
INDICE

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.

1.1.	INTRODUCCIÓN.....	13
1.2.	PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN.....	14
	1.2.1.Barrera.	
1.3.	VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL PRETENSADO EXTERIOR.....	14
	1.3.1. Ventajas.....	14
	1.3.2. Inconvenientes.	15
1.4.	CLASIFICACIÓN DEL PRETENSADO EXTERIOR.....	16
	1.4.1. Por condiciones estructurales.	16
	1.4.1.1. Pretensado Exterior Adherente a la estructura.....	16
	1.4.1.2. Pretensado Exterior no Adherente.	16
	1.4.2. Por la facilidad de sustituir los cordones.	16
	1.4.2.1. Pretensado Exterior sustituible.	16
	1.4.2.2. Pretensado Exterior no sustituible.	16
	1.4.3. Por la posibilidad de variar la fuerza en los tendones	16
	1.4.3.1. Pretensado Exterior Retesable	16
	1.4.3.2. Pretensado Exterior no Retesable	17
	1.4.4. Por el tipo de protección contra la corrosión.	17
	1.4.4.1.Pretensado Exterior con vaina colectiva.....	17
	1.4.4.2.Pretensado Exterior sin vaina colectiva.	17
	1.4.4.3.Pretensado Exterior con cordones protegidos y vaina colectiva.	17

CAPITULO 2. RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO Y DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS.

2.1. DESVIADORES. TRAZADO DE LOS TENDONES.	19
2.1.1. Elementos estructurales de desvío.	20
2.1.1.1. Traviesas.....	20
2.1.1.2. Costillas.....	20
2.1.1.3. Diafragmas.	20
2.1.1.4. Bloques aislados.....	21
2.1.2. Elementos geométricos de desvío.	22
2.1.2.1. Sin ninguna vaina.....	22
2.1.2.2. De una sola vaina.	22
2.1.2.3. De doble vaina.	23
2.1.2.4. Radios mínimos de desvío.	24
2.2. VAINAS COLECTIVAS PARA TENDONES.	25
2.3. ZONAS DE ANCLAJES	26
2.3.1. Elementos estructurales de anclaje.....	26
2.3.2. Zonas de anclaje. Aspectos geométricos.....	27
2.3.2.1. Elementos geométricos de anclajes. Radios mínimos.	27
2.3.2.2. Otros condicionantes geométricos de las zonas de anclaje.	27

CAPITULO 3. SISTEMAS DE PRETENSADO EXTERIOR.

3.1. DEFINICIONES.	29
3.1.1. Sistema de Pretensado Exterior.	29
3.1.2. Acero de pretensar.	29
3.1.3. Vainas colectivas.	30
3.1.4. Materiales para inyección contra la corrosión.	30
3.1.5. Desviadores.	30
3.1.6. Anclajes.	30
3.1.6.1. Clasificación de los tipos de anclaje.....	31
3.2. SISTEMAS.	32
3.2.1. Pretensado Exterior Adherente.....	32
3.2.2. Pretensado Exterior no Adherente a la estructura.	33
3.2.2.1. Tendones sustituibles inyectados con lechada de cemento.....	33
3.2.2.2. Tendones sustituibles inyectados con un producto flexible.....	34
3.2.2.3. Tendones sustituibles con cordones protegidos.	37
3.2.2.3.1. Tendones de cordones protegidos sin vaina colectiva.	37
3.2.2.3.2. Tendones de cordones protegidos y con vaina colectiva adicional..	39
3.3. ESPECIFICACIONES DE MATERIALES.	40
3.3.1. Generalidades.	40
3.3.2. Acero de pretensado.	40
3.3.2.1. Especificaciones generales.....	40
3.3.2.2. Especificaciones particulares.	40
3.3.2.2.1. Galvanizado de alambres.	41
3.3.2.2.2. Imprimación con resinas epoxídicas.....	41
3.3.2.2.3. Vainas para cordones protegidos.....	41

3.3.2.2.4. Rellenos dentro de las vainas de cordones protegidos.	41
3.3.3. Vainas colectivas para un tendón de varios cordones.	41
3.3.3.1. Diámetros y espesores de las vainas colectivas.	41
3.3.3.2. Vainas colectivas de P.A.D.	41
3.3.3.3. Vainas colectivas de Acero.	42
3.3.4. Anclajes.	42
3.3.5. Elementos de conexión.	43
3.3.6. Materiales de inyección del tendón.	43
3.3.6.1. Lechada de cemento.	43
3.3.6.2. Grasas y ceras.	43
3.3.7. Tubos desviadores.	44
3.4. ENSAYOS.	44
3.4.1. Ensayos exigibles a un Sistema de Pretensado Exterior.	45
3.4.2. Ensayo del comportamiento del anclaje bajo carga sostenida.	45
3.4.2.1. Disposición del ensayo.	46
3.4.2.2. Mediciones.	46
3.4.2.3. Modo operativo.	46
3.4.2.4. Informe.	47
3.4.2.5. Análisis de los resultados.	47
3.4.3. Ensayo de montaje y desmontaje.	47
3.4.3.1. Disposición del ensayo.	48
3.4.3.2. Modo operativo.	48
3.4.3.3. Informe.	48
3.4.3.4. Análisis de los resultados.	49
3.4.4. Ensayo de tracción sobre cuñas inyectadas con lechada de cemento.	49
3.4.4.1. Disposición del ensayo.	49
3.4.4.2. Modo operativo.	50
3.4.4.3. Informe.	50
3.4.4.4. Análisis de los resultados.	50
 CAPITULO 4. MONTAJE.	
4.1. DESVIADORES.	53
4.1.1. Replanteo de los desviadores.	53
4.1.2. Tolerancias de montaje.	54
4.2. VAINAS COLECTIVAS.	55
4.3. ANCLAJES.	56
 CAPITULO 5. BASES DE CÁLCULO.	
5.1. MATERIALES, ACCIONES Y BASES DE CÁLCULO.	59
5.1.1. Características de los materiales.	59
5.1.2. Acciones.	59
5.1.3. Bases de Cálculo.	59
5.2. FUERZA DE PRETENSADO.	60
5.2.1. Ámbito de aplicación.	60
5.2.2. Fuerza máxima al tesar.	60

5.2.3. Pérdidas instantáneas de tensión.....	60
5.2.3.1. Pérdidas de tensión por rozamiento.....	60
5.2.3.2. Pérdidas por penetración de cuñas y deformación del anclaje.....	62
5.2.3.3. Pérdidas por acortamiento elástico.....	62
5.2.4. Pérdidas diferidas.....	62
5.2.4.1. Pérdidas de pretensado por fluencia del hormigón.....	62
5.2.4.2. Pérdidas de pretensado por retracción del hormigón y relajación del acero.....	62
5.2.4.3. Evolución en el tiempo de las pérdidas diferidas.....	62
5.2.5. Valores de proyecto.....	63
5.2.5.1. Valor medio de la fuerza de pretensado.....	63
5.2.5.2. Valores característicos de la fuerza de pretensado.....	63
5.2.5.3. Verificación de los estados límites.....	63
5.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	64
5.3.1. Métodos de Análisis.....	64
5.3.2. Análisis Estructural del Pretensado Exterior.....	64
5.4. VERIFICACIÓN DE LOS ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO.....	65
5.4.1. Limitación de Tensiones en Estado Límite de Servicio.....	65
5.4.1.1. Tensiones de compresión.....	65
5.4.1.2. Tensiones de tracción.....	65
5.4.2. Estado Límite de Fisuración.....	66
5.4.2.1. Fisuración por sollicitaciones normales.....	66
5.4.2.2. Fisuración por sollicitaciones tangentes.....	66
5.4.3. Estado Límite de deformación excesiva.....	66
5.4.4. Estado Límite de Vibración.....	66
5.5. VERIFICACIÓN DE LOS ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS.....	67
5.5.1. Obtención de las Sollicitaciones de Proyecto.....	67
5.5.2. Estado Límite Ultimo de resistencia frente a Sollicitaciones Normales	67
5.5.2.1. <i>Nivel I</i> (Método simplificado).....	67
5.5.2.1.1. Estructuras Monolíticas.....	67
5.5.2.1.2. Estructuras de dovelas con juntas encoladas.....	68
5.5.2.1.3. Estructuras de dovelas con juntas no encoladas.....	68
5.5.2.2. <i>Nivel II</i> (Cálculo Plástico).....	68
5.5.2.2.1. Estructuras Monolíticas.....	68
5.5.2.2.2. Estructuras de dovelas con juntas encoladas.....	69
5.5.2.2.3. Estructuras de dovelas con juntas no encoladas.....	70
5.5.2.3. <i>Nivel III</i> (Análisis no Lineal).....	70
5.5.2.4. Disposiciones relativas a las armaduras longitudinales.....	70
5.5.3. Estado Límite Último de agotamiento por Sollicitaciones Tangentes.....	70
5.5.3.1. Principios generales.....	70
5.5.3.2. Estructuras monolíticas.....	71
5.5.3.3. Estructuras de dovelas con Pretensado Mixto.....	71
5.5.3.4. Estructuras con juntas sin armadura y con Pretensado Exterior.....	72
5.5.3.5. Verificación frente a tensiones tangenciales debidas a cortante y torsión.....	74
5.5.4. Estado Límite Ultimo de Pandeo.....	74
5.5.5. Estado Límite Ultimo de Fatiga.....	74

5.6. VERIFICACIÓN DE ELEMENTOS DE ANCLAJE Y DESVÍO.....	74
5.6.1. Acciones en anclajes y desviadores. Coeficientes de seguridad.....	75
5.6.2. Elementos metálicos o mixtos.....	75
5.6.3. Elementos de hormigón.....	76
5.6.4. El método de Bielas y Tirantes	77
5.6.4.1 Definición del modelo.....	77
5.6.4.1.1. Descripción general.....	77
5.6.4.1.2. Definición de la geometría de los nudos y las bielas.....	77
5.6.4.1.3. La difusión primaria de las fuerzas en el propio elemento.....	78
5.6.4.1.4. Las tracciones ortogonales a los campos de compresión...	79
5.6.4.2 Dimensionamiento y Comprobaciones en E.L.U.	80
5.6.4.2.1. Tensión de compresión en las bielas.	80
5.6.4.2.2. Verificaciones en los Nudos	80
5.6.4.2.3. Tensión de tracción en los tirantes	81
5.6.4.3 Verificación de los E.L.S.	82
5.6.4.3.1. Definición del modelo.....	82
5.6.4.3.2. Control de fisuración. Área de los tirantes en tracción.....	82
5.6.4.3.3. Control de deformaciones. Área de las bielas de Compresión...	82
5.6.5. Aplicaciones del modelo de Bielas y Tirantes a Elementos estruc- turales de Anclaje y Desvío.	83
5.6.5.1. Principios Generales.	83
5.6.5.2. Desviadores.	83
5.6.5.2.1. Desviador tipo Traviesa.....	83
5.6.5.2.2. Desviador tipo Costilla.....	85
5.6.5.2.3. Desviador tipo Diafragma.....	86
5.6.5.2.4. Desviador tipo Bloque.....	87
5.6.5.3. Anclajes.....	89
5.6.5.3.1. Anclajes tipo Diafragma.....	89
5.6.5.3.2. Anclajes tipo Costilla.....	91
5.6.5.3.3. Anclajes tipo Traviesa.....	91
5.6.5.3.4. Anclajes tipo Bloque.....	91

CAPITULO 6. DURABILIDAD E INSPECCIÓN.

6.1. DURABILIDAD.....	93
6.2. CAUSAS DE DAÑOS EN TENDONES Y ANCLAJES.....	94
6.3. CONDICIONES A CUMPLIR POR LAS BARRERAS DE PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN.....	94
6.3.1. Utilización de cordones resistentes a la corrosión.....	94
6.3.2. Número de Barreras contra la Corrosión.	95
6.3.3. Ejecución de las barreras contra la corrosión.	95
6.3.3.1. Inyecciones con mortero de cemento	96
6.3.3.2. Inyecciones con productos flexibles.....	96
6.4. INSPECCIÓN.....	96
6.4.1. Detalles de proyecto que facilitan la inspección.....	97
6.4.2. Determinación de la tensión de un tendón. Ensayo de cuerda vibrante.	97

6.5. SUSTITUCIÓN DE TENDONES	99
6.5.1. Detalles de proyecto que facilitan la sustitución.	99
6.5.2. Sustitución de cordones y retesado.	100
6.5.2.1. Destesado de tendones con inyección no adherente.	100
6.5.2.1.1. Anclaje activo destesable	101
6.5.2.1.2. Anclaje cortado	101
6.5.2.2. Destesado de tendones con inyección adherente.	101
 ANEJO N°1: EJEMPLOS DE APLICACIÓN	103
A.0.1. Consideraciones generales.....	103
 EJEMPLO N° 1: Puente Isostático Monolítico. Sección en π	105
A.1.1. Geometría del ejemplo N°1.	105
A.1.2. Cálculo de esfuerzos.....	106
A.1.3. Dimensionamiento del pretensado en E.L.S.	106
A.1.4. Verificación de estados límites últimos.....	108
A.1.4.1. Nivel-I. E.L.U. Solicitaciones normales.....	108
A.1.4.2. Nivel-II. E.L.U. Solicitaciones normales	109
A.1.4.3. Dimensionamiento de la armadura pasiva.....	113
A.1.4.4. Nivel-III. E.L.U. Solicitaciones normales.....	114
 EJEMPLO N° 2: Puente Isostático Monolítico. Sección en cajón	117
A.2.1. Geometría del problema.	117
A.2.2. Cálculo de esfuerzos.....	118
A.2.3. Estado límite de servicio	118
A.2.4. Estado límite último.	119
A.2.4.1. Nivel-I. E.L.U. Solicitaciones normales.....	119
A.2.4.2. Nivel-II. E.L.U. Solicitaciones normales	120
A.2.4.3. Nivel-III. E.L.U. Solicitaciones normales.....	123
 EJEMPLO N° 3: Puente Hiperestático por Dovelas. Sección en cajón	127
A.3.1. Geometría del problema.	127
A.3.2. Esfuerzos	128
A.3.3. Estado límite de servicio	129
A.3.3.1. Sección centro del vano	129
A.3.3.2. Sección sobre pila	130
A.3.4. Estado límite último de agotamiento por solicitaciones normales.....	131
A.3.4.1. Nivel-I. E.L.U. Solicitaciones normales.....	131
A.3.4.1.1. Sección centro de vano	131
A.3.4.1.2. Sección por pila.	133
A.3.4.2. Nivel-II. E.L.U. solicitaciones normales.	134
A.3.4.3. Nivel-III. E.L.U. Solicitaciones normales.	140
A.3.5. E.L.U. Solicitaciones tangentes.....	142
A.3.5.1. Resistencia a cortante en junta entre dovelas sobre pila.....	142
A.3.5.2. Armadura de cuelgue.	144
 REFERENCIAS	147