormigón este proceso es determinado por el contenido de humedad y el árido empleado (el calizo tiene coeficiente de dilatación más bajo que el silíceo), jugando un rol preponderante sus principales propiedades térmicas: conductividad, difusibilidad, calor específico y coeficiente de dilatación (DAL

MOLIN, 1988)¹¹. Según la citada autora, las variaciones generadas por los cambios de temperatura pueden someter la pieza a esfuerzos importantes, donde de excederse la capacidad resistente del hormigón, en el caso de la contracción, el resultado será la fisuración. Por otra parte, los daños causados por la dilatación generan un impacto disímil, lo que es debido al favorable comportamiento del material ante los esfuerzos de compresión.

En lo que hace a la profilaxis, según Calavera (2005), las lesiones producto de la restricción de esfuerzos pueden ser atenuadas con la disposición de juntas¹², apoyos móviles y/o dispositivos de características similares.

2.4.1.2 Pérdida de agua en las primeras edades

El hormigón en condiciones normales presenta durante un corto período de tiempo (2 a 4 horas) un estado plástico y maleable que permite, luego de mezclado, su transporte y colocación en obra para ser compactado y terminado. Después de esta etapa, conocida como “estado fresco del hormigón”,¹³ el material se consolida y pasa a un “estado endurecido” en el que adquiere resistencia mecánica por las reacciones de hidratación producidas en la pasta (BECKER, 2010 a). Una vez colocado y compactado este experimenta una segregación de sólidos con desplazamiento ascendente de parte del agua, la que es acompañada a su vez por una reducción general de volumen (Figura 9).

Este proceso por intermedio del cual de no contarse con protecciones adecuadas el hormigón perderá agua por evaporación, es el comúnmente denominado exudación o “bleeding” (MONTROYA et al. 1994; CALAVERA, 2005; BECKER, 2010 a).

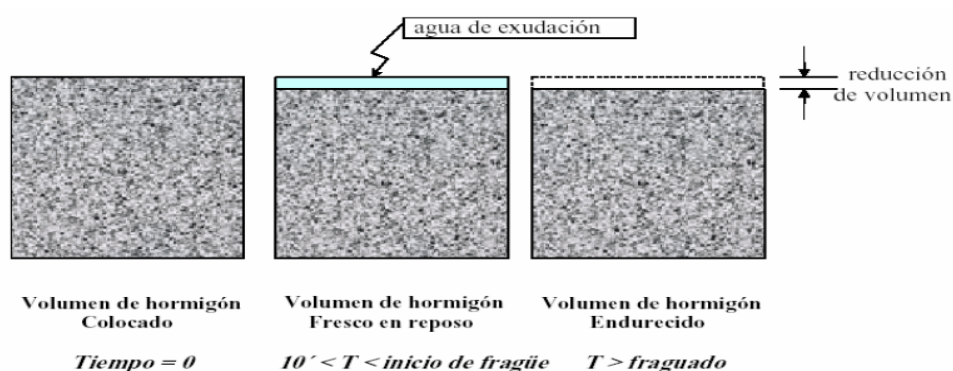


Figura 9 - Reducción de volumen por efecto de la exudación (BECKER, 2010 b)

¹¹ En el referido texto se detallan ampliamente cada una de estas propiedades.

¹² Según este autor pese al generalizado acuerdo sobre la necesidad de juntas a distancias no mayores a los 20 o 30 m, su cálculo conduce a los valores siguientes: Estructura: 60 – 100 metros / Mampostería de ladrillos: 12 - 16 metros / Cubiertas: 7 - 10 metros.

¹³ Según Calavera (2005) el proceso puede extenderse hasta las ocho horas

La exudación y sus efectos son propios del hormigón y no pueden ser eliminados, pero si reducidos protegiendo la superficie contra el secado prematuro o los cambios bruscos de temperatura (ACI 224.2R-2004). Con este objeto, según Calavera (2005), Becker (2010 a) y Becker (2010 b) deben-se diseñar hormigones con bajo contenido de vacíos, adecuada distribución granulométrica, reducida relación agua-cemento, menor cantidad de cemento, adiciones con finura comparable a la este y aditivos específicos (retardadores, aireantes). En la misma dirección, según Neville (1982) apud Dal Molin (1988), la integral valoración de este fenómeno implica también considerar la finura del cemento (cuanta mayor menor exudación), su particular tenor de álcalis y C₃A (disminuye si estos aumentan) y la presencia de Cloruro Cálcico (disminuye con su presencia).

La Figura 10 a continuación presenta el ábaco de la PCA (Portland Cement Association) mediante el cual es posible considerar la pérdida de humedad superficial a partir de la humedad relativa ambiente, la temperatura del aire, la temperatura del mismo hormigón y la velocidad del viento. A modo de ej. se muestra en éste el caso de una amplia región de la Argentina, donde considerando que la velocidad de exudación suele variar entre 0,50 y 1,00 kg/m²/h, concluye-se sobre la necesidad de proteger el material una vez vertido.

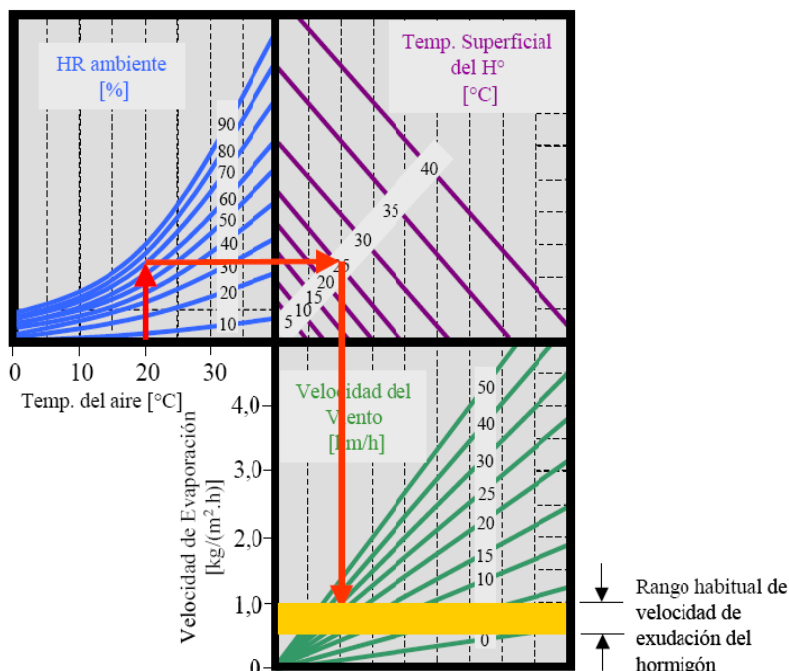


Figura 10 - Grafico para cálculo de la pérdida de humedad superficial (CALAVERA, 2005) + ejemplo según Becker (2010 a)

2.4.1.3 Sedimentación o Asentamiento plástico

Según Dal Molin (1988) y ACI 224.1R (2007), luego de su colocación, vibrado y acabado el hormigón tiende a continuar su consolidación. Durante el período en estado plástico esta puede verse restringida por las armaduras, una colada previa o los encofrados mismos, lo que localizadamente puede generar vacíos y/o fisuras adyacentes al elemento que impone la restricción (Figuras 11 y 12). Este proceso, a su vez, puede verse intensificado por deficiencias ocurridas en el vibrado y/o por el empleo de encofrados excesivamente flexibles y no estancos.

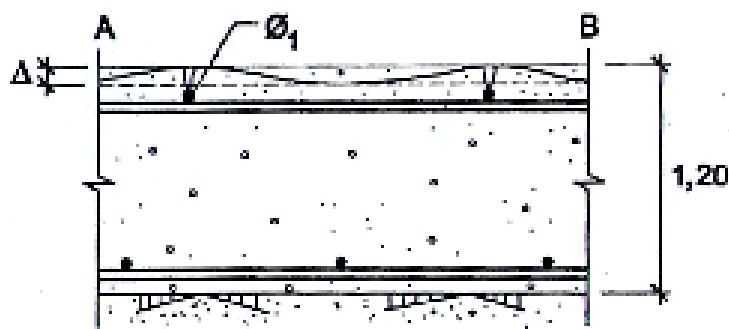


Figura 11 - Asentamiento plástico para el caso de una losa de cimentación (CALAVERA, 2005)

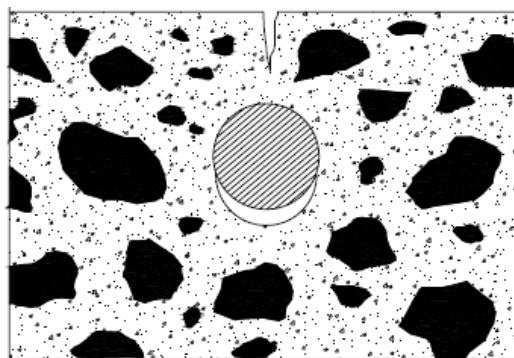


Figura 12 - Formación de fisura por precipitación obstruida (PRICE, 1982 apud ACI 224.1R, 2007)

Un aspecto fundamental para la comprensión de este comportamiento es el fenómeno ya descrito de la exudación, el que se produce básicamente por la tendencia natural a la clasificación de los componentes por densidades originada por acción de la gravedad.

El asentamiento plástico en definitiva es el fenómeno experimentado por el hormigón cuando se produce la exudación, se ve incrementado por ésta y aumenta en mezclas no correctamente dosificadas donde su exceso genera una importante reducción de

volumen. Se da en las primeras 3 horas de volcado el material y los daños, por lo general fisuras de escasa trascendencia estructural, se presentan cuando el mismo se ve coartado (ACI 224R, 2001; CALAVERA, 2005; BECKER, 2010 a).

Según Dal Molin (1988) y Becker (2010 a) la fisuración por esta causa se ubica en la zona superior de vigas y pilares y en los tramos más delgados de elementos de espesor variable, aunque para este último si la exudación es excesiva también puede presentarse en losas y estructuras laminares.

Al respecto, para Dakhil et al. (1975) apud ACI 224.1R (2007) a medida que aumenta el tamaño de las barras sucede lo propio con el asentamiento, lo que genera disminución en el recubrimiento e incremento de la fisuración. Las Figuras 13 a 15 detallan aspectos de lo reseñado.

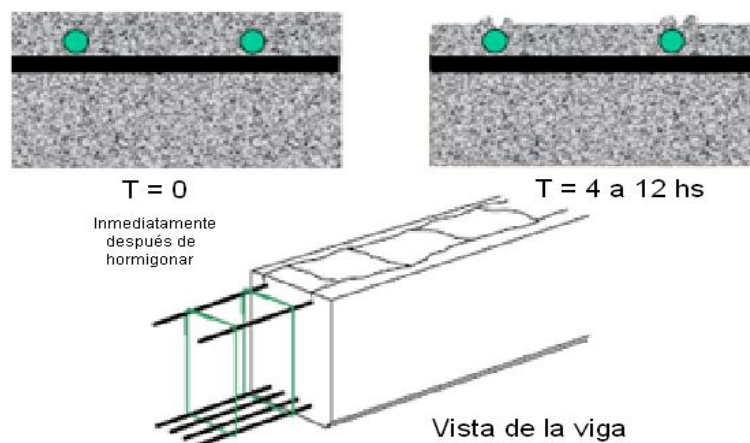


Figura 13 - Fisuras por asentamiento plástico en vigas (BECKER, 2010 a)

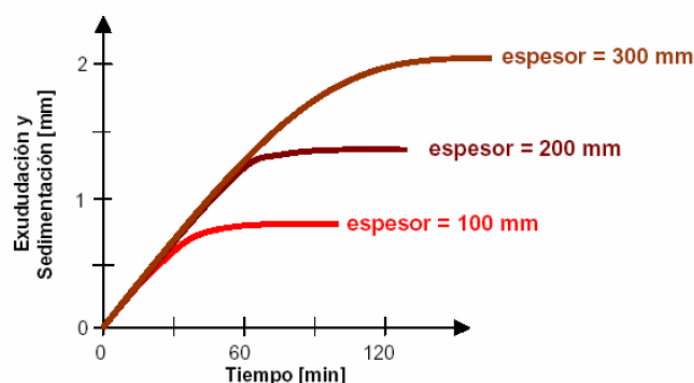


Figura 14 - Exudación y asentamiento plástico en losas de diferentes espesores (CONCRETE SOCIETY, 1992 apud BECKER, 2010 b)

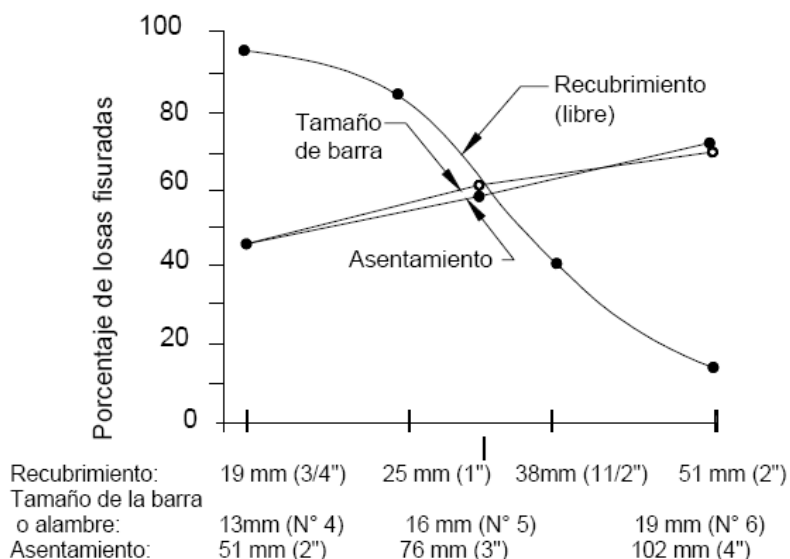


Figura 15 - Fisuración por asentamiento de los agregados en función del tamaño de la barra o alambre, del asentamiento y del recubrimiento del hormigón (DAKHIL et al., 1975 apud ACI 224.1R, 2007)

2.4.1.4 Retracción plástica

La retracción plástica es el proceso ocurrido en el lapso comprendido entre la primer y sexta hora de colocado el material y se presenta usualmente en elementos superficiales donde la tasa de evaporación supera al agua aportada por la exudación (Figura 16),

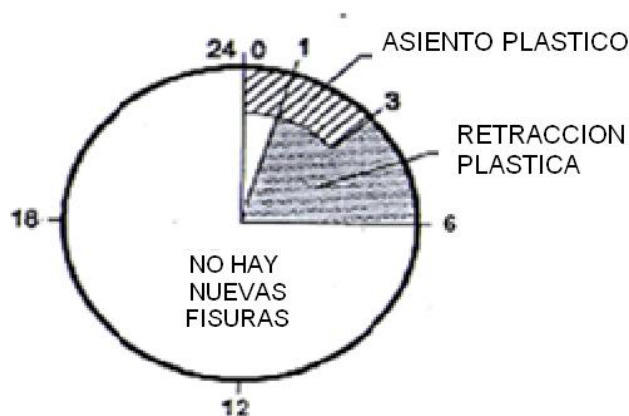


Figura 16 - Evolución de los fenómenos presentes durante el primer día del hormigón (CALAVERA, 2005)

Este es un evento típico de climas calurosos mediante el cual se generan fisuras amplias y poco profundas de escasa trascendencia estructural, salvo que sobre la superficie se alojen armaduras pasibles de ser corroídas. En términos generales se ve

incrementado por la temperatura que desarrolla el hormigón durante el proceso de hidratación y por un curado inicial insuficiente (CALAVERA, 2005).

Si bien como fuera dicho, según Montoya et al. (1994), las fisuras por esta causa son típicas de climas calurosos¹⁴, según ACI 224R (2001) y ACI 224.1R (2007) pueden darse también en tiempo frío, ya que bajo determinadas circunstancias la tasa de evaporación superficial puede superar a la producida durante el tiempo cálido¹⁵.

En relación al desarrollo del fenómeno, según Montoya et al. (1994), durante el fraguado y endurecimiento el hormigón contrae de volumen si se éste produce en el aire y entumece si se verifica en el agua. Al primer caso se lo denomina retracción y puede-se explicar por la paulatina pérdida de agua producida en la masa del material con el correr del tiempo. Aunque la explicitación de lo ocurrido es compleja, en forma simplificada puede-se decir que el hormigón contiene agua en cinco estados:

- combinada químicamente o de cristalización;
- de gel
- zeolítica o intercrystalina
- adsorbida formando meniscos en la periferia de la pasta de cemento y uniendo los granos de árido (se puede evaporar a temperatura ambiente)
- capilar o libre (se puede evaporar a temperatura ambiente)

Si el elemento no está inmerso en un ambiente permanentemente húmedo va perdiendo el agua capilar (sin cambios de volumen) y parte de la adsorbida (e incluso de la zeolítica según algunos autores), lo que origina una contracción de volumen que obliga a los granos de árido a aproximarse entre sí.

Los factores que influyen en el proceso son, según Montoya et al. (1994), el grado de humedad ambiente, el tipo y categoría del cemento (más retracción los más resistentes y rápidos), la finura de molido del cemento¹⁶ (más retracción cuanto mayor sea), la presencia de finos (cuantos más mayor retracción), la cantidad de agua de amasado (cuanto más mayor retracción), el espesor del elemento (cuanto menor mayor retracción) y el armado (las barras de refuerzo lo atenúan). Adicionalmente, según ACI 224R (2001) son la humedad relativa ambiente, el tipo y contenido de los agregados, el tamaño del elemento, la distancia desde la superficie expuesta y el

¹⁴ Montoya et al (1994) llaman a estas fisuras de "afogarado".

¹⁵ Si el hormigón ha sido calentado, el aire es frío y seco y la velocidad del viento es elevada, pueden presentarse condicionantes para la generación de fisuras en la superficie del hormigón.

¹⁶ Isaia (1984) y Neville (1982) apud Dal Molin (1988) consideran pequeña la influencia de las propiedades del cemento sobre la retracción y afirman que su finura casi no la modifica.

tiempo de secado los más determinantes y según Pickett (1956) y U.S. Bureau of Reclamation (1975) apud ACI 224.1R (2007), son el contenido de agua y la cantidad y tipo de los agregados los aspectos a considerar.

La fisuración irregular producida como resultado de la retracción plástica es previa a iniciar el curado y tanto puede ocurrir antes como después del acabado final. Usualmente estas fisuras son anchas en la superficie pero de escasa profundidad (apenas unos milímetros), aunque en el caso de pavimentos puede no ser así. Su longitud y separación varía desde unos pocos milímetros a unos cuantos metros (Figura 17) y las medidas preventivas son semejantes a las ya detalladas en el apartado 2.4.1.2. (MONTTOYA et al., 1994; CALAVERA, 2005; BECKER, 2010 a).

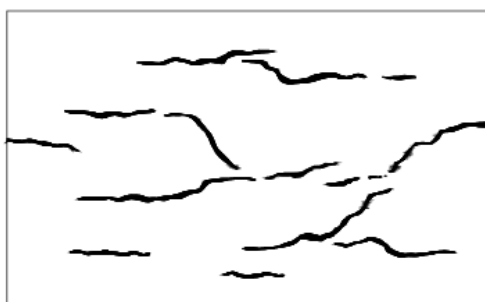


Figura 17 - Configuración típica de fisuración por retracción plástica (PRICE 1982 apud ACI 224.1R, 2007)

2.4.1.5 Contracción térmica inicial

Este fenómeno que fuera ya reseñado, según Calavera (2005) y Husni et. al (2007), es observado en toda pieza recién efectuada debido al calor producido en la hidratación del cemento, donde de no ser posible su rápida disipación se alcanzan temperaturas mayores a las de su entorno inmediato que la exponen a tensiones diferenciales (Figura 18).

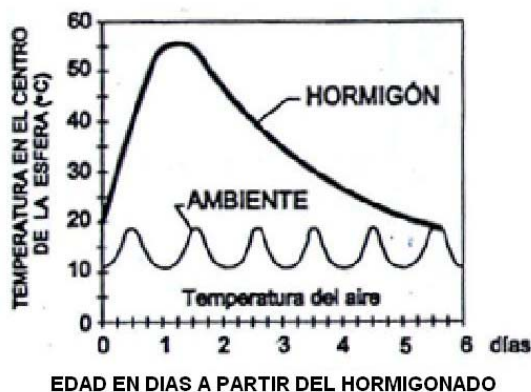


Figura 18 - Evolución de la temperatura del hormigón en relación a su entorno inmediato (CALAVERA, 2005)

Según sus características la superficie de una pieza pierde calor con mayor rapidez que el centro, produciéndose rangos de temperatura que la someten a tensiones desiguales. Mientras el centro es comprimido al ver coartada su dilatación la superficie es traccionada, generándose un estado tensional donde puede-se fisurar el hormigón (CALAVERA, 2005; ACI 224.1R, 2007; HUSNI et al. 2007). El potencial riesgo de lesiones en este caso se ve incrementado con la masividad y es usualmente visto entre el primer y quinto día de vertido el material (ACI 224.1R, 2007). A los efectos prácticos, según Calavera (2005), la contracción térmica inicial esta casi relacionada a:

- La coacción interna originada por la diferencia de temperaturas superficial e interior.
- La coacción externa ejercida por el hormigón ya existente o el propio terreno en el que se encuentra asentada la pieza.

2.4.1.6 Retracción hidráulica

Según Dal Molin (1988) y Calavera (2005) este fenómeno consiste en la disminución de volumen producida en el hormigón ya endurecido al verse expuesto a entornos no saturados de humedad, y tiene su origen según Calavera (2005) en la ocurrencia de reacciones químicas internas y en la pérdida de agua. En el mismo sentido, según ACI 224R (2001), la retracción por secado o hidráulica puede ser definida como la deformación lineal dependiente del tiempo a temperatura constante y medida sobre una probeta no cargada que se deja secar.

La contracción generada por esta causa está siempre sujeta a algún grado de restricción, ya sea por la cimentación, por otra parte de la estructura o por la propia armadura embebida en el hormigón. A si mismo, la combinación de retracción y restricción desarrolla tensiones de tracción que por lo general degeneran en fisuración, aspecto que se ve incrementado de presentarse retracción no uniforme (Figura 19).



Figura 19 - Fisuración por retracción hidráulica (FIGUEIREDO-O'REILLY, 2003)

Pese a que en términos generales las alteraciones de volumen y humedad son una característica propia del hormigón de cemento hidráulico, debido a que al secarse encoge y al mojarse expande¹⁷, los agregados reducen el volumen unitario de la pasta y proporcionan una restricción adicional interna que aminora la magnitud de estos cambios (ACI 224R, 2001; ACI 224.2R, 2004; ACI 224.1R, 2007). Si bien las Figuras 20 y 21 resaltan aspectos relativos a este tema, nótese en la segunda como señala Dal Molin (1998) el fenómeno de expansión producido en el hormigón ante condiciones de saturación.

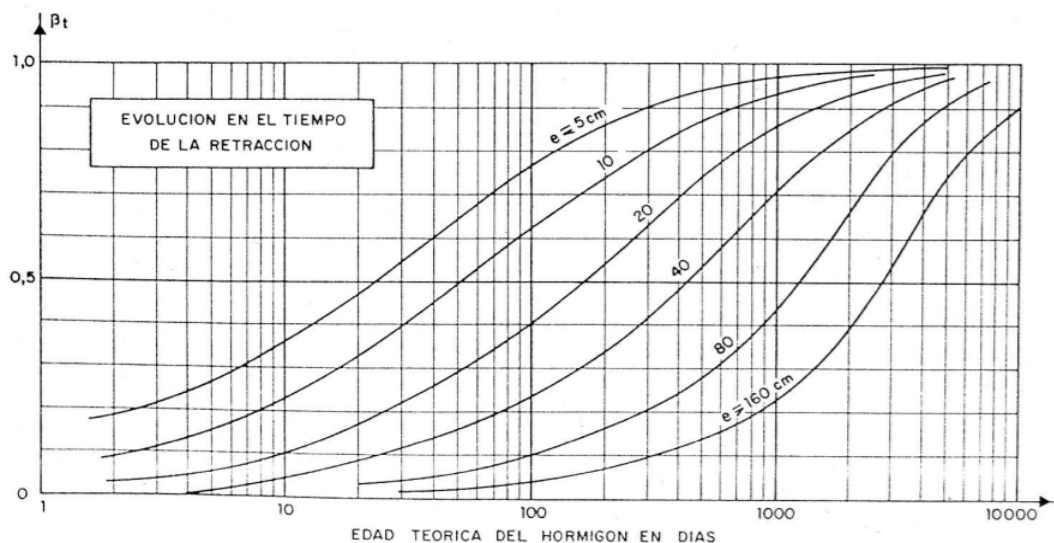


Figura 20 - Evolución de la retracción con el tiempo (MONTTOYA et al. 1994)

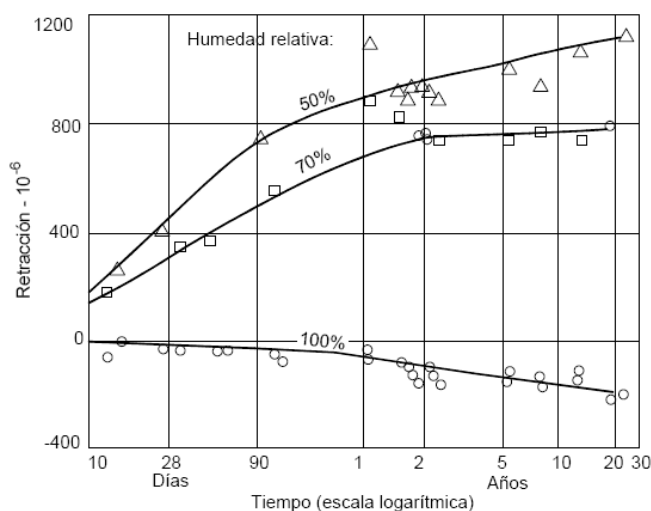


Figura 21 - Relaciones entre retracción y edad para hormigones bajo distintas condiciones de humedades (TROXEL et al., 1958 apud ACI 224R, 2001)

¹⁷ Siendo el último de los procesos no tan importante como el primero.

En relación a los agregados, si bien según Dal Molin (1988) su tamaño y granulometría no influyen significativamente en los valores finales, uno mayor permitirá una mezcla más pobre y posibilitará la atenuación del proceso. Al respecto, según Carlson (1938) apud ACI 224.1R (2007), cuanto más rígidos estos sean menor será la retracción, alterando de esta forma el comportamiento final del hormigón (por ejemplo, la retracción de uno que contiene arenisca puede ser más del doble que la de otro que contiene granito, basalto o caliza). La Figura 22 marca la incidencia que en este proceso tienen el contenido de agregado y la relación a/c.

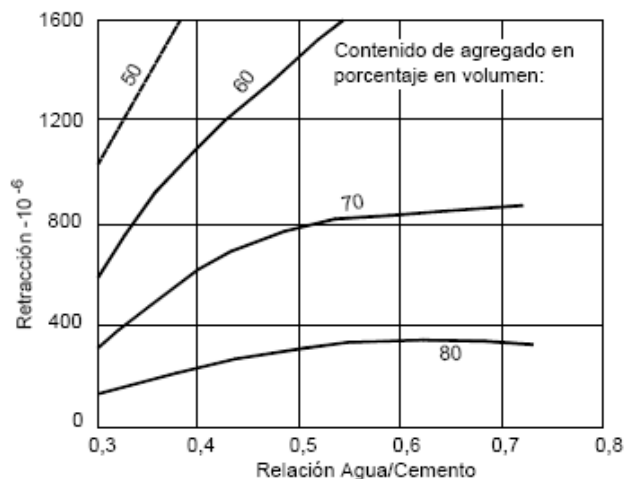


Figura 22 - Influencia de la relación a/c y del contenido de agregado sobre la retracción (OLDMAN, 1968 apud ACI 224R, 2001)

Un aspecto no menor a considerar es que si bien según ACI 224R (2001) las tensiones de tracción producidas por la restricción de la retracción reducen-se debido a la incidencia de la fluencia, el beneficio de ésta disminuye con la edad, resultando finalmente en que la tendencia a la fisuración igualmente se acrecentará. La Figura 23 detalla este efecto.

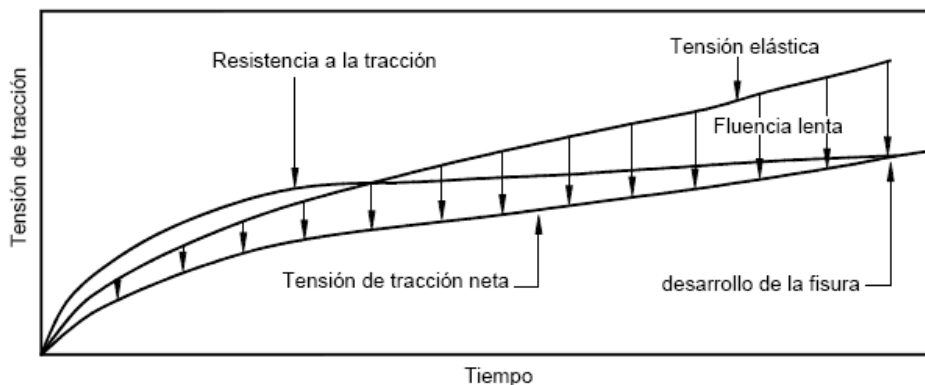


Figura 23 - Efecto de la fluencia lenta sobre la tensión de tracción (ACI 224R, 2001).

En lo que hace a su cuantificación, según Pazini-O'Reilly (2003) y Calavera (2005) el valor podría ser ubicado en torno a los 0.5 mm/m y según ACI 224.1R (2007) el mismo podría ser cercano al 1% del volumen total, más allá que como resultado de la restricción especificada este podría-se establecer en aproximadamente 0,06%. La Figura 24 ejemplifica al respecto a partir de la comparación de un hormigón normal y otro aditivado.

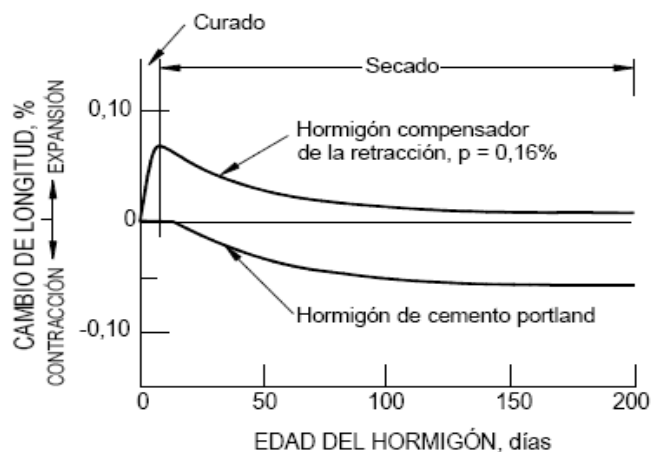


Figura 24 - Cambios de longitud en un hormigón c/compensador de retracción y en un hormigón de cemento portland (humedad relativa = 50%) (ACI 224R, 2001)

Según ACI 224R (2001), desde el punto de vista estructural no hay necesidad de separar la retracción por secado de fenómenos como la retracción autógena o por carbonatación. Si bien la capacidad de deformación del hormigón a tracción es limitada y habrá fisuración si esta se ve excedida, existe un elevado grado de incertidumbre en relación a su predicción ya que varía considerablemente en función de parámetros como; la composición y origen de los agregados, la humedad relativa ambiente, la geometría de la pieza y la relación superficie expuesta / volumen. La Figura 25 a continuación explicita el proceso en una losa de pavimento y en un pilar.

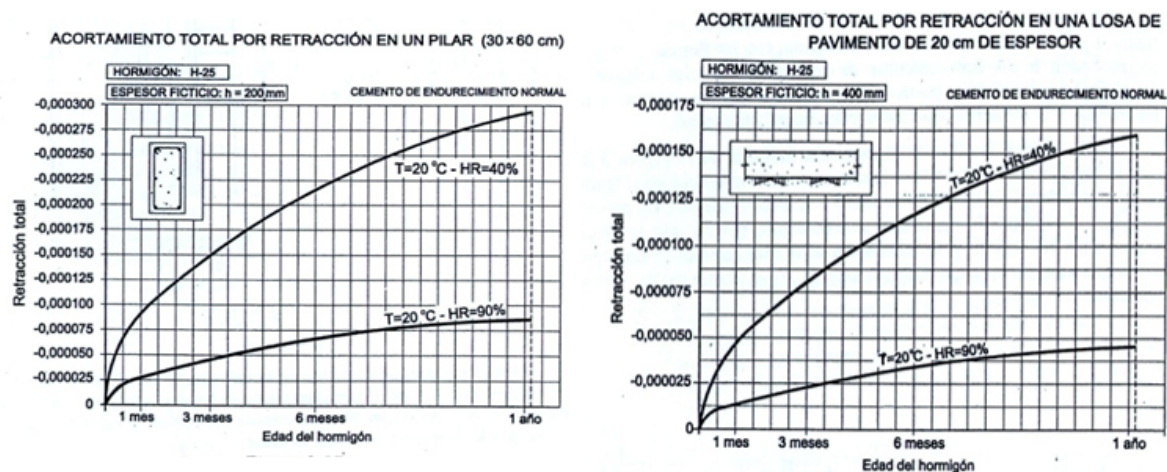


Figura 25 - Evolución de la retracción en una losa de pavimento y en un pilar (CALAVERA, 2005)

A modo de síntesis, la retracción hidráulica crece con la relación agua/cemento, el contenido total de cemento, la disminución de la humedad relativa, el aumento de la relación superficie / volumen, el exceso de vibración y el curado deficiente. A diferencia de lo ocurrido con la retracción plástica o la contracción térmica, la fisuración originada por esta causa se produce entre los primeros 15 días y el año de colado el material y se presenta fundamentalmente en épocas propicias como el primer verano o la primer aplicación de calefacción en la edificación. Estas fisuras son en general finas pero profundas y debe ser estudiada su incidencia a nivel estructural (CALAVERA, 2005).

2.4.1.7 Fisuración en mapa

La fisuración irregular en losas y muros (piel de cocodrilo) constituye un ejemplo de retracción por secado a pequeña escala, la que se presenta cuando la capa superficial del hormigón tiene mayor contenido de humedad que las más profundas. El resultado de este proceso es una serie de fisuras finas y poco profundas de escasa separación (ACI 224.1R, 2007), donde a menor espesor y mayor superficie corresponde mayor probabilidad de ocurrencia (DAL MOLIN, 1988) (Figura 26).



Figura 26 - Configuración típica de fisuras por desecación superficial (PAZINI-O'REILLY, 2003)

Análogamente según Dal Molin (1988), Pazini-O'Reilly (2003) y Calavera (2005) el fenómeno se origina en las tensiones generadas en el hormigón por la desecación de la superficie saturada durante periodos de baja humedad, y son elementos coadyuvantes la alta relación agua/cemento, el exceso de vibración, la exudación, la evaporación y la exagerada absorción de agua por parte de los áridos y/o encofrados.

La afectación al elemento es superficial (rara vez llega al centímetro), presenta escasa trascendencia estructural, se hace visible en los primeros quince días de vertido el

material y son épocas críticas para su ocurrencia todas las que presentan baja humedad relativa ambiente (CALAVERA, 2005).

Resumiendo lo hasta aquí expuesto, la Figura 27 muestra el primer año de vida del hormigón y explicita los periodos en que se producen los procesos ya citados.

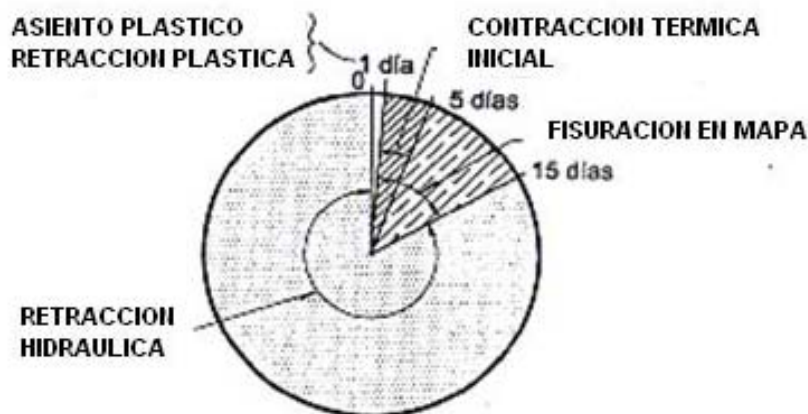


Figura 27 – Primer año del hormigón (CALAVERA, 2005)

2.4.2 Corrosión de armaduras - Aspectos generales

A excepción del oro, los metales son materiales sintéticos que el entorno agrede con el objeto de asegurar su paso a formas más estables, por lo que de alguna manera el acero empleado como refuerzo del hormigón tiene un ciclo de vida similar al de las personas que lo utilizan (CPA, 2002 b).

La corrosión de armaduras, que según Mancio et al. (2004), Calavera (2005) y Andrade-Martínez (2005) es la principal causa de daños en estructuras de hormigón armado, es el proceso electroquímico por intermedio del cual se produce la degradación (oxidación) del acero. Los factores determinantes están fundamentalmente asociados a su propia disposición, las características del hormigón y el medio en el que está inmersa la pieza. A sí mismo, las lesiones por esta causa se manifiestan generalmente con fisuras paralelas a la dirección del refuerzo, desprendimientos del recubrimiento y manchas de óxido en la superficie de hormigones húmedos.

Si bien habitualmente el acero se encuentra en estado pasivo pueden darse circunstancias en las que es destruido por un complejo mecanismo de etapas sucesivas, el que es iniciado por factores preeminentemente como la carbonatación o la presencia de cloruros. (MANCIO et al., 2007). En hormigones que no muestran

estas circunstancias son las características de las capas pasivantes quienes marcan la cinética del deterioro, conduciendo a velocidades de corrosión tan bajas que son perfectamente compatibles con las estimaciones realizadas de vida útil (GONZALES-MIRANDA, 2004).

Según Ocampo et al. (2005) y Husni et al. (2007) una vez que la corrosión ha iniciado sus daños pueden comprometer la capacidad portante de una estructura afectada, ya sea por disminución en la sección del acero y/o por la pérdida de su adherencia con el hormigón. En este sentido, según Rio et al. (2000), esta pérdida de sección puede llegar a afectar al Estado Límite Último (ELU) por el compromiso en la adherencia y capacidad portante y al Estado Límite de Servicio (ELS) por la fisuración e incremento de deformaciones.

Según Tepfers (1973) apud Molina et al. (2004) y Molina et al. (2011) el citado fenómeno de adherencia, mediante el cual se garantiza la transferencia de tensiones acero / hormigón, es quien hace posible al propio material siendo vital su preservación para la propia existencia. En este sentido, si bien esta transferencia se produce a partir de una serie de esfuerzos originados en los resaltos de las barras su confinamiento es primordial, en función de lo cual no debe-se desatender la relación presente entre el recubrimiento y el diámetro. Las Figuras 28 y 29 a continuación detallan aspectos referentes a este punto.

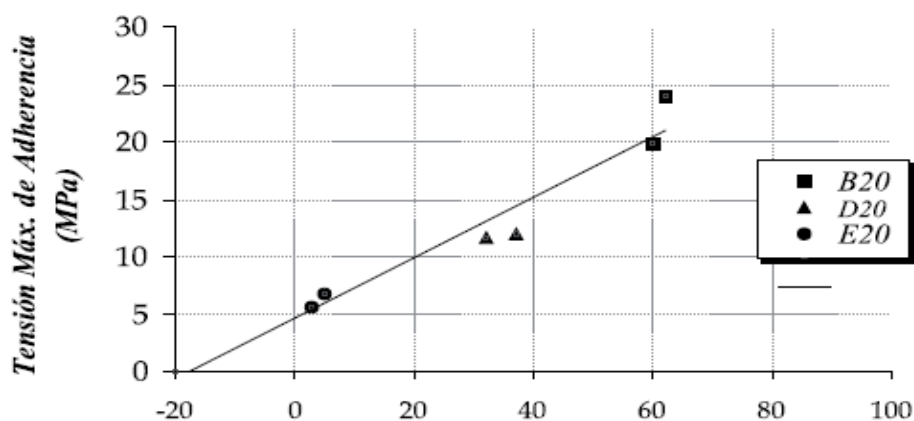


Figura 28 - Influencia del recubrimiento en la tensión máxima de adherencia (MOLINA et al. 2004)

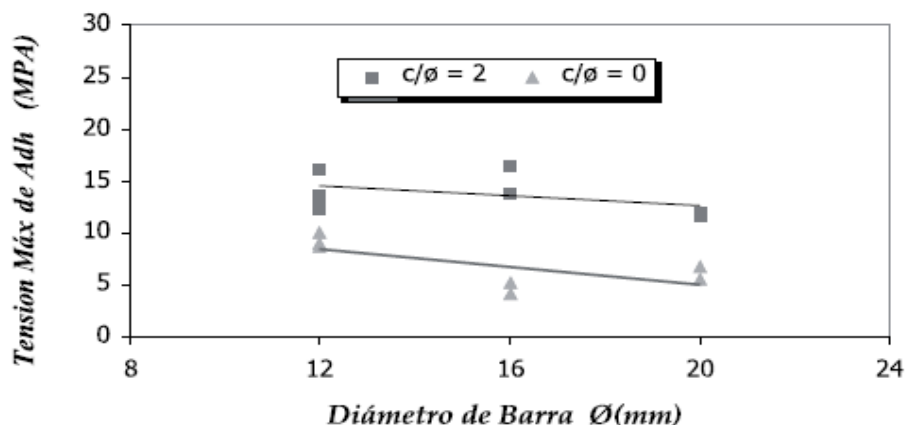


Figura 29 - Influencia del diámetro de la barra en la tensión máxima de adherencia para relación: Recubrimiento / Ø = 2 y 0 (MOLINA et al. 2004)

El proceso de corrosión genera productos expansivos cuyo volumen, según Ocampo et al. (2005), es de 2 a 14 veces el del óxido pasivante, los que de verse restringidos generan tensiones de tracción pasibles de provocar fisuración longitudinal en la pieza (paralelas a la barra) (ACI 224.1R, 2007; HUSNI et al. 2007). Este escenario reduce la capacidad de anclaje mayormente aportada por los resaltos, alterando considerablemente la adherencia ya explicitada (GRASSI-DAVIES, 2010). (Figura 30)

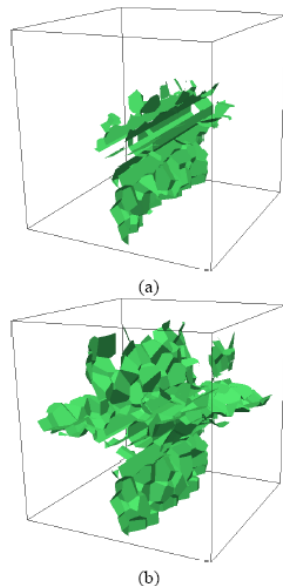


Figura 30 - Patrones de fisuración en una barra de refuerzo con 3.2% (a) y 16.8% (b) de porcentaje de corrosión (GRASSI-DAVIES, 2010)

A modo de ejemplo, según Molina et al. (2004) para el caso de vigas de esbeltez media elaboradas con hormigones de resistencia en torno a 50 Mpa y bajo condiciones de adherencia comprometida, se producirá una clara merma en la

capacidad portante. De esta forma, con un 30% de reducción en la adherencia la capacidad a flexión disminuirá entre un 10% y un 20%, con 50 % un 35% y con 70% se podría llegar a reducciones de hasta un 63%.

En lo que hace a la fisuración, si bien según Calavera (2005) con espesores de hasta 0.4 mm la velocidad de corrosión puede ser considerada mínima, los aceros y coeficientes de cálculo empleados hoy suponen muchas veces el facilitar el acceso a los agresivos, ya que el ancho de fisuras utilizado determina en ocasiones la alteración de la capa pasivante. Al respecto, según Peralta et al. (2005) el proceso de fisuración depende en gran medida de la relación recubrimiento / \varnothing , por lo cual con su solo aumento podrían-se atenuar los efectos.

Desde otra óptica, según ACI 224R (2001), el papel de este fenómeno en el deterioro del hormigón armado es un tema a discutir. Si bien una visión asegura que las fisuras reducen su vida útil al permitir el incremento de la carbonatación y el acceso de la humedad, el oxígeno y los cloruros, otra afirma que aunque aceleran el inicio de la corrosión esta será localizada. Según esta opinión, con el tiempo tanto los agresivos como el agua penetrarán igualmente en el hormigón no fisurado e iniciaran el proceso en forma generalizada, en función de lo cual al cabo de unos años poca diferencia habrá entre la corrosión de un hormigón fisurado y otro no fisurado.

En función de lo especificado, según Montoya et al. (1994), Calavera (1999) y ACI 224R (2001), los parámetros más trascendentes para la protección de una estructura de hormigón armado habrán de ser el recubrimiento y su calidad.

2.4.2.1 El proceso de corrosión

La corrosión es un proceso que, en nuestro caso, tiene lugar en la solución presente en los poros del hormigón y se observa con frecuencia en elementos de baja calidad, altas relaciones a/c y afectados por ciclos de mojado (efecto Evans según CALAVERA, 2005). En condiciones ideales la elevada alcalinidad de esta solución (pH > 12.5) aportada por los hidróxidos de sodio, potasio y calcio generados en la hidratación del cemento proporciona al acero un medio protector, en el cual su velocidad de corrosión es prácticamente nula.

Bajo condiciones favorables el oxígeno presente en la masa reacciona con el acero de la barra formando una fina capa de óxido conocida como pasivación, la que puede-se ver restringida esencialmente por dos causas: cloruros y/o disminución del pH (CPA, 2002 a; CPA, 2002 b; OLGUIN et al., 2004; OCAMPO et al., 2005; HUSNI et al., 2007;

MANCIO et al., 2007; ACI 224.1R-2007; IETCC, 2010; VALDÉS-VÁZQUEZ, 2011). La despasivación deletérea solo ocurrirá de forma significativa en ambientes sujetos a ciclos de mojado y/o con humedades relativas situadas entre el 60% y el 85%, por lo cual de hecho si esta fuera permanentemente inferior al 60% podría-se asegurar que no habría corrosión. A sí mismo, si el hormigón contara con un curado adecuado y un recubrimiento denso, básico y suficiente, se impediría el ingreso de los agresivos y el inicio de otros tantos procesos de degradación (PEREIRA-HELENE, 2007 a).

Todo proceso de corrosión electroquímica requiere la presencia de al menos cuatro elementos; a) un ánodo donde ocurre la oxidación, b) un cátodo donde ocurre la reacción de reducción, c) un conductor eléctrico donde circulan los electrones liberados en el ánodo y consumidos en el cátodo y d) un electrolito donde ocurren dichas reacciones (ACI 201.2R, 2001; CPA, 2002 a; CPA, 2002 b; NIEVES et al. 2004; CALAVERA, 2005; HUSNI et al. 2007; ACI 201.2R apud ACI 224.1R, 2007). A sí mismo, cuando el metal se corroe paulatinamente zonas anódica y catódica pueden generarse en varios puntos de la misma barra, posibilitando la formación de procesos similares en forma simultánea ¹⁸ (CPA, 2002 b). La Figura 31 representa sintéticamente el funcionamiento de una celda de corrosión electroquímica.

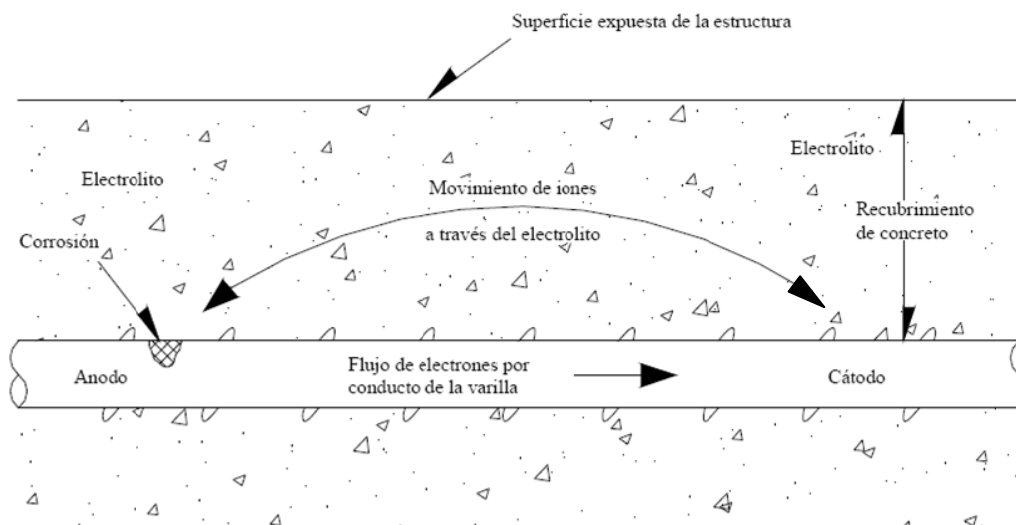


Figura 31 - Representación esquemática de una celda de corrosión electroquímica en el hormigón armado (NIEVES et al. 2004)

Según ACI 224.1R (2007) las fisuras transversales generalmente no causan un proceso de corrosión continuo, siempre que el hormigón presente en la zona cuente como característica la de su escasa permeabilidad. Si bien en este caso la porción

¹⁸ Según Córdoba-Castro Borges (2008) el efecto del par galvánico disminuye un par de semanas después de realizar reparaciones locales

expuesta de la armadura actúa como ánodo y cuanto mayor esta sea mayor será la corrosión, para que el fenómeno no se vea alterado debe haber humedad y oxígeno en distintas partes de la misma o en otras eléctricamente conectadas¹⁹.

Los productos de corrosión también pueden generar en ocasiones una ancha brecha en el plano de las barras, lo que deriva generalmente en desprendimientos laminares próximos a la superficie (ACI 224.1R, 2007; HUSNI et al. 2007). Por otro lado, si la combinación de espesor y densidad en el recubrimiento restringen el flujo de humedad y oxígeno dice-se que el proceso de corrosión es autocurante (VERBECK, 1975 apud ACI 224.1R, 2007), caso contrario, de formarse una fisura longitudinal paralela a la armadura el proceso podrá continuar al perderse la pasividad en varios puntos del trayecto.

Según Husni et al. (2007), el tiempo para que estas lesiones se hagan visibles depende tanto de la calidad y espesor de la cobertura como del diámetro y ubicación de las barras. A modo de ejemplo, la Figura 32 representa la fisuración en una viga según el porcentaje de acero afectado.

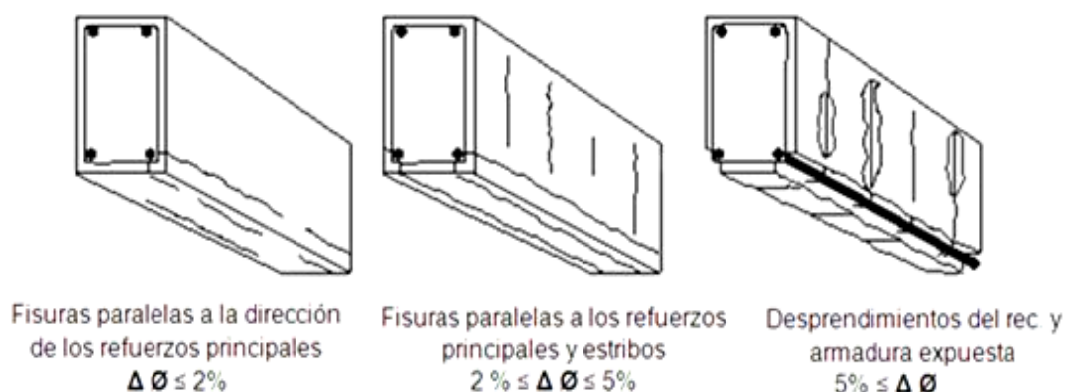


Figura 32 - Representación esquemática sobre la evolución de la fisuración en vigas de hormigón armado afectadas por corrosión (HUSNI et al. 2007)

Desde una óptica general según DURAR-CYTED (2000) es posible distinguir diversos tipos de corrosión, cuyas características y detalles son ampliamente tratados en el texto explicitado. Puntualmente y a modo de guía puede-se reseñar que éstos son:

CORROSIÓN LOCALIZADA

Corrosión por picaduras

Corrosión en espacios confinados

¹⁹ Esto puede darse por contacto directo o mediante medios alternativos como los herrajes o soportes de las armaduras

Corrosión bajo tensión

Corrosión por corrientes de interferencia

CORROSIÓN UNIFORME O GENERALIZADA

CORROSIÓN GALVÁNICA

Sintetizando lo hasta aquí expuesto, según Helene (2007), en el proceso de corrosión podrían-se distinguir las siguientes cuatro fases:

Fase A: período de tiempo que toma a los agresivos penetrar en el hormigón y despasivar la armadura. Según el autor este varía por diversas causas y hasta el mismo componente puede, y de hecho casi siempre ocurre, ser muy diferente según la cara considerada. En función de esta singularidad es posible que apenas una de ellas este despasivada mientras las otras no. Por otro lado, este es el período de tiempo donde el material efectivamente se corresponde con su nombre, "hormigón armado", ya que en ocasiones su concepción presupone una armadura indefinidamente pasiva dentro de un hormigón eternamente alcalino.

Fase B: período requerido entre la despasivación y la aparición de fisuras provenientes de la expansión de los productos de corrosión. Depende mucho de las condiciones de exposición, pero fundamentalmente de la humedad relativa ambiente y la humedad de equilibrio entre el hormigón y su entorno. Cuanto mayor sea la HR menor será el período para fisurar, desde que esta sea inferior a 99% durante al menos una estación climática al año. Una vez instalado el proceso cuanto menos poroso sea el hormigón (mayor resistencia y menor relación a/c) más rápido se producirá la fisuración, ya que habrá menos espacio para acomodar los productos generados por la corrosión. A modo de ej. un material compacto de unos 20 MPA con una barra de 12 mm a 20 mm de profundidad (recubrimiento), puede-se fisurar con apenas el 0,2% de la sección corroída.

Fases C/D: periodo de tiempo en el que se producen desprendimientos, se hacen visibles las armaduras y las lesiones se generalizan. Las Figuras 33 y 34 ilustran lo señalado.

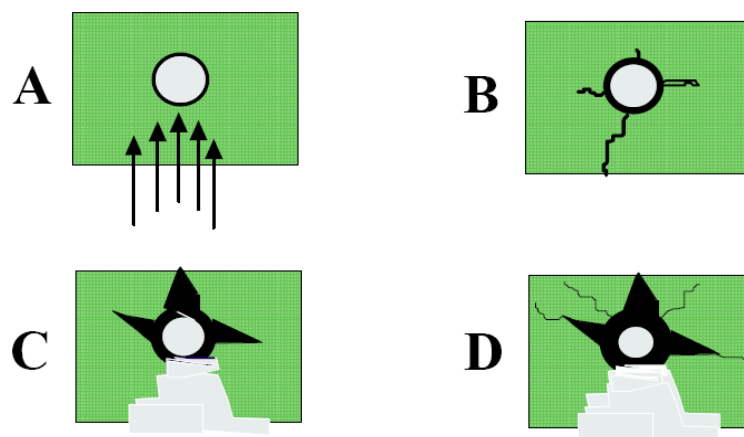


Figura 33 - Representación gráfica de la evolución del deterioro en estructuras afectadas por corrosión de armaduras (HELENE, 2010).



Figura 34 - Corrosión del acero de refuerzo (PAZINI-O'REILLY, 2003)

2.4.2.2 Ataque por cloruros

Si bien según Husni et al. (2007) el contacto del acero con una concentración crítica del ion cloruro provoca su despasivación y corrosión localizada²⁰, lo que depende de factores como el pH, la cantidad de aluminato tricálcico (C_3A) en el cemento y el contenido de humedad, para Mancio et al. (2008) la capa pasiva que protege al acero puede-se descomponer incluso si el pH de la solución se mantiene sin alteraciones. Según este autor la hora exacta en que da inicio la descomposición no se conoce a ciencia cierta, pero si se sabe que los agentes químicos agresivos es probable salven la red de capilares y micro grietas y ataquen al refuerzo.

Según Helene (2010) el fenómeno no es perceptible al ojo humano, no reduce la resistencia ni altera el aspecto del hormigón, pero al llegar a la armadura promueve una corrosión muy seria con aparición de manchas, fisuras, desprendimientos y

²⁰ Los cloruros son agresores por excelencia de la capa pasiva la cual rompen por picado (pitting)

perdidas de sección y adherencia, las que pueden llegar incluso al colapso de la estructura o de alguna de sus partes.

Según la CPA (2002 b), la cantidad necesaria para iniciar y mantener el proceso de corrosión depende fundamentalmente de la alcalinidad del hormigón, ya que se ha demostrado existe una relación casi lineal entre la concentración de hidroxilos y el límite crítico de cloruros. En relación a éste, según Husni et al. (2007) su valor es generalmente ubicado en el 0.4 %²¹, pese a que como detalla la Tabla 2 existen disimilitudes según el país considerado.

Tabla 2 – Valor crítico de cloruros según la normativa de distintos países (DURAR-CYTED, 2000)

PAIS	NORMA	LIMITE MAX. DE CL	REFERDO A
USA	ACI 318	≤ a 0,15 % en ambiente de CL	cemento
USA	ACI 318	≤ a 0,3 % en ambiente normal	cemento
USA	ACI 318	≤ a 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 0,4 %	cemento
EUROPA	EUROCODIGO 2	≤ al 0,22 %	cemento
JAPON	JSCE-SP 2	≤ a 0,6 Kg / m ³	hormigon
BRASIL	NBR 6118	≤ al 0,05 %	agua

Segun Campbell (1991) apud Ocampo et al. (2005), es importante también en estos casos determinar el grado de carbonatación, ya que si bien en hormigones nuevos cuyo pH se ubica en torno a 13 requieren-se de 7,000 a 8,000 partes por millón (ppm) para el inicio de la corrosión, su descenso a 10 u 11 sitúa este umbral en unas 1000 ppm o menos.

Otro aspecto sobre el que reflexionar es el particular emplazamiento de la pieza, ya que bajo determinadas circunstancias la incidencia de estos agresivos puede hacer necesaria su valoración. A modo de ej. según Bermúdez-Gutiérrez (2007) para el caso de testigos sumergidos en la costa Mediterránea²², pese a que la difusibilidad se ve atenuada por la ausencia de oxígeno, las conclusiones permiten determinar que su velocidad es mucho mayor a la esperable. En idéntica dirección, según Mancio et al.

²¹ En peso respecto del contenido de cemento en la masa del hormigón

²² Fck a los 28 días 25 MPa y contenido de cemento 300 kg/m³

(2007) la singular exposición a que se ven expuestos los pasadores de pavimentos²³ acelera los procesos de deterioro, poniendo el énfasis en la necesidad de realizar una especial consideración.

Si bien la presencia de cloruros puede ser originada por la interacción con el medio, las sales de deshielo o la utilización de aditivos y/o agregados (CPA, 2002 b; HUSNI et al. 2007; HELENE, 2010), según Pereira-Helene (2007 a), su ingreso se verá obstaculizado de contarse con un entorno cuya HR sea menor al 60% en forma constante. A partir de esta circunstancia, según los autores, siempre que se constate el ingreso de cloruros se estará ante condiciones aptas para el inicio de la corrosión.

En lo que hace a la optimización de la durabilidad sobre estructuras sometidas a agentes de este tipo, puede-se acudir por ej. a los estudios realizados por Giannotti Da Silva et al. (2008) mediante el uso de sílice de cáscara de arroz como adición al cemento portland²⁴, por Joukoski et al. (2004) sobre muestras realizadas con distintos tipos de cemento (CPII-F 32 / una sin adición y otra con adición de 8% de humo de sílice en sustitución de agregados finos y CPV-ARI RS)²⁵ y por Yamaji et al. (2005) con la utilización de distintas clases de coberturas.²⁶

En relación al diagnóstico es importante en estos casos determinar el perfil de ingreso, para lo cual es necesaria la extracción de muestras a distintas profundidades y particularmente en las proximidades del acero (PEREIRA-HELENE, 2007 b). La Figura 35 exhibe los daños por esta causa y la 36 detalla aspectos relativos al proceso.

²³ Los pasadores proporcionan una conexión mecánica entre las losas para limitar el movimiento vertical sin restringir el movimiento horizontal.

²⁴ Este concluye que con una sustitución volumétrica del 10 % se obtienen mejoras adicionales en la resistencia a tracción, compresión y penetración de cloruros.

²⁵ Este concluye que los mejores resultados fueron obtenidos por la mezcla realizada con CPII-F 32 (Cemento Portland compuesto con filer) y humo de sílice seguidos por el CPV-ARI RS (Cemento Portland de alta resistencia inicial, resistente a sulfatos)

²⁶ El estudio de especímenes sumergidos 15 años y protegidos con diversas coberturas determinó que casi ningún cloruro había penetrado. Como resultado casi no se detectó corrosión en las barras



Figura 35 - Poste de hormigón con proceso de corrosión por ataque de cloruros (JOUKOSKI et al. 2004)

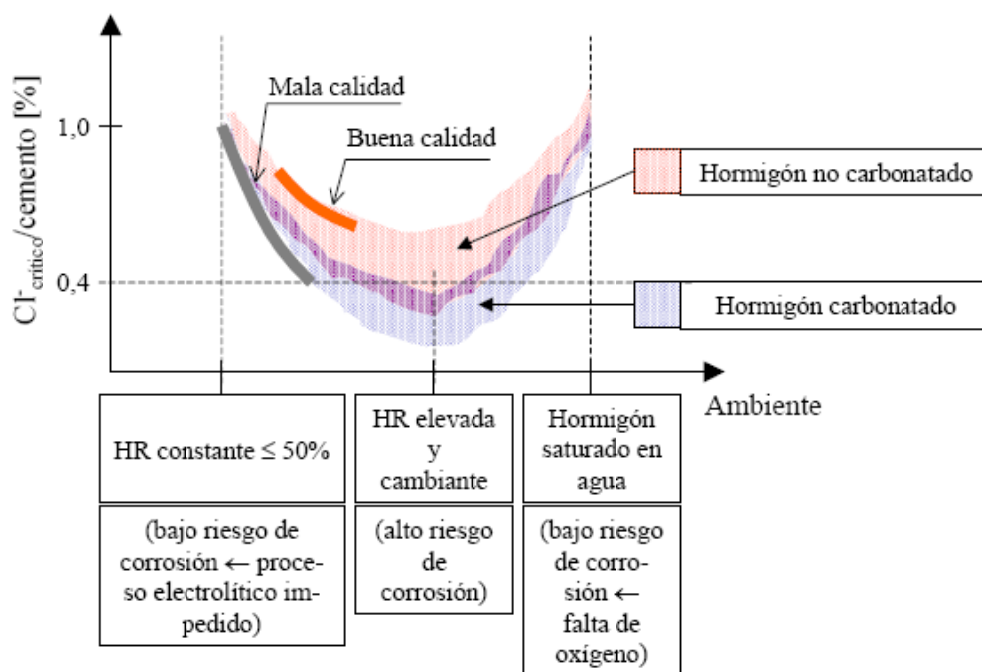


Figura 36 - Esquema de variación del contenido crítico de cloruros en función de la calidad del hormigón y la humedad relativa ambiente (ANDRADE, 1988 apud BECKER, 2010 a)

2.4.2.3 Disminución del pH en el hormigón

La disminución del pH en el hormigón y la consiguiente despasivación del acero puede-se originar en la lixiviación de sustancias alcalinas o debido a la carbonatación, aspectos que serán detallados a continuación.

2.4.3 Carbonatación

Esta particular reacción acida es debida a la penetración por difusión del dióxido de carbono (CO_2) atmosférico en la estructura porosa del hormigón, donde reacciona con el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y otros álcalis (Sodio y Potasio) resultantes de la hidratación del cemento (CALAVERA, 2005; PAULETTI et al., 2007; HUSNI et al. 2007; MANCIO et al. 2008).

Si bien el fenómeno en si no es perceptible a simple vista, no reduce la resistencia del hormigón y hasta aumenta su dureza superficial, al llegar a la armadura promueve su corrosión con aparición de manchas, fisuras, desprendimientos y pérdidas de sección y adherencia (PEREIRA-HELENE, 2007 a).

Como resultado de la reacción entre el dióxido de carbono (CO_2) y el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) se forma en el hormigón carbonato de calcio (CaCO_3), lo que deriva en su contracción y acidificación²⁷ (HUSNI et al. 2007; MANCIO et al. 2008). Esta alteración dimensional, que según ACI 201.2R (2001) y ACI 224.1R (2007) es originada por la diferencia de volumen entre el carbonato de calcio (CaCO_3) y el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), puede provocar un importante grado de fisuración superficial y según NCMA-TEK 10-1 A (2005), para el caso de un muro de mampostería de unos 100 pies (30.48m), podría llegar a generar una reducción de hasta 0,3 pulgadas (7,6 mm). No obstante, según ACI 224R (2001), de presentar el hormigón buena calidad y baja porosidad la retracción será escasa, ya que el dióxido de carbono no podrá penetrar en el elemento más que unos 12 mm (0,5 in.).

El proceso de carbonatación se incrementa sobre hormigones de baja calidad (MORENO-SOLIS CARCAÑO, 2005) expuestos a ambientes cuya humedad varía entre el 50 y 70 % (CPA, 2002 b; HUSNI et al. 2007) y será tanto más intenso cuanto mayores sean estos cambios y los de temperatura. Se inicia a partir de la interrupción del curado y por su intermedio el elevado pH inicial del hormigón se reduce a valores cercanos a 9 (CALAVERA, 2005).

²⁷ Según Mancio et al. (2008) se llega a valores de pH 8 y la capa pasivante se descomponen con 10 /11

Al respecto, según Verbeck (1958) apud ACI 201.2R (2001), para HR menores al 25% el grado de carbonatación podría ser considerado insignificante y si esta superara el 75% la propia humedad presente en los poros restringiría la penetración de CO₂ (hormigones relativamente permeables sufren una carbonatación más rápida y extensa que los densos y bien curados). Coincidentemente con lo expresado, según Ocampo et al. (2005) y Pauletti et al. (2007) es en condiciones de baja humedad (menores a 50%) y de saturación que el proceso se verá condicionado y es en el rango de 50% a 85% que han de ser considerados los riesgos asociados²⁸. La Figura 37 a continuación muestra el gráfico de G. Cochet & F. Sorrentino donde se marca la relación existente entre HR y Carbonatación.

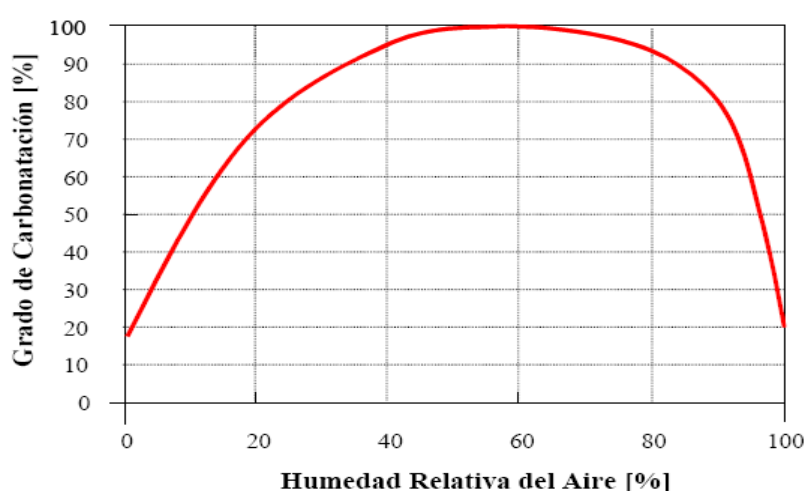


Figura 37 - Grado de carbonatación del hormigón en función de la HR ambiente (G. COCHET & F. SORRENTINO, 1995 apud BECKER, 2010 a)

A modo de síntesis, según ACI 201.2R (2001) y Becker (2010 a) la carbonatación depende fundamentalmente de la humedad relativa ambiente, la temperatura²⁹, la permeabilidad del hormigón y la concentración de CO₂. En relación a lo último ha de destacarse que si bien según Pauletti et al. (2007) y Mancio et al. (2008) este es un factor relevante para evaluar el avance del frente afectado, existen diferencias en lo que hace a su cuantificación. Estudios realizados parecen indicar que el mismo aumenta a medida que lo hace el CO₂ hasta un valor hoy desconocido y después decae, por lo cual el solo incremento de su tenor no conducirá a mayores profundidades de carbonatación.

²⁸ Según Helene (2010) la despasivación deletérea solo ocurrirá en ambientes sujetos a ciclos de mojado y/o cuando la humedad relativa se ubique entre el 60% y el 98%

²⁹ Según Papadakis et al (1991) apud Pauletti et al. (2007) esta prácticamente no ejerce influencia en el rango de entre 20 °C y 40°C dado que el proceso es controlado por la difusión y según Neville (1997) apud Pauletti et al. (2007) pequeñas variaciones no tendrán mayor influencia en la profundidad carbonatada.

En lo que hace a una de las causas promotoras de su desarrollo, la porosidad, según Arcilla et. al (2007) esta puede ser reducida disminuyendo la relación agua/cemento mediante incrementos de este último, lo que explicaría recomendaciones internacionales para su uso en cantidades de hasta 450 kg por m³. Al respecto, según ACI 201.2R (2001), CPA (2002 b) y Arcilla et. al (2007), un adecuado proceso de curado reduce la porosidad a valores muy bajos, lo cual es primordial para asegurar una apropiada protección contra la acción agresiva de ciertos ambientes.

Según Ludwig (1980) et al. ACI 201.2R (2001), la reacción del cemento hidratado con el CO₂ es generalmente un proceso lento y según Kobuku-Nagasaki (1989) apud Pauletti et al. (2007), ante condiciones naturales de exposición (0,03% a 1% de CO₂) pueden-se requerir varios años para la ocurrencia de eventos pasibles de ser evaluados.³⁰ La Figura 38 enseña una muestra con fenolftaleína, reactivo generalmente empleado para la detección del frente carbonatado (incoloro).



Figura 38 – Muestra de hormigón a la que se ha aplicado la técnica de la fenolftaleína (OCAMPO et al. 2005)

2.4.4 Fisuración

La fisuración es un fenómeno propio del hormigón armado en razón de las tensiones generadas en la interface acero / hormigón, las que se presentan una vez que este es cargado y/o puesto en servicio. Para su consideración han de ser atendidos una serie de parámetros determinantes (Figura 39) y su exceso puede generar condiciones aptas para el inicio o aceleración de importantes procesos de degradación (CPA, 2002 b; GRASSI, 2009).

³⁰ Para relaciones a/c por encima de 0.6 aproximadamente al año es posible obtener datos y para relaciones a/c de 0.5 este lapso podría extenderse hasta los 20 años.

GEOMETRIA	TRAZADO / ABERTURA / PROFUNDIDAD LIGADA A ARMADURA O NO RELACION CON LA GEOMETRIA DEL ELEMENTO
DISEÑO	INTERGRANULAR / TRANSGRANULAR / MIXTO PROPAGACION A TRAVES DE GRANOS O RODEANDOLOS FISURA LIMPIA O SUCIA
APARICION	ANTES / DURANTE / DESPUES DEL CURADO ANTES / DESPUES DE TERMINADA LA OBRA / OBRA EN SERVICIO DIA Y HORA DE OCURRENCIA (SI ES POSIBLE)
EVOLUCION	FISURA ACTIVA (VIVA) O PASIVA (MUERTA) VARIACION DE: ABERTURA COMPORTAMIENTO
LOCALIZACION	TIPO DE ELEMENTO (S) ORIENTACION SOLAR CONSIDERACION DE ELEMENTOS ANALOGOS RITMO GENERAL DE LA OBRA RITMO DE ABASTECIMIENTO DE: CEMENTO OTROS COMPONENTES HORMIGON
ORIGEN	AMBIENTE EXTERIOR MECANICO: ESTATICO DINAMICO FISICO QUIMICO

Figura 39 - Aspectos a contemplar en la valoración de la fisuración del hormigón (MESEGUER, 1988 apud PAZINI, 1989)

Según Calavera (2005) en el hormigón armado existen dos tipos de fisuras:

- Estructurales. Son las causadas por elongaciones ante excesivas sollicitaciones de las cargas.
- No estructurales. Son las producidas en el hormigón durante su estado plástico o endurecido por causas atribuibles al comportamiento de los materiales. Algunas de estas y sus características han sido ya mencionadas en apartados precedentes (asentamiento plástico / retracción plástica / contracción térmica inicial / retracción hidráulica / fisuración en mapa).

En lo que hace a las primeras, pueden-se distinguir a su vez las siguientes:

- *Las debidas a la elongación de las armaduras:* son características de piezas sometidas a tracción y flexión simple o compuesta y se generan por la imposibilidad del hormigón en equiparar la deformación del acero (Figura 40).
- *Las debidas a tensiones de tracción presentes en el hormigón:* un caso típico son las causadas por el esfuerzo cortante (Figuras 41 y 42).
- *Por compresión excesiva del hormigón:* son de escaso espesor y paralelas a la dirección del esfuerzo (Figura 43).

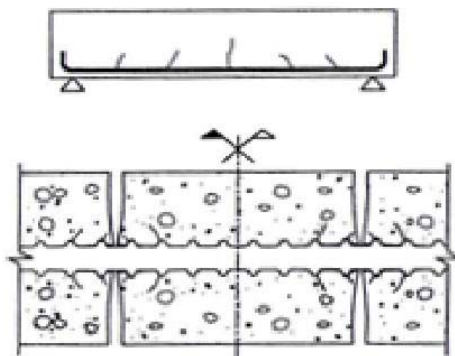


Figura 40 - Fisuras producto de la imposibilidad del hormigón de seguir la deformación del acero (CALAVERA, 2005)

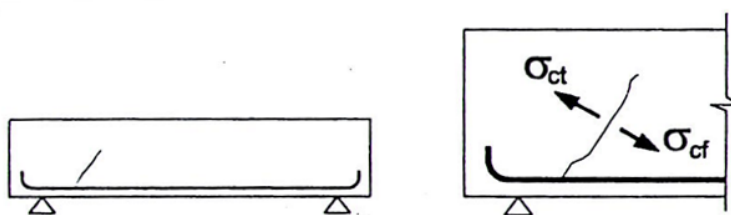
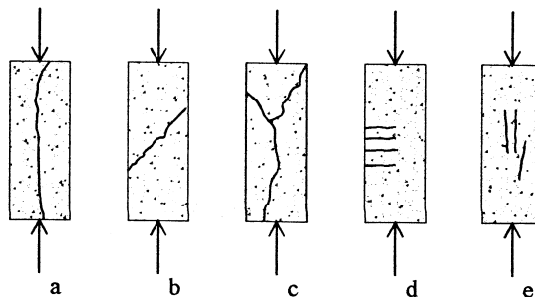


Figura 41 - Fisuras producidas por el esfuerzo cortante (CALAVERA, 2005)



Figura 42 - Fisuración por flexión y corte (HIDALGO M, 1994 apud PAZINI-O'REILLY, 2003)



Tipologías:

1. "a", "b", "c": elementos más esbeltos
2. "d": estructura esbelta con pandeo lateral
3. "e": en el caso de columnas las fisuración paralelas a la directriz de la estructura y no coincidentes con la posición de las armaduras, apareciendo cuando las cargas están en el orden de 85% a 90% de la resistencia del pilar

Figura 43 - Fisuración por compresión excesiva (PAZINI-O'REILLY, 2003)

Según ACI 224.1R (2007), la fisuración puede representar tanto el daño como marcar problemas de mayor entidad, ya que si bien a veces sólo se verá afectada la apariencia de un elemento en otras indicará fallas significativas o compromisos de durabilidad. Su importancia depende del tipo de estructura y de la naturaleza del proceso, ya que por ej. fisuras que pueden ser aceptables en un edificio de uso residencial pueden no serlo para otro destinado al almacenamiento de líquidos.

Según ACI 224.2R (2004), este particular fenómeno se inicia cuando la tensión en el hormigón supera su resistencia a tracción y la carga es transferida por adherencia a la armadura que atraviesa la fisura. La contribución realizada por el hormigón se denomina en estos casos rigidización por tracción, y su paulatina reducción debida al avance del proceso es llamada ablandamiento por deformación.

Si un miembro de hormigón armado es sometido a tracción, eventualmente se formaran dos tipos de fisuras (Figura 44), una visible y otra no (fisuras primarias y secundarias según Broms (1965) apud ACI 224.2R, (2004)). Si bien las primarias o externas son más anchas en la superficie y menores sobre la armadura, ante bajas solicitaciones (inmediatamente después de formada la fisura) esta diferencia se atenúa, aumentando paulatinamente a medida que lo hace el esfuerzo. Por otra parte, las fisuras secundarias o internas incrementan su amplitud con la distancia a las barras, cerrándose gradualmente antes de llegar a la superficie. En términos generales la deformación del acero tiende a controlar estos procesos, limitando su desarrollo en la masa del hormigón.

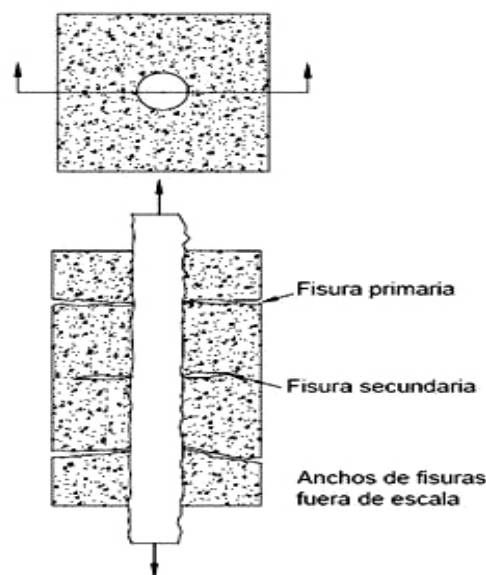


Figura 44 - Fisuras primarias y secundarias en un elemento traccionado (ACI 224.2R, 2004)

Según estimaciones de Clark y Spiers (1978) apud ACI 224.2R (2004) la primer fisura importante se producirá en torno al 90 % de la resistencia media y la última alrededor del 110 %, lo que es debido a la variabilidad mostrada por el hormigón ante los esfuerzos de tracción. Al respecto, según Grassi-Jirasek (2010), la disipación de energía durante la fracturación está influida por la estructura, carga aplicada y geometría de la pieza y la distribución se rige por la estadística y la mecánica³¹. A modo de ejemplo, la forma de las bandas de corte está fuertemente influenciada por la interacción de los agregados y en las fracturas de tracción la tortuosidad de la trayectoria es predominantemente establecida por su aleatoria disposición.

³¹ Según esto las rutas de fisuración pueden diferir significativamente ante condiciones de carga similar

En lo que hace a su denominación esta puede ser dada por las dimensiones o el comportamiento. En relación a la primera, según NBR 8802 apud Pazini (1989), la diferencia entre fisuras y grietas se determina por la amplitud ($e < 0.5$ mm fisuras, $e \geq 0.5$ mm grietas) y según Tiscornia-Martorelli (1996) es llamada micro fisura aquella de abertura inferior a los 0.05 mm. Análogamente según ICE-FARQ (2011) Micro fisuras son las ≤ 0.05 mm, Fisuras las > 0.05 mm y $\leq 1,2$ mm y Grietas las > 1.2 mm.

Relativo a su comportamiento, según Tiscornia-Martorelli (1996), son “vivas o activas” las que están sometidas a modificaciones y “muertas o pasivas” las que al llegar a su máximo se estabilizan al cesar la causa que las origina.

Amén de lo dicho la fisuración potencia riesgos que les son asociados, tales como la corrosión, el estético y el psicológico, vinculado este último a un posible riesgo de carácter estructural (CALAVERA, 2005). La Tabla 3 y las Figuras 45 y 46 detallan aspectos relativos a lo último.

Tabla 3 - Anchos de fisura razonables bajo cargas de servicio (ACI 224 2R, 2004)

Condición de Exposición	Ancho de fisura	
	in.	mm
Aire seco o membrana protectora	0,016	0,41
Humedad, aire húmedo, suelo	0,012	0,30
Productos químicos descongelantes	0,007	0,18
Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado	0,006	0,15
Estructuras para retención de agua†	0,004	0,10

* Es de esperar que una parte de las fisuras de la estructura superarán estos valores. Con el tiempo, el porcentaje de fisuras que superan estos valores puede ser significativo. Estos son lineamientos generales para el diseño, que se deben utilizar juntamente con un sólido juicio profesional.

† Excluyendo tuberías sin presión.

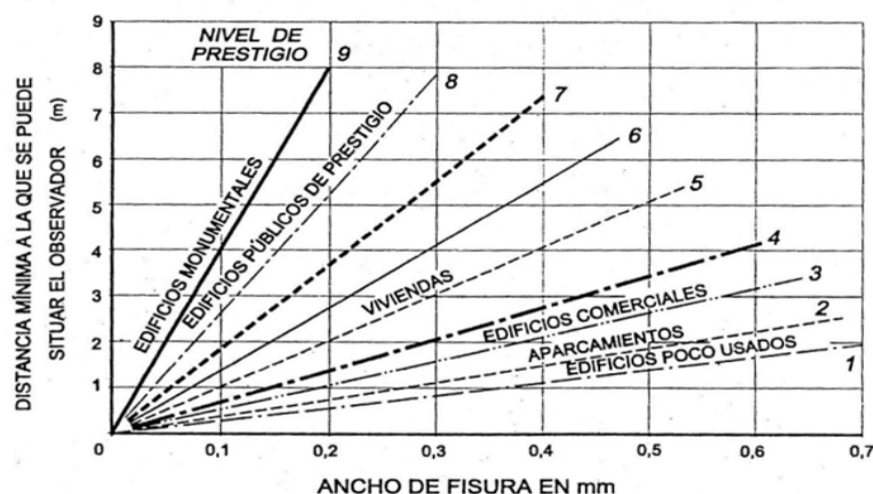


Figura 45 - Relación de distancia entre el observador y el ancho de fisura aceptable según destino (CALAVERA, 2005)

Ambiente I	: Elementos interiores de edificios o en medio exterior de baja humedad	$w_{lim} = 0,4 \text{ mm}$
Ambiente II	: Elementos interiores en medio húmedo o exteriores en medio no agresivo	$w_{lim} = 0,2 \text{ mm}$
Ambiente III	: Elementos interiores o exteriores en medio agresivo	$w_{lim} = 0,1 \text{ mm}$

Figura 46 - Anchos de fisuras según ambiente de exposición (MONTROYA et al. 1994)

Si bien según ACI 224.1R (2007) queda aún mucho por recorrer, los principios básicos para el control de este fenómeno han sido ya comprendidos; las armaduras bien distribuidas y la reducción en la tensión del acero empleando una mayor cantidad, ofrecen la mejor protección contra la fisuración. En sentido contrario, según Grassi et al. (2010), el aumento en el diámetro de los agregados (ante muestras de igual volumen) y la disminución de su cantidad (ante muestras con agregados del mismo diámetro) incrementan su amplitud, potenciando significativamente la permeabilidad y vulnerabilidad del hormigón.

2.4.5 Creep o Fluencia

Según Montoya et al. (1994) ha definido-se con acierto al hormigón como un pseudo solido elasto - visco - plástico, haciendo referencia con esto a su compleja reología que muestra características de los tres tipos de cuerpos mencionados. Lo antedicho no es de extrañar, si se recuerda que en el coexisten las fases solida, liquida y gaseosa.

Según Zreiki et al. (2008), particularmente a temprana edad, el comportamiento del hormigón armado se basa en complejos fenómenos físicos a diversa escala, por la cual la predicción de las tensiones asociadas es un tema de por si complejo. No obstante, los estudios realizados a la fecha permiten determinar la existencia de un fenómeno al que se ha denominado "Creep" o fluencia, el que detalla la deformación producida en el hormigón a tensión constante y que es adicional a la que se da en forma instantánea cuando el mismo es cargado (CALAVERA, 2005).

Según Sirivivatnanon (2005) en el diseño y construcción de estructuras modernas, tales como edificios de gran altura y/o puentes de tramo largo, es muy importante conocer el comportamiento del material empleado, ya que la tensión originada por esta causa es esencial para la consideración en servicio de la relajación y el estrés.

A los efectos del cálculo y en modo simplificado denomina-se fluencia al conjunto de deformaciones diferidas producidas en el hormigón, englobando en éstas a la elástica y a la plástica.

Por otra parte, admite-se en general que la deformación por fluencia tiende hacia una asíntota cuyo valor es proporcional a la deformación elástica instantánea según un factor de proporcionalidad (MONTTOYA et al. 1994). La Tabla 4 y las Figuras 47 y 48 permiten explicitar este fenómeno.

Tabla 4 - Deformaciones reversibles e irreversibles (MONTTOYA et al. 1994)

	Dependientes de las cargas exteriores		Indep. de las cargas exteriores
	Instantaneas	Diferidas (FLUENCIA)	
Reversibles	ELASTICAS	ELASTICAS DIFERIDAS	TERMICAS
Irreversibles	REMANENTES	PLASTICAS DIFERIDAS	RETRACCION

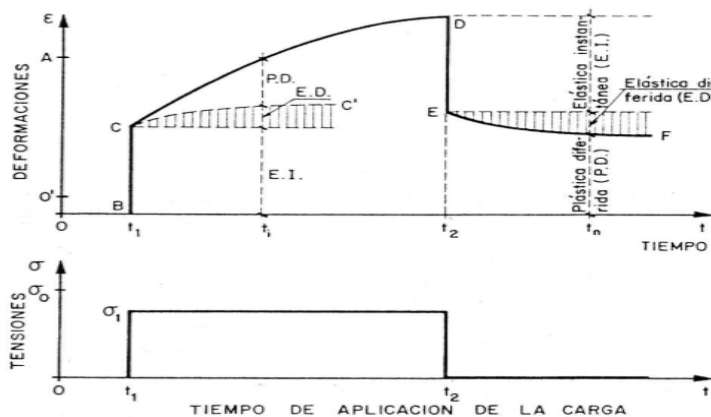


Figura 47 - Deformaciones en el hormigón ante la aplicación de una carga sostenida (MONTTOYA et al. 1994)

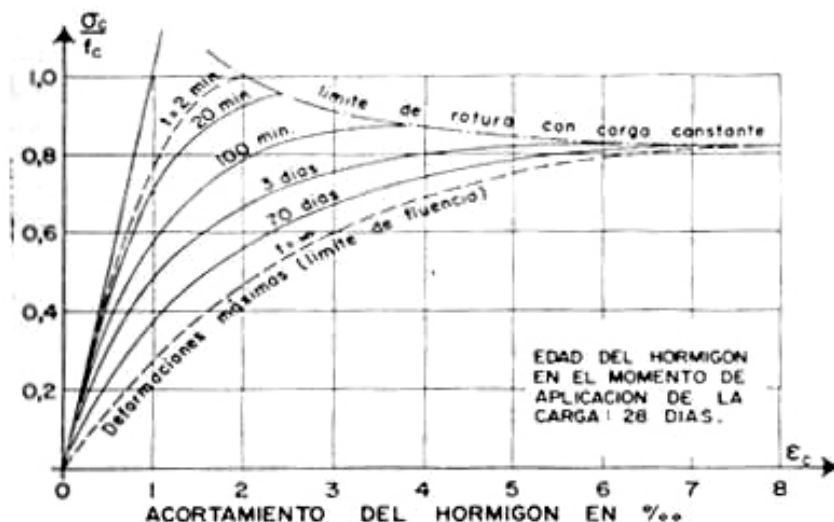


Figura 48 - Incidencia de la deformación en función del periodo de carga (MONTTOYA et al. 1994)

El proceso descrito se da tanto para tensiones de compresión como de tracción, y en el primero de los casos son determinantes la resistencia del material, la carga aplicada, la humedad relativa ambiente y la geometría de la pieza (CALAVERA, 2005). Al respecto, según Tiscornia-Martorelli (1996) la zona comprimida se va acortando lentamente por acción de la carga durante aproximadamente dos años, pudiendo esto producir flexión en el elemento estructural y deterioro de la mampostería asociada (Figura 49).

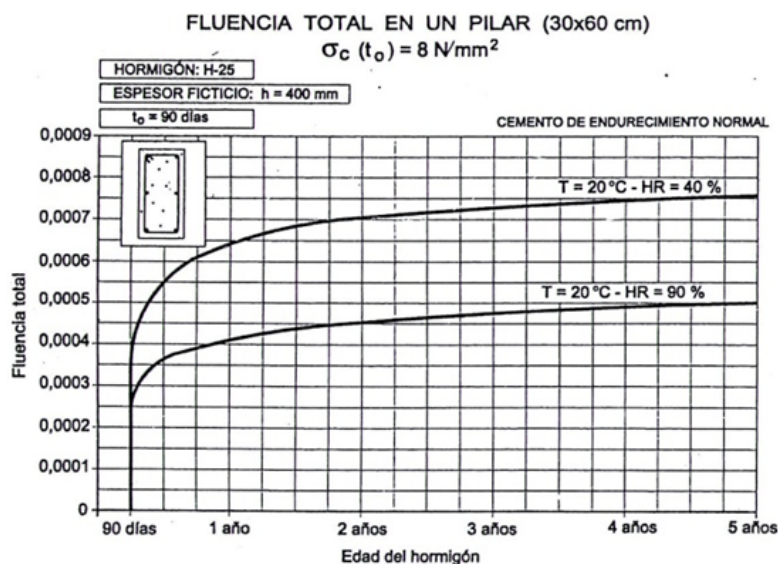


Figura 49 - Deformación por fluencia para el caso de un pilar (CALAVERA, 2005)

En lo que hace al sector traccionado, la aplicación lenta de la carga produce una relajación de tensiones que permite incrementar la resistencia a esta sollicitación, atenuando de esta forma la formación de fisuras³² (CALAVERA, 2005). (Figura 50)

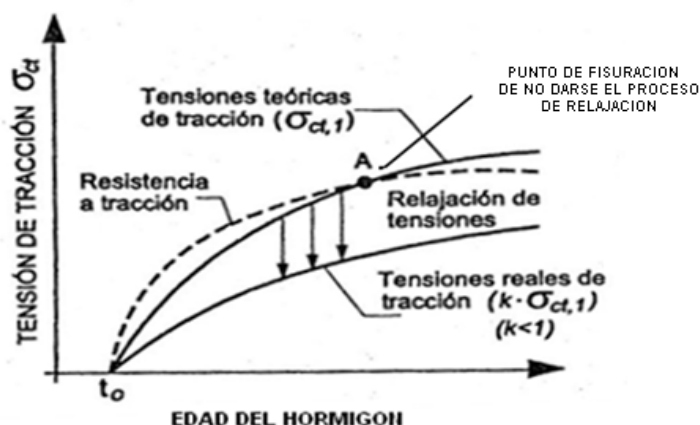


Figura 50 - Fluencia en tracción (CALAVERA, 2005)

³² Este proceso muestra semejanzas al descrito en el apartado 2.4.1.6, donde abordaron-se en particular las especificidades de la retracción hidráulica.

En términos generales, según Tiscornia-Martorelli (1996), las lesiones debidas a esta causa aparecen entre los tres y ocho años de colado el material y se observa usualmente en edificios de estructura independiente.

2.4.6 Deformaciones excesivas

Según Calavera (2005) como resultado de una consideración parcial de las pautas de diseño este problema ha crecido en las construcciones de hormigón armado, generando cuatro grupos de problemas claramente diferenciados; flechas de desarrollo horizontal por acción del viento, flechas de desarrollo vertical con un efecto estético indeseado, flechas de desarrollo vertical que dificultan la evacuación de cubiertas y flechas de desarrollo vertical en vigas, losas y forjados con riesgo de los cerramientos asociados.

Según este autor, los cambios producidos en la forma de proyectar, calcular y considerar aspectos como: el aumento de luces, el empleo de aceros de alta resistencia y/o la reducción en los coeficientes de seguridad, han fomentado el desarrollo de esta patología.

2.4.7 Pretensado

Según Calavera (2005) estos procedimientos generan variaciones longitudinales y transversales como la contra-flecha, las que pueden verse alteradas por el proceso mediante el cual la armadura destinada a este fin va perdiendo tensión generando condiciones aptas para la ocurrencia de daños. La Figura 51 representa gráficamente este proceso.

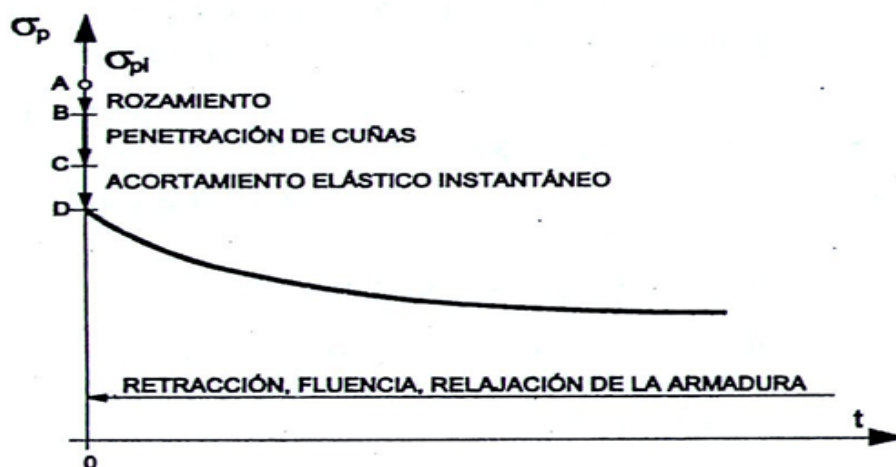


Figura 51 - Pérdida de tensión en armaduras de pos tensión (CALAVERA, 2005)

2.4.8 Asientos del terreno

Este problema es origen de múltiples procesos patológicos, ya que el descenso de un pilar en una estructura que es continua tiene como resultado el que la carga sobre el aplicada deba ser absorbida por los adyacentes. La situación descrita genera un particular estado tensional, que en casos extremos puede llegar el agotamiento resistente de alguno de los elementos asociados (CALAVERA, 2005). La Figura 52 permite ilustrar este fenómeno.

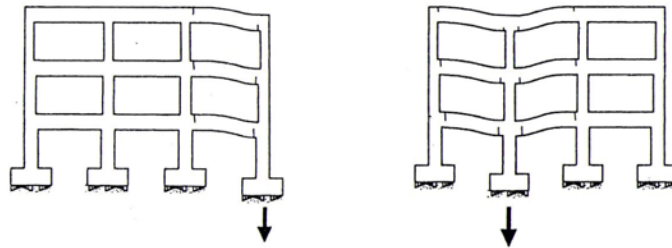


Figura 52 - Asentamientos diferenciales por descenso de un pilar (CALAVERA, 2005)

2.4.9 Cambios de color

Según Calavera (2005) es normal que la superficie del hormigón sufra cambios a lo largo de su vida útil, y si bien los defectos son inevitables han de ser atendidos en razón de su incidencia para la apariencia y durabilidad de un elemento estructural. En el caso del “hormigón visto” estas alteraciones suelen ser originadas por:

- Cambios en las partidas de cemento
- Decoloración debida a la acción de la luz solar
- Sectores con reparaciones puntuales

2.4.10 Erosión

De las acciones vinculadas a esfuerzos que provocan un menoscabo en la superficie del hormigón pueden-se mencionar dos; abrasión y desgaste. Si bien la primera corresponde a la acción mecánica generada por el arrastre de elementos sólidos y la segunda a la cavitación, cuentan ambas como aspecto en común el progresivo deterioro de la superficie expuesta (CALAVERA, 2005; HUSNI et al. 2007) (Figuras 53 y 54).



Figura 53 - Visualización de lesiones por abrasión y desgaste (PAZINI-O'REILLY, 2003)

Según ACI 116R apud ACI 201.2R (2001) la resistencia a la abrasión se define como la capacidad de una superficie para resistir el desgaste por frotamiento y/o fricción, y como fuera dicho, es originada por la acción mecánica generada por el arrastre de elementos sólidos (peatones, vehículos y/o excepcionalmente oleaje de contener partículas en suspensión). Según Husni et al. (2007) la resistencia a este proceso es principalmente dada por el árido grueso, por lo cual su valor estará directamente asociado a aquel. La Tabla 5 a continuación señala los aspectos a tener en cuenta según ACI 302.1R apud ACI 201.2R (2001) para lograr una buena resistencia al desgaste en pisos y losas según destino.

Tabla 5 - Clases de desgaste y consideraciones especiales para lograr una buena resistencia en pisos y losas (ACI 302.1R apud ACI 201.2R, 2001)

	Clase	Tráfico habitual	Uso	Consideraciones especiales	Técnica de acabado del hormigón (Capítulo 7)
Una capa	1	Peatonal liviano	Residencial o embaldosado	Pendiente para drenaje, crear plano para el embaldosado	Fratás de acero medio
	2	Peatonal	Oficinas, iglesias, escuelas, hospitales	Agregados antideslizantes, mezcla en la superficie	Fratás de acero; acabado especial antideslizante
			Ornamental residencial	Mezcla especial para espolvorear en seco, de color	Fratás de acero; agregados de color expuestos; lavar si los agregados han de estar expuestos
	3	Peatonal liviano y ruedas neumáticas	Accesos vehiculares, pisos de garaje y aceras de una vivienda	Coronación, peralte, juntas e incorporación de aire	Aplanadora, fratás y escobilla
	4	Peatonal y ruedas neumáticas	Industrial liviano, comercial	Curado cuidadoso	Fratás de acero duro y acabado con escobilla (antideslizante)
5	Peatonal y ruedas - desgaste abrasivo	Industrial de una sola capa, capa de acabado integral	Curado cuidadoso	Agregados metálicos o minerales especiales, aplanadora y fratás	
Dos capas	6	Peatonal y vehículos de ruedas duras - abrasión severa	Industrial pesado, dos capas adheridas	- Superficie texturada y adherencia - agregados y/o minerales especiales, o bien tratamiento de las superficies	- Superficie nivelada a fratás - Aplanadoras eléctricas especiales y fratás de acero (varias operaciones)
	7	Clases 3, 4, 5 y 6	Capas de acabado no adheridas	Armadura en forma de malla; interruptor de la adherencia en las superficies; viejas espesor mínimo 2-1/2 in. (nom. 64 mm)	-

* Bajo condiciones abrasivas en la superficie de un piso, la exposición será mucho más severa; para los pisos Clase 4 y 5 se requerirán superficies de mayor calidad. Bajo estas condiciones se recomienda utilizar un piso de dos capas Clase 6 o bien un tratamiento superficial monolítico con agregados minerales o metálicos

La cavitación, por otra parte, es originada cuando la pieza entra en contacto con corrientes de agua, dándose el caso de que si la forma es inapropiada la lámina tiende a separarse de la superficie, creando zonas de baja presión que según la temperatura pueden ser inferiores a las de vapor (Figura 54). Esta situación genera el que las moléculas del líquido cambien a estado de vapor, formándose burbujas que impactan sobre el material deteriorando su acabado progresivamente. Las lesiones así generadas que se muestran como picaduras van uniéndose en forma gradual, hasta formar una amplia zona afectada de aspecto particular. La resistencia a este fenómeno es aportada por la pasta cementicia y la manera de corregir sus efectos es rediseñando el elemento estructural. (ACI 201.2R, 2001; CALAVERA, 2005; HUSNI et al. 2007).



Figura 54 – Estructura expuesta a cavitación (PAZINI-O´REILLY, 2003)

Ha de destacarse en relación a los procesos citados, que los mismos son favorecidos por la llamada “debilidad superficial del hormigón”, la que es originada por una mayor concentración de agua generada por la exudación. Debido a esto, de potenciarse los elementos que la propician se producirá el “empolvamiento” de la zona y por consiguiente su desagregación (BECKER, 2010 c) (Figura 55).

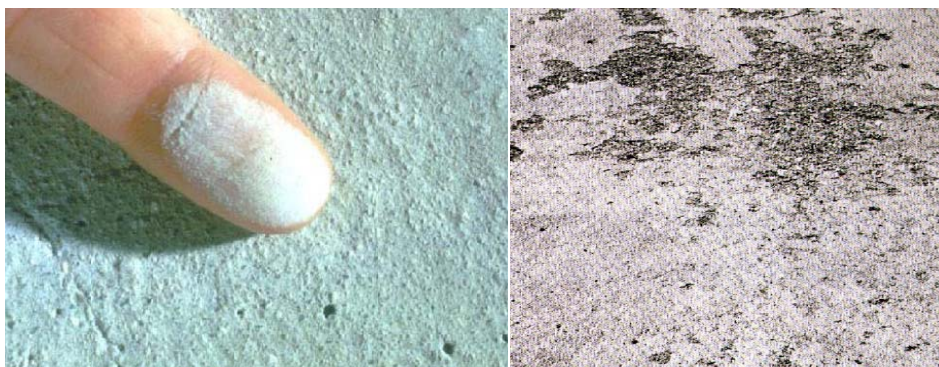


Figura 55 - “Empolvamiento” y desagregación superficial (BECKER, 2010 c)

2.4.11 Agresión medioambiental

Para que la degradación por esta causa pueda desarrollarse debe existir una interacción entre el hormigón y su entorno, siendo factores coadyuvantes la agresividad de éste y la permeabilidad, tipo y geometría del elemento. En estos casos cobra especial importancia el conocimiento del sector inmediato (distante en metros) y el de su micro-clima (distante en mm o cm), ya que en ocasiones los efectos de carácter local pueden ser decisivos en la durabilidad del elemento todo (CPA, 2002a; CLARKE, 1993 apud VIDIELA-TAPIA, 2007; SILVA, 1995 apud AMIANTI-BOTARO, 2008).

Según Calavera (2005) la degradación por esta causa es fundamentalmente debida a dos causas:

- a) depósitos de polvo sobre la superficie y adherencia de partículas muy finas ($d \leq 0.01$ mm) en zonas bioclimáticas de escasa lluvia que dificultan el auto lavado de la lluvia.
- b) depósito de cultivos biológicos en superficies húmedas que frecuentemente generan una afectación a la imagen del elemento.

En relación a la última, según Pinheiro et al. (2005), el biodeterioro es uno de los fenómenos más observados en el hormigón armado y se define como el cambio indeseable producido en las propiedades del material como producto de la actividad de un organismo vivo. En gral no se lo considera a éste un fenómeno aislado y depende en gran medida de la interacción con las condiciones ambientales, la naturaleza del material y la presencia o no de una comunidad microbiana.

En el citado proceso es posible visualizar deterioros de tres tipos: el físico o mecánico, el estético y el químico. El primero es el agrietamiento del material por la actividad del organismo, el estético es el resultado de cambios en la apariencia y el químico se produce cuando los microorganismos modifican su micro estructura y composición.

De especial importancia en estos casos es el rol jugado por la temperatura ya que según un axioma de la química-física la velocidad de toda reacción se duplica si la temperatura bajo la cual se produce se incrementa en 10°C. (RASTRUP, 1954 apud ORTIZ LOZANO et al. 2008). La Figura 56 establece el vínculo entre temperatura, agresividad ambiental y recubrimiento y las Tablas 6 y 7 relacionan agresividad ambiental, corrosión y deterioro.

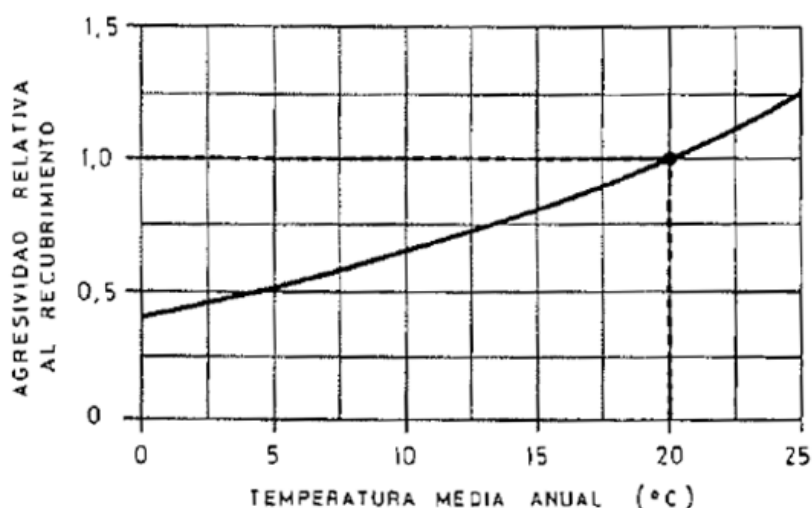


Figura 56 – Relación entre agresividad medioambiental, temperatura y recubrimiento (CALAVERA, 1999)

Tabla 6 – Procesos de corrosión según agresividad ambiental (CALAVERA, 1999)

CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso		
no agresiva		I	ninguno	<ul style="list-style-type: none"> interiores de edificios, no sometidos a condensaciones elementos de hormigón en masa 	interiores de edificios, protegidos de la intemperie
normal	humedad alta	IIa	corrosión por carbonatación	<ul style="list-style-type: none"> interiores sometidos a humedades altas o a condensaciones exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm elementos enterrados o sumergidos 	<ul style="list-style-type: none"> sótanos no ventilados cimentaciones (*) tableros y pilas de puentes en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm elementos de hormigón en cubiertas de edificios
	humedad media	IIb	corrosión por carbonatación	exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600 mm	<ul style="list-style-type: none"> construcciones exteriores protegidas de la lluvia tableros y pilas de puentes, en zonas de precipitación media anual inferior a 600 mm
marina	aérea	IIIa	corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km) 	<ul style="list-style-type: none"> edificaciones en las proximidades de la costa puentes en las proximidades de la costa zonas aéreas de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral instalaciones portuarias
	sumergida	IIIb	corrosión por cloruros	elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar	<ul style="list-style-type: none"> zonas sumergidas de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar
	en zona de mareas	IIIc	corrosión por cloruros	elementos de estructuras marinas situados en la zona de carrera de mareas	<ul style="list-style-type: none"> zonas en la carrera de marea de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral zonas de pilas de puentes sobre el mar, situadas en la carrera de marea
con cloruros de origen diferente del medio marino		IV	corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas 	<ul style="list-style-type: none"> piscinas pilas de pasos superiores o pasarelas en zonas de nieve estaciones de tratamiento de agua

(*) Si la cimentación está enterrada y en suelo seco este caso no parece oportuno como ejemplo (N del A)

Tabla 7 – Ataques al hormigón según agresividad ambiental (CALAVERA, 1999)

CLASE ESPECÍFICA DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso		
química agresiva	débil	Qa	ataque químico	- elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad lenta	- instalaciones industriales, con sustancias débilmente agresivas - construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad débil
	media	Qb	ataque químico	- elementos en contacto con agua de mar - elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media	- dolos, bloques y otros elementos para diques - estructuras marítimas, en general - instalaciones industriales con sustancias de agresividad media - construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad media - instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales con sustancias de agresividad media
	fuerte	Qc	ataque químico	- elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida	- instalaciones industriales con sustancias de agresividad alta - instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales, con sustancias de agresividad alta
con heladas	sin sales fundentes	H	ataque hielo-deshielo	- elementos situados en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa media ambiental en invierno superior al 75%, y que tengan una probabilidad anual superior al 50% de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5°C	- construcciones en zonas de alta montaña - estaciones invernales
	con sales fundentes	F	ataque por sales fundentes	- elementos destinados al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con valor medio de temperatura mínima en los meses de invierno inferior a 0°C	- tableros de puentes o pasarelas en zonas de alta montaña
erosión		E	abrasión cavitación	- elementos sometidos a desgaste superficial - elementos de estructuras hidráulicas en los que la cota piezométrica pueda descender por debajo de la presión de vapor de agua	- pilas de puentes en cauces muy torrenciales - elementos de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral que se encuentren sometidos a fuertes oleajes - pavimentos de hormigón - tuberías de alta presión

2.4.12 Ataques químicos

Si bien según ACI 201.2R (2001) el hormigón se comporta favorablemente ante distintas condiciones atmosféricas y frente a la mayoría de las aguas y suelos, en algunos casos de no tomarse medidas aun el mejor de estos tendrá una vida breve. Son escasas o nulas las circunstancias bajo las cuales este material es agredido por agentes químicos secos, ya que para que se produzca un ataque significativo éstos deben estar en solución y en concentraciones mayores a una cierta mínima. A sí mismo, una pieza expuesta por uno de sus lados será más vulnerable que otra que no lo esté, al contar con un sector donde es forzado el ingreso de la solución.

Si bien los fenómenos por esta causa presentan modalidades varias, según Calavera (2005) todas cuentan con los siguientes aspectos en común;

- es necesario exista un mecanismo que transporte la sustancia agresiva a la reactiva.
- ante la ausencia de humedad las reacciones no se producirán o lo harán a una velocidad que no presentará un riesgo significativo.

· según el axioma de la química - física citado en el punto anterior, el aumento de la temperatura incrementará la envergadura de la agresión

Si bien es posible que estas reacciones se den en forma combinada, pueden todas ser catalogadas en tres grupos: ataque de ácidos a la pasta hidratada de cemento, formación de sales expansivas y reacción con cationes. Las Tablas 8 y 9 ilustran aspectos relativos a lo dicho.

Tabla 8 - Efecto de los agentes químicos de uso habitual (ACI 201.2R, 2001)

Velocidad del ataque a temperatura ambiente	Ácidos inorgánicos	Ácidos orgánicos	Soluciones alcalinas	Soluciones salinas	Otros
Rápida	Clorhídrico Nítrico Sulfúrico	Acético Fórmico Láctico	–	Cloruro de aluminio	–
Moderada	Fosfórico	Tánico	Hidróxido de sodio* > 20%	Nitrato de amonio Sulfato de amonio Sulfato de sodio Sulfato de magnesio Sulfato de calcio	Bromo (gaseoso) Licor de sulfato
Lenta	Carbónico	–	Hidróxido de sodio* 10 a 20%	Cloruro de amonio Cloruro de magnesio Cianuro de sodio	Cloro (gaseoso) Agua de mar Agua blanda
Despreciable	–	Oxálico Tartárico	Hidróxido de sodio* < 10% Hipoclorito de sodio Hidróxido de amonio	Cloruro de calcio Cloruro de sodio Nitrato de cinc Cromato de sodio	Amoniaco (líquido)

* El efecto del hidróxido de potasio es similar al del hidróxido de sodio.

Tabla 9 - Factores que aceleran o mitigan el ataque (ACI 201.2R, 2001)

Factores que aceleran o agravan el ataque	Factores que mitigan o demoran el ataque
1. Elevada porosidad debida a: i. Elevada absorción de agua ii. Permeabilidad iii. Vacíos	1. Hormigón denso obtenido mediante: i. Correcta dosificación de la mezcla * ii. Contenido unitario de agua reducido iii. Mayor contenido de material cementicio iv. Incorporación de aire v. Compactación adecuada vi. Curado efectivo †
2. Fisuras y separaciones debidas a: i. Concentración de tensiones ii. Choque térmico	2. Tensiones de tracción reducidas en el hormigón atribuibles a: ‡ i. Uso de armadura de tracción de tamaño adecuado y correctamente ubicada ii. Inclusión de puzolana (para reducir el aumento de temperatura) iii. Colocación de materiales adecuados en las juntas de contracción
3. Lixiviación y penetración de líquidos debido a: i. Flujo de líquidos § ii. Formación de charcos iii. Presión hidráulica	3. Diseño estructural: i. Minimizar las áreas de contacto y turbulencia ii. Proveer membranas y sistemas con barreras protectoras ¶ para reducir la penetración

* La dosificación de la mezcla y el mezclado y procesamiento inicial del hormigón fresco determinan su homogeneidad y densidad.

† Si los procedimientos de curado son defectuosos se producirán fallas y fisuras.

‡ La resistencia a la fisuración depende de la resistencia y capacidad de deformación.

§ El movimiento de las sustancias perjudiciales que transportan agua aumenta las reacciones que dependen tanto de la cantidad como de la velocidad del flujo.

¶ Los hormigones que frecuentemente estarán expuestos a agentes químicos que se sabe producen un rápido deterioro del hormigón se deberían proteger con una barrera protectora resistente a dichos agentes químicos.

2.4.13 Ataque de ácidos

La pasta de cemento está fundamentalmente formada por sílice (débil carácter ácido) y cal (fuerte carácter básico) (CALAVERA, 2005) debido a lo cual, si bien según ACI 201.2R (2001) no muestra buena resistencia a los ácidos, se considera que podría llegar a tolerar los considerados débiles de ser la exposición tan solo eventual. Si bien una pieza de calidad afrontara mejor una exposición de este tipo, ningún hormigón proporcionara buena resistencia a los ácidos fuertes o a los compuestos que se conviertan en tal. En función de esta circunstancia, siempre que se esté en la presencia de estos elementos se requerirá de protecciones especiales.

En términos generales el deterioro por esta causa es fundamentalmente resultado de una reacción con el hidróxido de calcio generado en la hidratación del cemento y mayormente da como resultado la formación de compuestos de calcio solubles que son posteriormente lixiviados por soluciones acuosas (BICZOK, 1972 apud ACI 201.2R, 2001). Como regla general debiera-se evitar la inmersión de una pieza en este tipo de agresivos y minimizar todo lo posible el tiempo de exposición, ya que como fuera dicho ningún hormigón de cemento hidráulico puede soportar largo tiempo un agua de fuerte carácter ácido (pH menor o igual a 3) (ACI 201.2R, 2001). La Figura 57 ilustra el deterioro generado por la acción de estos compuestos.



Figura 57 - Visualización del deterioro por la acción de soluciones ácidas (PAZINI-O'REILLY, 2003)

2.4.14 Ataque de bases

Altas concentraciones de materiales alcalinos al entrar en contacto con el hormigón causan deterioro mediante procesos no provenientes de la reacción química con iones hidroxilos (HUSNI et al. 2007). Según Pazini-O'Reilly (2003) el elemento que permite la generación de este fenómeno es el Intercambio iónico entre el agente alcalino y los compuestos del cemento, lo que propicia la formación de sales solubles que causan expansiones y disminución en la resistencia ($C_3A + Na(OH)_2 \rightarrow$ Aluminato de Sodio).

El pronóstico de estos casos implica: lixiviación de la pasta / fisuración superficial / pérdida en la adherencia pasta - agregado / exposición de los áridos / delaminación y corrosión de armaduras (Figura 58).



Figura 58 - Deterioro por la acción de una solución alcalina (PAZINI-O'REILLY, 2003)

2.4.15 Formación de sales expansivas. Sulfatos

Según ACI 224.1R (2007) las aguas sulfatadas son un importante problema para la durabilidad del hormigón. Los sulfatos que ingresan en la pasta cementicia toman contacto con el aluminato de calcio hidratado, lo que forma sulfoaluminato de calcio expansivo que provoca elevadas tensiones de tracción y deterioro generalizado en la pieza.

Las reacciones descritas, que según DURAR-CYTED (2000) y Baltazar et al. (2004) pueden-se situar entre el 17% y el 20%, ocasionan fisuras superficiales aleatorias, exfoliación, reducción de la resistencia, descenso del pH, corrosión de armaduras, pérdida de cohesión en la pasta y pérdida de la adherencia pasta / agregado (FIGUEIREDO-O'REILLY, 2003; CALAVERA, 2005; HUSNI et al. 2007; HELENE, 2010). A su vez, según Baltazar et al. (2004), al ir estos compuestos penetrando en el material atacan paulatinamente su rigidez, mostrando éste a la postre un aspecto blanquecino que resulta característico.

Según ACI 201.2R (2001), las dos consecuencias más conocidas de este ataque son la formación de etrignita y yeso. La primera puede generar aumento de volumen, expansión y fisuración y la formación de yeso puede-se asociar al ablandamiento y a la pérdida de resistencia. No obstante, la sola presencia de estos no constituye una señal de ataque por sulfatos, ya que debe ser ésta verificada mediante análisis

químicos y petrográficos. Por otra parte, algunos de estos procesos pueden dañar al hormigón sin presencia de expansión, ya que por ej., un hormigón expuesto a sulfatos solubles podría solo sufrir ablandamiento de la pasta y/o aumento de su porosidad.

Los sulfatos pueden hallarse en soluciones acidas como el ácido sulfúrico, en soluciones alcalinas como el sulfato de amonio, en sales como los sulfatos de calcio / magnesio / sodio, en el agua de mar, en aguas naturales³³ y en aguas residuales industriales (ACI 201.2R, 2001; BALTAZAR et al. 2004; CALAVERA, 2005; HUSNI et al. 2007; HELENE, 2010). Si bien según Helene (2007) lo más frecuente es que el aporte de estos agentes tenga su origen en fuentes externas también podría-se deber a causas internas (yeso empleado como regulador de fraguado).

Según Husni et al. (2007) la concentración será determinante en la severidad del ataque y según Calavera (2005) lo fundamental es la renovación del agua, al ser la solución por esta generada lo que posibilita su ocurrencia.

Este fenómeno particularmente agresivo puede ser atenuado mediante el uso de cementos portland con bajo contenido de aluminato tricálcico (ACI 224.1R (2007)) y/o empleando hormigones que retrasen el ingreso de agua, por lo cual es fundamental colocar, compactar y curar apropiadamente el mismo (ACI 201.2R, 2001). En la actualidad se entiende que hormigones de estas características tienen baja probabilidad de sufrir ataques de este tipo (HUSNI et al. 2007). La Figura 59 muestra los daños generados por esta causa.

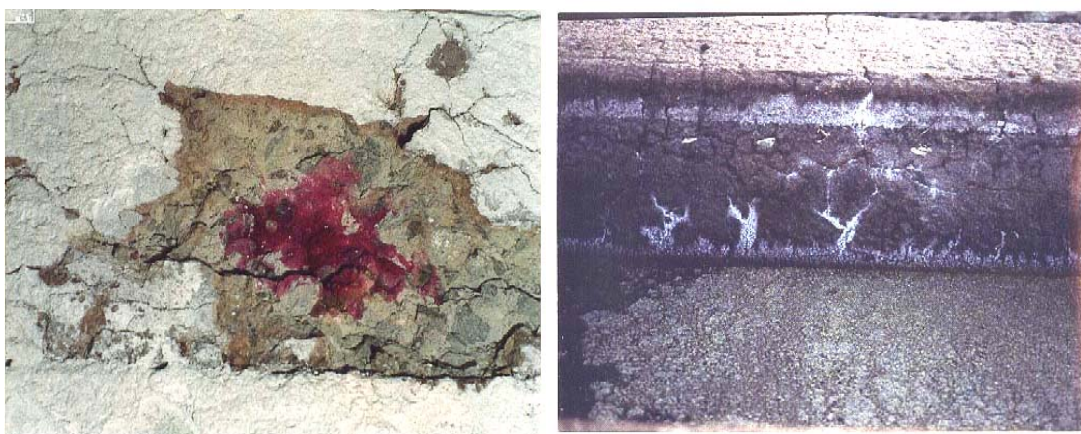


Figura 59 - Deterioro por sulfatos (FIGUEIREDO-O´REILLY, 2003)

³³ Por disolución de sales de terrenos yesíferos.

2.4.16 Exposición al agua de mar

Según Bermudez-Gutierrez (2007) un deterioro especialmente importante es el producido por las aguas de mar, las que mayormente muestran una composición química uniforme caracterizada por la presencia de un 3.5% de sales solubles³⁴. Si bien según ACI 201.2R (2001) la concentración difiere en las distintas partes los elementos básicos se mantienen, siendo que en las regiones frías y templadas esta es menor que en las cálidas y costeras debido a la alta tasa de evaporación superficial.

En el caso particular de las estructuras cercanas a la costa, si las fundaciones se ubican por debajo del nivel del agua, la succión y evaporación pueden provocar super saturación y cristalización en el hormigón sobre el nivel del terreno, lo que podría generar tanto un ataque químico por sulfatos como el agravamiento de la corrosión por cloruros. Debido a esto en regiones de clima tropical es preciso tomar precauciones especiales, ya que la citada combinación de efectos puede llegar a causar graves daños en apenas unos años. Por otra parte, si bien en este ámbito la reacción del hormigón maduro con los iones sulfato es similar a la ocurrida en agua dulce sus efectos son disimiles (MATHER, 1966 apud ACI 201.2R, 2001), ya que pese a que la concentración puede llegar a niveles elevados la presencia de cloruros altera en magnitud y naturaleza a la reacción (ACI 201.2R, 2001).

El pH del agua de mar varía entre 7.5 y 8.4, por lo que el hormigón allí expuesto puede-se dañar por efectos combinados de la acción química, la reacción álcali-agregado (cuando hay áridos reactivos), la presión de cristalización de sales (si una cara está sometida a condiciones de humedad y la otra a condiciones de secado), la acción del hielo (en climas fríos), la corrosión de armaduras y la erosión causada por la acción de las olas. Cada una de estas causas provoca un paulatino aumento en la permeabilidad del hormigón, contribuyendo progresivamente al deterioro de la estructura (MEHTA Y MONTEIRO, 1986 apud BERMUDEZ-GUTIERREZ 2007; BECKER, 2010a).

Según Bermudez-Gutierrez (2007) la normativa internacional ha ido incrementando exigencias respecto al tema. Así, la actual Instrucción Española de Hormigón Estructural exige para el ambiente marino sumergido hormigones de relación agua/cemento inferior a 0.50, contenido de cemento superior a 325 kg/m³, cemento de características marino-resistentes (MR) y recubrimiento superior a 45 mm. En el mismo sentido otras normas contienen requisitos similares o más restrictivos, tales

³⁴ Las de mayor concentración son las de Na y Cl situadas en 11.000 y 20.000 mg/litro

como la BS 6349 (BSI, 1984) para estructuras marítimas (relación a/c inferior a 0.50, contenido de cemento superior a 350 kg/m³ y recubrimiento superior a 50 mm), el ACI 357R-ACI, 2002 para estructuras offshore (relación a/c inferior a 0.45 y recubrimiento superior a 50 mm) , las recomendaciones del Comité Técnico 32-RCA de la RILEM, 1985 (relación a/c inferior a 0.50, contenido de cemento superior a 350 kg/m³ y recubrimiento superior a 45 mm) y el FIP, 1985 (relación a/c inferior a 0.45, contenido de cemento superior a 320 kg/m³ y recubrimiento superior a 50 mm).

Si bien según Taus et al. (2005) ha habido una evolución en la normativa relativa a la seguridad estructural y los requisitos de durabilidad, para Fernández et al. (2008) algunas tienden a ser muy conservadoras y otras sobrestiman la capacidad de fuerza de los elementos estructurales. A modo de ej. la alta resistencia requerida en aquellos que están situados en alta mar depende de un cierto número de factores relativamente considerados, tales como el uso de agregados de importante tenacidad y/o de materiales como sílice activa, escorias y cenizas volantes³⁵. Las Figuras 60 y 61 ilustran aspectos relativos al fenómeno descrito.

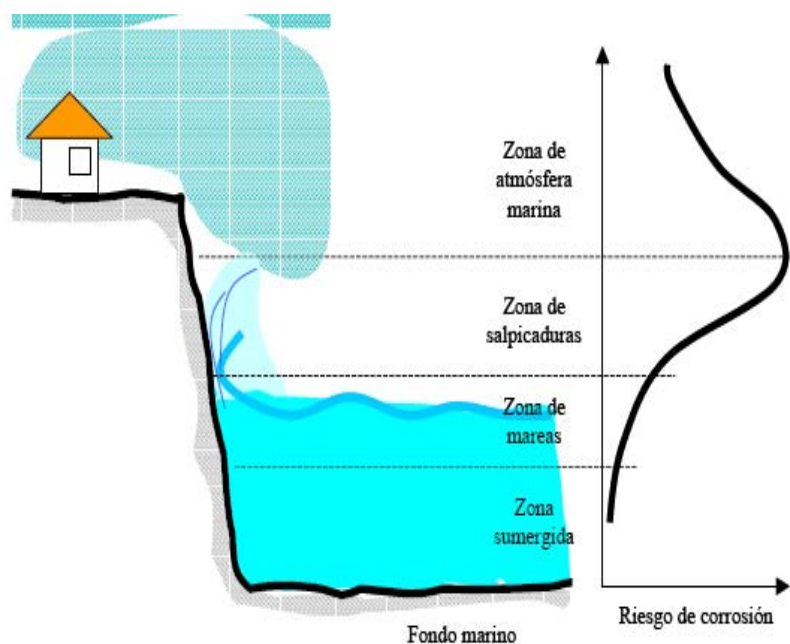


Figura 60 - Zonas marinas y riesgo asociado de corrosión (L. TRAVERSA, 2001 apud BECKER, 2010 a).

³⁵ Estas adiciones permiten una reducción de la porosidad gral y una mejora en la resistencia, lo que es obtenido debido a una importante reducción en el consumo de agua. Según los autores en aplicaciones de alta mar el consumo de cemento varía de 380 kg/m³ a 500 kg / m³, mientras que la relación agua / cemento podría-se reducir a 0,30.

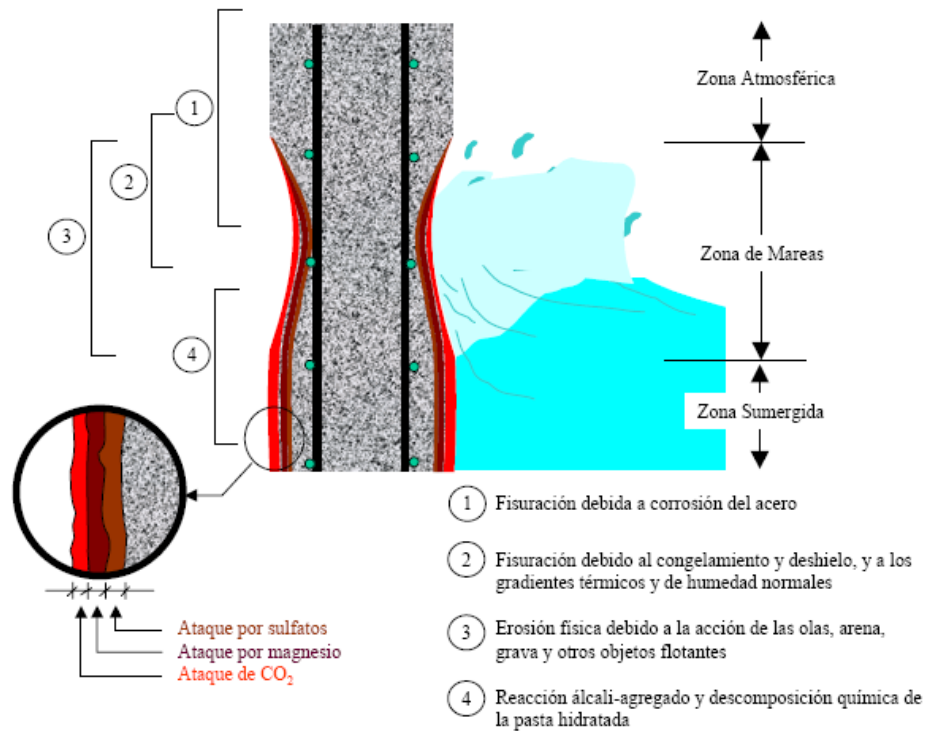


Figura 61 - Ataque típico del agua de mar sobre un pilar semi sumergido (E. F. IRASSAR, 2001 apud BECKER, 2010 a).

2.4.17 Reacciones deletéreas de los agregados

A pesar que por lo general se asume a los agregados como inertes, eventualmente interactúan con el medio en el que están inmersos, la pasta de cemento, produciendo reacciones que una vez iniciadas son prácticamente imposibles de contener. Si bien el mecanismo es complejo e involucra condiciones de ocurrencia particulares, habitualmente está asociado a hormigones con saturación permanente o semi permanente. Este tipo de reacción guarda relación con la mineralogía del agregado, por lo cual es determinante considerar su procedencia en la valoración general del proceso. Entre las citadas reacciones deletéreas pueden-se detallar las siguientes:

- La reacción álcali- agregado que incluye la álcali- sílice y la álcali-carbonato
- La reacción expansiva de basaltos contaminados con arcillas expansivas
- La reacción de agregados calcáreos en presencia de sulfatos con formación de thaumasita.
- La reacción expansiva de piritas

En algunos casos los efectos de estos procesos se manifiestan al cabo de unos años (más de 15), razón por la cual se designan como “potencialmente reactivos” todos aquellos minerales y/o agregados con mayor probabilidad de ocurrencia. A modo de guía puede-se decir que si no es atribuible el daño a una causa más simple (secado

premature, retracción plástica, efectos de congelamiento, ataques por sulfatos, etc.), solo una investigación profunda con extracción de muestras y exámenes petrográficos podrá determinar si el mismo es debido a ésta (HUSNI et al. 2007).

2.4.17.1 Reacción álcali-agregado

Si bien los primeros estudios no lograron demostrar los mecanismos de daño asociados a esta reacción, y genéricamente se la denominó álcali-agregado, investigaciones posteriores establecieron su semejanza con la álcali-sílice de la que si ya se tenía conocimiento³⁶ (HADLEY, 1964 apud ACI 201.2R ,2001). Según Becker (2010 d) desde hace unas décadas se ha incrementado el estudio de este proceso, cuya manifestación más frecuente y conocida es la citada reacción álcali-sílice

Según Calavera (2005) y ACI 224.1R (2007) algunos de los áridos poseen formas reactivas de sílice, las que combinadas con los álcalis del cemento forman silicatos alcalinos que en fase de gel son capaces de absorber gran cantidad de agua y ejercer grandes presiones sobre los poros del hormigón. Según lo expresado, esta reacción es particularmente agresiva en estructuras sometidas al contacto con agua, suelos húmedos y/o atmósferas de alta humedad, ya que para que sea significativamente deletérea hacen-se necesarias tales circunstancias (HELENE, 2010).

Para Helene (2010) la sintomatología básica de este proceso es la expansión general de la masa, lo que se manifiesta con profundas y aleatorias fisuras si el elemento es masivo y ordenadas si es delgado. Según Hadley (1964) y Swenson y Gillott (1964) apud ACI 201.2R (2001) otro signo que evidencia la severidad del ataque es el cierre de las juntas de expansión, lo que genera a su vez el posible aplastamiento del hormigón presente en la zona. En lo que hace a su incidencia, la lesiones suelen verse a los meses de construida la estructura según Tiscornia-Martorelli (1996), entre los dos y cinco años según Calavera (2005) y después de los 6 años según Helene (2007).

Otro fenómeno menos frecuente se presenta ante áridos de naturaleza dolomítica, los que generan la denominada reacción álcali-carbonato (CALAVERA, 2005). Según ACI 201.2R (2001) ha demostrado-se que ciertas rocas carbonatadas reaccionan con los álcalis del cemento produciendo expansiones y fisuraciones perjudiciales, estando el proceso asociado a calizas arcillosas y dolomíticas de textura inusual (HADLEY, 1964 apud ACI 201.2R, 2001).

³⁶ Según ACI 201.2R (2001) el primer trabajo sobre la reacción álcali-sílice es de Stanton (1940)

Según ACI 201.2R (2001) además de la reacción álcali-carbonato expansiva existe otra, debido a la cual las zonas periféricas del agregado cambian generando bordes prominentes que alteran la pasta cementicia (HADLEY, 1964; NEWLON Y SHERWOOD, 1964; BISQUE Y LEMISH, 1960a, 1960b; LEMISH Y MOORE, 1964; HILTROP Y LEMISH, 1960 apud ACI 201.2R, 2001). No obstante, a diferencia de las reacciones que provocan expansión y fisuración es poco probable que la formadora de bordes constituya una reacción perjudicial en sí misma (BUCK Y DOLCH, 1976 apud ACI 201.2R, 2001).³⁷

En términos generales el hormigón afectado por la reacción álcali-agregado se caracteriza por redes de fisuras irregulares o en malla que se desarrollan en áreas con provisión constante de humedad, y es siempre prudente el empleo de cemento portland con tenor de álcalis menor al 0.6 %.

En el caso particular de Uruguay, si los agregados proceden del norte del Rio Negro deberá-se confirmar su no pertenencia a formaciones dolomíticas y el cemento portland originario de Minas es desaconsejable frente al fabricado en Paysandú. (TISCORNIA-MARTORELLI, 1996). Las medidas de control para estos casos incluyen una correcta elección de los agregados, el uso de puzolanas y el empleo de cementos con bajo tenor de álcalis. La primera busca impedir la ocurrencia del ataque y las dos siguientes tienden a reducir la reacción mediante la formación de un silicato de calcio no expansivo (ACI 224.1R, 2007). Las Figuras 62 a 66 ilustran el proceso descrito.

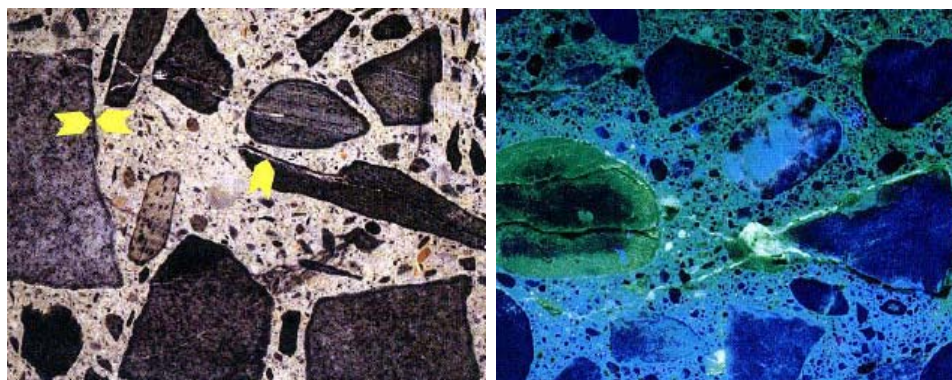


Figura 62 - Fotografías con cortes de hormigones en presencia del gel expansivo. A la izquierda se lo señala en la interface pasta-agregado y a la derecha, con una muestra tratada, se denota su presencia en fisuras y poros (BECKER, 2010 d)

³⁷ Una característica particular de la reacción álcali-carbonato que la diferencia de la álcali-sílice es la ausencia de gel de sílice exudando de las fisuras.

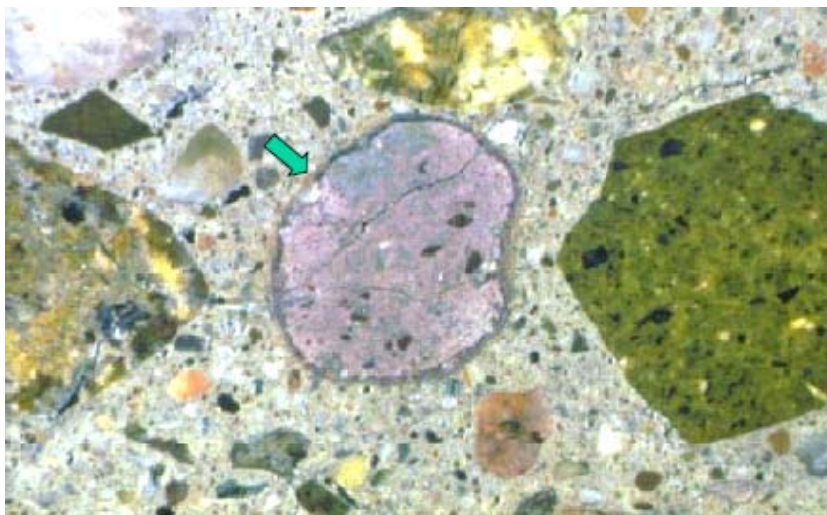


Figura 63 - Corte de hormigón afectado por RAS. La flecha indica la presencia del gel rodeando al agregado (Portalnd Cement Asociation apud BECKER, 2010 d)



Figura 64 – Visualización de la fisuración en estructuras afectadas por reacción álcali-silíce (BECKER, 2010 d)



Figura 65 - Fisuración por reacción álcali-agregado (PAZINI-O'REILLY, 2003)

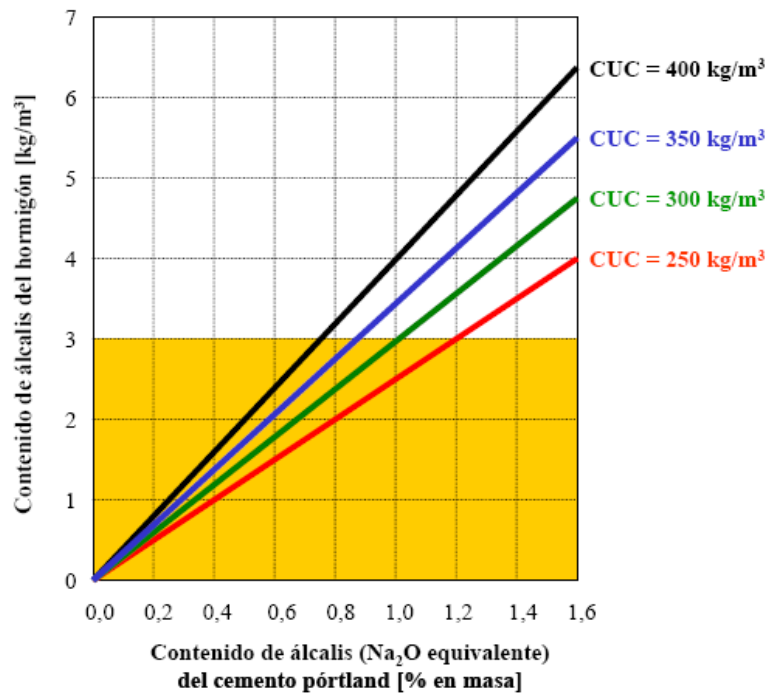


Figura 66 – Relación entre el Contenido Unitario de Cemento y el contenido de álcalis en el hormigón por aporte de este (FARNY-KOSMATKA, 1997 apud BECKER, 2010 d)

2.4.18 Lixiviación y eflorescencias

Se conoce con el nombre de eflorescencias a la aparición de manchas generalmente blancas sobre la superficie de elementos expuestos a cambios de humedad. Existen varios causantes de este fenómeno, aunque todos poseen un mecanismo de ocurrencia que es común: se trata de compuestos solubles (sulfatos, carbonatos, silicatos, cloruros, nitratos y otros) que migran a la superficie favorecidos por un determinado gradiente de humedad (OLMOS MECHA, 2001; NCMA - TEK 8-3A, 2003; POSSER, 2004; HUSNI et al. 2007; MONJO CARRIO, 2007; BECKER, 2010 e). Adicionalmente según Monjo Carrio (2007) de no llegar estos compuestos al exterior es posible cristalicen en una cavidad interna del elemento, lo que produce una cripto eflorescencia con efecto erosivo suplementario.

Según NCMA - TEK 8-3A (2003) la combinación de circunstancias que hace posible este proceso son: la presencia de compuestos solubles en los elementos, la humedad para recoger sales y trasladarlas a la superficie y una fuerza impulsora (evaporación o presión hidrostática) que ponga a la solución en movimiento. De no presentarse alguna de estas la eflorescencia no se producirá.

A su vez, en función del proceso químico involucrado pueden-se distinguir dos variantes:

- *Directas*; como consecuencia de la cristalización de sales solubles contenidas en el mismo material. Suelen ser alcalinas.

- *Indirectas*; como consecuencia de la reacción de componentes propios con los agentes atmosféricos. Tal es el caso de la formación de carbonato cálcico a partir del óxido cálcico de las pastas cementosas. Las Figuras 67 y 68 ilustran este fenómeno.



Figura 67 - Eflorescencias y cripto eflorescencias en ladrillos y piezas de revestimiento (MONJO CARRIO, 2007)



Figura 68 - Visualización de eflorescencias (PAZINI-O'REILLY, 2003)

El proceso descrito se ve particularmente afectado por la temperatura, la humedad y el viento, razón por la cual en verano, incluso después de periodos lluviosos, la humedad se evapora tan rápido que son relativamente pocas las sales que se alojan en la superficie. Según lo expuesto la eflorescencia será más común en invierno, cuando la menor tasa de evaporación permite la migración de una mayor cantidad de sales (NCMA-TEK 8-3A, 2003). Si bien estos depósitos no comprometen la durabilidad de un elemento estructural si evidencian un proceso de solubilización y transporte, lo que

puede generar un incremento en la porosidad y una disminución gral de resistencia (HUSNI et al. 2007).

En la medida que la eflorescencia puede provenir de cualquier compuesto soluble y el hormigón es elaborado con materiales naturales resulta considerablemente ardua su eliminación, ya que aunque se hiciera un perfecto lavado el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (hidróxido de calcio) resultante de la hidratación del cemento podrá generarlas ante la presencia de condiciones aptas. Describen-se a continuación la formación de las eflorescencias primaria y secundaria asociadas a lo último:

Eflorescencia primaria. Esta se produce en las primeras horas de moldeado el elemento, cuando el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (hidróxido de calcio) presente en los capilares reacciona con el CO_2 (dióxido de carbono) formando CaCO_3 (carbonato de calcio). Debido a esto, al ser la concentración de CaCO_3 en la boca del capilar mayor que en el interior obtura- se paulatinamente su desarrollo, evitándose a la postre el progresivo avance de la eflorescencia (Figura 69).

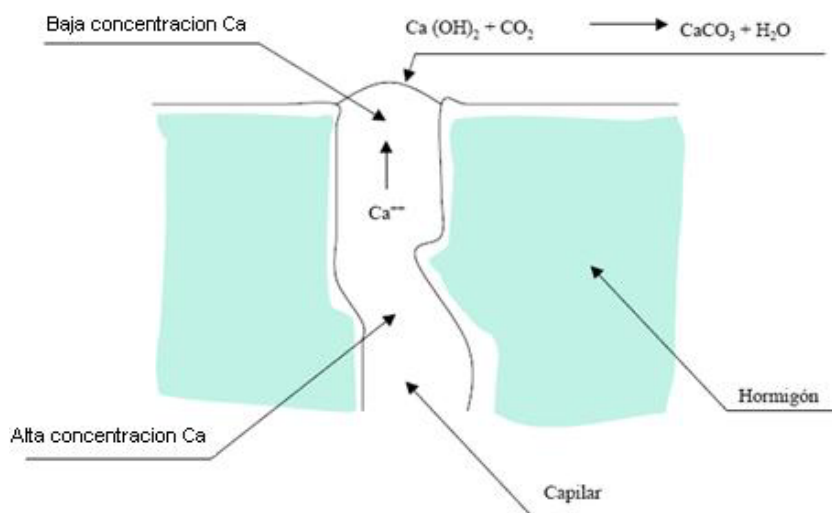
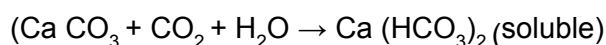


Figura 69 - Eflorescencias primaria (BECKER, 2010 e)

Eflorescencia secundaria. Si bien el CaCO_3 (carbonato de calcio) formado es insoluble en agua este hecho es temporario, ya que luego de 12 a 24 meses de exposición este se combinará según la siguiente reacción:



A partir de ésta formará-se bicarbonato de calcio soluble que puede ser eliminado con la lluvia, lo que posibilitara el reingreso del agua y reproducirá la extracción de sales (hidróxido de calcio u otras) (BECKER, 2010 e). (Figura 70).

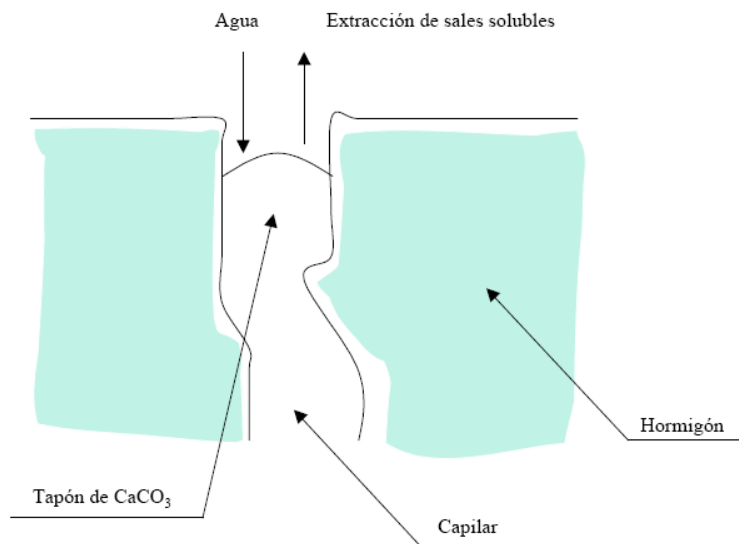


Figura 70 – Efluencia secundaria (BECKER, 2010 e)

Ha de tenerse en cuenta, por otra parte, que según Husni et al. (2007) la disolución del hidróxido de calcio genera una reducción en el pH del hormigón y eventualmente una redistribución en el contenido de álcalis, proceso que según las características del elemento puede promover la corrosión de sus armaduras y expansiones por reactividad alcalina de los agregados.

2.4.19 Acción de la helada

Según ACI 224.1R (2007) los daños provocados por estos ciclos generan el deterioro físico más habitual relacionado a las condiciones atmosféricas, y tanto el congelamiento del agua de la pasta como la de los agregados³⁸ pueden dañar de forma importante un elemento estructural (Figura 71).



Figura 71 - Aumento de la porosidad, descamación y desagregación superficial por la acción de ciclos de hielo-deshielo (PAZINI-O'REILLY, 2003)

³⁸ Para Verbeck y Landgreen (1960) apud ACI 201.2R (2001) el tamaño del agregado grueso es un factor importante, debido a la capacidad de las rocas para soportar estos ciclos.

La reiteración de ciclos de hielo y deshielo produce el paulatino deterioro del hormigón, lo que es asociado a la expansión sufrida por el agua al congelarse. Es preciso al respecto considerar que en éste el agua no está a presión atmosférica, sino sometida a diferentes grados de tensión según el diámetro del capilar que ocupa. En función de esta circunstancia las temperaturas para provocar el fenómeno en estos han de ser inferiores a los 0° C, y los cristales no se formaran en toda la pieza de forma simultánea ³⁹ (CALAVERA, 2005; HUSNI et al. 2007).

En términos generales, según Calavera (2005), el comportamiento del agua en estos casos implica su congelamiento en los intersticios y el aumento de volumen hasta en un 9%, su direccionamiento hacia los capilares en los que la temperatura de congelación es menor que en los poros creando una presión hidráulica que puede causar fracturas y el congelamiento primero en los conductos de mayor diámetro debido a que en los de gel la temperatura necesaria ronda los -60° C.

A modo de síntesis, según Calavera (2005), la resistencia a estos ciclos aumenta con: el tipo de árido / la edad del hormigón / la dosificación de cemento / la reducción de la relación a/c y la modificación de la estructura empleando agentes aireantes. La Figura 72 ilustra la fisuración causada por acción de de este fenómeno.

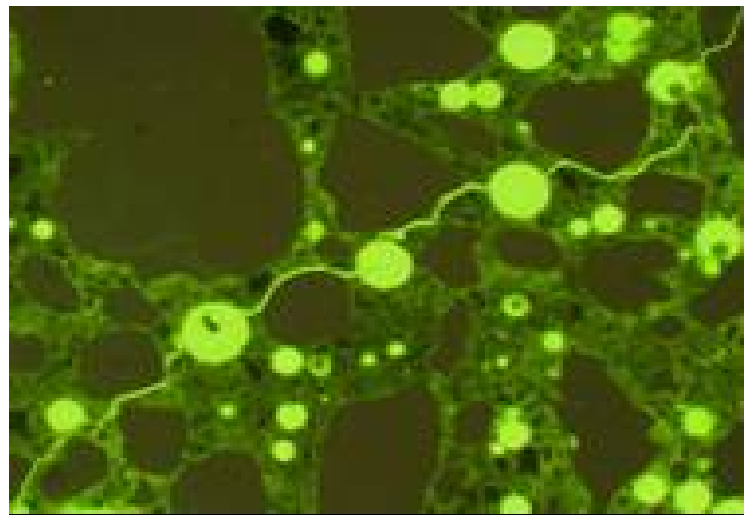


Figura 72 - Visualización de fisura por la acción de ciclos de hielo-deshielo (PAZINI-O'REILLY, 2003)

³⁹ Debe ser valorado también que los niveles de congelación en una superficie pueden ser alcanzados aun cuando la temperatura sea superior a los 0° C, lo que es conocido según INTI (1994) apud Azqueta (2009) como radiación a cielo frío.

2.5 REPARACION Y REFUERZO O TERAPIA

A la reparación y refuerzo o terapia corresponde el estudio de la solución a los problemas patológicos presentes en la edificación, y su éxito depende en gran medida del diagnóstico temprano, la evaluación certera y una clara estrategia que defina; objetivos, materiales, sistemas y procedimientos (PEREIRA, HELENE, 2007 b)

Considerando que disciplinas como la Patología, la Terapéutica y la Profilaxis han ingresado en la Ingeniería en los últimos 25 años (Figura 73), verifica-se que es la Terapia de las Construcciones la que muestra un menor desarrollo relativo. No solo la normativa es insuficiente en cantidad y calidad sino que son pocas las publicaciones técnicas relacionadas, pudiendo-se afirmar que en muchos casos no se conoce el material más adecuado ni los mejores procedimientos de actuación (ARCILLA et. al, 2007; BRANCO, 2007).

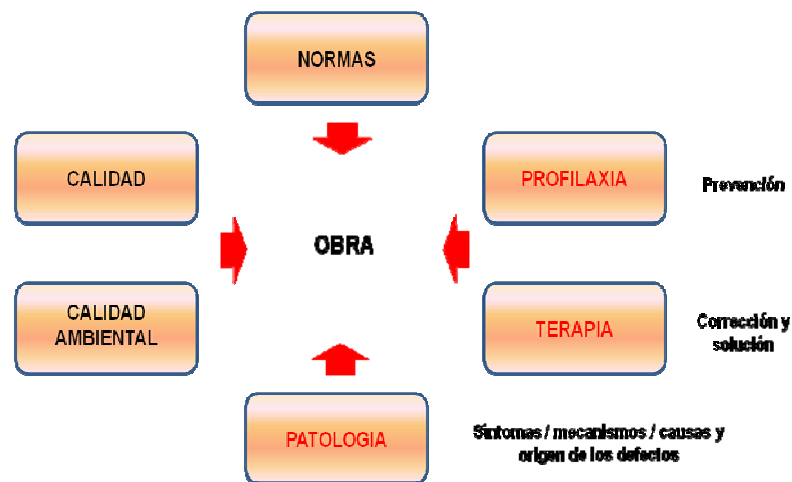


Figura 73 - Nuevas disciplinas introducidas en la Ingeniería en los últimos años (ARCILLA et. al 2007)

Según Branco (2007) la rehabilitación es un procedimiento complejo mediante el cual se busca extender la vida útil de una estructura, ha ser ajustado a una metodología que va siendo validada por la práctica y es precisa una apropiada definición de objetivos que contemple; la mejor estrategia posible, mano de obra calificada y materiales de buena relación coste / beneficio.

En términos generales existe acuerdo en el ámbito técnico en el sentido que el proyecto o diseño detallado de una futura intervención es la principal clave para su éxito (HELENE, 2007; ARCILLA, 2007; CASTRO BORGES, 2007), optando por el uso del término rehabilitación en el entendido que incluye todas las actividades relacionadas (ARCILLA, 2007).

Si bien con el conocimiento tecnológico actual las reparaciones superficiales y las demoliciones apresuradas son extremos de difícil justificación, la rehabilitación de una estructura presenta bastante mayor complejidad que la construcción de una nueva, razón por lo cual su abordaje será siempre un desafío para los ingenieros y arquitectos (BRANCO, 2007; HELENE, 2007).

Como criterio general la selección de técnicas y materiales depende del diagnóstico, la zona a reparar y las exigencias del elemento afectado. A modo de ej. en los casos de piezas que precisan ser cargadas a las horas puede ser necesario y conveniente utilizar sistemas de base epoxi o poliéster, en los casos de plazos más largos (días) pudiera ser conveniente utilizar morteros y groutings de base mineral y en condiciones normales de sollicitación (después de 28 días) pueden-se emplear morteros u hormigones normales correctamente dosificados (HELENE, 2007). Ha de considerarse no obstante, que tal como indican Pereira-Helene (2007 b), el constante desarrollo de este mercado plantea a los técnicos la necesidad de una constante actualización.⁴⁰

⁴⁰ Según los autores en los últimos 20 años en los EEUU este ha experimentado un crecimiento que puede ser situado entre un 30% y un 50%.

3 SISTEMÁTICA EMPLEADA EN LA COLECTA Y ORGANIZACIÓN DE DATOS

Como fuera dicho, para la realización del presente estudio recurrió-se al MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas) y en particular al Departamento de Estructuras de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV), quien está a cargo de una red conformada por alrededor de 9500 km de carretera y cerca de 800 puentes⁴¹ y pasajes (SOLLAZZO et al., 1991). Expone-se a continuación la forma mediante la cual se sistematizó la información obtenida.

3.1 OBJETO DE ESTUDIO

Contemplando los objetivos inicialmente trazados escogieron-se los datos referidos a los puentes, ya que son casi exclusivamente de hormigón armado y están diseminados en el territorio nacional. En relación a la base de datos relacionada puede-se precisar que la misma cuenta con antecedentes varios, a partir de lo cual históricamente se ha realizado un mantenimiento más bien correctivo de los daños verificados. En lo que hace a su evolución, en los años ochenta se avanzó en la organización de la información, para lo cual se elaboró un inventario general categorizando su estado en tres grupos: Bueno, Regular o Malo (SOLLAZZO et al., 1991). Más recientemente, en los noventa, se incorporó un software de origen danés (“BMS” Bridge Management System), que permite a partir de un modelo de deterioro realizar intervenciones programadas de carácter preventivo (DUPUY, 2010).

Hoy día sobre los puentes situados en las rutas de mayor exigencia se realiza mediante contratos con privados un seguimiento de su estado general de conservación, para lo cual se emplean parámetros de diagnóstico preestablecidos que determinan la urgencia o no de una posible intervención. Es en base a la información generada por esta última actividad, denominada en el transcurso del texto “Contratos de Mantenimiento”, que fue posible realizar el presente estudio. En función de lo detallado, para su efectivización el MTOP suministró-nos las siguientes informaciones:

- listado de puentes con su denominación, ubicación, largo y ancho;
- sectores de las distintas rutas bajo “Contratos de Mantenimiento” (mecanismo mediante el cual ante incumplimientos constatados a niveles de servicio predeterminados se establece una rápida intervención de carácter correctivo - Anexo 1);

⁴¹ Su valor total puede-se estimar en unos US\$ 300.000.000

- “Niveles de Servicio” empleados por los técnicos para evaluar la presencia o no de un incumplimiento (Anexo 2);
- listado de elementos componentes de las OAM (Obras de Arte Mayor) en base al cual se determina cuál de ellos es el afectado (Anexo 3);
- texto de los informes elaborados en el periodo 2004 / 2010 en los tramos bajo “Contratos de mantenimiento” (un ejemplo de estos es presentado en el Anexo 4).

Recibida esta información recurrió-se al Servicio Geográfico Militar⁴², donde se accedió a una Carta Geográfica actualizada con la que se buscó:

- explicitar las rutas donde se aplica la modalidad de mantenimiento;
- representar las manifestaciones patológicas mas preeminentes;
- visualizar las áreas donde estas muestran una mayor concentración.

Estudiados los datos de los informes, para su síntesis, elaboraron-se dos planillas guía, denominadas en el presente texto Planilla nº1 y Planilla nº 2. En la primera volcaron-se todos los datos disponibles; rutas donde se aplican los “Contratos de Mantenimiento”, puentes donde se realizaron inspecciones, lesiones observadas etc., para lo cual fue necesario contar con la nº 2 donde cada uno de de los juicios referenciaba-se a un código específico que vincula elementos y daños. Las Figuras 74 a 76 exponen a continuación la Carta Geográfica del Uruguay y las citadas dos planillas.

3.2 ORDEN DE ACTUACION

Las etapas a través de las cuales cotejaron-se los datos fueron:

- determinación de amplitud y características de la información disponible en el MTOP;
- selección de la base de datos generada por las inspecciones de los “Contratos de mantenimiento”;
- identificación de las rutas donde se realiza esta actividad con empresas;
- identificación de los puentes efectivamente evaluados;
- extracción de los informes de los juicios sobre el estado de conservación de los puentes;
- procesamiento general de datos;
- presentación y análisis de la información,
- exposición de conclusiones y planteo de sugerencias

⁴² Dependencia oficial encargada de la elaboración de Cartas Geográficas en el Uruguay

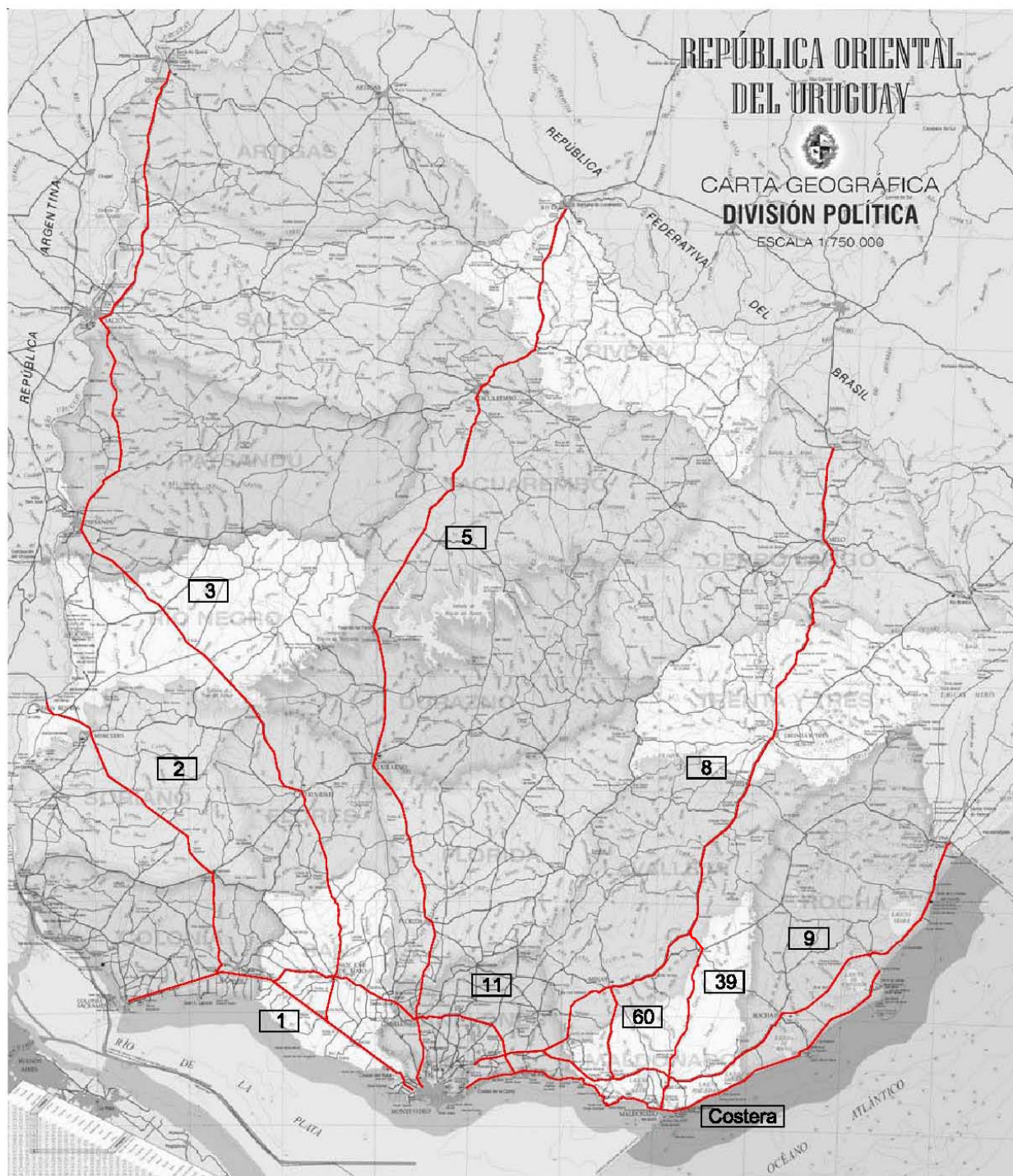


Figura 74 - Carta geográfica del Uruguay con rutas donde, según la información aportada, realizaron-se inspecciones bajo el régimen de “Contratos de Mantenimiento”

LESIONES / COMPONENTES	ELEMENTOS CONSIDERADOS													
	SUBESTRUCTURA				SUPERESTRUCTURA				AUXILIARES					
	FUNDACION	ESTRIBO	PILA	APOYO	TERRAPLENES	TABLERO	PROTECCION LATERAL	PAVIMENTO	JUNTAS	VEREDAS	LOSA DE ACCESO	DRENAJE	ELEM. CARRETEROS	
FISURAS	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
GEL DE EXUDACION SOBRE LA SUPERFICIE	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
EFLORESCENCIAS / FORMACION DE ESTALACTITAS	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
MANCHAS DE OXIDO O VERDOSAS	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	
ARMADURAS EXPUESTAS	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	
CORROSION DE ARMADURAS	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	
MANCHAS DE HUMEDAD	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	
PROTUBERANCIAS (POP-OUT)	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	
DELAMINACION	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	
NIDOS DE ABEJA (CANGERJERAS)	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	
ALTERACION GEOMETRICA	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	
DISGREGACION	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	
ENTUMECIMIENTO	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	
DESGASTE SUPERFICIAL	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	
OTRAS	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	
JUICIOS SINGULARES EN INFORMES							FORMA DE REGISTRO EN PLANILLA 1							
Manchas o deterioros por pasaje de agua en juntas de cordones y veredas.							Se lo contabilizo como MANCHAS DE HUMEDAD EN VEREDA							
Roturas, hundimientos o faltantes: Se constata por el crecimiento de vegetación en el revestimiento							Se lo contabilizo como OTRAS							
Roturas, hundimientos o faltantes Existen rajaduras con crecimiento de veg. y zonas con ing. de agua al mat. del terrap.							Solo se contabilizo FISURA							
Fallo de reparacion							Se lo contabilizo como OTRAS							
Se ven fisuras horizontales en muro en vuelta del acceso sur							Se lo contabilizo como FISURA EN TERRAPLENES							
Roturas y desprendimientos en los bordes de juntas							Se lo contabilizo como DISGREGACION EN JUNTAS							

**Figura 76– Vista gral de la Planilla nº 2 con códigos para realizar los registros en la nº1.
Por ej. Corrosión de armaduras en Pila = nº de registro 69**

3.3 REGISTRO DE DATOS

En lo que hace al registro específico de casos, cada uno de los juicios contabilizó-se como tal, de forma que por ej. si en una evaluación se decía: *“Armadura expuesta en protección lateral / Corrosión de armaduras en pila / Manchas de humedad en drenes / Vegetación en terraplenes”*, según lo establecido en la Planilla nº 2, asentaron-se en la nº 1 los códigos 60 / 69 / 91 y 188. A su vez, cuando el incumplimiento involucraba aspectos no directamente relacionados con el hormigón, como por ej.; *“La silicona está despegada en zonas localizadas de las juntas”*, el registro fue realizado con el nº 1. Análogamente, cuando un informe no documentaba alguno el registro efectuó-se con el nº 0.

Con los datos así recabados, contenidos en 313 evaluaciones registradas en 93 informes sobre 147 puentes en el periodo de 6 años 2004 / 2010, fue posible desarrollar una lista de manifestaciones patológicas vinculadas al hormigón (471 de 42 tipos), una lista de componentes afectados, un detalle de lesiones preeminentes y una serie de elementos más que serán expuestos en el capítulo 4.⁴³

A modo de introducción y en lo que hace al contenido de las 313 evaluaciones, puede-se precisar que en estas se registraron 693 juicios, donde el 68 % refiere a aspectos directamente relacionados con el hormigón armado y el 32 % restante es conformado por la no constatación de incumplimientos y/o por temas ajenos a su deterioro.

A sí mismo, cotejada la cantidad de informes y evaluaciones sobre los puentes de las rutas analizadas, destaca-se que las nº 8, 3 y 9 figuran entre las más citadas y Accesos a MVD, rutas 11, 39 y 60 coinciden con las menos. Esta información de menor valor aparente cobrará especial interés al juzgar el peso de los juicios, ya que al no surgir estos de una muestra podría-se suponer que su número está asociado a la cantidad de inspecciones. Este extremo no verificado se tendrá en cuenta en la valoración final, donde se abordaran en particular las zonas del territorio más exigidas. Las Figuras 77 y 78 permiten explicitar lo detallado.

⁴³ En general los informes contienen más de una evaluación donde pudieron-se o no haber detectado incumplimientos. En el Anexo 4 puede visualizarse un ejemplo en este sentido

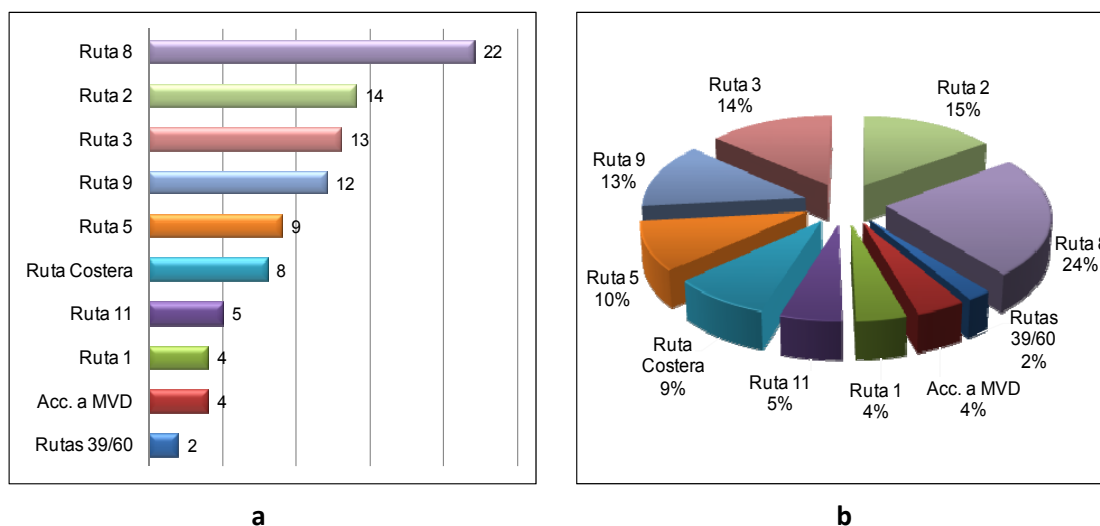


Figura 77 – N° de incidencias (a) y valor % (b) de informes realizados por ruta

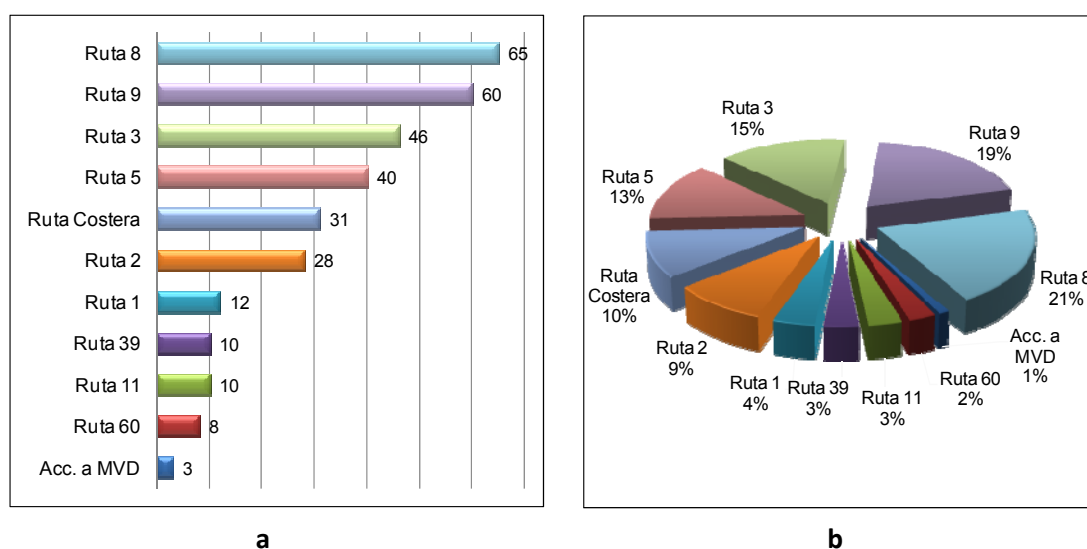


Figura 78– N° de incidencias (a) y valor % (b) de evaluaciones realizadas por ruta

En lo que hace a los daños especificados, la Tabla 10 a continuación detalla el conjunto de juicios registrados en los 93 informes, donde puede-se notar la relación presente entre los 42 tipos vinculados al hormigón armado. Obsérvese, a su vez, que estos equivalen a poco más de la quinta parte de los 195 posibles contenidos en la planilla n° 2, descartándose de esta forma más de las tres cuartas partes de los códigos allí presentes. Destaca-se también la particular relevancia de los dos no vinculados al material principal, quienes congregan casi un tercio de los casos generales.

Tabla 10 – Listado de los juicios presentes en los 93 informes

	JUICIO / LESION	INCIDENCIA	INCIDENCIA %
JUICIOS RELAC. CON EL HGON			
1	Fisuras-Apoyo	1	0,14
2	Fisuras-Pavimento	1	0,14
3	Fisuras-Losa Acceso	1	0,14
4	Manchas oxido-Pila	1	0,14
5	Armaduras expuestas-Losa acceso	1	0,14
6	Nido de abeja-Protección lateral	1	0,14
7	Disgregación-Losa acceso	1	0,14
8	Otras-Fundación	1	0,14
9	Otras-Tablero	1	0,14
10	Otras-Pavimento	1	0,14
11	Armaduras expuestas-Apoyo	2	0,29
12	Corrosión armaduras-Estribo	2	0,29
13	Corrosión armaduras-Pila	2	0,29
14	Disgregación-Apoyo	2	0,29
15	Disgregación-Pavimento	2	0,29
16	Otras-Estribo	2	0,29
17	Fisuras-Protección lateral	3	0,43
18	Fisuras-Vereda	3	0,43
19	Armaduras expuestas-Estribo	3	0,43
20	Manchas de humedad-Tablero	3	0,43
21	Fisuras-Fundación	4	0,58
22	Disgregación - Protección lateral	4	0,58
23	Manchas de humedad-Juntas	5	0,72
24	Nido de abeja-Tablero	6	0,87
25	Corrosión armaduras-tablero	7	1,01
26	Disgregación-Veredas	7	1,01
27	Disgregación-Estribo	8	1,15
28	Armadura expuesta-Pila	10	1,44
29	Corrosión de armaduras-Protección lateral	10	1,44
30	Disgregación-Pila	10	1,44
31	Fisuras-Estribo	14	2,02
32	Armadura expuesta-Veredas	15	2,16
33	Fisuras-Tablero	18	2,60
34	Disgregación-Tablero	21	3,03
35	Fisuras-Terraplenes	23	3,32
36	Otras-Terraplenes	24	3,46
37	Fisuras-Pila	27	3,90
38	Armadura expuesta-Tablero	30	4,33
39	Disgregación-Juntas	44	6,35
40	Manchas de humedad-Veredas	45	6,49
41	Manchas de humedad-Drenaje	51	7,36
42	Armadura expuesta-Protección lateral	54	7,79
		471	67,97
JUICIOS NO RELAC. CON EL HGON.			
43	Sin incumplimientos	81	11,69
44	Incumplimientos no rela con el hgon.	141	20,35
		222	32,03
TOTAL DE JUICIOS		693	100,00

3.4 EXPOSICION DE LA INFORMACION

Concluido el proceso general de la información obtenida entendió-se oportuno presentarla en tres apartados; “DATOS GENERALES”, “DATOS POR RUTA” y “LESION + TERRITORIO”, donde el primero refiere a todos los puentes inspeccionados, el siguiente a cada una de las situaciones particulares y el ultimo sitúa los daños de mayor peso en la Carta Geográfica del Uruguay.

En el primer caso los 42 juicios relacionados con el hormigón son agrupados por categorías, respetando para esto la estructura ya planteada en la planilla nº 2. En función de esta premisa la exposición de datos se realiza en los 8 ítems que presentan casos; “Armadura expuesta”, “Manchas de humedad”, “Disgregación”, “Fisuras”, “Otras”, “Corrosión de armaduras”, “Nidos de abeja” y “Manchas de oxido”. No obstante, atento a que tres de ellos son claramente asociados a una misma causa es planteada a posterior la asociación de “Armadura expuesta”, “Corrosión de armaduras” y “Manchas de oxido” bajo la denominación del segundo. Adoptado este criterio considera-se delineado el que se utilizara después para especificar el apartado; “DATOS POR RUTA”. En última instancia y como cierre de la información, el ítem “LESION + TERRITORIO” permite visualizar la ubicación de los juicios mayormente citados en la Carta Geográfica del Uruguay.

Es preciso recordar que el trabajo refiere a la incidencia de los daños y no a su gravedad, razón por la cual en todo caso se destaca la preeminencia y no su impacto a nivel estructural.

3.5 FOCALIZACION DE DATOS

Si bien en el apartado “DATOS GENERALES” generan-se de por sí valiosas informaciones, optó-se por explorar el resultado de situar el foco en las lesiones más preeminentes. Para esto elaboro-se la Figura 79 que permite visualizar la incidencia de los juicios citados igual número de veces. De esta forma, por ej., la barra roja con el 11.46 % junto al nº 54 en el eje vertical detalla que los daños que en la planilla nº1 registran 54 anotaciones inciden de esa forma en el total, los nombrados en 4 oportunidades suman el 1.70 % y así sucesivamente. Obsérvese también con auxilio del cuadro inferior que los juicios mayormente citados no se reiteran, aspecto que empieza a variar a partir de los nombrados en 10 oportunidades.

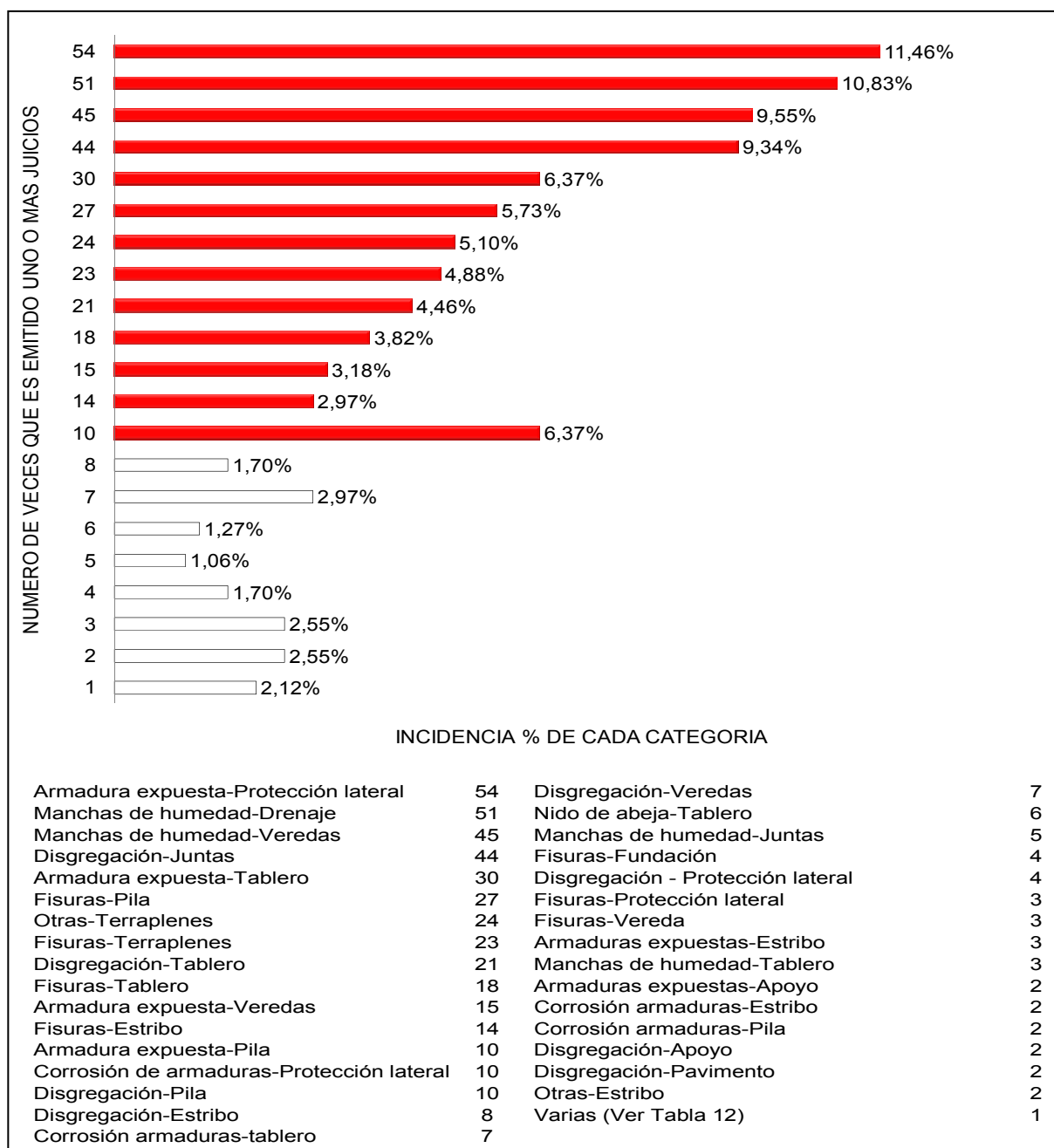


Figura 79 – Incidencia porcentual de los juicios emitidos igual número de veces (referida a los 471 juicios vinculados al hormigón)

A su vez, para poder contemplar el comportamiento de los acumulados parciales y su evolución, la Figura 80 detalla que por ej. los juicios registrados 8 o más veces reúnen el 85.77 % de los casos, los citados 14 o más veces el 77.71 %, los citados 24 o más veces 58.39 % y así sucesivamente.

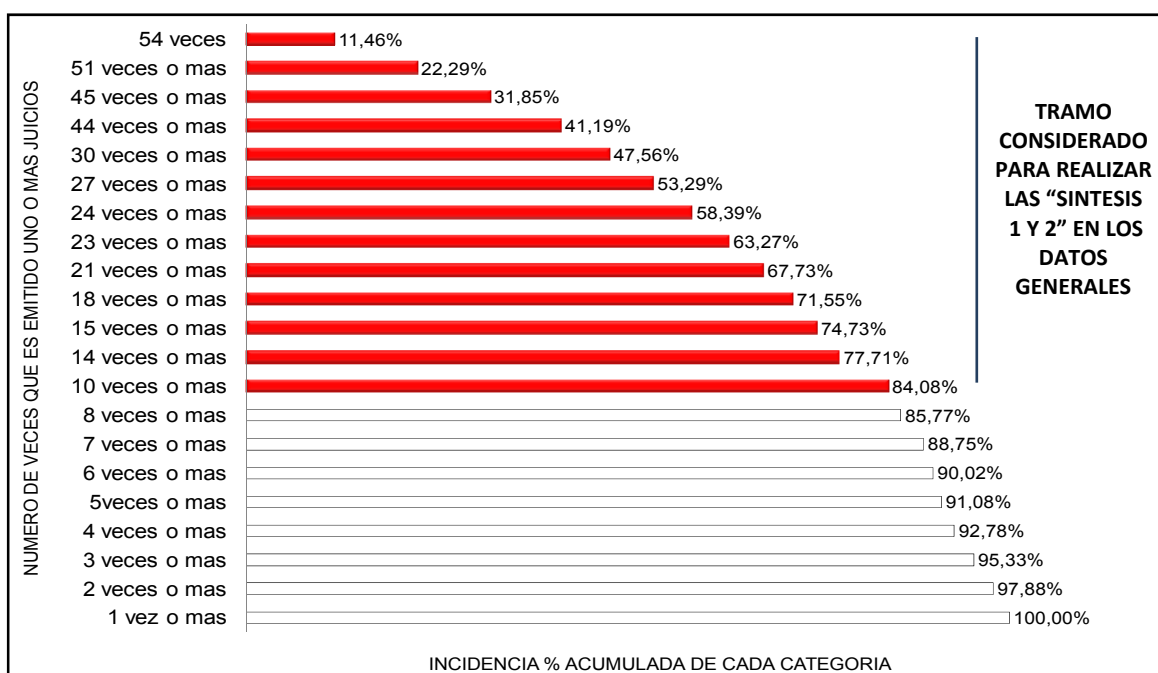


Figura 80 - Incidencia porcentual acumulada de los juicios emitidos igual número de veces (referida a los 471 juicios vinculados al hormigón)

Valorado lo anteriormente expuesto, escogió-se para tentar una selección de daños el tramo superior de la Figura 79, donde los porcentajes muestran un sostenido incremento a partir del 2.97 % (lesiones con 14 anotaciones). Marcado este punto incorporo-se también el escalón inmediato anterior (10 o +), contemplando de esta forma su importante valor relativo (6.37%). A partir de este criterio la totalidad de juicios con valor porcentual igual o mayor al 2%⁴⁴ y citados 10 o más veces son considerados, lo que incluye el 84.08 % de los datos y reduce el universo de juicios de 42 a 15.

Planteada esta selección destaca-se el hecho de que el tercio de juicios escogido concentra más de las tres cuartas partes de los casos, lo cual es significativo en relación a este limitado número de manifestaciones patológicas. Ha de resaltarse por otra parte, que si bien esta selección omite daños cuya evolución pudiera ser significativa esto es solo posible a partir del criterio ya explicitado, mediante el cual se contempla la incidencia de los daños y no su gravedad.

En función de esta circunstancia, y con el solo objeto de confrontar el comportamiento de esta porción de juicios con el total, el apartado "DATOS GENERALES" presenta

⁴⁴ Este dato puede-se observar en la Tabla 12

dos sub divisiones más, las “Síntesis 1 y 2”, que agrupan por categorías estas 15 lesiones de incidencia igual o mayor al 2%.

Seguidamente la Figura 81 permite especificar la asociación de juicios realizada para efectivizar las “Síntesis” planteadas.

CODIGO	LESION	INCIDENCIA	SINTESIS 1	SINTESIS 2
56	Armadura expuesta-Pila	10	Armadura expuesta	Corrosión de armaduras
63	Armadura expuesta-Veredas	15		
59	Armadura expuesta-Tablero	30		
60	Armadura expuesta-Proteccion lateral	54		
89	Manchas de humedad-Veredas	45	Manchas Humedad	Manchas de humedad
91	Manchas de humedad-Drenaje	51		
3	Fisuras-Estribo	14	Fisuras	Fisuras
7	Fisuras-Tablero	18		
6	Fisuras-Terraplenes	23		
4	Fisuras-Pila	27		
147	Disgregacion-Pila	10	Disgregación	Disgregación
150	Disgregación-Tablero	21		
153	Disgregacion-Juntas	44		
188	Otras-Terraplenes	24	Otras	Otras
73	Corrosión de arm- Protección lateral	10	Corrosión de armaduras	

Figura 81 – Lesiones citadas 10 o más veces (2% o más) + Síntesis 1 + Síntesis 2

En lo que hace a la exposición de la información esta es realizada mediante tablas y gráficos, donde en particular de los últimos los empleados son:

- **BARRAS** para comparar valores entre categorías (Figura 82)
- **CIRCULAR** para mostrar la contribución parcial de valores a un total (Figura 82)
- **BURBUJAS** para comparar conjuntos de tres valores; **Localización del puente** (eje horizontal con distancia en km desde el punto 0 de la ruta), **Juicio** (eje vertical con códigos de lesiones) e **Incidencia** (número de veces que un juicio es emitido)⁴⁵ (Figura 83).

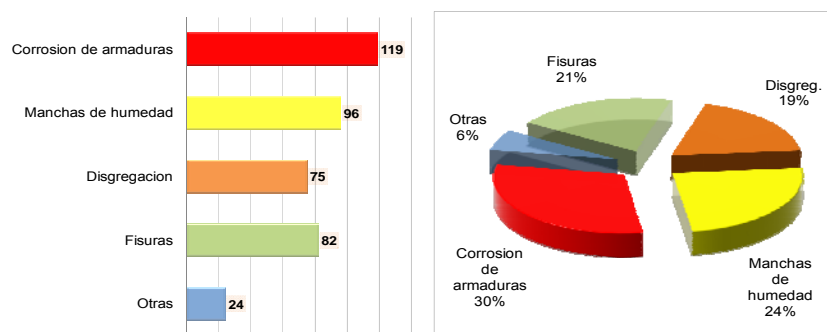


Figura 82 – Gráficos empleados

⁴⁵ Este último valor determina el tamaño de cada esfera, de forma que por ej. si la lesión “Fisuras” (1000 en el eje vertical) presenta 3 casos en el km 120, ésta será su dimensión relativa

Considerando que para realizar el grafico era necesario plantear una relación entre parámetros numéricos, asigno-se un valor o código a cada lesión para de poder efectivizarlo.

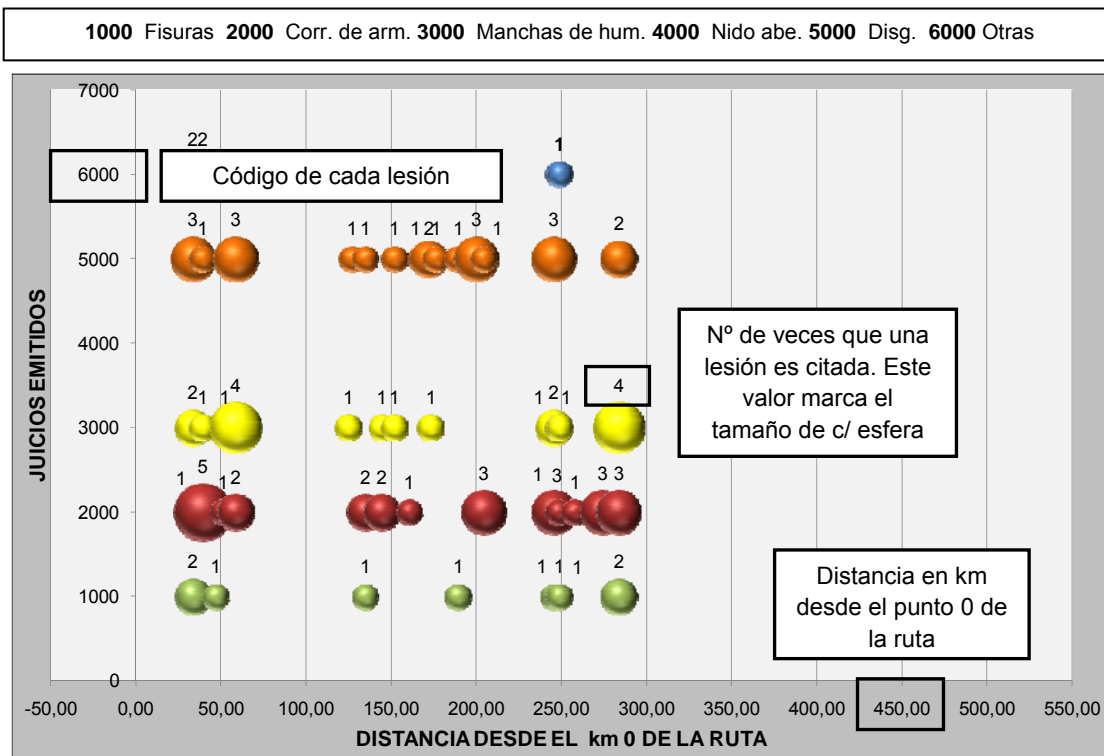


Figura 83- Grafico de “BURBUJAS”

Contempladas las diversas instancias a través de las cuales se planteo el manejo de los datos obtenidos, entendió-se oportuno explicitar los criterios mediante los cuales se llevo adelante el mismo. Con este objeto, elaboró-se un cuadro que recoge esta inquietud y que es expuesto en la Figura 84. En éste se detalla el ordenamiento de la información realizado especificando en cada etapa la información utilizada. A sí mismo, junto a cada una de ellas se enumeran los elementos relacionados tentado esclarecer sus aspectos más relevantes.

Es conveniente recordar que las Síntesis 1 y 2 son exclusivamente empleadas en los “DATOS GENERALES”, y tienen por propósito comparar sus resultados con las instancias donde contemplaron-se los daños sin restricción. Se busca de esta forma determinar el comportamiento de un limitado número de casos, lo que de ser el resultado positivo habilitaría a plantear su uso para efectuar tareas de mantenimiento. Presenta-se a continuación la Figura 84.

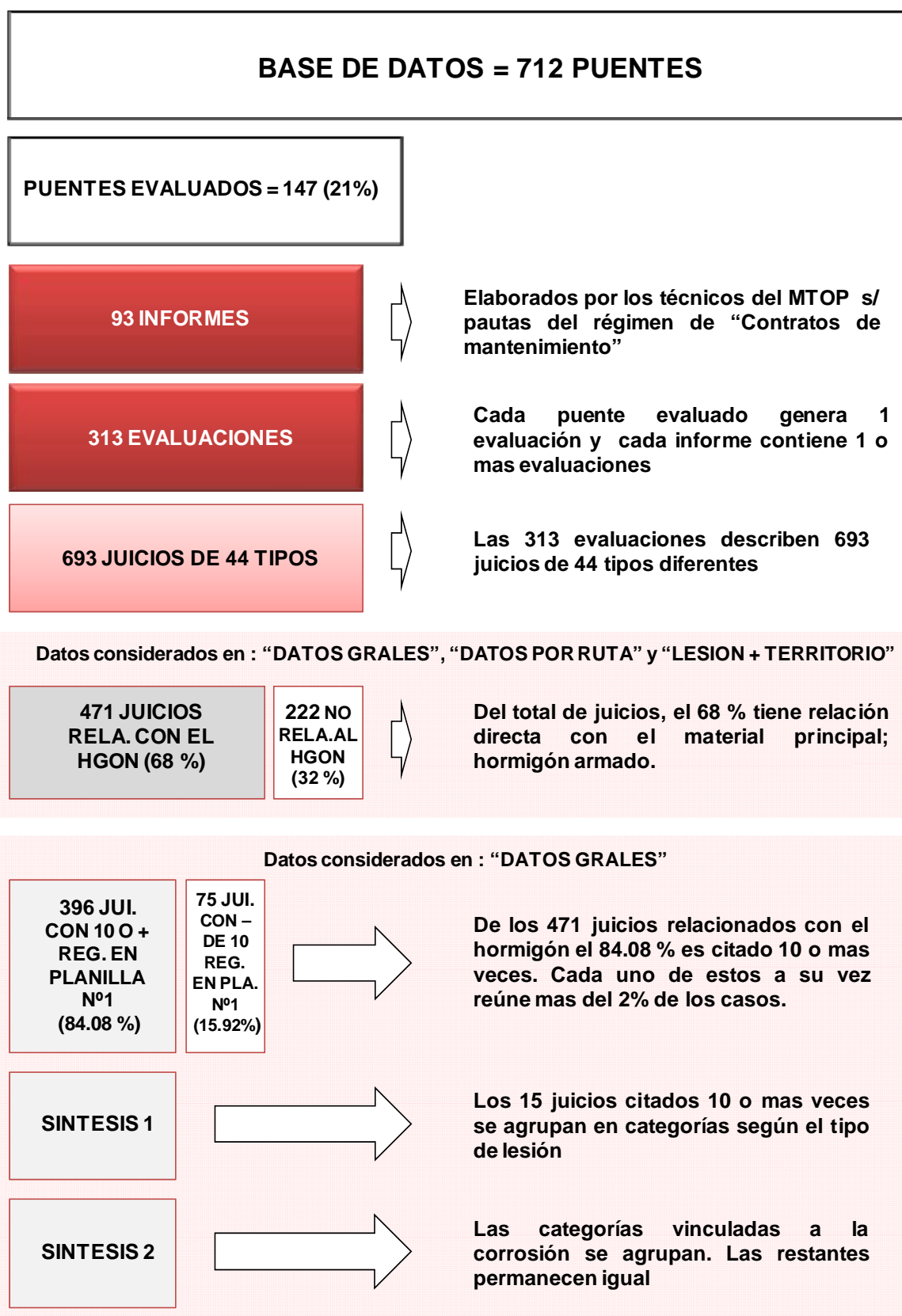


Figura 84 - Manejo gral de la base de datos

4 PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

Presentan-se en primera instancia los resultados generales, seguidamente los de los puentes por ruta y al final lo referido a las zonas más exigidas. En cada uno de los ítems, a su vez, aportan-se elementos singulares vinculados al caso. De la valoración general de la información obtenida destaca-se la preeminencia del daño “Corrosión de armaduras”, aspecto que será determinante en el desarrollo general del texto guiando en forma importante la exposición final de datos.

4.1 DATOS GENERALES

El apartado “**Aspectos generales**” resume la información de todos los juicios y/o lesiones presentes en la Planilla nº 1 y los dos siguientes; “**Aspectos generales - Síntesis 1**” y “**Aspectos generales - Síntesis 2**” hacen lo propio con las que reúnen al menos 2% de los casos y son citadas en 10 o más oportunidades.

4.1.1 Aspectos generales

Como fuera dicho, de los 712 puentes de jurisdicción nacional contenidos en la lista suministrada por el MTOP, poco más de la quinta parte (147 / 21 %) cuenta con evaluaciones realizadas bajo las pautas del régimen de mantenimiento. Al respecto, sería conveniente recordar que el sistema comprende tramos específicos de rutas particulares, por lo cual estos datos han de ser valorados a la luz de esta singularidad. La Figura 85 a continuación explicita esta información y la siguiente permite visualizar los puentes inspeccionados en el territorio⁴⁶.

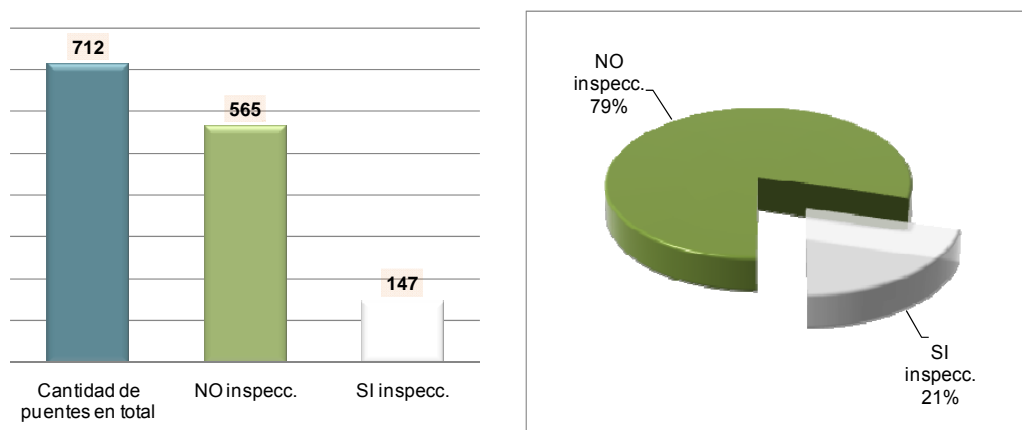


Figura 85 – Puentes totales + NO inspeccionados + SI inspeccionados

⁴⁶ En los apartados que detallan los datos por ruta puede-se observar este gráfico por áreas.

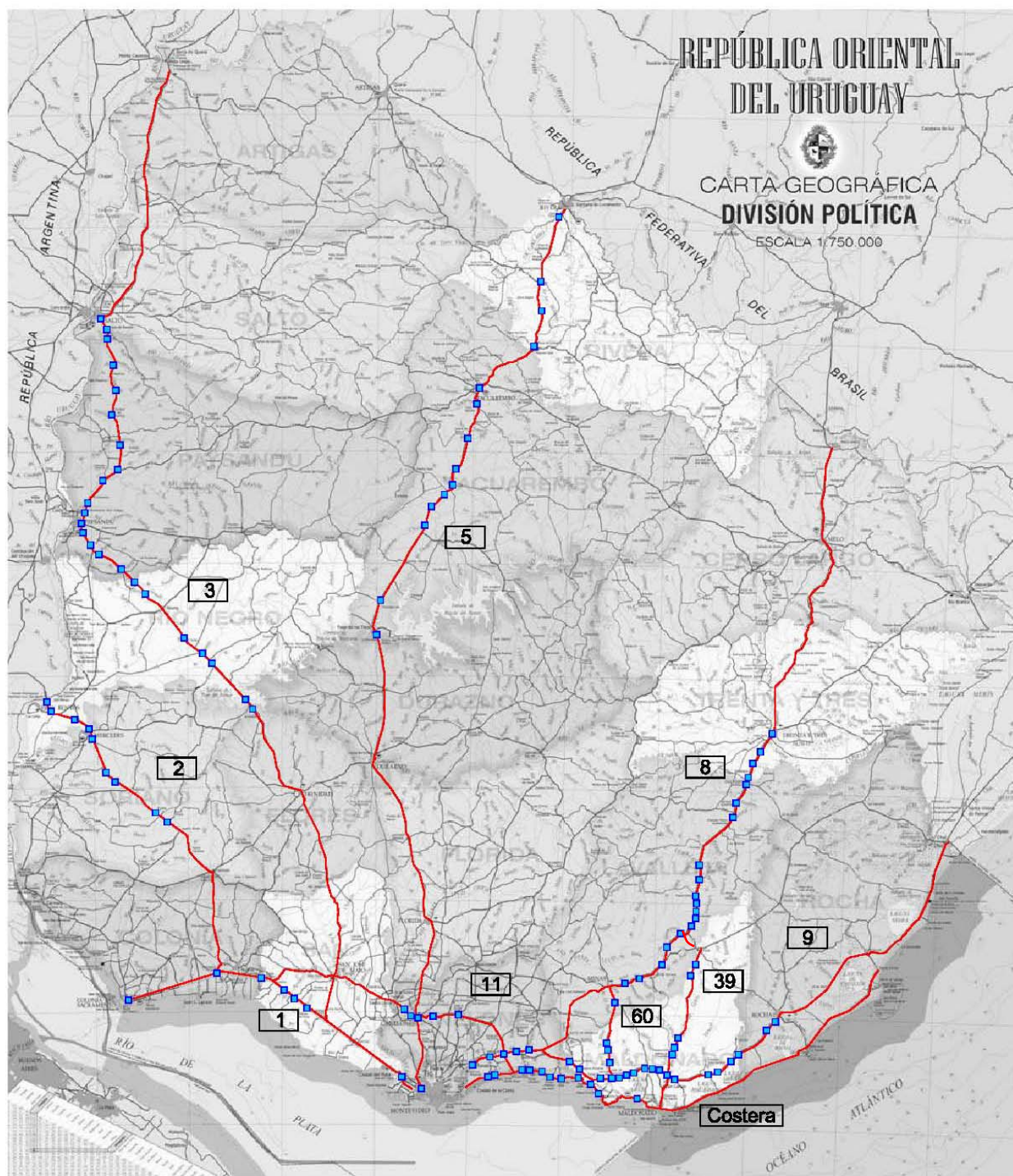


Figura 86 - Carta geográfica del Uruguay con rutas y puentes inspeccionados

De la exposición ordenada de los 44 tipos de juicios constatados en las 313 evaluaciones sobre los 147 puentes, resaltan-se especialmente los ítems; “Incumplimientos no relacionados con el hormigón” y “Sin incumplimientos”, quienes congregan respectivamente el 20.35 % y 11.69 % de los casos. Valoradas estas cifras destacan-se por su importante valor relativo, ya que marcan la trascendencia de daños que, sin comprender al material principal adquieren una especial relevancia en el desempeño de estas estructuras. (Figura 87)

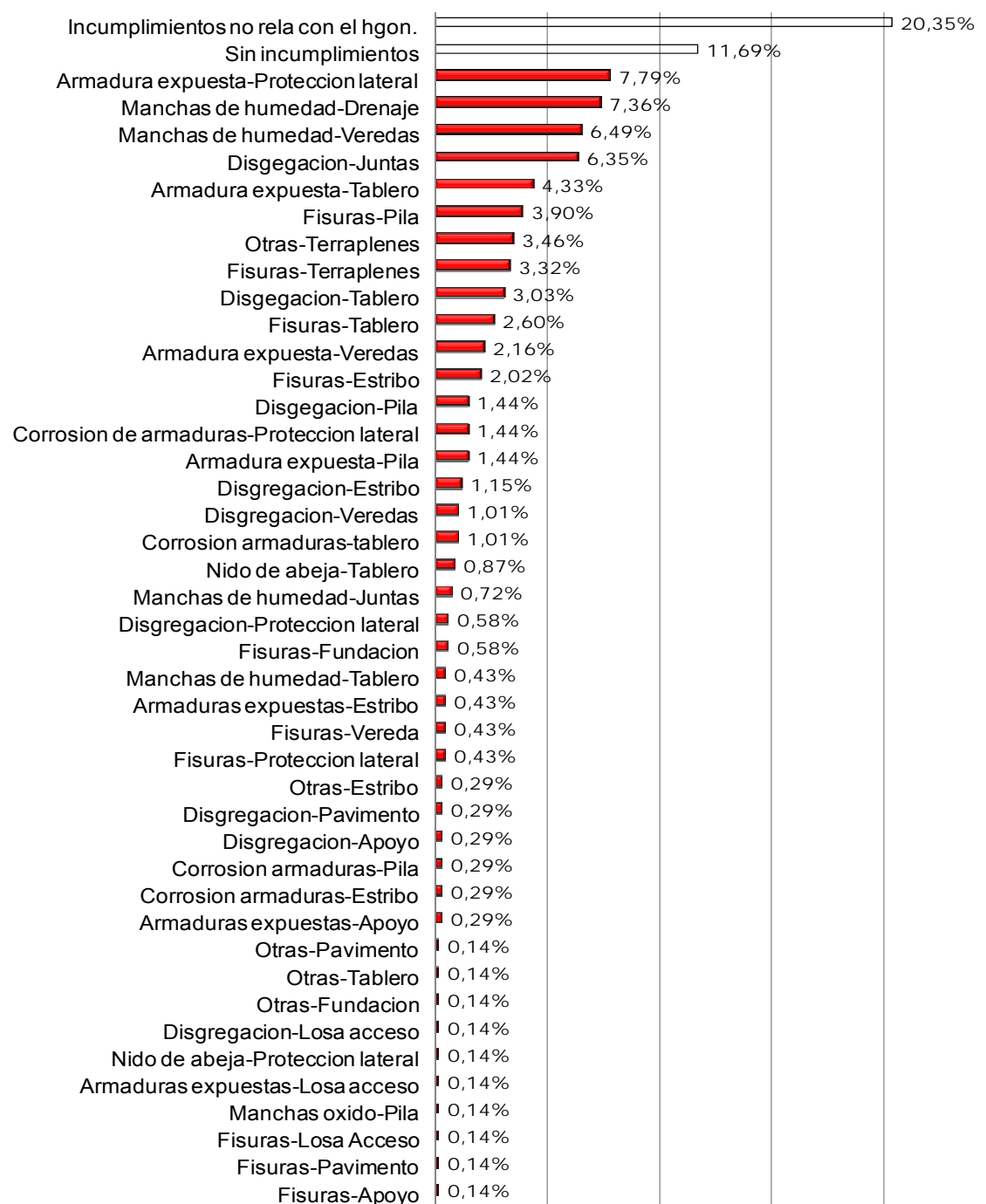


Figura 87 –Incidencia porcentual ordenada de la totalidad de los juicios emitidos

Contempladas por categoría las 42 lesiones directamente relacionadas con el hormigón armado sin considerar los componentes de los puentes, observa-se que la manifestación patológica mayoritaria es “Armadura expuesta”, quien reúne en forma exclusiva casi la cuarta parte de los casos. A su vez, esta es seguida por “Manchas de humedad”, “Disgregación” y “Fisuras”, quienes congregan cada una más de la quinta parte de los incumplimientos.

Expuesta de esta forma la información puede-se determinar que las lesiones registradas son de ocho tipos, cuando la planilla n°2 permitía contemplar hasta 15. Ha de recordarse al respecto que el presente criterio de asociación es similar al que se planteará en la “Síntesis 1”, razón por la cual sus resultados podrán ser cotejados con ésta (Figura 88).

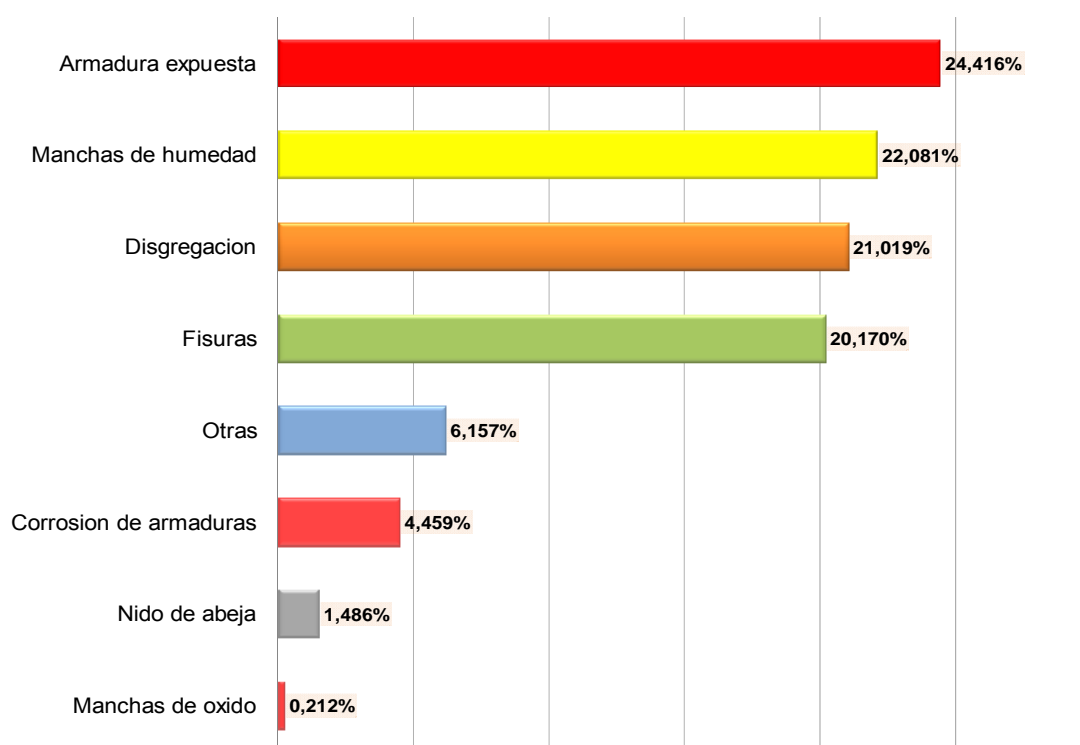


Figura 88 –Incidencia porcentual ordenada por categorías de lesiones relacionados con el hormigón armado

Valorado el hecho que, por la forma de registrar los casos se generan ítems que podrían ser considerados uno, los denominados “Armadura Expuesta”, “Corrosión de armaduras” y “Manchas de Oxido” podrían ser agrupados bajo el segundo.⁴⁷ Planteado

⁴⁷ Puede-se observar al respecto como en el ejemplo de informe del Anexo 4, bajo el título “Corrosión de armaduras” se detalla el daño “Armadura expuesta”

el gráfico que recoge esta asociación, observe-se el aumento del rubro que la contiene, destacando aun más la singular relevancia de esta afectación. (Figura 89)

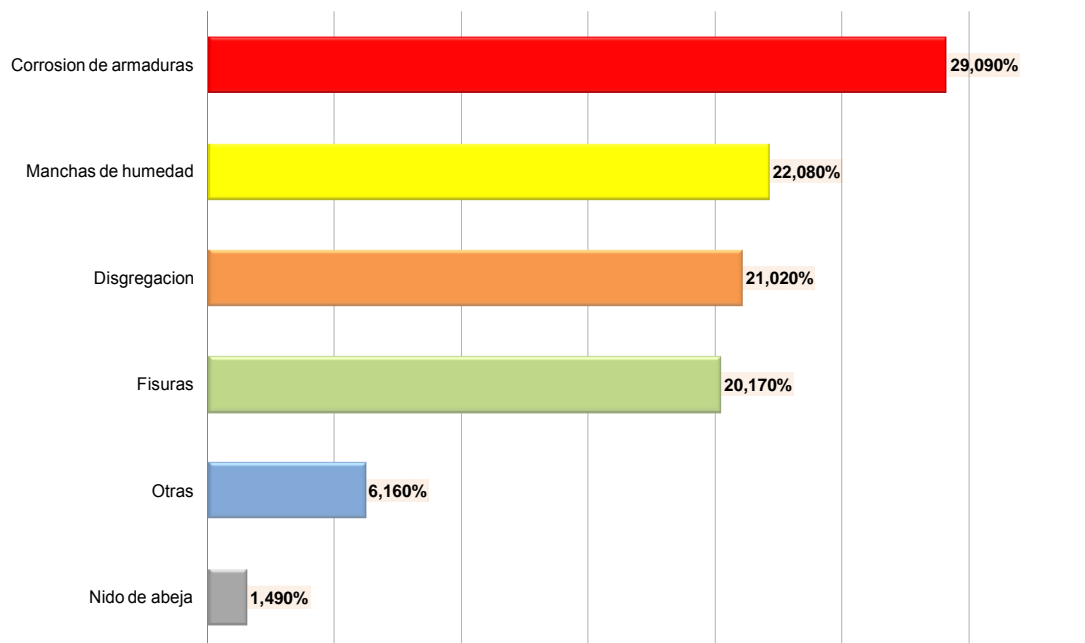


Figura 89 –Incidencia porcentual ordenada por categorías agrupadas de lesiones relacionados con el hormigón armado

Valorados ahora los componentes de los puentes afectados, observe-se en la Figura 90 que el mayoritario es “Tablero”, quien reúne en forma exclusiva casi una quinta parte de los casos (18.259%). En segundo y tercer lugar se ubican “Protección lateral” y “Veredas” en torno al 15% y seguidamente lo hacen “Drenajes”, “Pilas”, “Juntas” y “Terraplenes” cercanas al 10%.

Ha de resaltarse en relación a estos datos que si bien como puede-se observar en el Anexo 3 el componente “Protección lateral” comprende; “Barandas”, “Defensas” y “Cordones”, son las citadas en primera instancia quienes congregan una mayor cantidad de incumplimientos.

Contemplado por otra parte el número de elementos registrados en relación a las posibilidades, evidencia-se que estos son doce, cuando la planilla n°2 permitía registrar hasta trece. La Figura 90 a continuación permite explicitar estas informaciones.

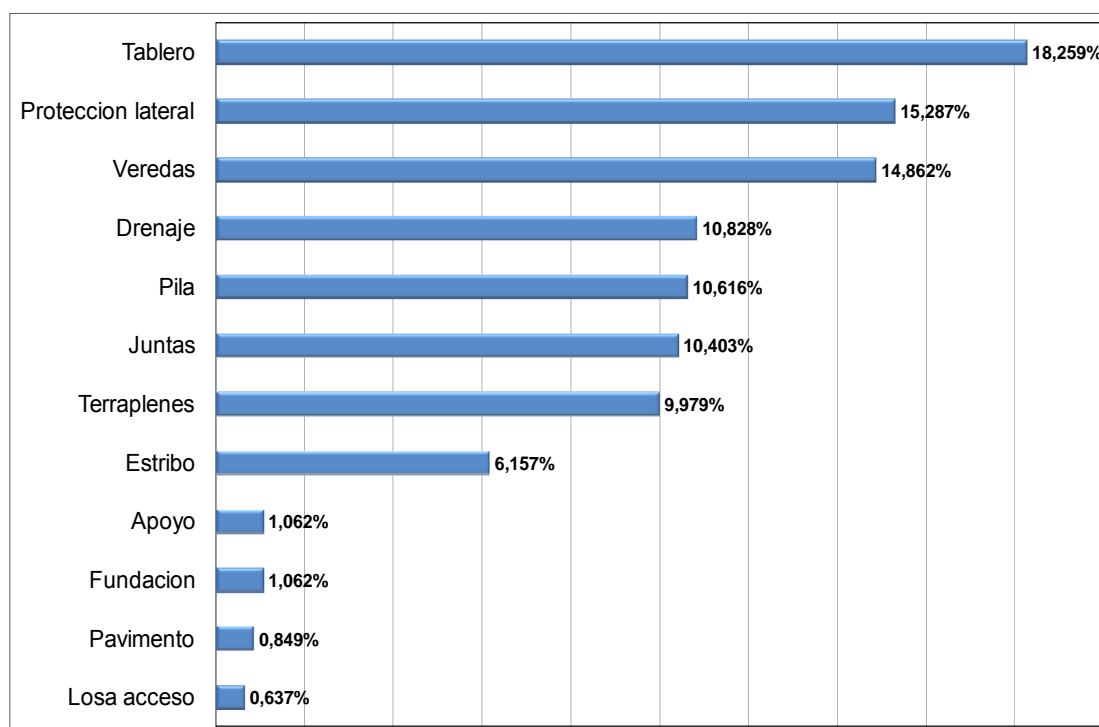


Figura 90 –Incidencia porcentual ordenada de los elementos afectados

Si bien es de por sí ilustrativo el visualizar las lesiones presentes y determinar qué elementos son más exigidos, surgía como ineludible el cruzar ambos datos, obteniéndose así los daños en cada uno. En función de esta premisa elaboró-se la Tabla 11 que detalla; componente afectado según ordenamiento de la Figura precedente (ELEMENTO), lesión registrada según el número de casos (LESIÓN), número de veces que cada una es citada (INCIDENCIA), cantidad de lesiones por elemento (SUB-TOTAL) e incidencia relativa de cada una (% DE C/LESIÓN).

Cotejadas las distintas cifras, observa-se que “Tablero” y “Protección lateral” presentan mayormente la “Armadura expuesta” y los restantes diez elementos muestran fundamentalmente problemas de “Fisuras”, “Manchas de humedad” y “Disgregación”.

Presenta-se a continuación la Tabla explicitada que cierra la información referida a los juicios con al menos un caso en la planilla n°1. Seguidamente se pasarán a considerar las lesiones con registro igual o mayor al 2%.

Tabla 11 – Lesiones por elemento

ELEMENTO	LESION	INCIDENCIA	SUB-TOT.	% DE C / LESION	% ACUM.
Tablero	Armadura expuesta	30		34,88	
	Disgregación	21		24,42	
	Fisuras	18		20,93	
	Corrosión armaduras	7		8,14	100,00
	Nido de abeja	6		6,98	
	Manchas de humedad	3		3,49	
	Otras	1	86	1,16	
Protecc. lateral	Armadura expuesta	54		75,00	
	Corrosión de armaduras	10		13,89	
	Disgregación	4		5,56	100,00
	Fisuras	3		4,17	
	Nido de abeja	1	72	1,39	
Veredas	Manchas de humedad	45		64,29	
	Armadura expuesta	15		21,43	
	Disgregación	7		10,00	100,00
	Fisuras	3	70	4,29	
Drenaje	Manchas de humedad	51	51	100,00	100,00
Pila	Fisuras	27		54,00	
	Armadura expuesta	10		20,00	
	Disgregación	10		20,00	100,00
	Corrosión armaduras	2		4,00	
	Manchas oxido	1	50	2,00	
Juntas	Disgregación	44		89,80	
	Manchas de humedad	5	49	10,20	100,00
Terraplenes	Otras	24		51,06	
	Fisuras	23	47	48,94	100,00
Estribo	Fisuras	14		48,28	
	Disgregación	8		27,59	
	Armaduras expuestas	3		10,34	100,00
	Corrosión armaduras	2		6,90	
	Otras	2	29	6,90	
Apoyo	Armaduras expuestas	2		40,00	
	Disgregación	2		40,00	100,00
	Fisuras	1	5	20,00	
Fundacion	Fisura	4		80,00	
	Otras	1	5	20,00	100,00
Pavimento	Disgregación	2		50,00	
	Fisuras	1		25,00	100,00
	Otras	1	4	25,00	
Losa Acceso	Fisuras	1		33,33	
	Armaduras expuestas	1		33,33	100,00
	Disgregación	1	3	33,33	
TOTALES		471	471		

Planteada la información general correspondería situarse ahora en la de mayor incidencia, para lo cual como fuera dicho tomaron-se aquellas lesiones de registro igual o mayor a 10. A partir de esta premisa los datos siguientes refieren a las 15 de esta condición, por lo que destacan-se en la Tabla 12 sus valores individuales y los acumulados parciales.

Tabla 12 – Detalle con lesiones citadas 10 o más veces y de valor porcentual igual o mayor al 2%

JUICIO / LESION		INCIDENCIA	INCIDENCIA %	% ACUM.	
JUICIOS RELAC. CON EL HGON					
1	Fisuras-Apoyo	1	0,21	15,92	100,00
2	Fisuras-Pavimento	1	0,21		
3	Fisuras-Losa Acceso	1	0,21		
4	Manchas oxido-Pila	1	0,21		
5	Armaduras expuestas-Losa acceso	1	0,21		
6	Nido de abeja-Protección lateral	1	0,21		
7	Disgregación-Losa acceso	1	0,21		
8	Otras-Fundación	1	0,21		
9	Otras-Tablero	1	0,21		
10	Otras-Pavimento	1	0,21		
11	Armaduras expuestas-Apoyo	2	0,42		
12	Corrosión armaduras-Estribo	2	0,42		
13	Corrosión armaduras-Pila	2	0,42		
14	Disgregación-Apoyo	2	0,42		
15	Disgregación-Pavimento	2	0,42		
16	Otras-Estribo	2	0,42		
17	Fisuras-Protección lateral	3	0,64		
18	Fisuras-Vereda	3	0,64		
19	Armaduras expuestas-Estribo	3	0,64		
20	Manchas de humedad-Tablero	3	0,64		
21	Fisuras-Fundación	4	0,85		
22	Disgregación - Protección lateral	4	0,85		
23	Manchas de humedad-Juntas	5	1,06		
24	Nido de abeja-Tablero	6	1,27		
25	Corrosión armaduras-tablero	7	1,49		
26	Disgregación-Veredas	7	1,49		
27	Disgregación-Estribo	8	1,70		
28	Armadura expuesta-Pila	10	2,12		
29	Corrosión de armaduras-Protección lateral	10	2,12		
30	Disgregación-Pila	10	2,12		
31	Fisuras-Estribo	14	2,97		
32	Armadura expuesta-Veredas	15	3,18		
33	Fisuras-Tablero	18	3,82		
34	Disgregación-Tablero	21	4,46		
35	Fisuras-Terraplenes	23	4,88		
36	Otras-Terraplenes	24	5,10		
37	Fisuras-Pila	27	5,73		
38	Armadura expuesta-Tablero	30	6,37		
39	Disgregación-Juntas	44	9,34		
40	Manchas de humedad-Veredas	45	9,55		
41	Manchas de humedad-Drenaje	51	10,83		
42	Armadura expuesta-Protección lateral	54	11,46		
		75			
		471			
JUICIOS NO RELAC. CON EL HGON.					
43	Sin incumplimientos	81			
44	Incumplimientos no rela con el hgon.	141			
		222			
TOTAL DE JUICIOS		693			

Explicado el cuadro global la Figura 91 muestra estos juicios en forma ordenada, donde destacan con casi el 50 % de los casos “Armadura expuesta-Protección Lateral” (54), “Manchas de humedad-Drenaje” (51), “Manchas de humedad-Veredas” (45) y “Disgregación-Juntas” (44).



Figura 91– Incidencia particular de las lesiones citadas 10 o más veces en Planilla nº 1

Expuestos los juicios por ítem, la Figura 92 permite observar su valor %, acumulados parciales y tendencia general.

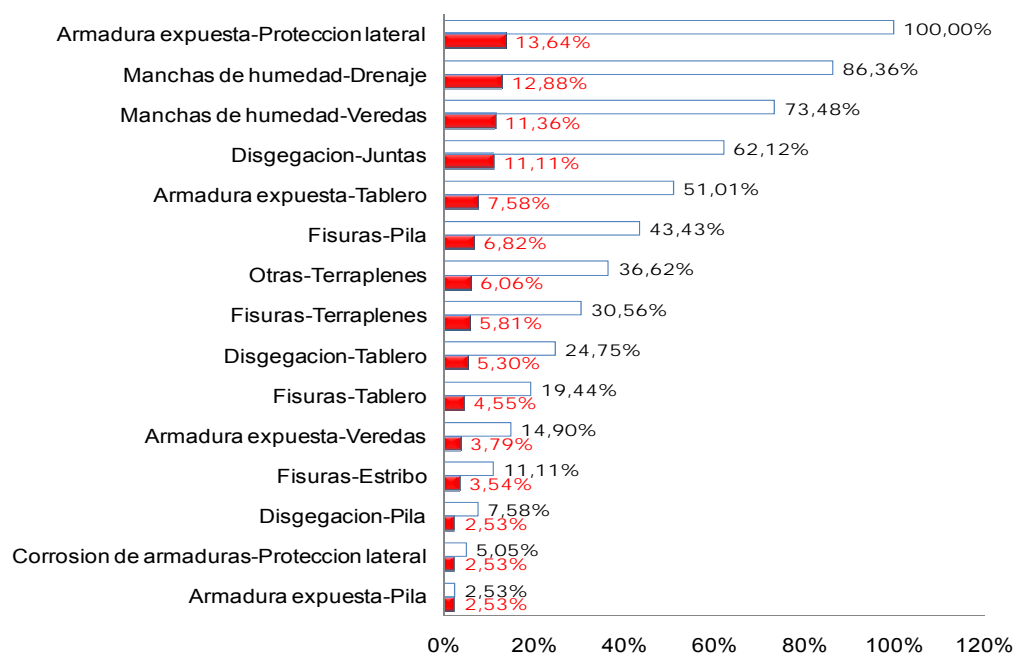


Figura 92 –Incidencia porcentual de las Lesiones citadas 10 o más veces en Planilla nº 1

4.1.2 Aspectos generales - Síntesis 1

Asociados los 15 juicios con al menos 2% de los casos en las categorías previstas para la “Síntesis 1”⁴⁸, destaca-se la preeminencia del ítem “Armadura expuesta” con 109 incumplimientos, el que es seguido por “Manchas de humedad” y “Fisuras” con cantidades similares (Figura 93).

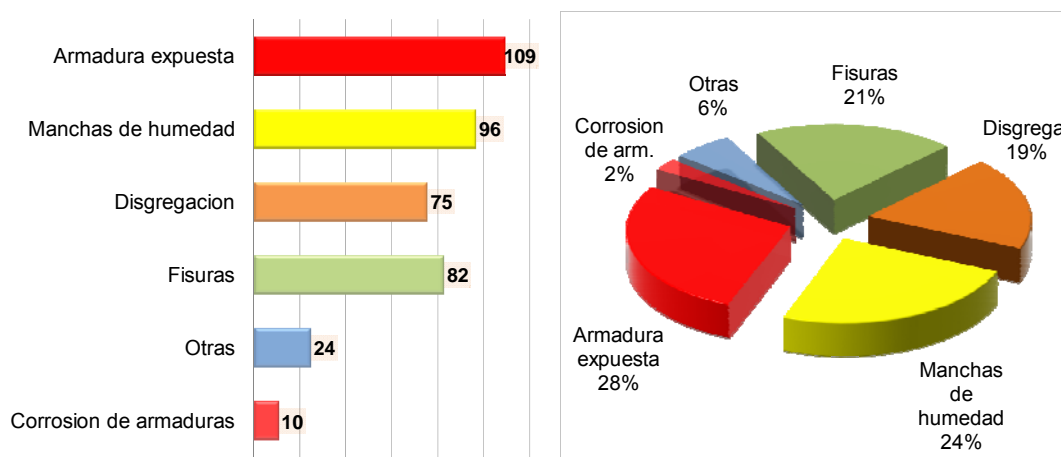


Figura 93 – Parciales de categorías gral según Síntesis 1

Comparadas las presentes cifras con las observadas en los datos generales no es posible apreciar sustanciales cambios en relación a lo expuesto en la Figura 88, a partir de lo cual puede-se concluir que el criterio de elección adoptado no altera sustancialmente la percepción del hecho estudiado. Este aspecto no menor es especialmente importante, ya que aporta un indicio cierto sobre la validez de la selección realizada.

4.1.3 Aspectos generales - Síntesis 2

A diferencia de la anterior, la presente “Síntesis 2” expone los datos en 5 categorías y no en 6 ya que los ítems; “Corrosión de armaduras” y “Armadura expuesta” son agrupados bajo la denominación del primero. “Manchas de humedad”, “Disgregación”, “Fisuras” y “Otras” no presentan modificaciones.

Planteada esta nueva instancia destaca-se el predominio del referido ítem, quien reúne casi 1/3 de los casos (119 de 396). Observe-se también la incidencia mostrada por “Manchas de humedad” y “Fisuras”, las que mantienen su relevancia pese a la importancia adquirida por el primero (Figura 94).

⁴⁸ Recuérdese que el criterio para agrupar estas lesiones es graficado en la Figura 81

Destaca-se una vez más que los resultados no difieren significativamente de los que contemplan los datos generales (Figura 89), a partir de lo cual puede-se concluir que el seguimiento de estos daños (15) aporta una visión no lejana sobre el estado de conservación en los puentes.

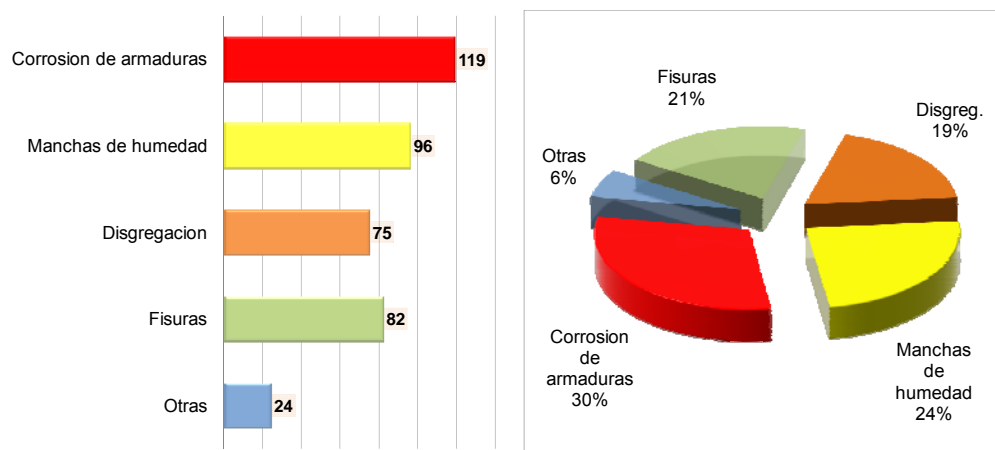


Figura 94 – Parciales de categorías gral según Síntesis 2

Concluida la exposición de la información global constata-se su semejanza con la detallada en la Figura 3 (HELENE, 2007), particularmente en lo referido a corrosión de armaduras, manchas superficiales y fisuras. En la misma dirección, destacase-se también la similitud de lo expuesto con lo detallado por; Magalhaes et. al. (1989) apud DURAR-CYTED (2000); Carmona F; Marenga,A (1988) apud DURAR-CYTED (2000)⁴⁹ y GEHO (1992) apud DURAR-CYTED (2000)⁵⁰, quienes arriban en su caso a conclusiones similares.

En función de lo detallado, y ya sea por defectos propios o por la acción del medio que las rodea (CPA, 2002 a; CALAVERA, 2005; CLARKE, 1993 apud VIDIELA-TAPIA, 2007; SILVA, 1995 apud AMIANTI-BOTARO, 2008), la corrosión de armaduras surge como altamente significativa en las presentes estructuras de hormigón armado. En idéntica dirección, considere-se que si bien los ítems “Manchas de Humedad”, “Disgregación” y “Fisuras” muestran menor suceso que el mayoritario (Figura 94), según ACI 224R (2001), ACI 201.2R (2001), Peralta et al. (2005), Calavera (2005), Pereira-Helene (2007 a) y Farias-Helene (2009), pueden ser considerados coadyuvantes para su desarrollo. A partir de lo expuesto desprende-se la necesidad de valorar la evolución de estos daños, en la medida que su desarrollo puede comprometer el desempeño de estas estructuras.

⁴⁹ Según estudios de los autores en puentes y viaductos la corrosión era la principal causa de daños, situándose ésta entre el 20 y 58 % de los casos.

⁵⁰ Según este grupo, del análisis de 844 casos surge que la corrosión de armaduras es una de las principales causas de deterioro en las estructuras de hormigón armado.

4.2 RESULTADOS CONTEMPLANDO LOS DATOS POR RUTA

La información expuesta a continuación detalla los datos de los puentes por ruta, para lo cual consideran-se los 471 daños vinculados al hormigón por categorías. De estas últimas, es presentada ya la asociación de ítems vinculados a la corrosión, de forma que los mismos son en total 6.

Incorporan-se en esta instancia las figuras que ubican los puentes en el territorio y los gráficos de burbujas, donde se destaca su ubicación (barra azul) y donde han sido efectuadas las inspecciones (barra roja). Los datos exhibidos permiten establecer en qué ruta las OAM reúnen más daños, su localización e incidencia.

4.2.1 Accesos A MVD.

El presente apartado reúne la información de los tramos que permiten el acceso a la ciudad de Montevideo por el oeste. Según lo aportado por el MTOP localizan-se en estos 11 puentes, entre los que ha sido inspeccionado 1 (9%). De la valoración particular de casos en éste surge que se registraron 2 incumplimientos, los que se corresponden con los ítems “Corrosión de armaduras” y “Fisuras”. (Figura 95)

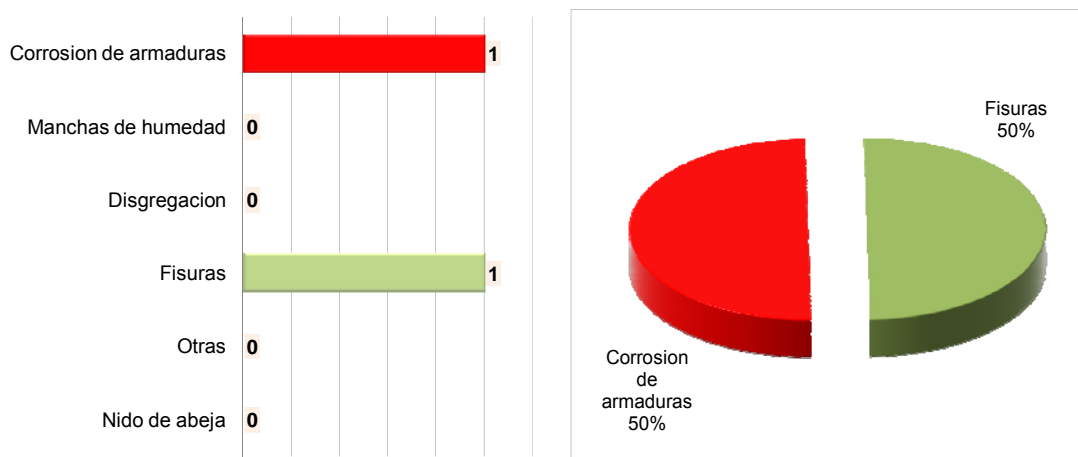


Figura 95 – Accesos a MVD - Parciales de categorías

Planteado el gráfico de burbujas con el que es posible situar las lesiones en el territorio observa-se que estas se ubican a su inicio, lo cual es concurrente con el hecho que el punto 0 está ubicado en la misma ciudad de Montevideo. (Figura 96).

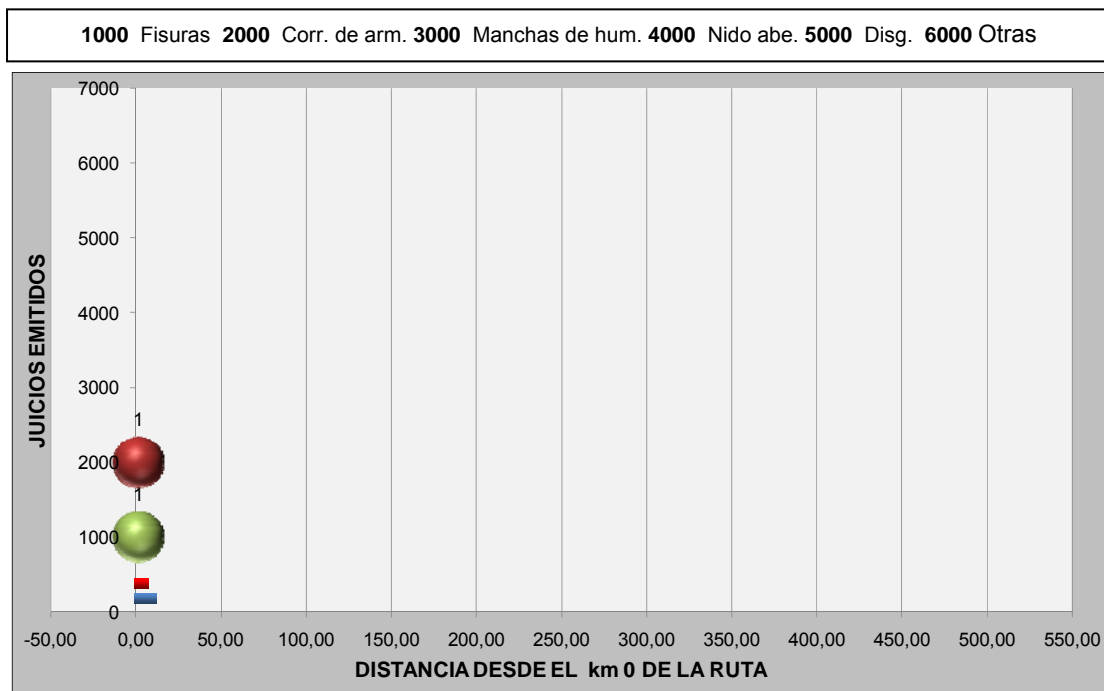


Figura 96 – Accesos a MVD – Ubicación e incidencia de lesiones

4.2.2 Ruta 1

El siguiente apartado reúne la información referida a los puentes en ruta 1, la que se ubica cercana al frente costero sur conformado por el desarrollo del Río de la Plata. Esta carretera que comunica las ciudades de Montevideo y Colonia muestra 19 puentes, contándose con datos sobre inspecciones realizadas en 9 (47%).

De la valoración particular de casos en estos 9 surge que registraron-se 37 incumplimientos, los que están mayormente vinculados al ítem “Disgregación”. Disponen-se a continuación sus similares de “Fisuras”, “Manchas de humedad” y “Corrosión de armaduras” con cantidades semejantes. (Figura 97)

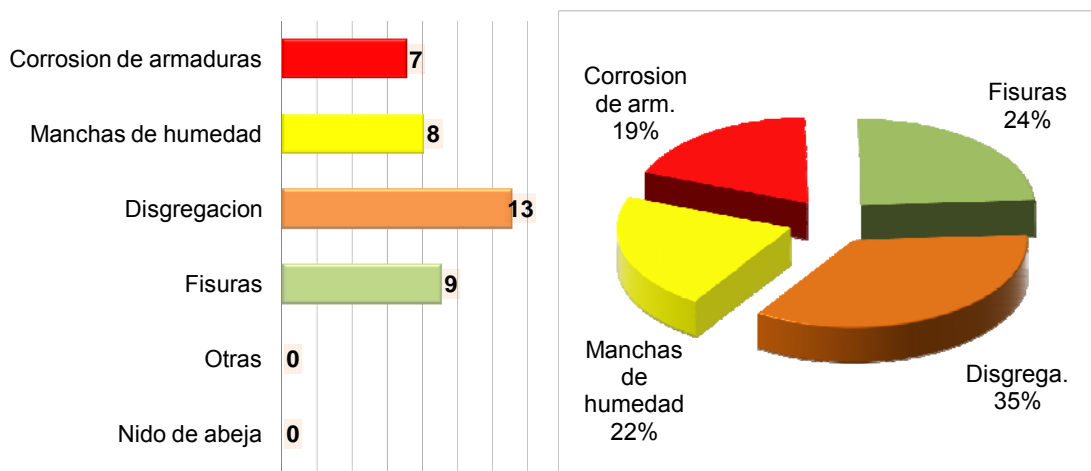


Figura 97 – Ruta 1 - Parciales de categorías

Planteado el gráfico de burbujas destaca-se la relación entre los puntos donde se presentan casos de “Fisuras” y “Corrosión de armaduras”, situación que se reitera entre los de “Disgregación” y “Manchas de humedad”. A sí mismo, observe-se que en general los juicios coinciden con los tramos inspeccionados (barra roja en eje horizontal), lo cual indica que cuando realizaron-se inspecciones se detectaron daños. Las Figuras 98 y 101 permiten visualizar estas informaciones.

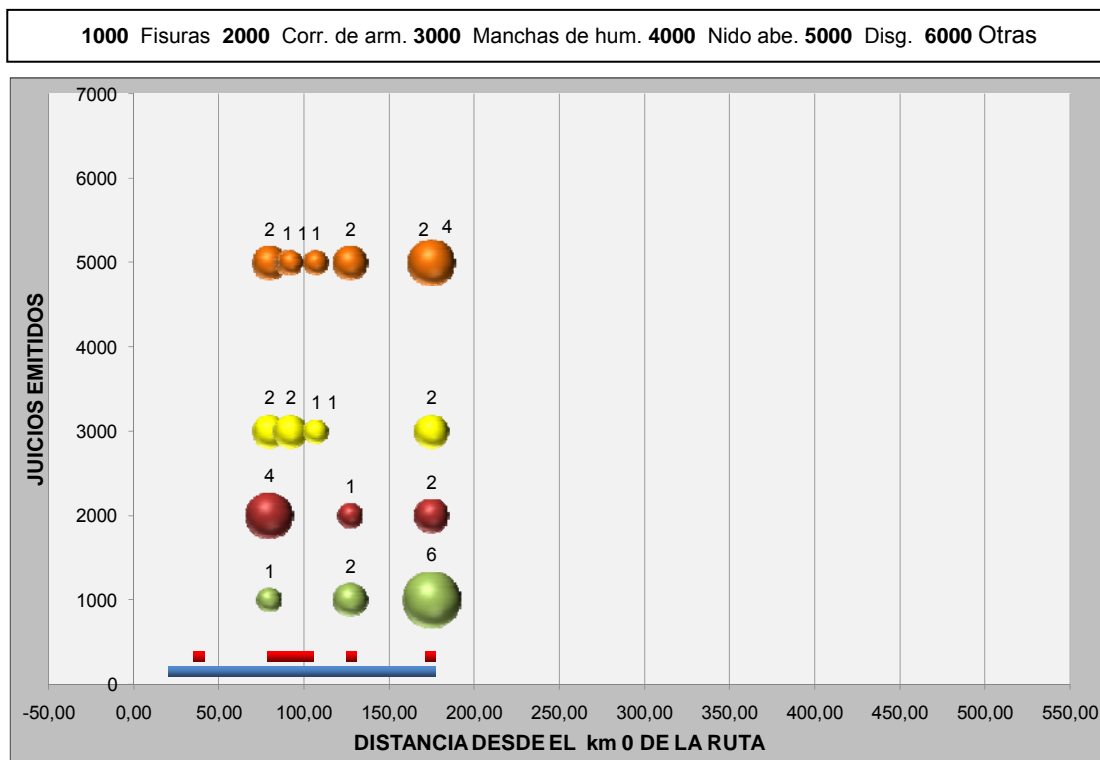


Figura 98 – Ruta 1 – Ubicación e incidencia de lesiones

4.2.3 Ruta 2

Presenta-se a continuación la información referida a los puentes en ruta 2, la que se ubica en el extremo sur-oeste del territorio sobre la conjunción del Río de la Plata y el Río Uruguay. Al igual que el en caso anterior los puentes en ésta son 19, contándose con datos sobre inspecciones realizadas en 11 (57%).

De la consideración de incumplimientos realizada surge que éstos son 29, observándose una clara preeminencia del ítem “Fisuras” con poco más del 50% de los casos. Por otra parte “Manchas de humedad” y “Corrosión de armaduras” se ubican claramente en segundo plano, no reuniendo entre ambas una equivalente cantidad de registros. (Figura 99)

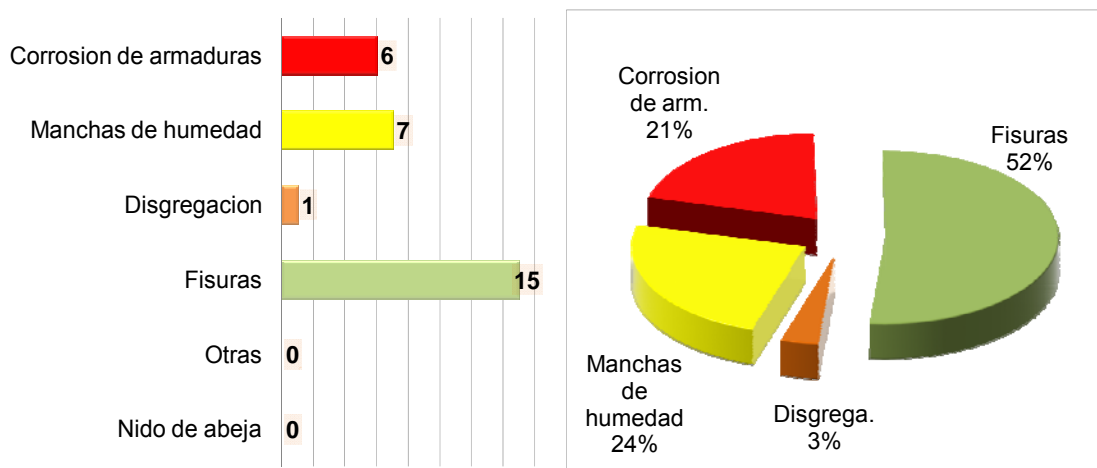


Figura 99 – Ruta 2 - Parciales de categorías

Planteado con esta información el grafico de burbujas, destaca-se que la lesión mayoritaria y un marcador 4 de “Manchas de humedad” se aglutinan en torno a los km 270 y 300, lo que se corresponde con el tramo final del Rio Negro y su encuentro con el Rio Uruguay. A sí mismo, es en este punto donde se agrupan los casos de “Corrosión de armaduras”, lo cual destaca su singularidad.

Observe-se a su vez que el tramo inspeccionado (barra roja en el eje horizontal) es más amplio que donde hay registros, lo cual subraya el área ya indicada. Las Figuras 100 y 101 permiten puntualizar estas informaciones.

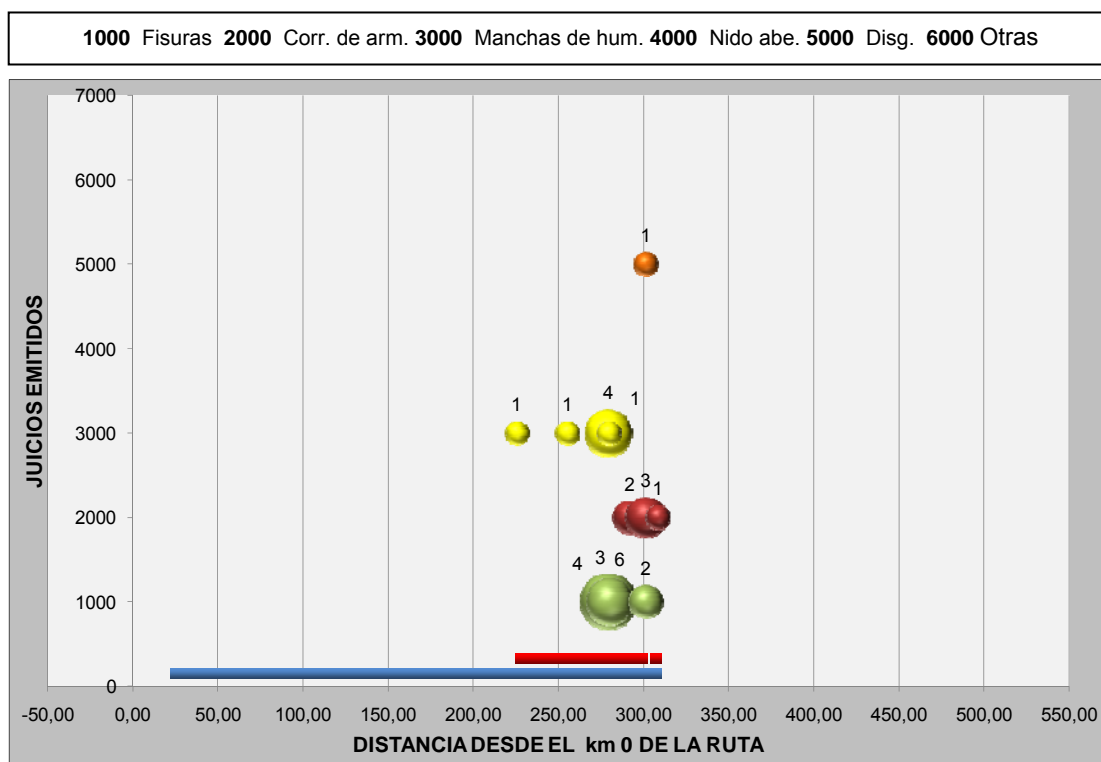


Figura 100 – Ruta 2 – Ubicación e incidencia de lesiones



Figura 101 - Carta geográfica del Uruguay con destaque de rutas 1 y 2 + ubicación de puentes inspeccionados (el valor en rojo marca el km)

4.2.4 Ruta 3

En este caso reúne-se la información referida a los puentes situados en ruta 3, la que se inicia al sur y se recuesta ulteriormente sobre el litoral con la República Argentina. Los puentes situados en esta son 62, contándose con datos sobre inspecciones realizadas en 24 (38 %).

De la valoración de casos en estos 24 surge que registraron-se 113 incumplimientos, donde prevalece por amplio margen el ítem “Manchas de humedad”. A si mismo, destacase también el valor tomado por “Disgregación”, quien reúne en particular más de una quinta parte de los incumplimientos (Figura 102).

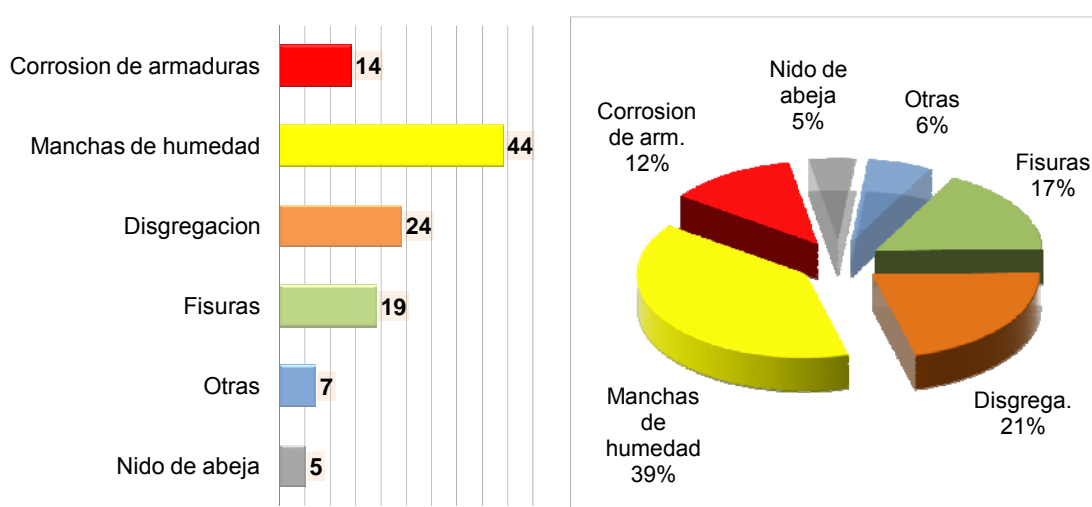


Figura 102 – Ruta 3 - Parciales de categorías

Planteado el grafico de burbujas destaca-se que la mayor parte de los indicadores de “Manchas de humedad” y “Disgregación se ubican entre los km 250 y 375, lo que se corresponde con el tramo no litoral entre el Rio Negro y el Rio Uruguay.

A sí mismo, observa-se la semejanza en la ubicación de los marcadores de “Fisuras” y “Corrosión de armaduras”, quienes muestran casos similares en la zona aledaña al Rio Negro. Las Figuras 103 y 106 permiten visualizar estas informaciones.

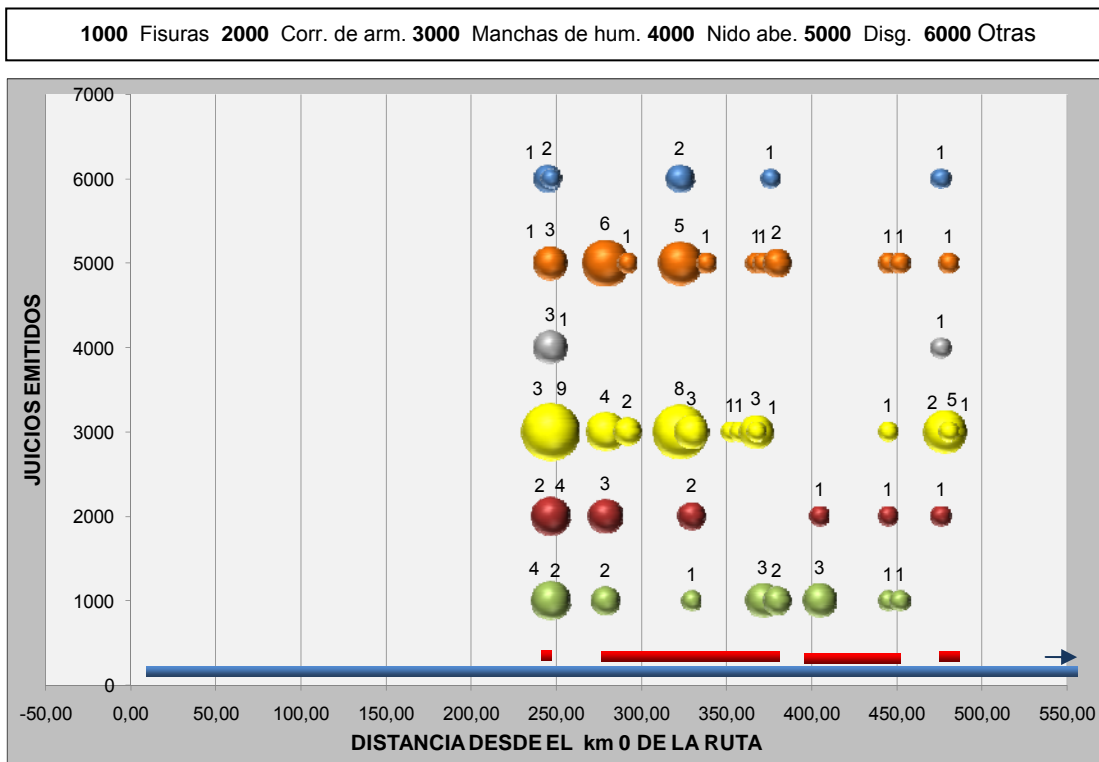


Figura 103 – Ruta 3 – Ubicación e incidencia de lesiones

4.2.5 Ruta 5

Destaca-se a continuación la información referida a los puentes en ruta 5, la que se ubica en la zona central del Uruguay y comunica las ciudades de Montevideo y Rivera. Los puentes situados en ésta son 53, contándose con datos sobre inspecciones realizadas en 22 (41 %).

De la valoración de casos en estos 22 surge que registraron-se 77 incumplimientos, los que responden de forma equilibrada a los ítems “Disgregación”, “Fisuras” y “Corrosión de armaduras”. (Figura 104)

Ha de destacarse en ese caso, que tal como puede-se observar en la Figura 106 los puentes aquí evaluados se ubican al norte del Rio Negro, por lo que el tramo considerado incluye un área alejada del frente costero oceánico y de la de influencia del Rio Uruguay.

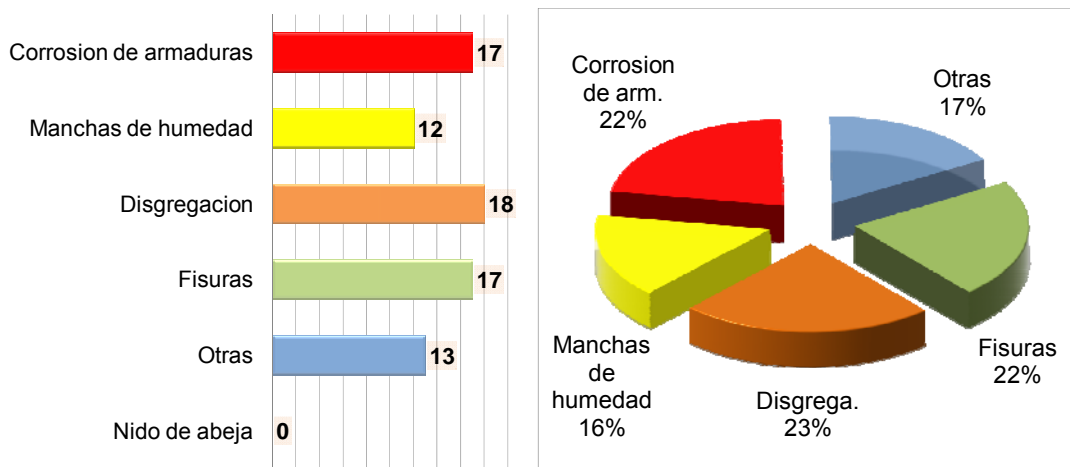


Figura 104 – Ruta 5 - Parciales de categorías

Planteado en la Figura 105 el grafico de burbujas, destaca-se que las lesiones preeminentes muestran un comportamiento dispar. Mientras “Fisuras” se agrupa casi exclusivamente entre los km 300 y 350, “Corrosión de armaduras”, “Manchas de humedad” y “Disgregación” se presentan mayormente dispersas en un tramo más amplio (km 300 y km 400). Las Figuras 105 y 106 permiten visualizar estas informaciones.

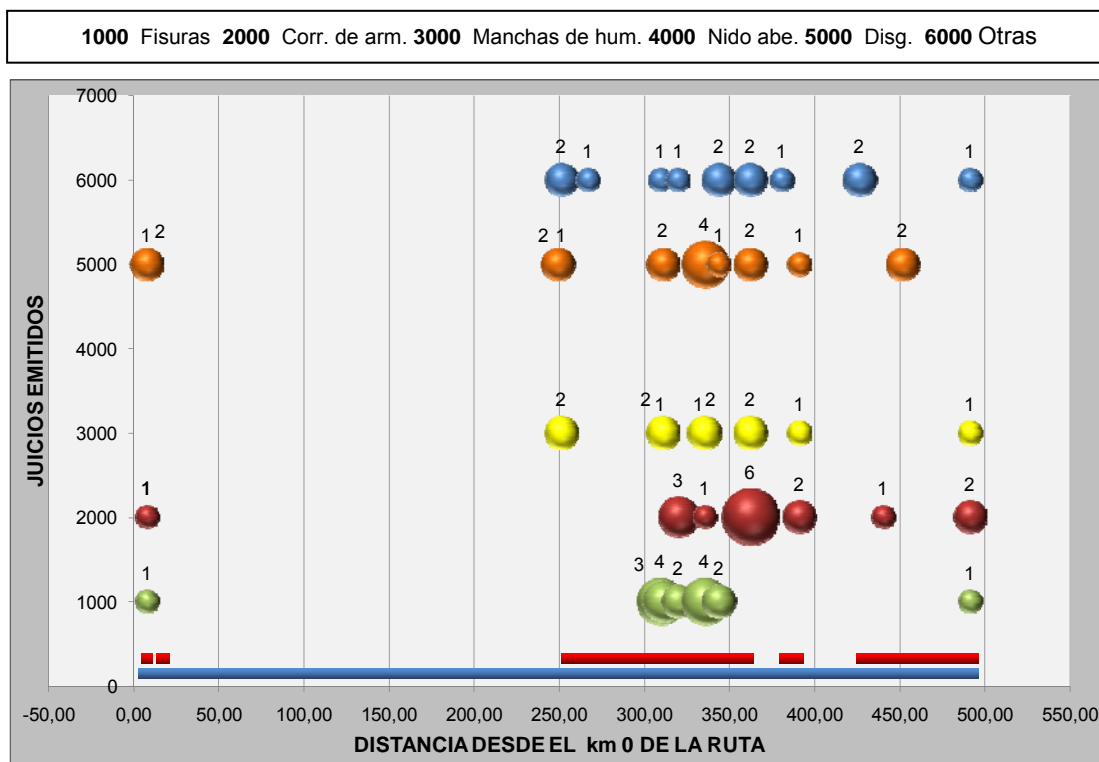


Figura 105 – Ruta 5 – Ubicación e incidencia de lesiones

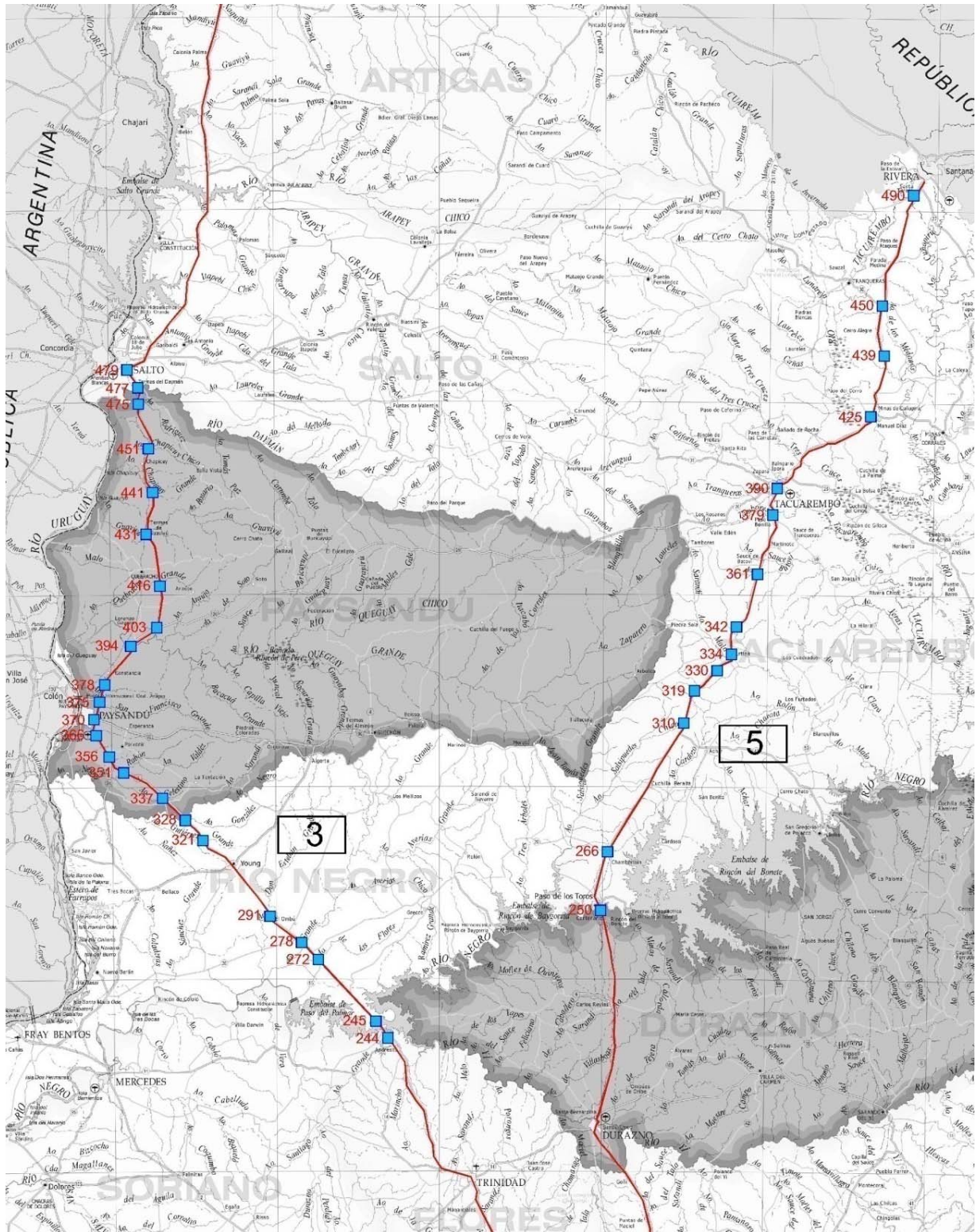


Figura 106 - Carta geográfica del Uruguay con destaque de rutas 3 y 5 + ubicación de puentes inspeccionados (el valor en rojo marca el km)

4.2.6 Ruta 8

La información a continuación es referida a los puentes en ruta 8, la que se inicia al sur-este sobre el tramo final del Río de la Plata y se dirige posteriormente a la frontera con Brasil.

Los situados en ésta son 49, contándose con datos sobre inspecciones realizadas en 29 (59 %). De la consideración de registros realizada surge que su número es 88, los que responden mayormente a los ítems “Corrosión de armaduras” y “Disgregación”. Destacase también el valor mostrado por “Manchas de humedad” quien reúne en esta oportunidad casi una cuarta parte de los casos (Figura 107).

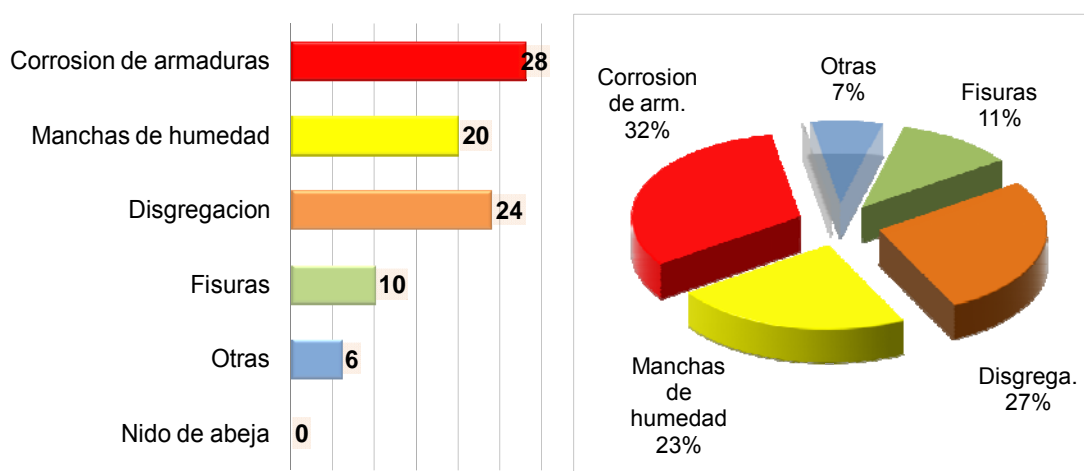


Figura 107 – Ruta 8 - Parciales de categorías

Contemplada la incidencia que los factores bioclimáticos tienen sobre la zona donde se emplaza la presente ruta y las que se expondrán, pudiera ser apropiada su consideración. Recuérdese en este sentido que la humedad juega un rol preponderante en el desarrollo de los procesos degresivos vinculados al hormigón armado, y que los vientos predominantes pueden ser determinantes en su generalización.

Expuesta su trascendencia la Figura 108 explicita, según la Dirección Nacional de Meteorología del Uruguay (DNM, 2012), los rangos de “Humedad relativa media anual”(a) y de “Velocidad de viento media anual en superficie” (b) En el primer caso puede-se observar que los valores van desde el 81 % en el frente costero oceánico (verde oscuro) al 71 % sobre la zona norte (amarillo) y en el segundo estos se ubican entre los 6.5 m/s hacia el sur (zona más oscura) y 3.5 m/s sobre el litoral oeste (sector más claro).

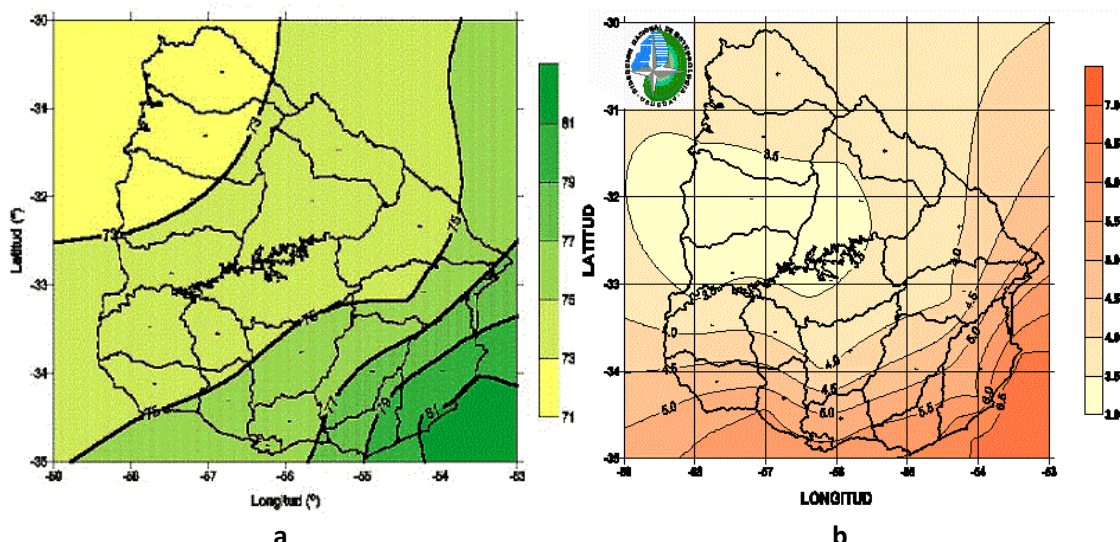


Figura 108 – Ruta 8 – Factores bioclimáticos relevantes (DNM, 2012)

Planteado con estas consideraciones el grafico de burbujas, destaca-se que las lesiones “Corrosión de armaduras”, “Disgregación”, “Manchas de humedad” y “Fisuras” muestran comportamiento similar, coincidiendo en general con los tramos donde efectuaron-se inspecciones. A sí mismo, si bien las tres primeras presentan una mayor cantidad de casos, en todas su disposición es regular, destacando solo un marcador 5 de corrosión hacia el sur. Las Figuras 109 y 120 permiten valorar estas informaciones.

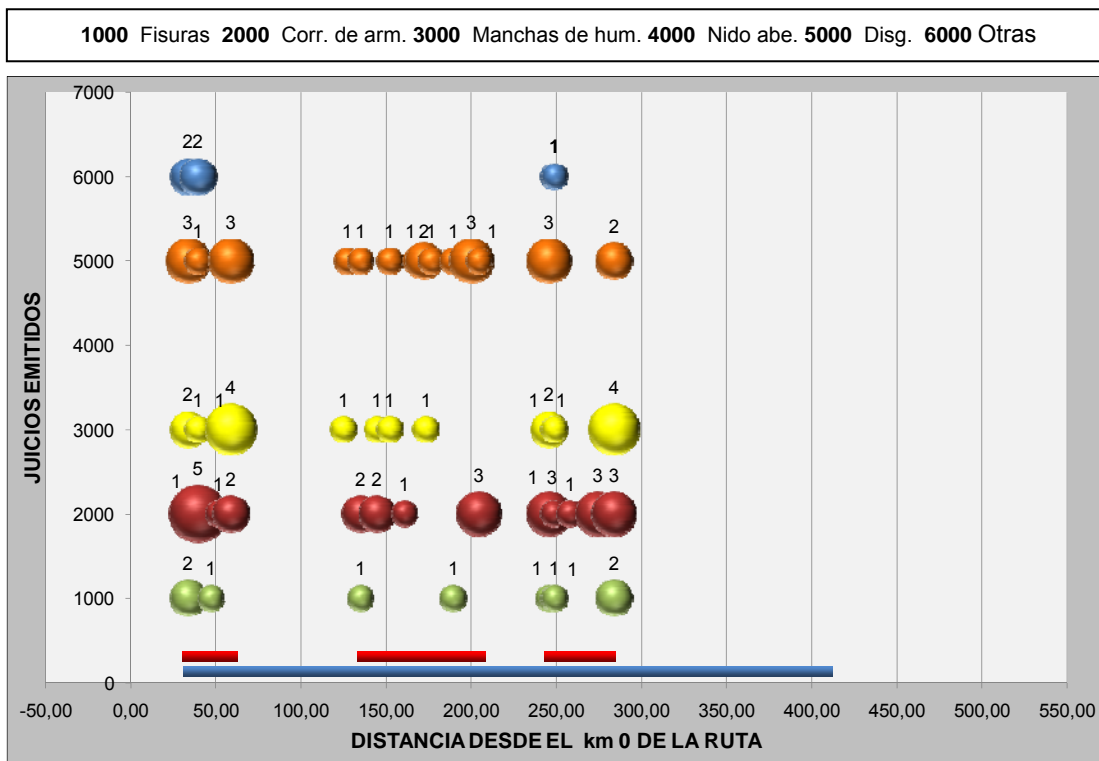


Figura 109 – Ruta 8 – Ubicación e incidencia de lesiones

4.2.7 Ruta 9

El presente apartado reúne la información de las OAM en ruta 9, la que se inicia a unos km de Montevideo y culmina en la frontera con Brasil. En esta vía que acompaña en forma cercana al frente costero sur los puentes son 44, contándose con datos sobre inspecciones realizadas en 23 (52 %).

De la consideración de casos en estos 23 surge que registraron-se 50 incumplimientos, los que responden mayormente a los ítems "Corrosión de armaduras" y "Fisuras" (Figura 110).

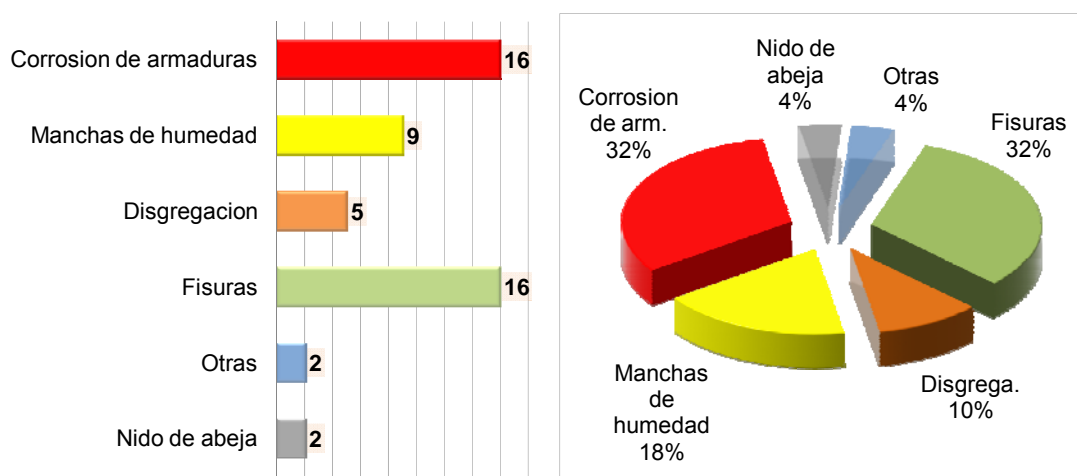


Figura 110 – Ruta 9 - Parciales de categorías

Planteado el gráfico de burbujas con esta información destaca-se que las lesiones preeminentes exhiben un comportamiento similar, mostrando registros regulares en la casi totalidad de los tramos evaluados (barra roja en el eje horizontal). Al respecto, destaque-se que éstos se ubican en el tramo final del Río de la Plata e inicio del Océano Atlántico, limite determinado por la presencia de la ciudad de Punta del Este.

Por otra parte, es resaltable pese a contar con una menor cantidad de casos la incidencia del ítem "Manchas de humedad", el que a diferencia de los tres restantes presenta una ubicación semejante a la de los dos principales. Las Figuras 111 y 120 permiten detallar estas informaciones.

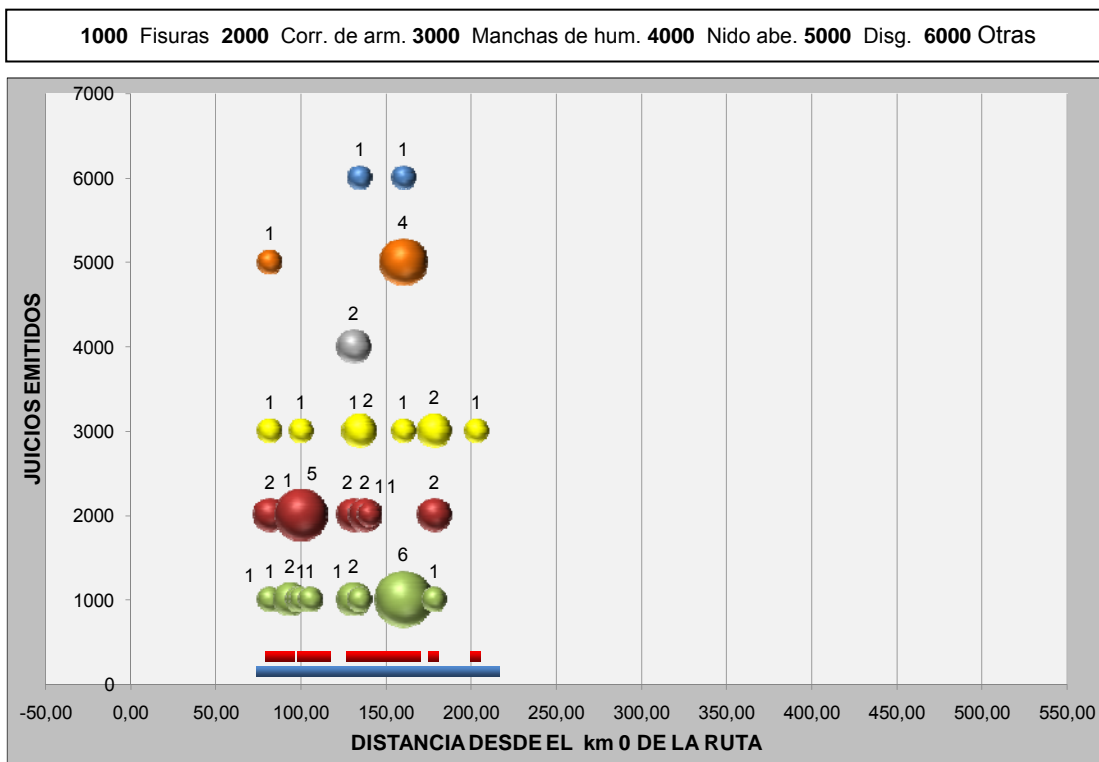


Figura 111 – Ruta 9 – Ubicación e incidencia de lesiones

4.2.8 Ruta “Costera”

Destacan-se en esta oportunidad bajo una misma denominación los datos de las rutas 10, 93, 99 y 200, contemplando que los puentes allí situados forman parte de una cinta de características uniformes. En base a este criterio los puentes aquí emplazados son 18, contándose con inspecciones realizadas en 12 (66 %).

De la consideración de casos en estos 12 surge que registraron-se 45 incumplimientos, donde “Corrosión de armaduras” es ampliamente la lesión mas nombrada. (Figura 112)

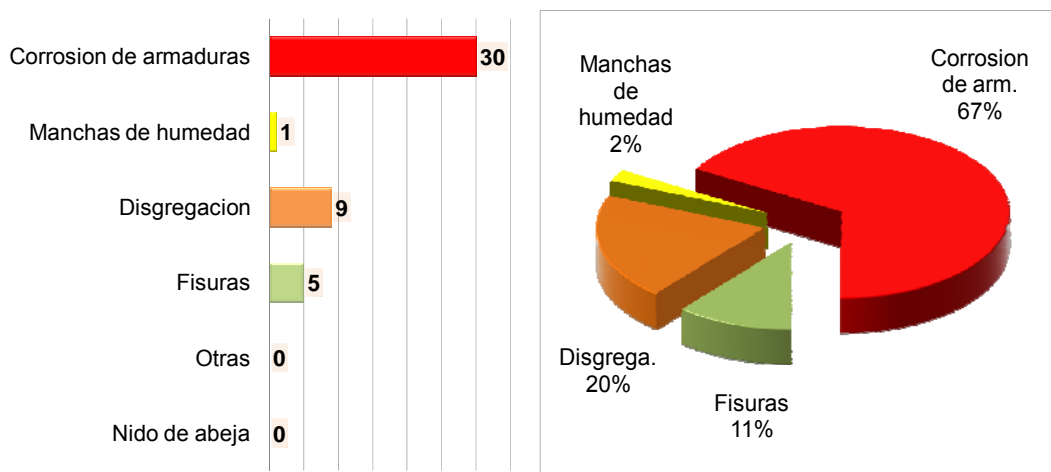


Figura 112 – Ruta “Costera” - Parciales de categorías

Presentada la Figura 113 con el grafico de burbujas observa-se que los daños se ubican entre los km 25 y 80, lo que se corresponde con un tramo paralelo al Rio de la Plata a unos 70 km del Océano Atlántico.

Ha de contemplarse en este caso que pese a la extensión y ubicación de la presente ruta los puentes sobre el sector lindero al frente costero oceánico no presentan inspecciones, destacándose la sola presencia de una que genera el indicador de valor 1 en el ítem “Fisuras” (puente en km 123). Las Figuras 113 y 120 permiten explicitar estas informaciones.

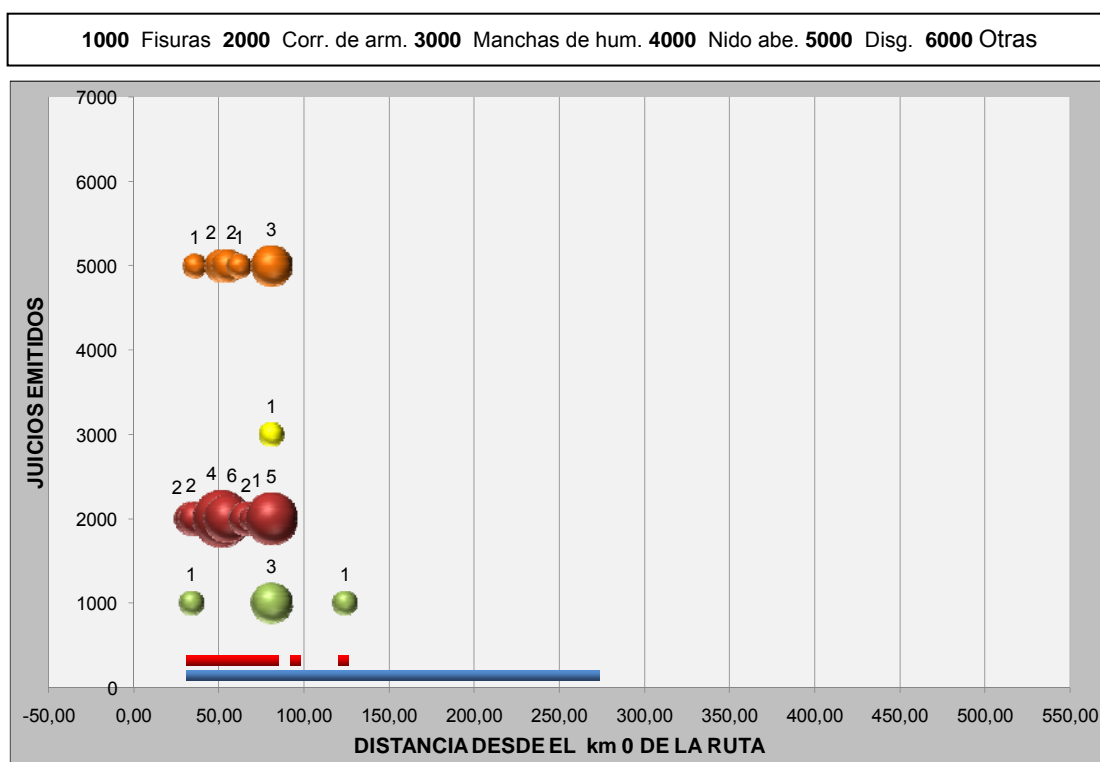


Figura 113 – Ruta “Costera” – Ubicación e incidencia de lesiones

4.2.9 Ruta 11

La siguiente información es referida a los puentes en ruta 11, la que se inicia en ruta 1 y culmina a unos 40 km de la capital (Ciudad de Atlántida). Los puentes aquí situados son 25, contándose con datos sobre inspecciones realizadas en 7 (28 %).

De la consideración de casos en estos 7 surge que constataron-se 6 incumplimientos, los que pese al reducido número de casos responden mayormente al ítem “Corrosión de armaduras” (Figura 114).

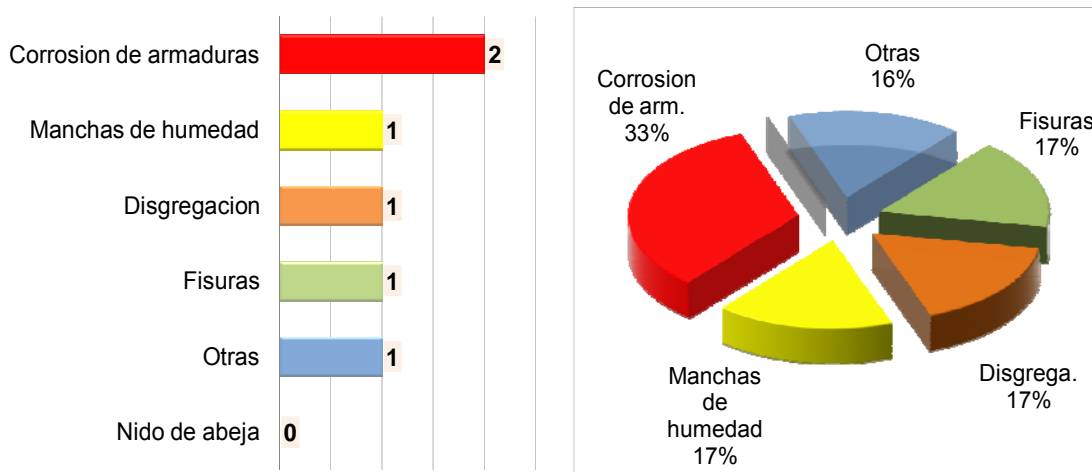


Figura 114 – Ruta 11 - Parciales de categorías

Planteado el grafico de burbujas destaca-se que la lesión mayoritaria se ubica en torno al km 100, lo que la ubica en el tramo central sobre la ciudad de Montevideo. Observados los restantes ítems la situación no muestra cambios, congregándose los incumplimientos en las cercanías de este punto.

Si bien el tramo evaluado no es extenso, destacase que los daños se ubican a su inicio, pese a que como puede-se observar en el grafico este abarca una zona de por sí más amplia. Las Figuras 115 y 120 permiten detallar estas informaciones.

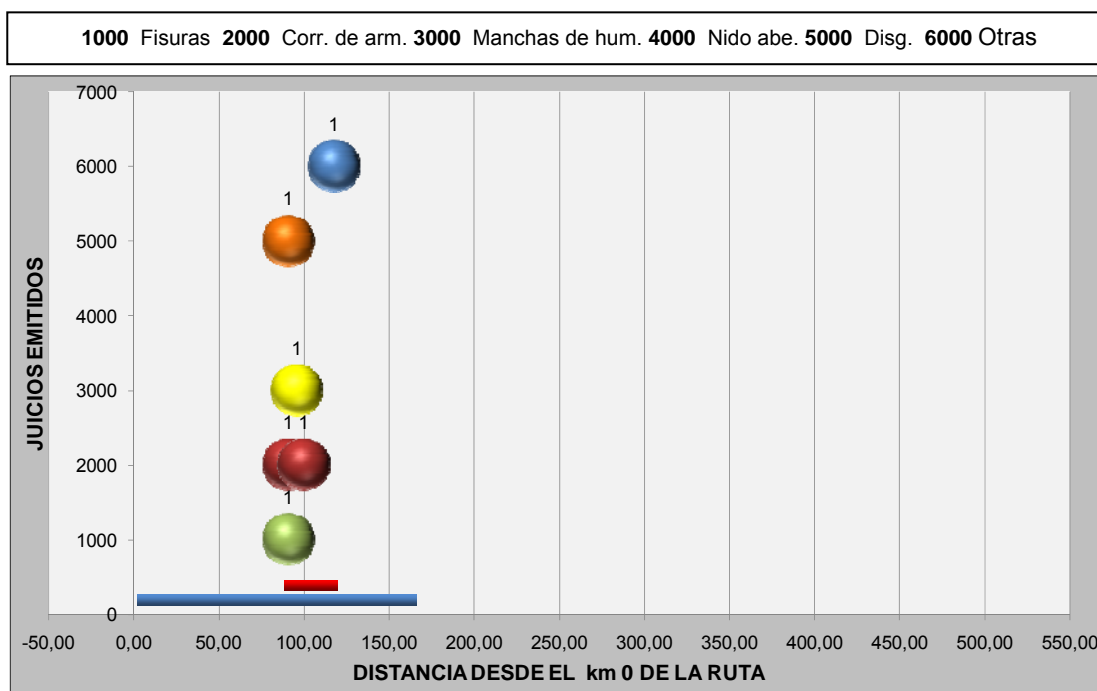


Figura 115 – Ruta 11 – Ubicación e incidencia de lesiones

4.2.10 Ruta 39

El presente punto detalla la información referida a la ruta 39, la que se inicia cercana a la ciudad de Punta del Este y culmina al sur-este del Uruguay. Los puentes situados en esta son 7, contándose con datos sobre inspecciones realizadas en 5 (71 %).

De la consideración de casos en estos 5 puentes evaluados surge que constataron-se 18 incumplimientos, los que responden por amplio margen al ítem “Corrosión de armaduras” (Figura 116).

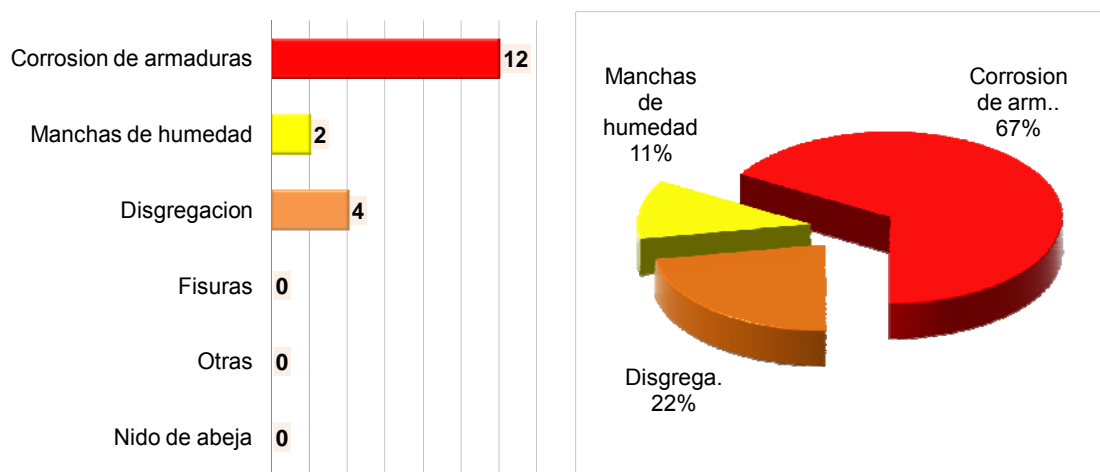


Figura 116 – Ruta 39 - Parciales de categorías

Planteado el gráfico de burbujas con esta información, destaca-se que la lesión preponderante se ubica en torno al km 30, lo que se corresponde con las OAM situadas entre las rutas 9 y 8 sobre el tramo más cercano al frente costero oceánico.

En este caso los puentes evaluados van desde el km 29 al 80, por lo cual puede-se determinar la presencia de un tramo donde el ítem “Corrosión de armaduras” es claramente identificable. A sí mismo, destaca-se también la presencia de marcadores de valor 6 y 4, lo cual indica que en estos puntos fue hallado el daño un igual número de veces. Las Figuras 117 y 120 permiten apreciar estas informaciones.

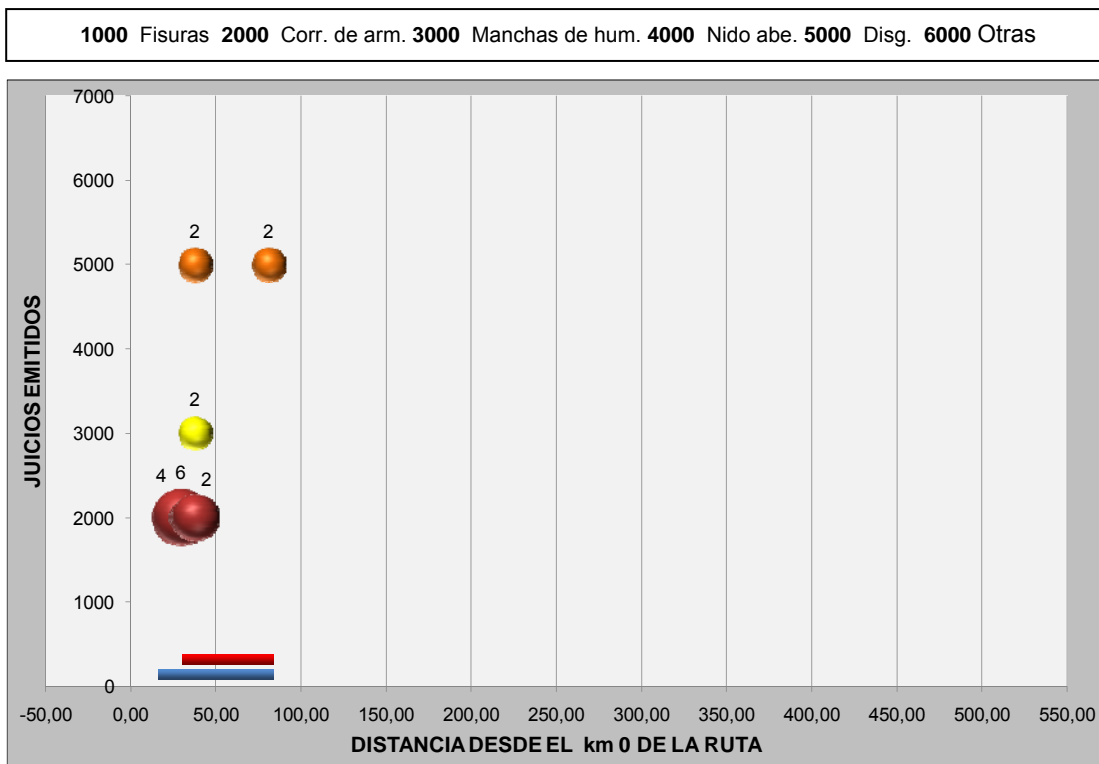


Figura 117 – Ruta 39 – Ubicación e incidencia de lesiones

4.2.11 Ruta 60

Detallan-se por ultimo los datos de aquellos puentes situados en ruta 60, la que se ubica entre sus similares 8 y 9 e inicia en una área no alejada al frente costero oceánico. Según la lista aportada por el MTOP los puentes en ésta son 4, contándose con datos sobre inspecciones realizadas en todos (100 %).

De la consideración de juicios en estos surge que registraron-se 6 incumplimientos, los que responden únicamente a los ítems “Corrosión de armaduras” y “Fisuras” (Figura 118).

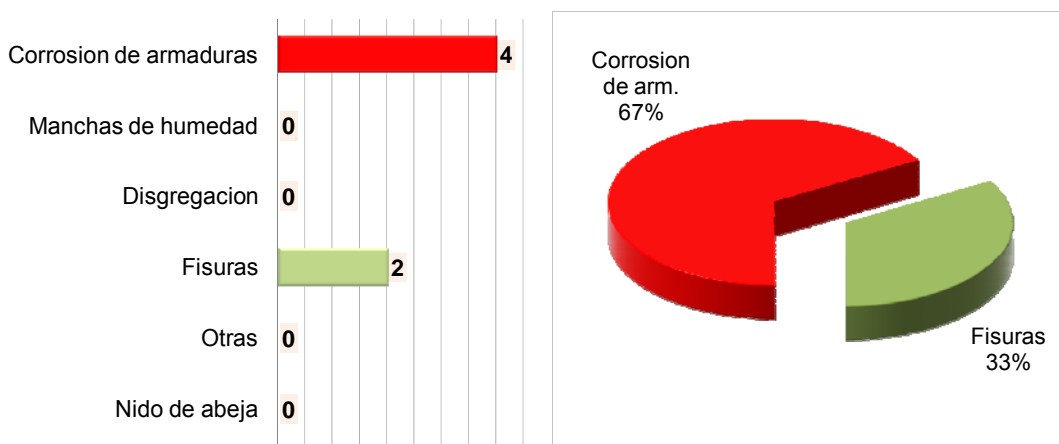


Figura 118 – Ruta 60 - Parciales de categorías

Planteado a continuación el gráfico que sitúa las lesiones en el territorio, destaca-se que estas se ubican sobre el km 30, lo que se corresponde al igual que en el caso anterior con un área cercana al frente costero sur.

No obstante, es preciso detallar que si bien el tramo íntegramente considerado va desde el km 12 hasta el km 49, la presencia de una zona donde no detectaron-se incumplimientos pudiera-se corresponder con la ausencia de inspecciones (km 26 / km 49). Las Figuras 119 y 120 permiten visualizar estas informaciones.

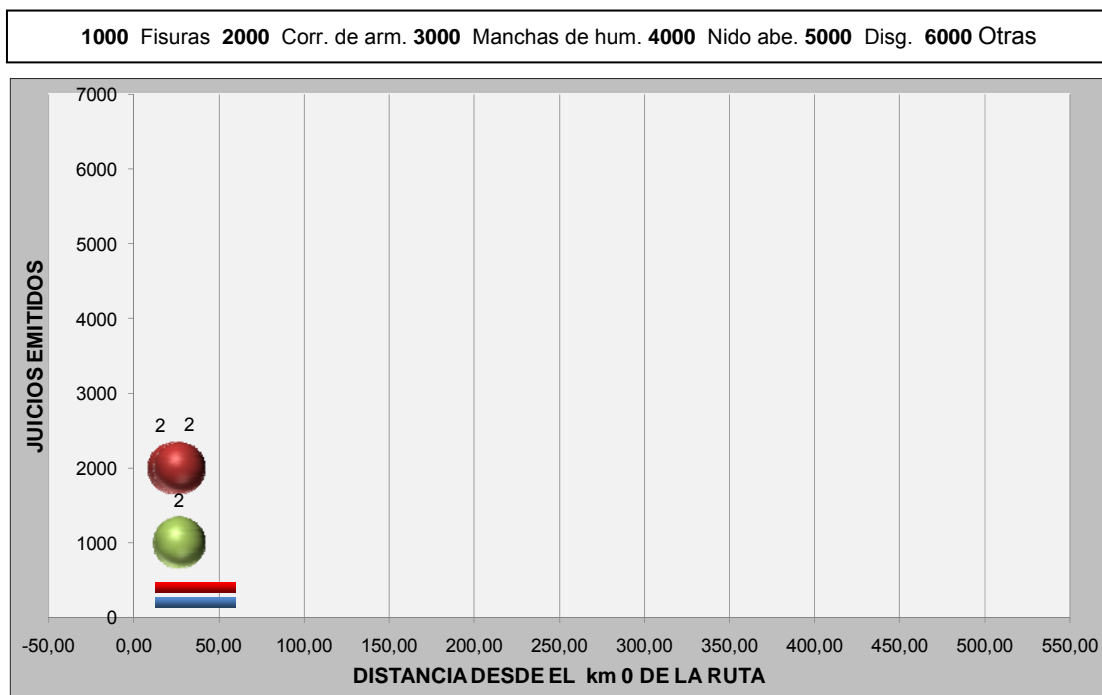


Figura 119 – Ruta 60 – Ubicación e incidencia de lesiones

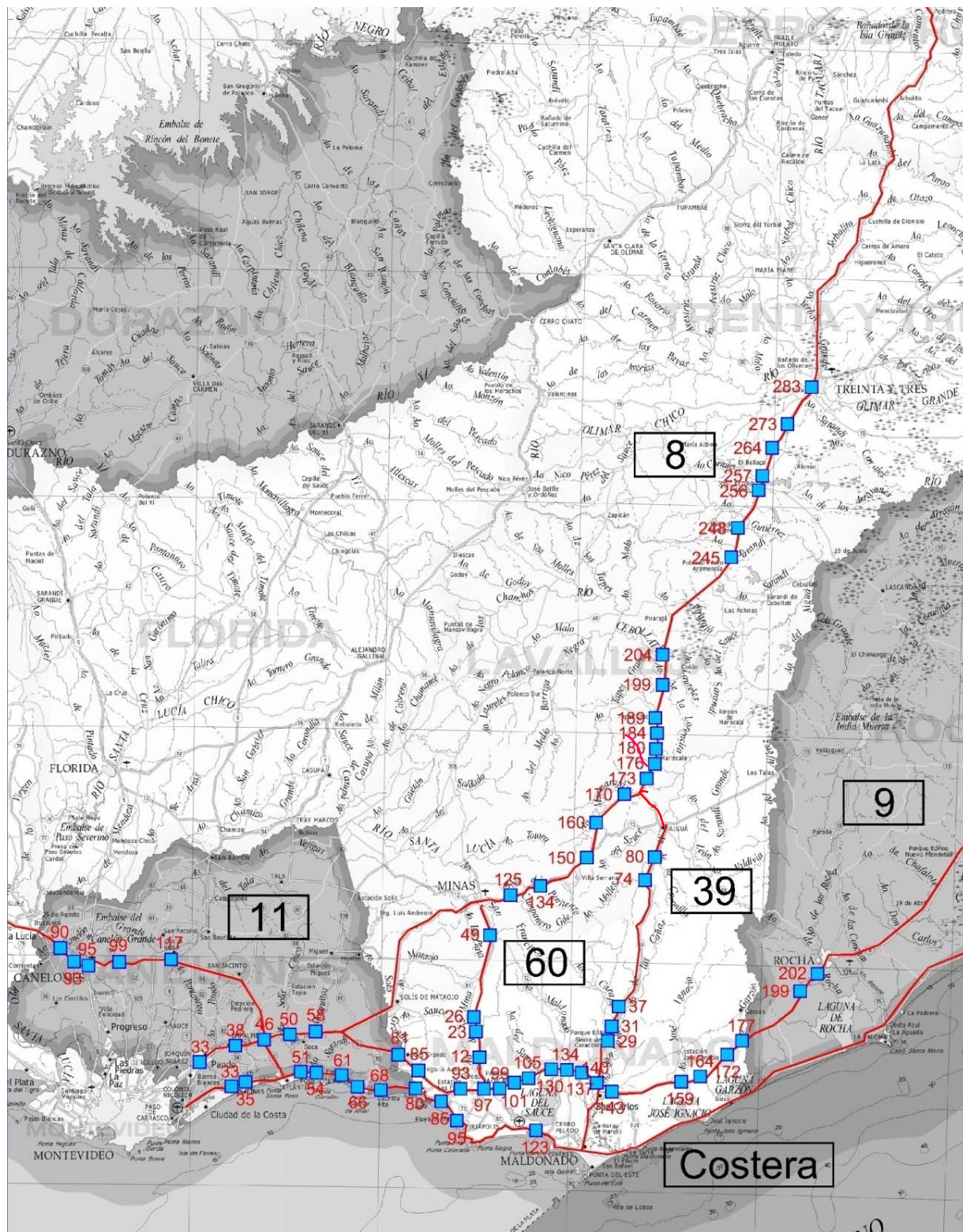


Figura 120 - Carta geográfica del Uruguay con destaque de rutas 8, 9, 11, 39, 60 y “Costera” + ubicación de puentes inspeccionados (el valor en rojo marca el km)

4.2.12 Datos por ruta – Sinopsis

Explicitada la información de los puentes por ruta, adjuntan-se las Tablas 13 y 14 que la resumen. La primera presenta los datos según fueron-se exponiendo y la siguiente hace lo propio ordenando las rutas según la cantidad de lesiones. A sí mismo, en cada uno de los casos se detalla la cantidad de puentes inspeccionados, lo cual permite considerar la relación presente con el número de daños.

Valorada la Tabla 13 observe-se que son los puentes de rutas 3, 8 y 5 los que mayor cantidad de incumplimientos muestran y los de Accesos a MVD, rutas 60 y 11 los que presentan menos. Cotejados los puentes evaluados y la cantidad de incumplimientos registrados, destaca-se que la relación no es lineal, ya que por ej. en ruta “Costera” sobre 12 casos detectaron-se casi igual número de juicios que en la 9 con 23.

Tabla 13 – Resumen de la información sobre los puentes s/ ruta

	Corr. arm.	%	Man. de hum.	%	Disgre.	%	Fisu.	%	Otras	%	Nido abeja	%	TOT. X RUTA	%
ACCESOS A MVD Puentes insp. 1	1	0,21	0	0,00	0	0,00	1	0,21	0	0,00	0	0,00	2	0,42
RUTA 1 Puentes insp. 9	7	1,49	8	1,70	13	2,76	9	1,91	0	0,00	0	0,00	37	7,86
RUTA 2 Puentes insp. 11	6	1,27	7	1,49	1	0,21	15	3,18	0	0,00	0	0,00	29	6,16
RUTA 3 Puentes insp. 24	14	2,97	44	9,34	24	5,10	19	4,03	7	1,49	5	1,06	113	23,99
RUTA 5 Puentes insp. 22	17	3,61	12	2,55	18	3,82	17	3,61	13	2,76	0	0,00	77	16,35
RUTA 8 Puentes insp. 29	28	5,94	20	4,25	24	5,10	10	2,12	6	1,27	0	0,00	88	18,68
RUTA 9 Puentes insp. 23	16	3,40	9	1,91	5	1,06	16	3,40	2	0,42	2	0,42	50	10,62
RUTA COSTERA Puentes insp. 12	30	6,37	1	0,21	9	1,91	5	1,06	0	0,00	0	0,00	45	9,55
RUTA 11 Puentes insp. 7	2	0,42	1	0,21	1	0,21	1	0,21	1	0,21	0	0,00	6	1,27
RUTA 39 Puentes insp. 5	12	2,55	2	0,42	4	0,85	0	0,00	0	0,00	0	0,00	18	3,82
RUTA 60 Puentes insp. 4	4	0,85	0	0,00	0	0,00	2	0,42	0	0,00	0	0,00	6	1,27
Puentes insp. 147	137	29,09	104	22,08	99	21,02	95	20,17	29	6,16	7	1,49		100,00
TOTAL LESIONES													471	

Planteada ahora la Tabla 14, que como se dijo ordena las rutas según el número de daños, constata-se que “Corrosión de armaduras” prevalece en 7 oportunidades, “Fisuras” en 3, “Disgregación” en 2 y “Manchas de humedad” en 1. A su vez, destaca-se que en los puentes sobre la ruta que reúne más lesiones (la nº 3), la mayoría es “Manchas de humedad” y en aquellos emplazados en las que están sobre el cuadrante sur-este (tramo final del Río de la Plata e inicio del Océano Atlántico / rutas 8, 9, “Costera”, 39, 11 y 60) la que predomina es “Corrosión de armaduras”.

Tabla 14 – Resumen de la información + lesiones preeminentes sobre los puentes s/ ruta

	Corr. arm.	%	Man. de hum.	%	Disgre.	%	Fisu.	%	Otras	%	Nido abeja	%	TOT. X RUTA	%
RUTA 3 Puentes insp. 24	14	2,97	44	9,34	24	5,10	19	4,03	7	1,49	5	1,06	113	23,99
RUTA 8 Puentes insp. 29	28	5,94	20	4,25	24	5,10	10	2,12	6	1,27	0	0,00	88	18,68
RUTA 5 Puentes insp. 22	17	3,61	12	2,55	18	3,82	17	3,61	13	2,76	0	0,00	77	16,35
RUTA 9 Puentes insp. 23	16	3,40	9	1,91	5	1,06	16	3,40	2	0,42	2	0,42	50	10,62
RUTA COSTERA Puentes insp. 12	30	6,37	1	0,21	9	1,91	5	1,06	0	0,00	0	0,00	45	9,55
RUTA 1 Puentes insp. 9	7	1,49	8	1,70	13	2,76	9	1,91	0	0,00	0	0,00	37	7,86
RUTA 2 Puentes insp. 11	6	1,27	7	1,49	1	0,21	15	3,18	0	0,00	0	0,00	29	6,16
RUTA 39 Puentes insp. 5	12	2,55	2	0,42	4	0,85	0	0,00	0	0,00	0	0,00	18	3,82
RUTA 11 Puentes insp. 7	2	0,42	1	0,21	1	0,21	1	0,21	1	0,21	0	0,00	6	1,27
RUTA 60 Puentes insp. 4	4	0,85	0	0,00	0	0,00	2	0,42	0	0,00	0	0,00	6	1,27
ACCESOS A MVD Puentes insp. 1	1	0,21	0	0,00	0	0,00	1	0,21	0	0,00	0	0,00	2	0,42
Puentes insp. 147	137	29,09	104	22,08	99	21,02	95	20,17	29	6,16	7	1,49		100,00
TOTAL LESIONES													471	

Valorados ya los datos en forma global las Tablas 15 y 16 exhiben los daños por ruta, para lo cual se exponen los valores según su incidencia. Planteadas las citadas Tablas destaca-se que la lesión “Corrosión de armaduras es mayormente citada en rutas; “Costera”, 8, 5 y 9, observándose a su vez que en la primera esta ubicación se obtiene con menos de la mitad de puentes inspeccionados que en la segunda. Esta situación particularmente significativa se acentúa al compararla con las siguientes (5, 9 y 3), quienes con aproximadamente el doble de puentes evaluados muestran registros cercanos a la mitad.

Contemplados los restantes daños destaca-se que éstos se ubican siempre entre los 3 primeros de las rutas 3 y 5, lo cual expresa su significancia en estas localizaciones. Exponen-se a continuación las Tablas 15 y 16 con el conjunto de la información.

Tabla 15 – Lesiones de mayor incidencia según número de casos por ruta

Corrosion de armaduras			Manchas de humedad				
		%			%		
RUTA COSTERA			RUTA 3				
Puentes insp.	12	30	6,37	Puentes insp.	24	44	9,34
RUTA 8			RUTA 8				
Puentes insp.	29	28	5,94	Puentes insp.	29	20	4,25
RUTA 5			RUTA 5				
Puentes insp.	22	17	3,61	Puentes insp.	22	12	2,55
RUTA 9			RUTA 9				
Puentes insp.	23	16	3,40	Puentes insp.	23	9	1,91
RUTA 3			RUTA 1				
Puentes insp.	24	14	2,97	Puentes insp.	9	8	1,70
RUTA 39			RUTA 2				
Puentes insp.	5	12	2,55	Puentes insp.	11	7	1,49
RUTA 1			RUTA 39				
Puentes insp.	9	7	1,49	Puentes insp.	5	2	0,42
RUTA 2			RUTA COSTERA				
Puentes insp.	11	6	1,27	Puentes insp.	12	1	0,21
RUTA 60			RUTA 11				
Puentes insp.	4	4	0,85	Puentes insp.	7	1	0,21
RUTA 11			ACCESOS A MVD				
Puentes insp.	7	2	0,42	Puentes insp.	1	0	0,00
ACCESOS A MVD			RUTA 60				
Puentes insp.	1	1	0,21	Puentes insp.	4	0	0,00
		137	29,09			104	22,08

Tabla 16 – Lesiones de mayor incidencia según número de casos por ruta

Disgregacion		%		Fisuras		%	
RUTA 3				RUTA 3			
Puentes insp.	24	24	5,10	Puentes insp.	24	19	4,03
RUTA 8				RUTA 5			
Puentes insp.	29	24	5,10	Puentes insp.	22	17	3,61
RUTA 5				RUTA 9			
Puentes insp.	22	18	3,82	Puentes insp.	23	16	3,40
RUTA 1				RUTA 2			
Puentes insp.	9	13	2,76	Puentes insp.	11	15	3,18
RUTA COSTERA				RUTA 8			
Puentes insp.	12	9	1,91	Puentes insp.	29	10	2,12
RUTA 9				RUTA 1			
Puentes insp.	23	5	1,06	Puentes insp.	9	9	1,91
RUTA 39				RUTA COSTERA			
Puentes insp.	5	4	0,85	Puentes insp.	12	5	1,06
RUTA 2				RUTA 60			
Puentes insp.	11	1	0,21	Puentes insp.	4	2	0,42
RUTA 11				ACCESOS A MVD			
Puentes insp.	7	1	0,21	Puentes insp.	1	1	0,21
ACCESOS A MVD				RUTA 11			
Puentes insp.	1	0	0,00	Puentes insp.	7	1	0,21
RUTA 60				RUTA 39			
Puentes insp.	4	0	0,00	Puentes insp.	5	0	0,00
		99	21,02			95	20,17

4.3 LESION + TERRITORIO

Trazado el objetivo de visualizar las zonas donde los daños más relevantes son también más frecuentes, entendiéndose oportuno detallar la lesión cuyo desarrollo implica un riesgo de primer orden. Para esto recurrió-se a la información del ítem “Corrosión de armaduras”, bajo el cual se agrupan las manifestaciones patológicas de este signo. No obstante, con el objeto de ofrecer una visión global de los procesos involucrados optó-se también por exhibir los datos de los daños relacionados; “Fisuras”, “Disgregación” y “Manchas de humedad”.

Desde el punto de vista operativo tomaron-se los indicadores de los gráficos de burbujas, mediante los cuales se determina localización e incidencia de los registros realizados. De esta forma, en base a la premisa inicialmente explicitada elaboraron-se las Figuras 122 a 125 que posicionan estos marcadores en la Carta Geográfica del Uruguay.

Presenta-se en primera instancia la figura que ilustra la cantidad de evaluaciones realizadas por ruta, para lo cual destacan-se según criterio explicitado en sector superior derecho ⁵¹ (Figura 121). Esta imagen sobre la cual se superpondrán los indicadores de daños, permite cotejar si los sectores de mayor concentración son también los más evaluados, aspecto que permitirá aportar un dato sobre la valía de estas aéreas.

Ha de recordarse una vez más que lo que se estima es la incidencia de los 471 juicios vinculados al hormigón armado y no su gravedad, por lo cual se recurre a las citadas herramientas graficas que permiten representar las áreas donde estos muestran una conjunción significativa.

En función de esta particularidad es posible comprender porque no necesariamente han de destacarse las rutas con una mayor cantidad de registros, ya que lo que se valora en esta instancia es la concentración de casos en puntos específicos. Hecha esta salvedad presentan-se a continuación las Figuras 121 a 125 con la información explicitada.

⁵¹ En cada uno de los casos se especifica en rojo el valor considerado para engrosar el trazo

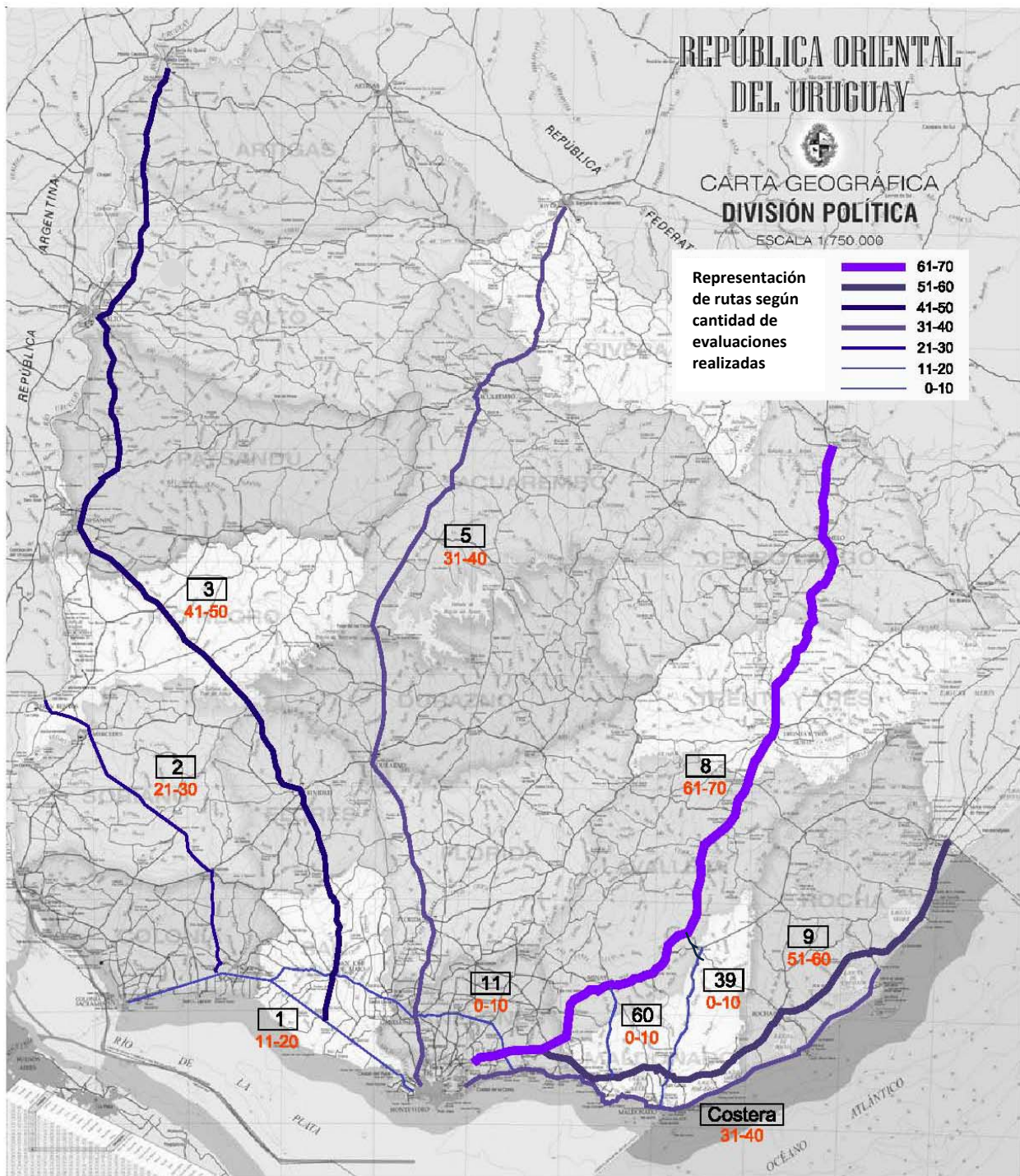


Figura 121 - Carta geográfica del Uruguay con rutas donde realizaron-se inspecciones bajo el régimen de “Contratos de Mantenimiento” + cantidad de evaluaciones

Plantada la Figura 122 con la lesión “Fisuras”, destaca-se que los marcadores se agrupan mayormente en tres zonas; en ruta 5 al norte del Rio Negro, al oeste sobre el final de ruta 2 y al sur-este junto al frente costero oceánico. Observe-se a su vez que en dos de los tres casos los indicadores se ubican en rutas medianamente evaluadas, lo cual indica que ante una menor cantidad de inspecciones detectaron-se una mayor cantidad de casos.

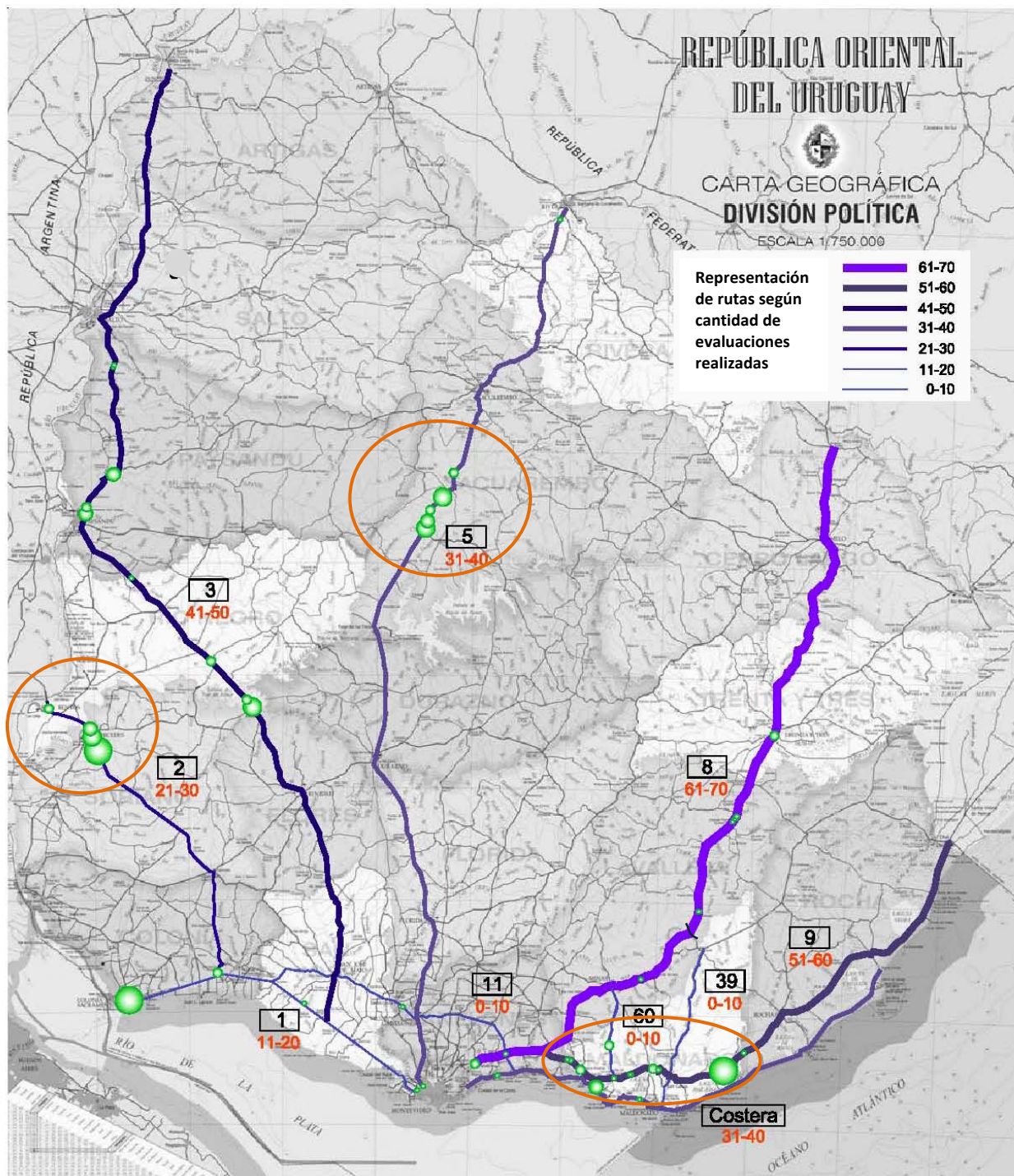


Figura 122 - Carta geográfica del Uruguay con rutas donde realizaron-se inspecciones bajo el régimen de “Contratos de Mantenimiento” + cantidad de evaluaciones + indicadores de “Fisuras”

Planteada la Figura 123 con la lesión “Disgregación” observase que los registros son más bien espaciados, presentado-se un cierta concentración de ellos sobre sector medio de ruta 3 y al sur-este en las rutas 8, 9 y “Costera”. Destaca-se por otra parte que en un caso la zona concuerda con una ruta medianamente evaluada (ruta 3) y en otra la situación es dispar.

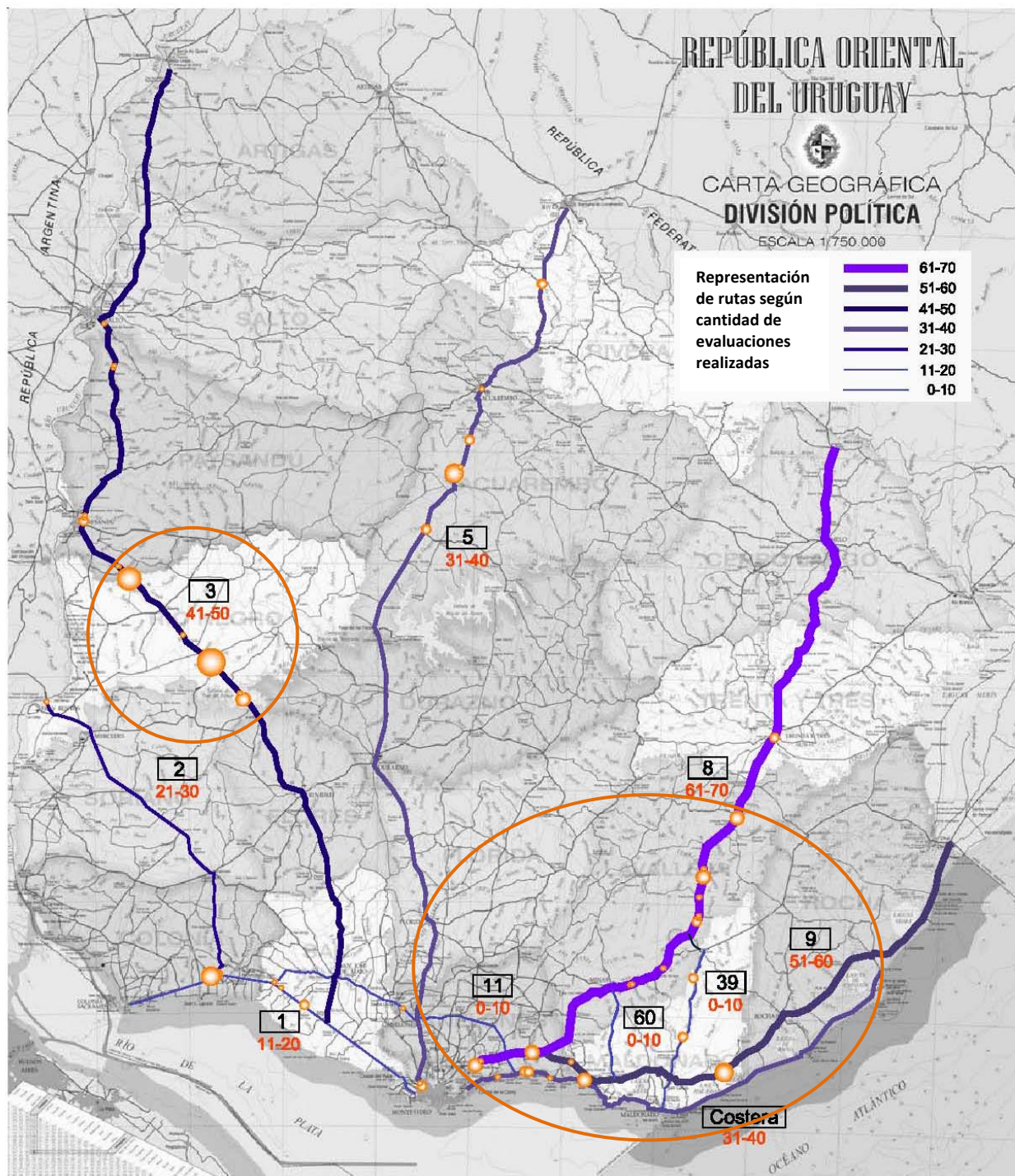


Figura 123 - Carta geográfica del Uruguay con rutas donde realizaron-se inspecciones bajo el régimen de “Contratos de Mantenimiento” + cantidad de evaluaciones + indicadores de “Disgregación”

Contemplada la Figura 124 con la lesión “Manchas de humedad”, destacan-se los indicadores en dos áreas; la perteneciente al sector medio de ruta 3 y la conformada por las rutas 8 y 9 al sur-este. En el primer caso los marcadores muestran importante valor relativo, concentrándose fundamentalmente en el tramo entre el Río Negro y el Río Uruguay. En el segundo destaca-se una incidencia menor, pese a que como puede-se observar los tramos han sido considerablemente evaluados.

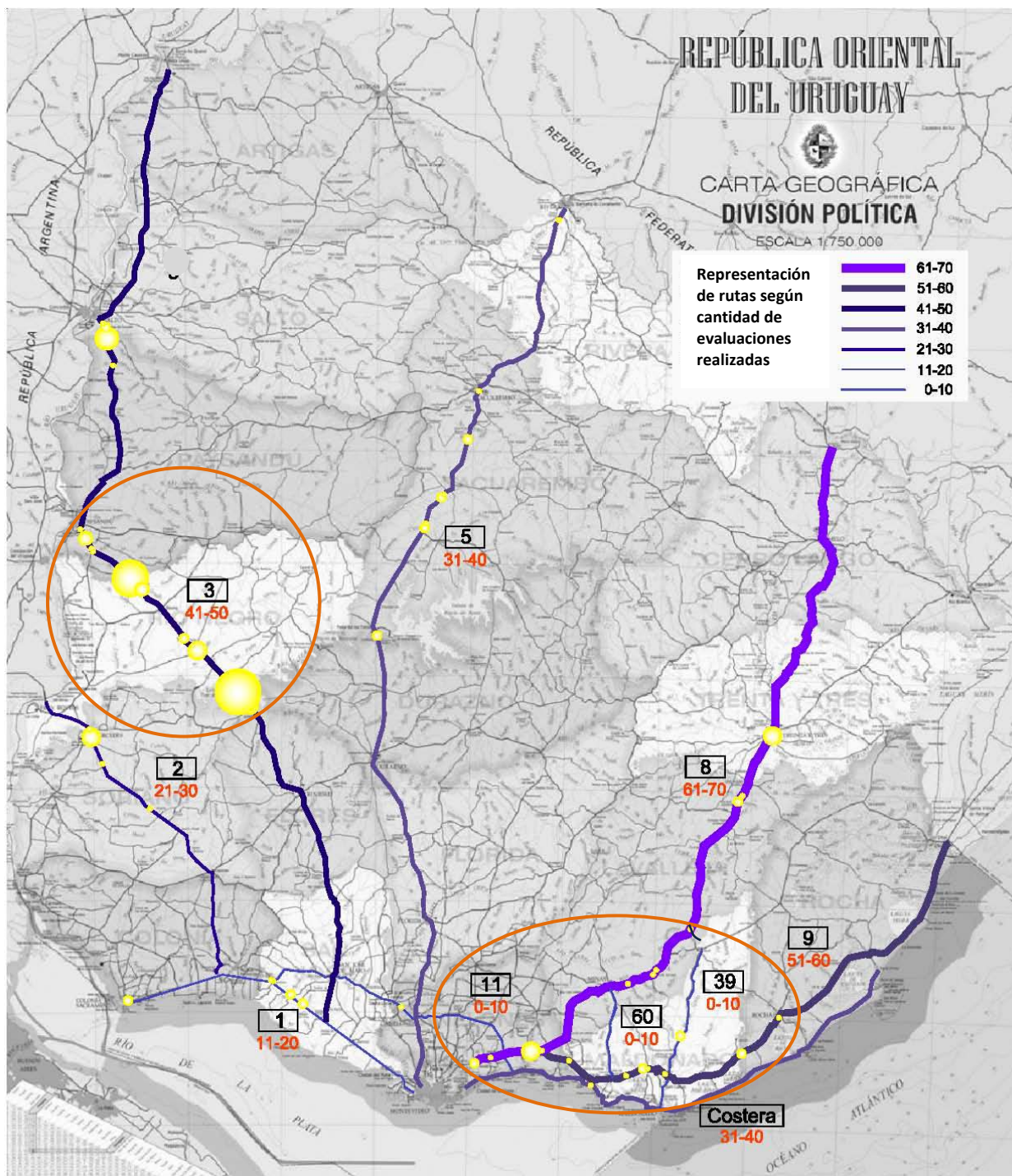


Figura 124 - Carta geográfica del Uruguay con rutas donde realizaron-se inspecciones bajo el régimen de “Contratos de Mantenimiento” + cantidad de evaluaciones + indicadores de “Manchas de humedad”

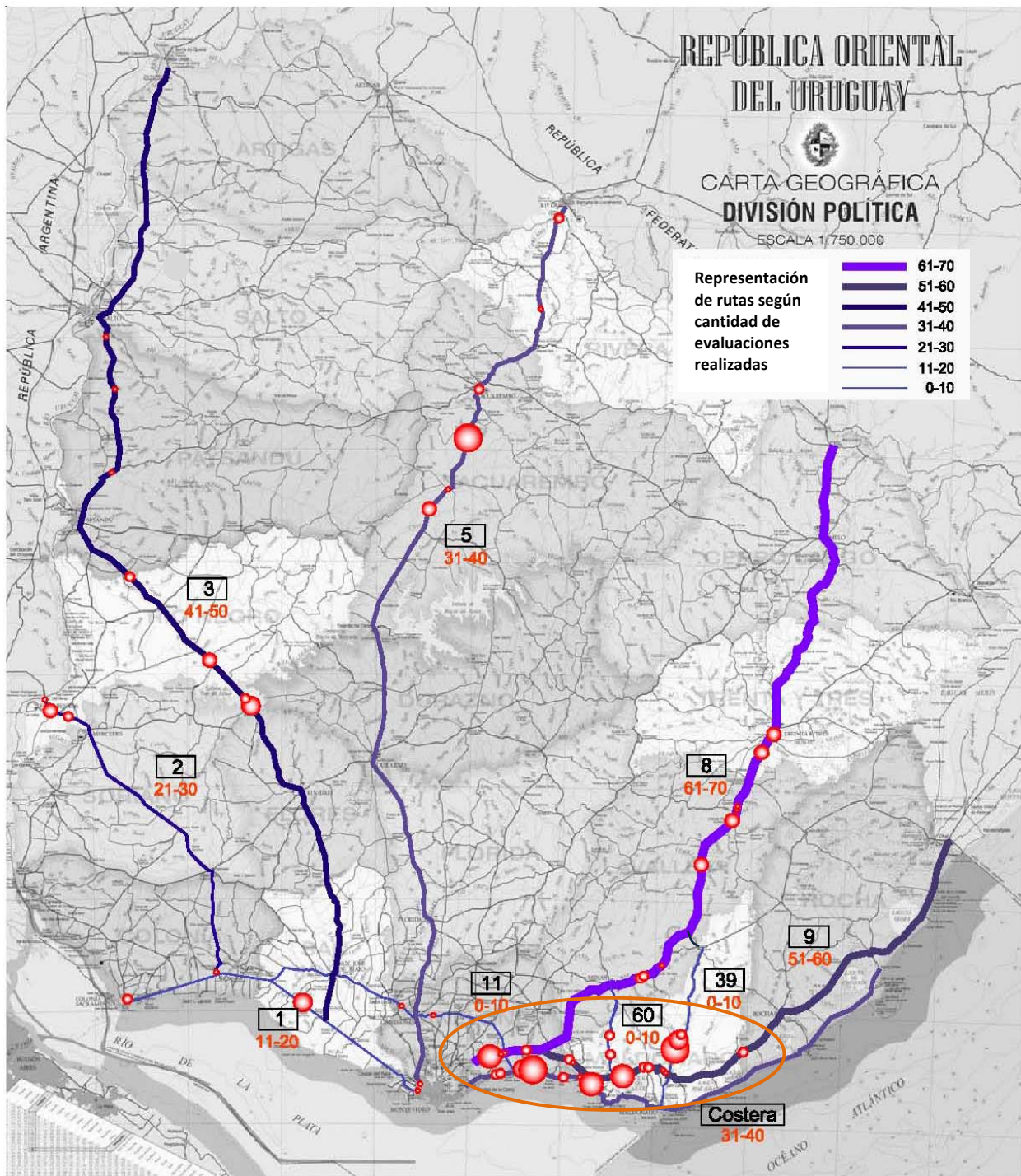
Planteado por último el gráfico que detalla la lesión “Corrosión de armaduras”, constata-se que si bien muestra casos en varios puntos del territorio, los más significativos se ubican en la zona costera sur-este. Este sector, aproximadamente situado entre las ciudades de Montevideo y Punta del Este, registra importantes marcadores en las rutas “Costera” y 39, destacándose también otros localizados sobre las n° 8 y 9.

Al respecto recuerde-se que según los gráficos aportados por la Dirección Nacional de Meteorología (DNM, 2012) esta zona tolera los mayores valores de “Humedad relativa media anual” y de “Velocidad de viento media anual en superficie”, por lo cual puede-se inferir su incidencia en los daños registrados.

A sí mismo, no debe-se obviar que no es aquí donde se efectuaron la mayor cantidad inspecciones ni donde se evaluaron una mayor cantidad de puentes, por lo que puede-se considerar que por cada observación realizada constataron-se una mayor cantidad de juicios vinculados a la corrosión.

Destáquese en este sentido que lo expresado es coincidente con lo enunciado por Helene (1986) apud Dal Molin (1988), para quien las secuelas de la atmosfera marina han de ser contempladas hasta aproximadamente 5 km de la costa y la velocidad de corrosión en estos ámbitos puede llegar a ser de 30 a 50 veces superior que en las áreas rurales.

Recuerden-se por ultimo como síntesis las consecuencias de esta lesión según Mather (1966) apud ACI 201.2R (2001), ACI 201.2R (2001), Mehta-Monteiro (1986) apud Bermudez-Gutierrez (2007) y Becker (2010 a), para quienes los efectos causados por el agua de mar en las estructuras que se encuentran cercanas no deben ser descuidados. La Figura 125 a continuación permite visualizar la información descrita..



5 CONCLUSIONES

Procesada la información obtenida en función de los objetivos inicialmente trazados, pueden-se enunciar a continuación las siguientes conclusiones.

Considerado el conjunto de la base de datos es posible afirmar que:

- de los 712 puentes contenidos en la lista suministrada por el MTOP, 147 han sido efectivamente inspeccionados (20.6 %);
- en estos 147 puentes elaboraron-se 93 informes que contienen 313 evaluaciones y que detallan 693 juicios;
- estos 693 juicios son de 44 tipos, estando 42 de ellos directamente relacionados con el hormigón armado;
- entre los no vinculados al material principal (2), predominan los que describen daños como; “Deterioros en la silicona de las juntas”, “Vegetación en terraplenes” etc.;
- entre los que detallan daños referidos al hormigón (42) prevalecen “Armadura expuesta”, “Manchas de humedad” y “Disgregación”;
- asociadas en una las tres categorías que describen el daño “Corrosión de armaduras” constata-se que la misma es mayoritaria, congregando solo ella casi una tercera parte de los casos;
- valorados los componentes de los puentes afectados destaca-se que los principales son “Tablero” y “Protección lateral”, quienes presentan mayormente la “Armadura expuesta”. A estos les siguen “Veredas” y “Drenajes” con problemas de “Manchas de humedad” y “Pilas” con “Fisuras”;
- contemplados los juicios citados 10 o más veces y con registro igual o mayor al 2 %, observa-se que son 15, bajo los cuales se aglutinan más de las 3/4 partes de los juicios;
- planteadas con estos 15 juicios las “Síntesis 1 y 2”, no se observan relevantes cambios en relación a la instancia en la que contemplaron-se los datos en total;
- en función de lo anteriormente expuesto, puede-se concluir que el seguimiento de estos daños ofrece un panorama no lejano sobre el estado general de conservación en los puentes.

Considerados los datos por ruta destaca-se que:

- son los puentes de ruta 3 quienes reúnen la mayor cantidad de lesiones, seguidos por los ubicados en las nº 8, 5 y 9;

- analizados los incumplimientos según donde estos muestran una mayor preeminencia, destaca-se que “Corrosión de armaduras” prevalece en todas las OAM situadas en la zona costera sur-este (tramo determinado por el final del Río de la Plata e inicio del Océano Atlántico);
- valorados los registros por ruta, observa-se que la denominada “Costera” congrega la mayoría de los vinculados a la corrosión, pese a no ser esta la mayormente evaluada ni a contar con la mayor cantidad de puentes inspeccionados;
- contemplados los restantes ítems destaca-se que “Manchas de humedad”, “Disgregación” y “Fisuras” se muestran siempre entre los 3 primeras de las rutas 3 y 5.

Planteado el vínculo lesión + territorio destaca-se que:

- la lesión “Fisuras” se agrupa al norte en ruta 5, al oeste sobre el final de ruta 2 y al sur-este junto al frente costero oceánico;
- la lesión “Disgregación” muestra registros espaciados y cierta concentración de ellos en sector medio de ruta 3 y al sur-este en las rutas 8, 9 y “Costera”;
- la lesión “Manchas de humedad” muestra indicadores agrupados en sector medio de ruta 3 y al sur-este entre las rutas 8 y 9 ;
- la lesión “Corrosión de armaduras” concentra sus registros en la zona costera sur-este;
- comparados los gráficos entre sí concluye-se que la agrupación de indicadores de “Corrosión de armaduras” al sur es semejante a los de “Fisuras”, “Disgregación” y “Manchas de humedad”, lo cual esboza un posible vínculo;
- en idéntica dirección observa-se cierta correlación entre los marcadores situados en sector medio de ruta 3 pertenecientes a “Disgregación” y “Manchas de humedad”. Las restantes señalizaciones son exclusivamente referidas al caso.

6 SUGERENCIAS Y ELEMENTOS A EMPLEAR EN FUTUROS TRABAJOS

En función de las particularidades de los datos obtenidos presentaron-se desafíos que complejizaron establecer el vínculo CAUSA-EFECTO, ya que como fuera explicitado los incumplimientos constatan-se en base a una serie de parámetros predeterminados que permiten su verificación en forma ágil. Si bien esta metodología propicia una resolución rápida de la avería, implica necesariamente realizar registros más bien genéricos, lo que prescinde de una descripción detallada que dificulta su asociación con el posible origen.

Si bien el diagnostico es una labor compleja a ser efectuada por parte de equipos multidisciplinarios (MORAN CABRE, 1994; DURAR-CYTED, 2000; HELENE, 2007), pudiera ser provechoso ajustar los parámetros de evaluación en campo, incrementando de esta forma la descripción del daño. Cumplida esta instancia pudiera-se plantear el avanzar en la elaboración de un mapa de lesiones, el cual vincule aspectos territoriales y desencadenes de los procesos relacionados.

Si bien la normativa al respecto es todavía escasa (CALAVERA,1999), el optimizar el desempeño de estas estructuras implicaría según las conclusiones del presente estudio, incrementar el mantenimiento en; “Tableros”, “Protecciones laterales”, “Veredas”, “Drenajes”, Pilas” y “Juntas”, los que presentan mayormente problemas de “Armadura expuesta”, “Manchas de humedad”, ”Fisuras” y “Disgregación”.

A sí mismo, contemplando que la evolución usual del ítem mayoritario; “Corrosión de armaduras”, conlleva perdidas de sección, desprendimientos, compromisos en la adherencia y pérdida de capacidad portante (RIO et. al ,2000; TEPFERS, 1973 apud MOLINA et al. 2004; OCAMPO et al. 2005; CALAVERA, 2005; PERALTA et al. 2005;; ACI 224.1R, 2007; HUSNI et al. 2007; GRASSI-DAVIES, 2010), pudiera ser favorable acrecentar los cuidados principalmente en la zona costera sur-este.

Considerando que las medidas de corrección son siempre un desafío para los profesionales involucrados (ARCILLA, 2007; BRANCO, 2007; CASTRO BORGES, 2007; HELENE, 2007), correspondería no desestimar lo expuesto por Mancio et al. (2007), para quien el enfoque relacionado a la durabilidad ha centrado-se con los años en la optimización del rendimiento. De esta forma, el incremento en la resistencia a la fisuración del hormigón, la reducción de su permeabilidad y el retardo en el acceso de los agresivos han aportado ventajas de un valor significatvo.

En definitiva, según Montoya et al. (1994); Calavera (1999) y ACI 224R (2001) los parámetros ineludibles para la protección del hormigón armado habrán de ser su propia calidad y el recubrimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALVAREZ, L. Edificación y desarrollo sostenible. Gbc: un método para la evaluación ambiental de edificios. Informes de la Construcción, vol. 55, no.486, p. 63-73, 2003.

AMERICAN CONCRET INSTITUTE, ACI 116R-00: Cement and Concrete Terminology. Reapproved 2005.

_____ ACI 224R-01: Control of Cracking in Concrete Structures. 2001.

_____ ACI 201.2R-01: Guide to Durable Concrete. 2001.

_____ ACI 224.1R-07: Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures. 2007.

_____ ACI 224.2R-92: Cracking of Concrete Members in Direct Tension. Reapproved 2004.

AMIANI, M., BOTARO V.R. Concreto impregnado com polímero (CIP): uso e aplicação do EPS reciclado para redução da permeabilidade de superfícies de concreto. Materia, vol. 13, no.4, p 664-673. 2008.

ANDRADE C.; MARTINEZ I. Advanced Methods of Corrosion Measurement in Real Concrete Structures En: Quality of Concrete Structures and Recent Advances in Concrete Materials and Testing, Olinda-PE. 2005. 516 p.

ARCILLA C. Orientación para la Estrategia de Rehabilitación. En: Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto. San Pablo: Paulo Helene y Fernanda Pereira editores, 2007. 596 p.

ARCILLA C; MONTEIRO E; PAZINI E. Reparación y Protección del Acero de Refuerzo. En: Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto. San Pablo: Paulo Helene y Fernanda Pereira editores, 2007. 596 p.

ARCILLA C; PAZINI, E; PEREIRA F. Protección y Mantenimiento de Estructuras. En: Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto. San Pablo: Paulo Helene y Fernanda Pereira editores, 2007. 596 p.

AZQUETA P. Las mejores opciones para el aislamiento térmico de cubiertas. 2009. Disponible en: <http://www.bromyros.com.uy/index.php?O=o&lang=es>. Acceso el 1 de setiembre de 2011

BALTAZAR; ALMERAYA; CALDERON; OROZCO; NIEVES; MENDOZA; GAONA, BORUNDA; MARTINEZ. Corrosion rate evaluation on steel in concrete exposed to sulfate solutions. SCIENTIFIC ELECTRONIC LIBRARY ONLINE – SCIELO. PORTUGALIAE ELECTROCHIMICA ACTA. vol.22, no.4, p.335-344. 2004.

BECKER. Comportamiento del Hormigón Estructural Durante su Vida de Servicio. 2010 a. Disponible en: <http://www.lomanegra.com.ar>. Acceso el 30 de mayo de 2010

_____. Exudación y asentamiento plástico del hormigón. 2010 b. Disponible en: <<http://www.lomanegra.com.ar>>. Acceso el 30 de mayo de 2010.

_____. Debilidad superficial en losas de hormigón. 2010 c. Disponible en: <<http://www.lomanegra.com.ar>>. Acceso el 30 de mayo de 2010.

_____. Reacción Álcali-Sílice: Introducción al Conocimiento y Recomendaciones. 2010 d. Disponible en: <<http://www.lomanegra.com.ar>>. Acceso el 30 de mayo de 2010.

_____. Eflorescencia en piezas de Hormigón. 2010 e. Disponible en: <<http://www.lomanegra.com.ar>>. Acceso el 30 de mayo de 2010.

_____. Cemento Portland Características y Recomendaciones de Uso. 2010 f. Disponible en: <<http://www.lomanegra.com.ar>>. Acceso el 30 de mayo de 2010.

BERMÚDEZ M.A; GUTIÉRREZ P.A. Permeabilidad a los cloruros del hormigón armado situado en ambiente marino sumergido. SCIENTIFIC ELECTRONIC LIBRARY ONLINE – SCIELO. Ingeniería de la construcción. vol.22, no.1, p.15-22. 2007.

BRITISH CEMENT ASSOCIATION, BCA. Concrete through the ages. 1999. Disponible en < <http://www.bca.org.uk> >. Acceso el 10 de febrero de 2012.

BRANCO F. Prologo. En: Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto. San Pablo: Paulo Helene y Fernanda Pereira editores, 2007. 596 p.

CALAVERA R.J. Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón. Instituto Técnico de Materiales y Construcción.1999, vol 1, 890 p

_____. Patología de estructuras de Hormigón Armado y Pretensado. Madrid: INTEMAC, 2005, vol 1, 712 p.

CARMONA F. Ensayos para diagnóstico. Materiales de reparación. Técnicas para ejecución de reparaciones En: SEMINARIO PATOLOGÍA Y GESTIÓN DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN, Montevideo 1998. 196 p.

CASTRO BORGES P. Control de Calidad. En: Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto. San Pablo: Paulo Helene y Fernanda Pereira editores, 2007. 596 p.

CORDOBA M.; CASTRO-BORGES P.; The Galvanic Effect on de Anodic / Cathodic Area Ratio on Reinforced Concrete whit 304 Stainless Steel En: Fifth ACI/CANMET International Conference on High-Performance Concrete Structures and Materials, Manaus 2008. 416 p.

CORROSION PREVENTION ASSOCIATION, CPA Reinforced Concrete – History, Properties & Durability. 2002 a. Disponible en < <http://www.corrosionprevention.org.uk/>>. Acceso el 8 de abril de 2011.

_____. Corrosion Mechanisms-an Introduction to Aqueous Corrosion. 2002 b . Disponible en: <<http://www.corrosionprevention.org.uk/>>. Acceso el 8 de abril de 2011.

DA SILVA ARANHA P. Contribuição ao Estudo das Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado na Região Amazônica. 1994, 144 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DAL MOLIN D. Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do rio grande do sul, 1988, 220 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DIRECCION NACIONAL DE METEOROLOGIA, DNM. Gráficos bioclimáticos. 2012. Disponible en <<http://www.meteorologia.gub.uy/index.php/mapas-climaticos>>. Acceso el 18 de abril de 2012.

DUPUY G. Puentes y rutas nacionales. [Entrevista]. Montevideo: Ministerio de Transporte y Obras Publicas. 2010.

DURAR-CYTED. Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. 2000. 210 p.

ELEGUERO M. Patologías Elementales. Bs As: Nobuko, 2004. 198 p.

FARIA R. Concreto não conforme. 2009. Disponible en: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/152/resistencia-a-prova-156894-1.asp>>. Acceso el 10 de marzo 2010.

FARIAS DE MEDEIROS M; HELENE P. Durabilidad e protección do concreto armado. 2009. Disponible en: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/151/artigo-durabilidade-e-protecao-do-concreto-armado-154416-1.asp>>. Acceso el 10 de marzo 2010.

FERNANDEZ L. Conservación y mantenimiento de los edificios. Conceptos y metodología para un abordaje eficiente. En: SEMINARIO PATOLOGÍA Y GESTIÓN DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN, Montevideo 1998. 196 p.

FERNÁNDEZ CÁNOVAS M. La Patología de la construcción y los tribunales de justicia". 2010. Disponible en < <http://www.alconpat.org.uy/biblioteca.html> > Acceso el 15 de febrero 2010.

FERNANDEZ J.; BITTENCOURT T.; HELENE P A review of the Application of Concrete to Offshore Structures En: Fifth ACI/CANMET International Conference on High-Performance Concrete Structures and Materials, Manaus 2008. 416 p.

FREITAS; ALVEZ; SOUZA. Um Contributo para a Sistematização do Conhecimento da Patologia da Construção em Portugal. 2º CONGRESO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUCAO. Lisboa 2007. 10 p.

GIANNOTTI DA SILVA F.; LIBORIO J; HELENE P. Improvement of physical and chemical properties of concrete with brazilian silica rice husk (SRH). SCIENTIFIC ELECTRONIC LIBRARY ONLINE – SCIELO. Ingeniería de la construcción. vol.23, no.1, p.18-25. 2008.

GONZALES J; MIRANDA J. Consideraciones sobre los posibles mecanismos de corrosión de las estructuras de hormigón armado y sobre los factores que controlan su cinética. Revista de metalúrgica, no 40, p 89-100. 2004.

GRASSI P. A lattice approach to model flow in cracked concrete. Cement and Concrete Composites, vol 31, t 7, p 454-460. 2009

GRASSI P.; JIRASEK M. Meso-scale approach to modelling the fracture process zone of concrete subjected to uniaxial tension. International Journal of Solids and Structures, vol 47, t 7-8, p 957-968. 2010.

GRASSI P.; WONG H.; BUENFELD N. Influence of aggregate size and volume fraction on shrinkage induced micro-cracking of concrete and mortar. Cement and Concrete Research, vol 40, t1, p 85-93. 2010.

GRASSL P.; DAVIES T. On a three-dimensional lattice approach for modeling corrosion induced cracking and its influence on bond between reinforcement and concrete. 2010. Disponible en < <http://eprints.gla.ac.uk/46112/1/Conference.pdf>>. Acceso el 8 de abril de 2011.

HELENE P. Vida útil das estruturas de concreto. 2010. Disponible en <<http://www.alconpat.org.uy/biblioteca.html>>. Acceso el 15 de febrero de 2010.

_____ Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto. En: Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto. San Pablo: Paulo Helene y Fernanda Pereira editores, 2007. 596 p.

HUSNI R.; BENITEZ A.; MANZELLI A.; MACCHI C.; CHRREAU G.; LUCO L.; GUITELMAN N. Acciones y Mecanismos de Deterioro de las Estructuras. En: Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto. San Pablo: Paulo Helene y Fernanda Pereira editores, 2007. 596 p.

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA, IETCC. Manual de evaluación de estructuras afectadas por corrosión de la armadura. 2010. Disponible en <<http://www.ietcc.csic.es/index.php?id=93>>. Acceso el 15 de febrero 2010.

INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN, ICE – FARQ - UDELAR; PATOLOGÍAS FRECUENTES en la CONSTRUCCIÓN. METODOLOGÍA PARA EL DIAGNÓSTICO. Fisuras y grietas. 48p. 2011

JOUKOSKI A.; PORTELLA K. F.; BARON O.; Garcia C. M.; VERGÉS G. R.; SALES A.; DE PAULA J. F. The influence of cement type and admixture on life span of reinforced concrete utility poles subjected to the high salinity environment of Northeastern Brazil, studied by corrosion potential testing. SCIENTIFIC ELECTRONIC LIBRARY ONLINE – SCIELO. Cerâmica, vol.50, no. 313, p12-20. 2004.

LEERSH I. Contribuição para a identificação dos principais fatores e mecanismos de degradação em edificações do patrimônio cultural de Porto Alegre. 2003, 185 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MANCIO M.; CRUZ C.; JIEYING Z.; HARVEY J.; MONTEIRO M.; Laboratory Evaluation of Corrosion Resistance of Steel Dowels in Concrete Pavement. 2007. Disponible en <pubs.its.ucdavis.edu/download_pdf.php?id=80> Acceso el 10 de febrero de 2012.

MANCIO M.; ZHANG J; MONTEIRO M. Nondestructive surface measurement of corrosion of reinforcing steel in concrete. 2004. Disponible en <<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ircpubs>> Acceso el 10 de febrero de 2012.

MANCIO M.; KUSINSKI G.; DEVINE T.M., MONTEIRO M. Electrochemical and *in-situ* SERS study of passive film characteristics and corrosion performance of microcomposite steel in simulated concrete pore solutions.2008. Disponible en <http://mmfx.com/doc2/Electrochemical_Mancio_Kusinski.pdf> Acceso el 11 de febrero de 2012.

MESEGUER A. La Patología y el Lenguaje. Informes de la Construcción, vol. 37, no.376, p 5-16. 1985.

MOLINA H.; GUTIÉRREZ J.; GARCÍA A. Influencia del diámetro de la barra y del recubrimiento en las características adherentes del hormigón armado. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, vol. 43, no. 2, p 560-564. 2004

MOLINA H.; GUTIÉRREZ J.; ALONSO M.D. Estrategias para evaluar estructuras de hormigón armado con patologías por falta de adherencia.2011. Disponible en <http://digital.csic.es/bitstream/10261/6315/1/BIA_Molina_Huelva.pdf>. Acceso el 8 de abril de 2011.

MONJO CARRIÓ J. Introducción a tomos 3 y 4. En: Máster de Restauración Arquitectónica. Madrid: Munilla-Leria editores.2001.vol 3, 473 p.

_____. Durabilidad vs Vulnerabilidad. Informes de la Construcción, vol. 59, no 507, p 43-58. 2007.

MONTOYA; MESEGUER; MORAN. Hormigón Armado. Madrid: Gustavo Gili, 1994. 710 p.

MORALES TALERO R. Los cementos, sus adiciones y su durabilidad. En: Máster de Restauración Arquitectónica. Madrid: Munilla-Leria editores.2001.vol 3, 473 p.

MORAN CABRE. Estimación de la seguridad residual en estructuras de hormigón con problemas patológicos. Informes de la Construcción. vol. 46, no.434, 13 p. 1994.

MORENO R.; SOLIS-CARCAÑO R. Carbonation-Induced Corrosion in Buildings Under Tropical Environments En: Quality of Concrete Structures and Recent Advances in Concrete Materials and Testing, Olinda-PE. 2005. 516 p.

MORENO R.; SOLIS-CARCAÑO R.; SERRANO-ZEBADUA Natural Concrete Curing under Hot Sub-Humid Climate En: Fifth ACI/CANMET International Conference on High-Performance Concrete Structures and Materials, Manaus 2008. 416 p.

NATIONAL CONCRETE MASONRY ASSOCIATION, NCMA-TEK 10-1A. Crack control in concrete masonry walls. 2005. Disponible en: <http://www.ncmaetek.org/etek/homefrm_map.cfm?spdm=midwestproductsgroup.com>. Acceso el 8 de abril de 2011.

_____ NCMA-TEK 8-3A, Control and Removal of Efflorescence, 2003. Disponible en: <http://www.ncmaetek.org/etek/homefrm_map.cfm?spdm=midwestproductsgroup.com>. Acceso el 8 de abril de 2011.

NIEVEZ; ALMERAYA; CALDERON; RIVERA; URUCHURTU; GAONA; MARTINEZ. Guard ring and electrochemical noise employment in the evaluation of the steel-concrete system. SCIENTIFIC ELECTRONIC LIBRARY ONLINE – SCIELO. PORTUGALIAE ELECTROCHIMICA ACTA. vol.22, no.4, p.305-320. 2004.

OCAMPO I.; TORRES A.; SOLORZA B.; ONORATO M.; BORBORE S.; MORENO N. Aumento de la vida útil de estructuras de hormigón armado corroídas, mediante re alcalinización. 2005 Disponible en: <http://www.ciiq.org/varios/peru_2005/Trabajos/IV/1/4.1.01.pdf>. Acceso el 8 de abril de 2011.

OLGUIN, ALMERAYA-CALDERON, OROZCO, BORUNDA, GAONA, MARTINEZ, TORRES. Influence of environmental and electrochemical factors in the durability of concrete. SCIENTIFIC ELECTRONIC LIBRARY ONLINE – SCIELO. PORTUGALIAE ELECTROCHIMICA ACTA. vol.22, no.4, p.321-334. 2004.

OLMOS MECHA C. Patología físico-química del ladrillo. En: Master de Restauración Arquitectónica. Madrid: Munilla-Leria editores.2001.vol 3, 473 p.

ORTIZ LOZANO J. A.; DE CEA A.; AGULLÓ F.; GARCÍA V.; ZERMEÑO DE LEÓN M. Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura ambiental en la resistencia del hormigón preparado. Bases teóricas. Materiales de construcción, no 291, p 7-22. 2008

PATO M.; OLIVARES F. Medida de la resistencia residual en el hormigón armado. Ensayos no destructivos. Caso práctico de un elemento estructural fabricado con cemento aluminoso. En: Máster de Restauración Arquitectónica. Madrid: Munilla-Leria editores.2001.vol 3, 473 p.

PAULETTI C.; POSSAN E; DAL MOLIN D. Carbonatação acelerada: estado da arte das pesquisas no Brasil. Ambiente Construído, vol. 7, no. 4, p.7-20. 2007.

PAZINI E. Terapia Das Construções De Concreto. Metodologia da avaliação de sistemas epóxi destinados a injeção de fissuras passivas das estruturas de concreto. 1989, 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PAZINI E.; O'REILLY V. Orientación para el diagnostico. En: MANUAL DE REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN REPARACIÓN, REFUERZO Y PROTECCIÓN. CYTED SUB PROGRAMA XV. Paulo Helene & Fernanda Pereira, editores. CD-ROM... São Paulo 2003.

PERALTA M.; RIVAS I.; ORTEGA.N. Análisis numérico de la fisuración superficial de estructuras de hormigón armado por efecto de la corrosión. Informes de la Construcción. vol. 58, no.501, p.47-55. 2005.

PEREIRA F.; HELENE P. Reparación de Estructuras. En: Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto. San Pablo: Paulo Helene y Fernanda Pereira editores, 2007 a. 596 p.

_____. Guía para el diagnóstico y la intervención correctiva. En: Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto. San Pablo: Paulo Helene y Fernanda Pereira editores, 2007 b. 596 p.

PINHEIRO S.M.M.; SILVA M.R.; DOS SANTOS SOUZA F.L. The Influence of Biodeterioration on Concrete Durability En: Quality of Concrete Structures and Recent Advances in Concrete Materials and Testing, Olinda-PE. 2005. 516 p.

POSSER D. Estudo do proporcionamento de argamassas para reboco de recuperação. 2004, 209 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RAMIREZ ORTIZ J. La múltiple identidad del hormigón. Informes de la Construcción.vol. 49, no.454, 7 p. 1998.

RIO BUENO, A. Patología, Reparación y Refuerzo de Estructuras De Hormigón Armado de Edificación. Informe inédito. Departamento de Estructuras de Edificación E.T.S. de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid: [s.n.], 2005, 80 p.

RIO O.; ALONSO C.; ANDRADE C.; VEGA L. Comportamiento de la reparación localizada de viguetas armadas afectas por corrosión. Hormigón y acero, no 217, p101-110. 2000

SALAS J.; OTEIZA I. Estrategias divergentes de industrialización abierta para una edificación pretenciosamente sostenible. Informes de la Construcción. vol. 61, no. 513, p 11-31. 2009.

SANCHES DE JUAN M. Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de Hormigón Estructural.2004, 381 p. Tesis doctoral. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos UPM (Universidad Politécnica de Madrid).

SIRIVIVATNANON V. Predicting Long-Term Creep from Short-Term Creep Test En: Quality of Concrete Structures and Recent Advances in Concrete Materials and Testing, Olinda-PE. 2005. 516 p.

SOLLAZZO M.; SOUTO S.; GUECAIMBU M. Plan de inventario e inspección de puentes. Construir. No. 5, p 41-47 1991.

TAUS V.; DI MAIO A.A.; TRAVERSA L.P. Sorptivity: Parameter for the Evaluation of Cover Concrete Quality En: Quality of Concrete Structures and Recent Advances in Concrete Materials and Testing, Olinda-PE. 2005. 516 p.

THOMAZ E. Calidad de las estructuras de hormigón. En: SEMINARIO PATOLOGÍA Y GESTIÓN DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN, Montevideo 1998. 196 p.

TISCORNIA R.; MARTORELLI R. Fenómenos degresivos en edificios. Instituto de la Construcción - FARQ - UDELAR, 111p. 1996.

VALDÉS M.; VÁZQUEZ M. Corrosión de armaduras en hormigones y morteros de reparación. 2011. Disponible en: http://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/tecnologia_hormigon/VALDES_20Matias_IV_20IBERM AC.pdf. Acceso el 8 de abril de 2011.

YAMAJI T.; KOMURE I.; HAMADA H. Durability of 15-year Old Concrete with Surface Coating Materials under Marine Environment En: Quality of Concrete Structures and Recent Advances in Concrete Materials and Testing, Olinda-PE. 2005. 516 p.

ZREIKI J.; LAMOUR V.; CHAOUICHE M.; MORANVILLE M. Prediction of residual stress due to early age behavior of massive concrete structures on site experiments and macroscopic modeling. 11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components. ISTANBUL, Turkey 11-14 May 2008.

ANEXO 1 – SECTORES CON CONTRATOS DE MANTENIMIENTO

ACCESOS A MDEO.

Ruta	Descripción	Ítem	Firme de calzada actual	Km inicial	Km final	Long. (km)
1	RAMBLA PORTUARIA: J.H. Y OBES - CENTRAL BATLLE	1	Hormigón	0k000	1K600	1,600
2	RAMBLA PORTUARIA: CENTRAL BATLLE - J.H. Y OBES	1	Hormigón	2k300	3k900	1,600
3	CENTRAL BATLLE - COLECTOR BULEVAR ARTIGAS	1	Hormigón	1K600	3K850	2,250
4	COLECTOR BULEVAR ARTIGAS - CENTRAL BATLLE	1	Hormigón	0k000	2k200	2,200
5	COLECTOR: BULEVAR ARTIGAS – PPIO. CONCESIÓN R1	1	Hormigón	0k000	6k400	6,400
6	COLECTOR: PPIO. CONCESIÓN R1 - BULEVAR ARTIGAS	1	Hormigón	0k000	6k400	6,400
7	PASAJE PEATONAL SANTIN C. ROSSI - Ao PANTANOSO	1	Hormigón	0k000	5k500	5,500
8	Ao PANTANOSO - COLECTOR BULEVAR (Tramo 4)	2	Hormigón	0k500	4k800	4,300
9	INTERCAMBIADOR RUTA 1 - RUTA 5 (RAMA D)	1	Hormigón	0k000	1k000	1,000
10	INTERCAMBIADOR L. BATLLE BERRES - RUTA 5	1	Hormigón	0k000	0k400	0,400
11	INTERCAMBIADOR R.5 (del Centro) - MILLAN (RAMA F)	1	Hormigón	0k000	2k000	2,000
12	INTERCAMBIADOR CNO. LECOCQ - RUTA 5 (al Centro)	1	Hormigón	0k000	1k200	1,200
13	INTERCAMBIADOR R.5 (del Ao Pantanoso) - MILLAN	1	Hormigón	0k000	1k000	1,000
14	INTERCAMBIADOR CNO. LECOCQ - RUTA 5 (Ao Pantanoso)	1	Hormigón	0k000	0k950	0,950
15	INTERCAMBIADOR R.5 (del Centro) - CNO. LECOCQ	1	Hormigón	0k000	0k800	0,800
16	INTERCAMBIADOR R.5 (del Ao Pantanoso) - CNO. LECOCQ	1	Hormigón	0k000	0k400	0,400
17	INTERCAMBIADOR MILLAN - RUTA 5 (al Centro)	1	Hormigón	0k000	1k000	1,000
18	INTERCAMBIADOR RUTA 5 - RUTA 1	1	Hormigón	0k000	0k250	0,250
19	INTERCAMBIADOR COLECTOR - C. MARIA RAMIREZ	1	Hormigón	0k000	0k450	0,450
20	INTERCAMBIADOR C. MARIA RAMIREZ - COLECTOR	1	Hormigón	0k000	0k500	0,500
21	ENTRADA INTERCAMBIADOR C. MARIA RAMIREZ - COLECTOR	1	Hormigón	0k000	0k050	0,050
22	ENTRADA INTERCAMBIADOR. COLECTOR - C. MARIA RAMIREZ	1	Hormigón	0k000	0k050	0,050
23	ESCOLLERA SARANDÍ - CLUB NEPTUNO	1	Hormigón	0k000	0k600	0,600
24	CLUB NEPTUNO - TERMINAL DE PASAJEROS	1	Hormigón	0k600	1k900	1,300
25	TERMINAL DE PASAJEROS - J. H. Y OBES	1	Hormigón	1k900	2k600	0,700
26	J. H. Y OBES - TERMINAL DE PASAJEROS	1	Hormigón	2k600	1k900	0,700
27	TERMINAL DE PASAJEROS - CLUB NEPTUNO	1	Hormigón	1k900	0k600	1,300
28	CLUB NEPTUNO - ESCOLLERA SARANDÍ	1	Hormigón	0k600	0k000	0,600

RUTA 1 : ACCESOS A RUTA 45

Ruta	Item	descripción	firme de calzada actual	prog. inicial	prog. final	Longitud
1	1(+)	Anillo Colector de Accesos a Mdeo. – Pasaje Superior Santiago Vázquez	Horm.	8k550	21k029	12k479
	1(-)	Pasaje Superior Santiago Vázquez - Anillo Colector de Accesos a Mdeo.	Horm.	21k029	8k550	12k479
	2(+)	Pasaje Superior Santiago Vázquez – Rincón de la Bolsa	Horm y C.A.	21k029	25k829	4k800
	2(-)	Pasaje Superior Santiago Vázquez – Rincón de la Bolsa	Horm y C.A.	25k829	21k029	4k800
	3(+)	By Pass Rincón de la Bolsa	Horm.	25k829	34k600	8k771
	3(-)	By Pass Rincón de la Bolsa	Horm.	34k600	25k829	8k771
	4(+)	Rincón de la Bolsa – By Pass Libertad	C.A.	34k600	48k900	14k300
	4(-)	By Pass Libertad – Rincón de la Bolsa	Horm.	48k900	34k600	14k300
	5(+)	By Pass Libertad – Ruta n° 45	Horm.	48k900	54k500	5k600
5(-)	Ruta n° 45 - By Pass Libertad	Horm.	54k500	48k900	5k600	

RUTA 1: RUTA 45 – COLONIA.

Ruta	Item	Tramo	Descripción	Firme de calzada actual	Km inicial	Km final	longitud	
1	1		Ruta 45 – Ao Cufre	Horm. y C.A.	54k500	107k000	52k500	
		A	Ruta45 – 58k950	C.A.	54k500	58k950	4k450	
		B	58k950 – 63k700	Horm	58k950	63k700	4k750	
		C	63k700 – 67k600	C.A.	63k700	67k600	3k900	
		D	67k600 – 68k200	Horm.	67k600	68k200	0k600	
		E	68k200 – 71k600	C.A.	68k200	71k600	3k400	
		F	71k600 – 73k500	Horm.	71k600	73k500	1k900	
		G	73k500 – 107k000	C.A.	73k500	107k000	33k500	
	2		Ao Cufre – Ruta45	Horm	107k000	54k500	52k500	
	3		107k000 – 118k800	C.A.	107k000	118k800	11k800	
	4		118k800 – 107k000	C.A.	118k800	107k000	11k800	
	5			118k800-129k000	Horm. y C.A.	118k800	129k000	10k200
		A(+)	(*)	By Pass Colonia Valdense (en construcción)	C.A	118k800	120k000	1k200
		A(-)	(*)	Conexión con Ruta 1 (en construcción)	C.A	118k800	120k000	1k200
		B(-)		120k000 – 125k900	Horm. y C.A.	120k000	125k900	5k900
		B(+)	(*)	By Pass Colonia Valdense (en construcción)	C.A.	120k000	125k900	5k900
		C(+)	(*)	125k900 – 129k000 (en construcción)	C.A.	125k900	129k000	3k100
	C(-)	(*)	125k900 – 129k000 (en construcción)	C.A.	125k900	129k000	3k100	
	2	6		Ruta 1 - Rosario	Horm.	128k300	130k600	2k300
1	7	A(-)	129k000 -149k000	Horm. y C.A.	129k000	149k000	20k000	
		A(+)	129k000 -149k000 (en construcción)	C.A.	129k000	149k000	20k000	
	8			149k000 – 177k000	Horm. y C.A.	149k000	177k000	28k000
		A		149k000 – 164k600	Horm. y C.A.	149k000	164k600	15k600
		B		164k600 – 173k500	C.A.	164k600	173k500	8k900
C			173k500 – 175k400	Horm..	173k500	175k400	1k900	
D		15k400 – 177k00	Horm.	175k400	177k000	1k600		

RUTA 2: J.E. RODO - FRAY BENTIOS.

Ruta	Item	Descripción	Firme de calzada actual	Km inicial	Km final	longitud
2	1	Florencio Sánchez-Rodó	C.A.	182k400	207k300	24k900
	2	J. E. Rodó-A° Corralito	C.A.	207k300	225k000	17k700
	3	A° Corralito-Palmitas (Ruta 105)	C.A.	225k000	242k800	17k800
	4	Palmitas (Ruta 105)- Mercedes	C.A.	242k800	280k200	37k400
	5	Mercedes-Acceso Sur a Fray Bentos	C.A.	280k200	301k500	21k300
	6	Acceso Sur a Fray Bentos- Puente Gral. San Martín	C.A.	301k500	308k500	7k000
	7	Acceso Sur a Fray Bentos	C.A.	301k500	309k900	8k400
	8	Ramal Puerto Fray Bentos	C.A.	305k700	313k000	7k300
	9	Ruta 2-Ramal Puerto Fray Bentos	C.A.	307k300	308k500	1k200

RUTA 3: PASO DEL PUERTO – SALTO.

Ruta	Ítem	Descripción	Firme de calzada actual	Km inicial	Km final	Longitud
3	1	243k000 – A° Grande	C.A.	243k000	244k050	1k050
	2	A° Grande – Paso del Puerto	C.A.	244k0500	246k400	2k350
	3	Paso del Puerto – 256k000	C.A.	246k400	256k000	9k600
	4	256k000- A° Grande	C.A.	256k000	278k500	22k500
	5	A° Grande – A° Don Esteban	C.A.	278k500	291k200	12k700
	6	A° Don Esteban- Entrada Young	C.A.	291k200	308k900	17k700
	7	Planta Urbana de Young	C.A.	308k900	311k800	2k900
	8	Salida de Young- Accesos A° Gutiérrez	C.A.	311k800	319k600	7k800
	9	Acc A° Gutiérrez	C.A.	319k600	321k800	2k200
	10	Acc .A° Gutiérrez- A° Negro	C.A.	321k800	329k000	7k200
	11	A° Negro-Campamento San Manuel (Ruta 24)	C.A.	329k000	354k800	25k800
	12	Campamento San Manuel (Ruta 24) – Acc. Paysandú	C.A.	354k800	368k900	14k100
	13	Trébol Acceso Paysandú	C.A.			3k800
	14	Acc. Paysandú- Constancia	C.A.	368k900	384k000	15k100
	15	Constancia- Ruta 26	C.A.	384k000	403k950	19k950
	16	Ruta 26 – Acc.A° Guaviyú	C.A.	403k950	430k925	26k975
	17	Acc. Puente A° Guaviyú	C.A.	430k925	433k225	2k300
	18	Acc. Puente A° Guaviyú- A° Chapicuy Grande	C.A.	433k225	444k650	11k425
	19	A°Chapicuy Grande- 462k600	C.A.	444k650	462k600	17k950
	20	462k600 – Río Daymán (límite departamental)	C.A.	462k600	477k600	15k000
	21	Río Daymán – 4 Bocas	C.A.	477k600	483k800	6k200
	22	By Pass Salto (Ruta 3 483k800)- Ruta 31 (5k000)	C.A.	483k800	490k000	6k200

23	Ruta 31 (5k000) – Acc. Salto Grande	C.A.	490k000	494k200	4k200
24	Ramal Acc. Salto Grande	C.A.	0k000	8k900	8k900

RUTA 5: PBLO. CENTENARIO – RIVERA.

Ruta	Item	Descripción	Firme de calzada actual	Km inicial	Km final	longitud
5	1	Centenario-Paso de los Toros	C.A.	245k000	248k800	3k800
	2	Paso de los Toros-Acceso Norte a Paso de los Toros	C.A.	248k800	251k000	2k200
	3	Acceso Norte a Paso de los Toros-Ruta 20	C.A.	251k000	266k000	15k000
	4	Ruta 20-270k000	C.A.	266k000	270k000	4k000
	5	270k000-Ruta 43	C.A.	270k000	306k600	36k600
	6	Ruta 43-320k000	C.A.	306k600	320k000	13k400
	7	320K000-331K000	C.A.	320k000	331k000	11k000
	8	331K000-A° Malo	C.A.	331k000	334k600	3k600
	9	A° Malo-A° Batoví	C.A.	334k600	361k300	26k700
	10	A° Batoví-Acceso A° Tranqueras	C.A.	361k300	379k200	17k900
	11	Acceso A° Tranqueras (Paso Bonilla)	C.A.	379k200	381k000	1k800
	12	Acceso A° Tranqueras-393k000	C.A.	381k000	393k000	12k000
	13	393k000-400k000	C.A.	393k000	400k000	7k000
	14	400k000-420k000	C.A.	400k000	420k000	20k000
	15	420k000-Río Tacuarembó	C.A.	420k000	425k400	5k400
	16	Río Tacuarembó-A° Sauce	C.A.	425k400	450k800	25k400
	17	A° Sauce-452k000	C.A.	450k800	452k000	1k200
	18	452k000-462k000	C.A.	452k000	462k000	10k000
	19	462k000-495k500	C.A.	462k000	495k500	33k500

RUTA 5: MENDOZA - PBLO. CENTENARIO.

RUTA	ITEM	TRAMO	FIRME	KM INICIAL	KM FINAL	LONGITUD (KM)
5	1	La Cruz (Acceso Sur) – Ruta 42	C.A	112k900	140k300	27.400
5	2	Ruta 42 - Goñi	C.A	140k300	166k000	25.700
5	3	Goñi – Limite Departamental	C.A	166k000	169k800	3.800
5	4	Limite departamental – Durazno (Al Sur)	C.A	169k800	181k000	11.200
5	5	Planta Urbana de Durazno (Río Yi)	C.A	181k000	185k400	4.400
5	6	Durazno (Al Norte) – A° Villasboaa	C.A	185K400	208K100	22.700
5	7	A° Villasboas – 225k000	C.A	208k100	225k000	16.900
5	8	225k000 – 245k000	C.A	225k000	245k000	20.000
14	9	Trinidad – A° Maciel	C.A	138k400	168k000	29.600
14	10	A° Maciel - Durazno	C.A	168k000	176k200	8.200
14	11	Ruta 14 (173k400) – Ruta 5 (182k750)	C.A	173k400	178k300	4.900

RUTA 8: MINAS – TREINTA Y TRES.

Rut a	Íte m	Descripción	Firme de calzada actual	Km inicial	Km final	Longitud
8	1	Minas - Ao. Penitente	C.A.	122k100	134k500	12k400
	2	Ao. Penitente - Ao. Marmaraja	C.A.	134k500	151k500	17k000
	3	Ao. Marmaraja - Ao. Sarandi	C.A.	153k500	184k000	30k500
	4	Ao. Sarandi - Río Cebollati	C.A.	184k000	207k400	23k400
	5	Río Cebollati - Ao. Piraraja	C.A.	207k400	222k450	15k050
	6	Ao. Piraraja - Pblo. Aramendia	C.A.	222k450	235k000	12k550
	7	Pblo. Aramendia - Ao. Gutierrez	C.A.	235k000	248k000	13k000
	8	Ao. Gutierrez - Ao. Corrales	C.A.	248k000	257k600	9k600
	9	Ao. Corrales - Ao. Sarandi	C.A.	257k600	273k800	16k200
	10	Ao. Sarandi – 284k350	C.A.	273k800	284k350	10k550
	11	285k350 - Ruta 17	C.A.	285k200	287k900	2k700
17	12	Ruta 8 - Aeropuerto	C.A.	287k700	291k600	3k900

RUTA 11: E PAULIER – ATLANTIDA.

Ruta	Ítem	Descripción	Firme de calzada actual	Km inicial	Km final	longitud
11	1	Atlántida-Ruta 8	Slurry seal	167k000	156k000	11k000
	2	Ruta 8-La Pedrera	Carpeta Asfáltica	156k000	147k800	8k200
	3	La Pedrera-Ruta 7	C.A.	147k800	138k900	8k900
	4	Ruta 7-Ruta86	C.A.	138k900	131k200	7k700
	5	Ruta 86 – Ruta 33	C.A.	131k200	116k500	14k700
	6	Ruta 33 – Ruta 64	C.A.	116k500	101k800	14k700
	7	Ruta 5-Rotonda Ruta 11y64	C.A.	99k300	101k800	2k500
	8	Canelones-Santa Lucía	C.A.	96k800	85k900	10k900
	9	Santa Lucía-Villa Rodríguez	C.A.	83k100	69k500	13k600
	10	Villa Rodríguez-San José	C.A.	69k500	51k900	17k600
	11	Ruta 3 (San José)-Juan Soler	C.A.	47k00	38k300	8k700
	12	Juan Soler-Ecilda Paullier	C.A.	38k300	14k800	23k500
	13	Planta Urbana de Ecilda Paullier	C.A.	14k800	12k700	2k100
	14	Ramal 5 (De Ruta 11 (13k000-Ruta 1 (al Oeste)))	C.A.	0k000	0k500	0k500

RUTA INTERBALNEARIA.

Ruta	Ítem	Descripción	Firme de calzada actual	Km inicial	Km final	Longitud
9	1	Ramal R 9 (92K150) - R 99 (3K700=85K)	C.ASF.	0K000	0K720	0.720
	2	Ramal R 9 (92K150) - R 9 (94K300=86K200)	C.ASF.	0K000	1K230	1.230
	3	Salida PAN DE AZUCAR A P. DEL ESTE POR R 9	C.ASF.	0K000	0K640	0.640
	4(*)	RUTA 8 - Ao. SOLIS GRANDE	C.ASF.	65K100	81K600	16.500
	5	Ao. SOLIS GRANDE-RUTA 99 (92K850=94K000)	C.ASF.	81K600	92K850	11.250
	6	RUTA 99 (4K6=85K9) - RUTA 93 (104K=95K9)	C.ASF.	94K000	104K000	10.000
	7	Ramal RUTA 9 ENTRADA PAN DE AZUCAR	C.ASF.	103K100	105K650	2.550
	8	RUTA 93 (104K=95K9) - RUTA 99 (4K6=85K9)	C.ASF.	104K000	94K000	10.000
	9	Salida PAN DE AZUCAR A MVDEO. POR RUTA 9	C.ASF.	104K250	103K640	0.610
10	10	Ao. POTRERO(123K7=115K6) - LUSSICH(127K9=119K8)	C.ASF.	123K700	127K900	4.200
	11	LUSSICH(127K9=119K8) - Ao. POTRERO(123K7=115K6)	C.ASF.	127K900	123K700	4.200

93	12	Entrada a PAN DE AZUCAR DE P. DEL ESTE POR RUTA 93	C.ASF	0K000	0K490	0.490
	13	RUTA 9 (104K=95K9) - LOS ARRAYANES (110K4=102K3)	C.ASF	104K000	110K400	6.400
	14	RR93 (110K4=102K3) - A° POTRERO (123K7=115K6)	C.ASF	110K400	123K700	13.300
	15	LOS ARRAYANES (110K4=102K3) - RUTA 9 (104K=95K9)	C.ASF	110K400	104K000	6.400
	16	A° POTRERO (123K7=115K6) - RR93 (110K4=102K3)	C.ASF	123K700	110K400	13.300
99	17	Ramal R 99 (4K600=85K900) A R 9 HACIA RUTA 8	C.ASF	0K000	0K380	0.380
	18	Entrada a RUTA INT. DESDE SOLIS POR R 99	C.ASF	0K000	0K330	0.330
	19	RUTA 200 (83K500) - RUTA 9 (94K000=85K900)	C.ASF	2K200	4K600	2.400
	20	RUTA 9 (94K000=85K900) - RUTA 200 (83K500)	C.ASF	4K600	2K200	2.400
101	21	AEROPUERTO DE CARRASCO – 21K300	C. ASF	18K700	21K300	2.600
200	22	Sub tramo a RUTA 101 – 22K900	C. ASF	21K000	22K900	1.900
		Sub tramo b 22K900 – 33K300	C. ASF	22K900	33K300	10.400
	23	Entrada a BRIO. SOLIS POR RUTA 99	C.ASF	0K000	0K260	0.260
	24	Ao. PANDO - Ao.SOLIS CHICO	C.ASF	33K400	51K000	17.600
	25	Ao.SOLIS CHICO- Av.GIANNASTASSIO (R 201)	C.ASF	51K000	33K000	18.000
	26	Ao. SOLIS CHICO - Ao. SOLIS GRANDE	C.ASF	51K000	80K700	29.700
	27	ARROYO SOLIS GRANDE - RUTA 99	C.ASF	80K700	83K500	2.800
	28	Ao. SOLIS GRANDE - Ao. SOLIS CHICO	C.ASF	80K700	51K000	29.700
	29	RUTA 99 (2K2=83K5) - A° SOLIS GDE.	C.ASF	83K500	80K700	2.800

RUTA 9 PAN DE AZUCAR – ROCHA

Ruta	Item	Descripción	Firme de calzada actual	Km inicial	Km final	longitud
9	1	Ruta Interbalnearia- A° Pan de Azúcar	C.A.	105k650	106k450	0k800
	2	A° Pan de Azúcar-A° del Sauce	C.A.	106k450	121k600	15k150
	3	A° del Sauce-Acc San Carlos	C.A.	121k600	141k900	20k300

4	Acc San Carlos-Km 149	C.A.	141k900	149k000	7k100
5	Km 149-A° José Ignacio	C.A.	149k000	159k600	10k600
6	A° José Ignacio-A° Garzón	C.A.	159k600	177k800	18k200
7	A° Garzón-Ramal al Caracol y Las Garzas	C.A.	177k800	186k800	9k000
8	Ramal al Caracol y Las Garzas-A° Rocha	C.A.	186k800	202k400	15k600
9	A° Rocha-Km 210	C.A.	202k400	210k000	7k600

ZONA BALNEARIA RUTAS 39,60, 10, 99 Y 104.

RUTA	ITEM	TRAMO	FIRME	KM INICIAL	KM FINAL	LONGITUD (KM)
10	1	Estación Solis -Piriapolis	C.A	85k000	96k600	11.600
10	2	Ruta N° 104- José Ignacio	T.B	164k900	183k000	18.100
10	3	José Ignacio-Laguna Garzón	T.B.	183k000	190k500	7.500
39	4	Ruta N°9-48k600	T.B	19k650	48k600	28.950
39	5	48K600-71K600	T.B	48K600	71K600	23.000
39	6	71K600-Ruta N°13 Aiguá	T.B	71k600	89k800	18.200
60	7	Pan de Azúcar-Ao. Pan de Azúcar	T.B	12k000	28k500	16.500
60	8	Ao. Pan de Azúcar-Lim. Departamental	T.B	28k500	41k500	13.000
60	9	Limite Departamental	T.B	41k500	50k000	8.500
93	10	Piriapolis-Ruta N°93 (Los Arrayanes)	C.A	0k300	7k500	7.200
99	11	Solis (Ruta N° 10)- Ruta N° 200	C.A	0k000	2k200	2.200
104	12	Ruta N° 10- Ruta N° 9	T.B	0K000	16K000	16.000

RUTA 8 Y 26

DESCRIPCION	Ruta	KM inicial	KM final	Long. km
310K000 - 321K000	8	310.000	321.000	11.000
321K000 - Arroyo Parao (Lim Dptal)	8	321.000	345.800	24.800
Lim. Dptal (Arroyo Parao) - Río Tacuarí	8	345.800	374.500	28.700
Río Tacuarí - Frigorífico PUL	8	374.700	388.200	13.500
Frigorífico PUL - Melo (*)	8	388.200	393.000	4.800
Melo - Buena Vista	8	401.700	426.000	24.300
Buena Vista - Aceguá	8	426.000	457.500	31.500
Ramal Escuela de Agronomía (Ruta 26 408Km000)	26	0.000	2.000	2.000
Melo (Planta Urbana) (*)	26	0.000	2.100	2.100
Empalme Ruta 18 - Río Branco	26	78.000	85.000	7.000
Paso Aguiar (Río Negro) - A° Del Sauce	26	370.000	393.100	23.100
A° Del Sauce - Empalme Ruta 7	26	393.100	416.900	23.800
Empalme Ruta 7 - Melo	26	416.900	432.500	15.600
Melo (Planta Urbana)	26	432.500	434.000	1.500
Melo (Planta Urbana)	26	432.500	434.000	1.500
TOTAL				215.200
Puente A° Otazo R8	8	334.750		76.000
Puente A° Parao R8	8	345.800		85.000
Puente A° Tacuarí R8	8	374.500		177.000
Puente A° Sauce	26	392.000		50.000
Puente A° Bañado de Medina	26	417.100		39.000
Puente A° Conventos	26	433.200		126.000
Puente A° Sdi de Medina	26	419.000		28.000

RUTA 26.

RUTA	TRAMO	Km inicial	Km final	LONG. (km)
26	Ruta 3 - Arroyo Soto	34.100	52.500	18.400
26	Arroyo Soto - Arroyo Buricayupi	52.500	78.400	25.900
26	Arroyo Buricayupi - El Eucalipto	78.400	105.000	26.600
26	El Eucalipto - km 125	105.000	125.000	20.000
26	km 125 - Arroyo Perdido	125.000	141.325	16.325
26	Arroyo Perdido - Límite Paysandú-Salto	141.325	173.200	31.875
26	Límite Paysandú-Salto - Límite Salto-Paysandú	173.200	181.600	8.400
26	Límite Salto-Paysandú - Límite Paysandú-Tacuarembó	181.600	198.000	16.400
26	Límite Paysandú-Tacuarembó - Tacuarembó	198.000	230.700	32.700

ANEXO 2 – NIVELES DE SERVICIO

1.1. Niveles de Servicio para Obras de Arte Mayor.

Código	Denominación	Descripción	Parámetro	Método de Evaluación	Exigencia	Plazo de Reparación	Observaciones
OAM Suc	Suciedades u obstáculos en las losas de acceso, el sobrepiso, las juntas o las veredas de las obras de arte mayor.	Presencia de suciedades u obstáculos en las losas de acceso, el sobrepiso, las juntas o las veredas de las obras de arte mayor que condicionen la circulación y seguridad del tránsito, como: material fino suelto (tipo suelo o granular, granos, etc.); grasilud (tipo combustible, aceite, etc.); agua empozada; restos de materiales de construcción, accidentes de tránsito, inundaciones, etc..	Porcentaje del área de las losas de acceso, el sobrepiso y las veredas con defecto.	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica su área total, calculándose el porcentaje de afectación.	0%	2 días calendario	
		Presencia de defectos en los pavimentos de la losa de acceso o el sobrepiso de las obras de arte mayor como los establecidos para los pavimentos de la carretera.	Aplican los parámetros de pavimento de calzada.	Aplican los métodos de medición de pavimento de calzada.	Aplican las exigencias de pavimento de calzada.	Aplican los plazos de pavimento de calzada reducidos a la mitad.	
		Presencia de defectos en la losa de acceso de las obras de arte mayor como: descenso excesivo de la losa de acceso que provoque incomodidades o inseguridades al tránsito;	Aplican los parámetros de pavimento de calzada.	Aplican los métodos de medición de pavimento de calzada.	Aplican las exigencias de pavimento de calzada.	Aplican los plazos de pavimento de calzada reducidos a la mitad.	
OAM Los Sob	Deterioros en las losas de acceso o en el sobrepiso de las obras de arte mayor.	Presencia de defectos en las juntas tales como: desniveles entre los bordes de la junta superiores a 0,01 m ; deterioros en los aparatos de junta como desprendimientos de polímero o de cantonera metálica.	Porcentaje de la longitud de juntas con defecto.	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica su longitud total, calculándose el porcentaje afectación.	en cantonera metálica: $\leq 0\%$ otros: $\leq 2\%$	7 días calendario	
		Presencia de defectos en las juntas tales como: desniveles y separaciones entre los bordes de la junta elastomérica y el respaldo de grout superiores a 0,01 m; deterioros en el respaldo de grout, tales como desprendimientos y rajaduras; deterioros en la junta elastomérica; desniveles superiores a 0,01 m y separaciones entre los bordes del respaldo de grout y la carpeta asfáltica de rodadura;	Porcentaje de la longitud de juntas con defecto.	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica su longitud total, calculándose el porcentaje afectación.	$\leq 2\%$; pero cada defecto $\leq 0,2m$	7 días calendario	
OAM Ver	Deterioros en las veredas de las obras de arte mayor.	Presencia de defectos en las veredas de las obras de arte mayor como: losetas faltantes, rotas o sueltas; desnivel entre losetas contiguas.	Porcentaje del área de las veredas con defecto.	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica su área total, calculándose el porcentaje afectación.	$\leq 0\%$	7 días calendario	

Sección 7. ESPECIFICACIONES Y CONDICIONES TECNICAS

7.1

"Mantenimiento por Niveles de Servicio y Obras de Rehabilitación en Ruta Interbalnearia, Ruta 9 tramo: Ruta 99 (92x850) y Ruta 101 tramo: Aeropuerto (18x700) – Ruta Interbalnearia (21x300)"

OAM Seg	Deterioros en los elementos de seguridad vial de las obras de arte mayor.	Presencia de defectos en los elementos de seguridad vial [señalización horizontal, señalización vertical y elementos de encaramiento (parapetos y barandas de los puentes)] de las obras de arte mayor como los establecidos para la carretera.	Aplican los parámetros de seguridad vial.	Aplican los métodos de medición de seguridad vial.	Aplican las exigencias de seguridad vial.	Aplican los plazos de reparación de seguridad vial reducidos a la mitad.		
OAM Otros	Presencia de juntas no estancas.	Presencia de juntas no estancas.	Porcentaje de la longitud de cada junta con defecto.	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica su longitud total, calculándose el porcentaje afectación.	≤ 5%	7 días calendario		
	Presencia de drenes obstruidos.	Presencia de drenes obstruidos.	Porcentaje de la cantidad de drenes con defecto.	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica su cantidad total, calculándose el porcentaje afectación.	≤ 5%	7 días calendario		
	Presencia de manchas de humedad a la salida de drenes o de juntas y falsas juntas de cordones y veredas.	Presencia de manchas de humedad a la salida de drenes o de juntas y falsas juntas de cordones y veredas.	Porcentaje de la cantidad de drenes con defecto.	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica su cantidad total, calculándose el porcentaje afectación.	≤ 5%	7 días calendario		
			Porcentaje de la cantidad de juntas y falsas juntas con defecto.	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica su cantidad total, calculándose el porcentaje afectación.	≤ 5%	7 días calendario		
			Área con armaduras expuestas.	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica el área total afectada.	0 m ²	7 días calendario		
			Área con lesiones en el hormigón.	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica el área total afectada.	0 m ²	7 días calendario		
			Longitud con fisuras de espesor superior al permitido.	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica la longitud total afectada.	0 m	7 días calendario		
			Presencia de deterioros en los elementos metálicos como corrosión, defectos en la pintura o galvanizado, etc..	Área con deterioros.	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica el área total afectada.	0 m ²	14 días calendario	No aplicará en las vigas de tablero de los puentes sobre Arroyos Solís Cde. (Norte) y Chico (Norte) y sobre Pasaje sup. De R9 sobre R93 (P. de Azucar)

Sección 7. ESPECIFICACIONES Y CONDICIONES TÉCNICAS

7.2

"Mantenimiento por Niveles de Servicio y Obras de rehabilitación en Ruta Interbalnearia, Ruta 9 tramo: Ruta 8 (65k100) – Ruta 99 (92k850) y Ruta 101 tramo: Aeropuerto (18k700) – Ruta Interbalnearia (21k300)"

	Presencia de juntas estructurales que conlleven separaciones entre la estructura fuera de los parámetros de diseño que ocasionen daños o mal funcionamiento al resto de la estructura o sean riesgosos para el tránsito.	Longitud de juntas deterioradas.	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica la longitud total afectada.	≤ 0 m	14 días calendario	
	Presencia de apoyos con deterioros como la introducción en la estructura de vínculos distintos a los de diseño que ocasionen daños o mal funcionamiento del resto de la estructura, signos de degradación, aplastamiento o desplazamiento, etc.	Porcentaje de la cantidad de apoyos con defecto.	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica su cantidad total, calculándose el porcentaje afectación.	≤ 0%	14 días calendario	
	Presencia de apoyos con suciedad.	Porcentaje de la cantidad de apoyos con defecto.	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica su cantidad total, calculándose el porcentaje afectación.	≤ 0%	7 días calendario	
OAM Soc	Socavación de las fundaciones de las obras de arte mayor.	Diferencia de cotas entre el cauce del lecho y la cara superior de dados, cabezales de pilotes o viga de fundación de revestimiento.	Por nivelación se determinan las cotas del cauce del lecho y por intermedio de los planos originales del proyecto se obtienen las cotas a cara superior de dados, cabezales de pilotes o viga de fundación de revestimiento, calculándose la diferencia de cotas.	≤ 0 m	7 días calendario	
	Grietas que puedan ocasionar fuga de material, roturas, hundimientos o faltantes de revestimiento	Porcentaje del área de los dos revestimientos con defecto.	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica su área total, calculándose el porcentaje afectación. (En los casos de grietas se entenderá como área afectada el área de la loseta si la grieta se sitúa en una loseta, o el área de las dos losetas si la grieta se sitúa entre dos losetas.)	≤ 0,6%	7 días calendario	
OAM Rev	Presencia de las siguientes deficiencias en los revestimientos de los terraplenes de acceso de las obras de arte mayor.	Porcentaje del área de los dos revestimientos con defecto.	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica su área total, calculándose el porcentaje afectación. (En los casos que la vegetación se ubique en una loseta se entenderá como área afectada el área de la loseta, en los casos que la vegetación se ubique en la junta entre dos losetas se entenderá como área afectada el área de las dos losetas.)	≤ 0,5%	7 días calendario	
	Deterioros en los revestimientos de los terraplenes de acceso de las obras de arte mayor.	Vegetación en la superficie del revestimiento de más de 0,30 m de altura	Vegetación en la superficie del revestimiento de más de 0,30 m de altura	≤ 0%	7 días calendario	

7.3

Sección 7. ESPECIFICACIONES Y CONDICIONES TÉCNICAS

"Mantenimiento por Niveles de Servicio y Obras de rehabilitación en Ruta Interbalnearia, Ruta 9 tramo: Ruta 8 (65k100) – Ruta 99 (92k850) y Ruta 101 tramo: Aeropuerto (18k700) – Ruta Interbalnearia (21k300)"

CIAM Obs	Obstrucción al libre escurrimiento hidráulico	No se admitirá restricciones a la entrada y salida del agua que al disminuir el área de desagüe pueda afectar a la estructura, en particular ocasionar erosión a las fundaciones.		Visual y por medición geométrica del área de desagüe		20 días calendario	
CIAM Los Sob	Deterioro en las losa de acceso o en el sobrepliso de las obras de arte mayor.	Presencia de defectos en el sobrepliso de las obras de arte mayor como: defectos en las juntas como: desniveles entre los bordes de las juntas y la superficies del asfalto superior a 0.01m	Porcentaje de la longitud de juntas con defecto	Por inspección visual se identifican las zonas con defectos y se cuantifica su longitud total, calculándose el porcentaje de afectación.	<= 2%	7 días calendario	

En caso de presentarse una falla estructural importante que dejara fuera de servicio la estructura, no será de cargo del Contratista la reparación de la estructura en aquellos casos en que no exista incumplimiento en los niveles de servicio respectivos.

Sección 7. ESPECIFICACIONES Y CONDICIONES TECNICAS

7.4

"Mantenimiento por Niveles de Servicio y Obras de rehabilitación en Ruta Interballearia, Ruta 9 tramo: Ruta 8 (65k100) – Ruta 99 (92k850) y Ruta 101 tramo: Aeropuerto (18k700) – Ruta Interballearia (21k300)."

ANEXO 3 – COMPONENTES DE LAS OAM

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
1.00 PUENTE	2.00 SUBESTRUCTURA	2.100 Fundacion	2.101 Pilote
			2.102 Zapata Corrida
			2.103 Base Aislada
			2.104 Riostra
			2.105 Cabezal de pilotes
			2.106 Zampeado
		2.200 Estribo	2.201 Muro Frontal
			2.202 Muro Lateral
			2.203 Ala de estribo
			2.204 Pilar
			2.205 Viga transversal
			2.206 Pantalla
			2.207 Parapeto
			2.208 Contrafuerte
		2.300 Pila	2.301 Pantalla
			2.302 Pilar
			2.303 Viga transversal superior
			2.304 Viga transversal intermedia
			2.305 Arriostramiento diagonal
			2.306 Pilares inclinados
	2.400 Apoyo	2.401 Dispositivo de apoyo	
		2.402 Altar de apoyo	
		2.403 Proteccion contra corrosion (pintura)	
	2.500 Terraplenes	2.501 Revestimiento frontal	
		2.502 Revestimiento de cuarto de cono	
		2.503 Revestimiento lateral	
		2.504 Muro fundacion de revestimiento	
		2.505 Material de terraplen	
		2.506 Canaletas	
	3.00 SUPERESTRUCTURA	3.100 Tablero	3.101 Losa
			3.102 Losa de continuidad
			3.103 Viga longitudinal externa
			3.104 Viga longitudinal interna
			3.105 Viga longitudinal secundaria
			3.106 Viga transversal principal
			3.107 Viga transversal secundaria
			3.108 Viga cajon
			3.109 Arco
			3.110 Montante
			3.111 Boveda
			3.112 Timpano
			3.113 Cordon superior de reticulado
			3.114 Cordon inferior de reticulado
			3.115 Montante de reticulado
			3.116 Diagonal de reticulado
		3.117 Arriostramiento superior	
		3.118 Arriostramiento inferior	
		3.119 Viga de borde	
		3.120 Proteccion contra corrosion (pintura)	
		3.200 Proteccion lateral	3.201 Barandas
			3.202 Defensas
			3.203 Cordon (sin vereda)
		3.300 Pavimento	3.301 Sobrepiso
			3.302 Juntas de sobrepiso
		3.400 Juntas	3.401 Junta de tablero
			3.402 Junta de corodn y vereda
			3.403 Junta de sobrepiso
3.500 Veredas		3.501 Vereda	
4.00 AUXILIARES		4.100 Losa de acceso	4.101 Losa de acceso
			4.200 Drenaje
		4.201 Tubo de drenaje	4.202 Goteron
			4.300 Elementos carreteros
	4.302 Señalamiento vertical		
	4.303 Señalamiento horizontal		
5.00 OTROS	5.100 Servicios E&M	5.101 Iluminacion	
		5.102 Cañerías adosadas	
		5.103 Escaleras hidrometricas	

ANEXO 4 – TEXTO DE LAS INSPECCIONES (EJEMPLO)



REPÚBLICA
ORIENTAL
DEL URUGUAY

MINISTERIO
DE TRANSPORTE
Y OBRAS PÚBLICAS

DIRECCIÓN NACIONAL
DE VIALIDAD

Montevideo, 31 de agosto de 2010.-

Vuelva a la Gerencia de Conservación, Dpto. Gestión de Mantenimiento.

Organo de Control Concesión M.T.O.P. – C.N.D.
Ing. Arturo Larriera
Ing. Beatriz Carnales

Se remite el resultado de la evaluación efectuada a su solicitud el día de la fecha en los pasajes superiores detallados a continuación y en los puentes sobre el **Arroyo Pantanoso Chico** (calzada a "+" y a "-") pertenecientes al Contrato de Mantenimiento de Accesos a Montevideo.

Pasajes superiores:

- **Ruta 1 sobre Ruta 5**
- **Millán sobre Con. Lecocq**
- **Millán sobre Ruta 5**

La evaluación se efectuó en correspondencia con los niveles de servicio que figuran en el Pliego de Especificaciones.

Pasaje superior de Ruta 1 sobre Ruta 5
Longitud: 30m

Se constataron los siguientes incumplimientos:
En dos juntas de la senda a "+" hay rotura de bordes

Pasaje superior de Millan sobre Cno. Lecocq
Longitud: 51m

No se constataron incumplimientos en los niveles de servicio

Pasaje superior de Millan sobre Ruta 5
Longitud: 30m

No se constataron incumplimientos en los niveles de servicio

Puente sobre A° Pantanoso Chico "a más".
Longitud: 44m

No se constataron los siguientes incumplimientos

Puente sobre A° Pantanoso Chico "a menos".
Longitud: 44m

Se constataron los siguientes incumplimientos:

- **Corrosión de armaduras:**
Existe armadura expuesta en la cara inferior de las veredas y en correspondencia con la segunda junta intermedia se ven desprendimientos de hormigón a ambos lados en la losa de vereda.
- **Fisuras:**
En los extremos de zona volada de los travesaños de las pilas hay muchas fisuras de espesor mayor a 0.4mm.