
RELACIÓN DE GRÁFICAS Y TABLAS

RELACIÓN DE GRÁFICAS Y TABLAS

INDICE DE FIGURAS

Capítulo 1 – INTRODUCCIÓN

Capítulo 2 - OBJETIVOS

Capítulo 3 - ESTADO DEL CONOCIMIENTO

Figura 3.1	Procedimiento de inspección. [Sanz, 1984].....	13
Figura 3.2	Relación entre comportamiento y vida útil del hormigón. (GEHO-CEB, 1993).....	15
Figura 3.3	Efecto sobre el hormigón en medios sulfatados. [Fernández, 1994]	18
Figura 3.4	Efecto sobre el hormigón en medios ácidos. [Fernández, 1994]	19
Figura 3.5	Pila electroquímica de corrosión . (Fernández, 1994; GEHO-CEB, 1993)	20
Figura 3.6	Algunas manifestaciones típicas de corrosión de armaduras.	21
Figura 3.7	Carbonatación en función de la humedad y Contenido de cloruros. (Fernández, 1994; Pazini, 1994)	23
Figura 3.8	Relación de zona de contacto con nivel riesgo de ataque.....	27
Figura 3.9	Tipos de fisuras.....	27
Figura 3.10	Fisuras anidadas por retracción plástica.....	28
Figura 3.11	Grado de reversibilidad debida a la retracción por secado.....	29
Figura 3.12	Fisuras generadas por cargas directas.....	30
Figura 3.13	Fisuración por retracción.....	30
Figura 3.14	Efectos de la acción del fuego sobre elementos estructurales.....	31
Figura 3.15	Fases de desarrollo de un incendio.....	32
Figura 3.16	Influencia de la temperatura sobre la resistencia a compresión del hormigón.....	33
Figura 3.17	Formas de intervención en las estructuras.....	35

Capítulo 4 - ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL REFUERZO DE PUENTES

Figura 4.1	Características de las probetas para los ensayos de adherencia.....	53
Figura 4.2	Curva tensión-deslizamiento ensayo bandas pegadas exteriormente.....	56
Figura 4.3	Curva carga-deslizamiento ensayo Acero embebido.....	56
Figura 4.4	Curvas tensión-deslizamiento (resumen de resultados).....	57
Figura 4.5	Alzado y sección transversal de la viga VPE_1.....	59
Figura 4.6	Trazado de los cordones de pretensado.....	60
Figura 4.7	Posicionamiento de la viga y pórtico de carga	

	en los ensayos.....	60
Figura 4.8	Distribución de Células de Carga en anclajes, Células de carga en pórtico, Reacciones en apoyos y Galgas en acero activo.....	61
Figura 4.9	Distribución de LVDT's de Flechas y de LVDT's de deslizamiento en cables.....	62
Figura 4.10	Ubicación de las galgas de hormigón y acero pasivo.....	62
Figura 4.11	Evolución de la flecha en centro luz y el cuarto desviador.....	64
Figura 4.12	Evolución de las reacciones en las tres líneas de apoyo.....	64
Figura 4.13	Evolución de la deformación del Hormigón y el acero pasivo.....	65
Figura 4.14	Evolución de tensiones en los diferentes tramos.....	65
Figura 4.15	Evolución de la deformación en la sección de centro luz.....	65
Figura 4.16	Evolución de la deformación en la sección de apoyo central.....	65
Figura 4.17	Localización de los daños tras el ensayo (Planta 1: Zona superior. –Planta 2: zona inferior.....	68
Figura 4.18	Evolución de la flecha en centro Luz y el cuarto desviador.....	70
Figura 4.19	Evolución de las reacciones en las tres líneas de apoyo.....	70
Figura 4.20	Evolución de la deformación del Hormigón y el acero pasivo.....	71
Figura 4.21	Evolución de tensiones en los diferentes tramos.....	71
Figura 4.22	Evolución de la deformación en la sección de apoyo central.....	71
Figura 4.23	Disposición de las bandas de aramidas en apoyo central y sección centro luz.....	75
Figura 4.24a	Localización de fisuras en el lado visto.....	76
Figura 4.24b	Localización de fisuras en el lado oculto.....	76
Figura 4.25	Evolución de la flecha en centro Luz y el cuarto desviador.....	77
Figura 4.26	Evolución de las reacciones en las tres líneas de apoyo.....	77
Figura 4.27	Evolución de la deformación del Hormigón y el acero pasivo.....	77
Figura 4.28	Evolución de tensiones en los diferentes tramos cordón oculto.....	77
Figura 4.29	Evolución de tensiones en los diferentes tramos cordón visto.....	78
Figura 4.30	Evolución de la deformación en las bandas de aramida en apoyo.....	78
Figura 4.31	Evolución de la deformación en las bandas de aramida en centro luz del vano cargado.....	78
Figura 4.32	Alzado y Planta de la Viga VHA1_a y configuración de cargas.....	79
Figura 4.33	Sección transversal de la viga.....	80
Figura 4.34	Detalle de junta de hormigonado en apoyo intermedio.....	81
Figura 4.35	Pórticos de carga utilizados en el ensayo VHA1_a.....	82
Figura 4.36	Distribución de las células de carga en pórticos y reacciones en apoyos.....	84
Figura 4.37	Distribución de los LVDT's de flechas.....	84
Figura 4.38	Ubicación de las galgas en hormigón y acero pasivo en las diferentes secciones.....	85
Figura 4.39	Evolución de la flecha en centro Luz vanos 1 y 2.	
Figura 4.40	Evolución de las reacciones en las tres líneas de apoyo para los distintos ciclos de carga.....	87
Figura 4.41	Evolución de la deformación de la sección en apoyo intermedio.....	87
Figura 4.42	Evolución de la en centro luz vano 1.....	87
Figura 4.43	Evolución de la deformación de la sección centro luz vano 2.....	88
Figura 4.44	Evolución de la deformada de la sección en apoyo central (Ciclo 1).....	88
Figura 4.45	Evolución de la deformada de la sección centro luz vano 1 (Ciclo 1).....	88
Figura 4.46	Evolución de la deformada en centro luz vano 2(Ciclo 1).....	88
Figura 4.47	Alzado general del ensayo VHA1_b.....	89

Figura 4.48	Distribución de las bandas de Tejido de Fibra de Carbono.....	92
Figura 4.49	Pórticos de carga utilizados durante el ensayo VHA1_b.....	92
Figura 4.50	Distribución de galgas en el tejido de fibra de carbono.....	94
Figura 4.51	Evolución de la flecha en centro luz en vanos 1 y 2.....	96
Figura 4.52	Evolución de las reacciones en las tres líneas de apoyo.....	96
Figura 4.53	Evolución de la deformación de la sección en apoyo intermedio. (TFC = tejido de fibra de carbono)	96
Figura 4.54	Evolución de la deformación en centro luz vano 1.....	96
Figura 4.55	Evolución de la deformación de la sección centro luz vano 2.....	97
Figura 4.56	Evolución de la deformación en el apoyo central.....	97
Figura 4.57	Evolución de la deformación de la sección centro luz vano 1.....	97
Figura 4.58	Evolución de la deformación en centro luz vano 2.....	97
Figura 4.59	Evolución de la deformación del T.F.C. en vano 1.....	98
Figura 4.60	Evolución de la deformación del T.F.C. en vano 2.....	98
Figura 4.61	Evolución de la deformación del T.F.C. en el vano 1.....	98
Figura 4.62	Evolución de la deformación del T.F.C. en el vano 2.....	98
Figura 4.63	Evolución de la deformación del T.F.C. en apoyo intermedio.....	99
Figura 4.64	Evolución de la deformación del T.F.C. en centro luz del vano 1.....	99
Figura 4.65	Evolución de la deformación del T.F.C. en centro luz del vano 2.....	99
Figura 4.66	Evolución de la deformación del acero pasivo inferior en vano 2.....	99
Figura 4.67	Evolución de la deformación del T.F.C. en centro luz del vano 2.....	100
Figura 4.68	Comparativa entre T.F.C. y acero pasivo inferior en vano 2.....	100
Figura 4.69	Pórticos de carga utilizados en el ensayo VHA1_c.....	101
Figura 4.70	Evolución de la flecha en centro luz vanos 1 y 2.....	104
Figura 4.71	Evolución de las reacciones en las tres líneas de apoyo.....	104
Figura 4.72	Evolución de la deformación de la fibra inferior en apoyo intermedio.	104
Figura 4.73	Evolución de la deformación en centro luz vano 1.....	104
Figura 4.74	Evolución de la deformación de la sección centro luz vano 2.....	105
Figura 4.75	Evolución de la deformación de la sección centro luz vano 1.....	105
Figura 4.76	Evolución de la deformación de la sección centro luz vano 2.....	105
Figura 4.77	Evolución de la deformación del T.F.C. en centro luz vano 1.....	105
Figura 4.78	Evolución de la deformación del T.F.C. en centro luz vano 2.....	106
Figura 4.79	Evolución de la flecha en centro luz vano 2.....	109
Figura 4.80	Evolución de las reacciones en las dos líneas de apoyo.....	109
Figura 4.81	Evolución de la deformación en centro luz vano 2.....	110
Figura 4.82	Evolución de la deformación en sección de centro luz.....	110
Figura 4.83	Evolución de la deformación del T.F.C. en la sección centro luz vano 2.....	110
Figura 4.84	Alzado de los pórticos de carga utilizados durante el ensayo.....	111
Figura 4.85	Alzado general del ensayo VHA_PE_a.....	114
Figura 4.86	Ubicación de los LVDT's de medición de deslizamientos entre cordones de pretensado y desviador.....	116
Figura 4.87	Ubicación de las galgas extensométricas en los cordones de pretensado.....	116
Figura 4.88	Ubicación de las galgas extensométricas y sensores de fibra óptica sobre el tejido de fibra de carbono (B, C, D, E) y sobre hormigón (A)	117
Figura 4.89	Evolución de la flecha en centro luz en vano 1 y 2.....	121
Figura 4.90	Evolución de las reacciones en las tres líneas de apoyo.....	121
Figura 4.91	Evolución de la deformación de la sección en apoyo intermedio.....	121
Figura 4.92	Evolución de la deformación en centro luz vano 1.....	121
Figura 4.93	Evolución de la deformación de la sección centro luz vano 2.....	122

Figura 4.94	Evolución de la deformación en el apoyo central.....	122
Figura 4.95	Evolución de la deformación de la sección centro luz vano 1.....	122
Figura 4.96	Evolución de la deformación en centro luz vano 2.....	122
Figura 4.97	Evolución de la deformación del T.F.C. en la línea 1 del apoyo central.	123
Figura 4.98	Evolución de la deformación del T.F.C. en la línea 1 del vano 1.....	123
Figura 4.99	Evolución de la deformación del T.F.C. en la línea 1 del vano 2.....	123
Figura 4.100	Evolución de la deformación del T.F.C. en la línea 2 vano 1.....	123
Figura 4.101	Evolución de la deformación del T.F.C. en la línea 2 del vano 2.....	124
Figura 4.102	Evolución de la deformación del T.F.C. en el apoyo intermedio.....	124
Figura 4.103	Evolución de la deformación del T.F.C. en centro luz vano 1.....	124
Figura 4.104	Evolución de la deformación del T.F.C. en centro luz vano 2.....	124
Figura 4.105	Evolución de la tensión en los diferentes tramos - tendón oculto-.....	125
Figura 4.106	Evolución de la tensión en los diferentes tramos - tendón visto-.....	125
Figura 4.107	Evolución del incremento de tensión los diferentes tramos - tendón oculto-.....	125
Figura 4.108	Incremento de tensión en los diferentes tramos - tendón visto-.....	125
Figura 4.109	Comparación valores experimentales fibra óptica y galgas en T.F.C.....	126
Figura 4.110	Comparación valores experimentales fibra óptica y galgas en T.F.C.....	126
Figura 4.111	Comparación valores experimentales fibra óptica y galgas en T.F.C.....	126
Figura 4.112	Evolución de las reacciones en las diferentes líneas de apoyo.....	129
Figura 4.113	Evolución de la deformación en centro luz vano 2.....	129
Figura 4.114	Evolución de la deformación en la sección centro luz vano 2.....	130
Figura 4.115	Evolución de la deformación en sección centro luz vano 2.....	130
Figura 4.116	Evolución de la tensión en los diferentes tramos –tendón oculto-.....	130
Figura 4.117	Evolución de la tensión en los diferentes tramos –tendón visto-.....	130
Figura 4.118	Incremento de la tensión en los diferentes tramos –tendón oculto-...	131
Figura 4.119	Incremento de la tensión en los diferentes tramos –tendón visto-.....	131

Capítulo 5 - ANÁLISIS DE RESULTADOS

Figura 5.1	Comparativa de la flecha en centro luz serie VPE 1 y 2. (Teóricos y Experimentales).....	138
Figura 5.2	Comparativa de la flecha en centro luz (vanos 1 y 2) serie VPE 3...	138
Figura 5.3	Evolución de la flecha en centro luz serie VHA datos ensayo.....	138
Figura 5.4	Evolución de la flecha en centro luz serie VHA Análisis numérico...	138
Figura 5.5	Evolución de la flecha en centro luz serie VHA + PE datos ensayo.....	139
Figura 5.6	Evolución de la flecha en centro luz serie VHA + PE Análisis numérico.....	139
Figura 5.7	Evolución de las reacciones en la serie VPE datos ensayo.....	140
Figura 5.8	Evolución de las reacciones en la serie VPE Análisis numérico.....	140
Figura 5.9	Evolución de las reacciones en la serie VHA datos ensayo.....	140
Figura 5.10	Evolución de las reacciones en la serie VHA Análisis numérico.....	140
Figura 5.11	Evolución de las reacciones en la serie VHA + PE	

	datos ensayo.....	141
Figura 5.12	Evolución de las reacciones en la serie VHA + PE Análisis numérico.....	141
Figura 5.13	Evolución de la deformación en la serie VPE datos ensayo.....	142
Figura 5.14	Evolución de la deformación en la serie VPE Análisis numérico.....	142
Figura 5.15	Evolución de la deformación en la serie VHA datos ensayo.....	142
Figura 5.16	Evolución de la deformación en la serie VHA Análisis numérico.....	142
Figura 5.17	Evolución de la deformación en la serie VHA + PE datos ensayo.....	143
Figura 5.18	Evolución de la deformación en la serie VHA + PE Análisis numérico.....	143
Figura 5.19	Evolución de la tensión en los ensayos serie VPE.....	143
Figura 5.20	Evolución de la tensión serie VPE Análisis numérico.....	143
Figura 5.21	Evolución de la tensión en los ensayos serie VHA + PE.....	144
Figura 5.22	Evolución de la tensión serie VHA + PE Análisis numérico.....	144

Capítulo 6 -CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

INDICE DE TABLAS

Capítulo 1 – INTRODUCCIÓN

Capítulo 2 - OBJETIVOS

Capítulo 3 - ESTADO DEL CONOCIMIENTO

Tabla 3.1	Efecto de las sustancias químicas en el hormigón. [ACI-201, 1988].....	17
Tabla 3.2	Acción del fuego sobre el hormigón. [Fernández, 1994].....	32
Tabla 3.3	Influencia de la temperatura en la coloración y resistencia del hormigón.....	33
Tabla 3.4	Diferencias entre evaluación y proyecto.....	36
Tabla 3.5	Algunas propiedades de las fibras de vidrio.....	39
Tabla 3.6	Algunas propiedades de las fibras de carbono.....	40
Tabla 3.7	Algunas propiedades de las fibras Aramidas.....	41

Capítulo 4 - ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL REFUERZO DE PUENTES

Tabla 4.1	Materiales utilizados en los ensayos de adherencia.....	53
Tabla 4.2	Ensayos de caracterización realizados.....	54
Tabla 4.3	Parámetros de control de los ensayos de caracterización.....	54
Tabla 4.4	Características de los transductores de desplazamiento utilizados.....	55
Tabla 4.5	Resumen de resultados experimentales.....	58
Tabla 4.6	Características de los materiales utilizados en el ensayo.....	59
Tabla 4.7	Características de los materiales empleados en el ensayo VPE_2.....	66
Tabla 4.8	Características de los materiales empleados.....	80
Tabla 4.9	Distribución de los canales para el ensayo y ficheros asignados en el ensayo de la viga VHA1_a.....	83
Tabla 4.10	Distribución de los canales de adquisición de datos, nombre de los ficheros asignados y posición en la viga ensayada VHA1_b.....	93
Tabla 4.11	Distribución de los canales de adquisición de datos, los canales asignados, los ficheros correspondientes y la situación dentro de la viga (ensayo VHA_PE_a)	118

Capítulo 5 - ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla 5.1	Comparación entre valores experimentales y teóricos.....	137
------------------	--	-----

Capítulo 6 -CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Capítulo 1 – INTRODUCCIÓN**Capítulo 2 - OBJETIVOS****Capítulo 3 - ESTADO DEL CONOCIMIENTO****Capítulo 4 - ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL REFUERZO DE PUENTES**

Fotografía 4.1	Vista general del montaje.....	55
Fotografía 4.2	Vista final del ensayo.....	55
Fotografía 4.3	Fisuración en sección centro-luz vano cargado.....	63
Fotografía 4.4	Fisuración en sección de apoyo intermedio.....	63
Fotografía 4.5	Aspecto de la fisuración en sección centro-luz vano cargado.....	63
Fotografía 4.6	Aspecto de la fisuración en sección de apoyo Intermedio.....	63
Fotografía 4.7	Deformada de la viga durante el ensayo VPE_1.....	64
Fotografía 4.8	Aspecto de la deformada en sección de centro luz.....	64
Fotografía 4.9	Fisuración en desviador 1 de la sección centro-luz vano cargado.....	69
Fotografía 4.10	Fisuración en desviador 2 de la sección centro-luz vano cargado.....	69
Fotografía 4.11	Aspecto de la fisuración en sección centro-luz vano cargado.....	69
Fotografía 4.12	Aspecto de la fisuración en sección de apoyo Intermedio.....	69
Fotografía 4.13	Aspecto de la sección de apoyo central.....	69
Fotografía 4.14	Aspecto de la deformada de la viga VPE_2.....	69
Fotografía 4.15	Vista inferior del vano cargado. La armadura longitudinal se ha cortado.....	72
Fotografía 4.16	Apoyo central. Se han retirado el hormigón dañado y acero pasivo.....	72
Fotografía 4.17	Vista de la red de inyectores previo a la inyección de las fisuras.....	73
Fotografía 4.18	Trabajos preliminares de apeo provisional.....	73
Fotografía 4.19	Vista de las zonas de hormigón reparadas y fisuras inyectadas.....	73
Fotografía 4.20	Zona de apoyo central reparada con microhormigón sin retracción...	73
Fotografía 4.21	Bandas de fibra aramida pegadas en apoyo central y vano cargado.....	74
Fotografía 4.22	Refuerzo a cortante en el alma de la sección.....	74
Fotografía 4.23	Vista del estado final de las fibras en apoyo central.....	76
Fotografía 4.24	Vista inferior del vano cargado.....	76
Fotografía 4.25	Vista del apoyo central, puede verse el control de las fisuras.....	76
Fotografía 4.26	Vista del cordón roto durante el ensayo.....	76
Fotografía 4.27	Vista del montaje de las dos semi-vigas y apoyos provisionales.....	81
Fotografía 4.28	Vista de la colocación de las galgas embebidas en apoyo.....	81
Fotografía 4.29	Deformada de la viga en un momento del ensayo VHA1_a.....	86
Fotografía 4.30	Fisuración de la viga en zona de máximo momento negativo.....	86
Fotografía 4.31	Fisuración de la viga en zona momentos positivos.....	86
Fotografía 4.32	Vista del apoyo central. Puede verse la fisuración existente.....	86
Fotografía 4.33	Preparación del hormigón y el acero pasivo en centro luz vano 1....	90
Fotografía 4.34	Preparación del hormigón y el acero en apoyo intermedio.....	90
Fotografía 4.35	Preparación y sellado de fisuras en sección de centro luz vano 1....	90
Fotografía 4.36	Vista inferior de los inyectores, fisuras selladas y rehornigonado....	90
Fotografía 4.37	Preparación superficial del hormigón.....	91
Fotografía 4.38	Vista de la colocación de la fibra de carbono en el apoyo intermedio.....	91
Fotografía 4.39	Aspecto general de la viga después del ensayo.....	95
Fotografía 4.40	Vista de la rotura de la fibra de carbono.....	95
Fotografía 4.41	Vista del apoyo central después del ensayo.....	95
Fotografía 4.42	Vista de la sección centro luz del vano 1 después del ensayo.....	102
Fotografía 4.43	Vista de la rotura de la fibra de carbono en vano 1.....	102

Fotografía 4.44	Vista de la sección de apoyo central después del ensayo.....	103
Fotografía 4.45	Vista general de la deformada de la viga después del ensayo.....	103
Fotografía 4.46	Vista de la sección de desviador después del ensayo.....	108
Fotografía 4.47	Vista general de la fibra en centro luz después del ensayo.....	108
Fotografía 4.48	Vista general después del ensayo.....	109
Fotografía 4.49	Vista de la sección de apoyo central después de quitar las fibras dañadas.....	112
Fotografía 4.50	Vista de zona de desviador a sanear. (vano 2).....	112
Fotografía 4.51	Vista de la sección de apoyo central.....	112
Fotografía 4.52	Vista de los trabajos cercanos al desviador nº 4.....	112
Fotografía 4.53	Encofrado y hormigonado de zonas dañadas.	113
Fotografía 4.54	Sellado e inyección de las fisuras.....	113
Fotografía 4.55	Encofrado y hormigonado de zonas dañadas	
Fotografía 4.55a	Vista general de la preparación del modelo. Puede verse el trazado del pretensaado exterior.....	113
Fotografía 4.56	Vista de la sección de apoyo central.....	114
Fotografía 4.57	Vista de los trabajos cercanos al desviador nº 4.....	114
Fotografía 4.58	Vista de la sección de apoyo central con la fibra óptica colocada (cables amarillos)	115
Fotografía 4.59	Sistema de adquisición del datos de las fibras ópticas.	115
Fotografía 4.60	Vista de la sección de apoyo central con la fibra óptica colocada...	119
Fotografía 4.61	Sistema de adquisición de datos de las fibras ópticas.....	119
Fotografía 4.62	Vista de la sección de apoyo central con la fibra óptica colocada...	120
Fotografía 4.63	Vista final del estado de las bandas de TFC en vano 1 tras el ensayo.....	120
Fotografía 4.64	Vista de la sección de centro luz con la fibra óptica colocada.....	120
Fotografía 4.65	Sistema de adquisición de datos en las fibras ópticas.....	120
Fotografía 4.66	Vista del desprendimiento del hormigón en desviador.....	129
Fotografía 4.67	Vista inferior de la sección después del ensayo.....	129

Capítulo 5 - ANÁLISIS DE RESULTADOS

Capítulo 6 -CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN