

FORJADOS DE VIGUETAS PRETENSADAS
TIPO Z. 13 v.2-II Y TIPO T. 18 v.1-II
DE VIGUETAS NAVARRAS, S.L.

Altutxate, 21 – Polígono Industrial de Areta
31620 HUARTE-PAMPLONA (NAVARRA)

MEMORIA TÉCNICA

FERNANDO SARRÍA ESTRUCTURAS, S.L.
PLAZA MAYOR 19-21 BAJO · 31621 SARRIGUREN (NAVARRA)

TELÉFONO +34 948263435 · FAX +34 948165204 · E-MAIL INFO@FSESTRUCTURAS.COM

ÍNDICE

1.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	1
1.1	Sistema de forjado.	1
	Antecedentes.	1
	Diseño y cálculo.	1
	Durabilidad.	2
1.2	Prefabricación y control.	3
	Viguetas pretensadas.	3
	Piezas de entrevigado.	3
	Control de la prefabricación.	3
1.3	Ejecución y control de los forjados.	4
	Documentación previa.	4
	Ejecución.	5
	Control en obra.	6
2.	CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	7
2.1	Armadura activa.	7
2.2	Hormigón pretensado.	7
2.3	Armadura pasiva.	8
2.4	Hormigón armado.	9
2.5	Coefficientes de seguridad.	10
3.	GEOMETRÍA DE LAS VIGUETAS	11
3.1	Tipos y dimensiones.	11
	Viguetas T. 130 v.2	11
	Viguetas T. 180 v.1	12
3.2	Sección de la armadura activa.	12
3.3	Sección bruta.	13
3.4	Sección homogeneizada.	13
4.	GEOMETRÍA DE LOS FORJADOS	15
4.1	Tipos y dimensiones.	15
4.2	Sección del forjado sin la vigueta (sólo el hormigón armado).	15
4.3	Sección homogeneizada del forjado sin armadura pasiva.	15
4.4	Sección de la armadura pasiva.	16
4.5	Sección homogeneizada del forjado con armadura pasiva.	16
5.	CÁLCULO DE TESADO DE LAS VIGUETAS	17
5.1	Tensión y fuerza de tesado.	17
5.2	Pérdidas de tensión pretransferencia.	17
5.3	Tensiones iniciales en las viguetas.	18
5.4	Pérdidas de tensión postransferencia.	18
5.5	Tensiones finales en las viguetas.	19
5.6	Valores de cálculo de tesado.	20

6.	CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LAS VIGUETAS	21
6.1	Estados Límite Últimos.	21
	Momentos flectores últimos.	21
	Esfuerzo cortante último.	22
6.2	Estados Límite de Servicio.	22
6.3	Comprobaciones en ejecución.	22
	Carga de cálculo en ejecución.	23
	Apuntalado de ejecución en obra.	23
6.4	Valores de cálculo de las características estructurales.	24
7.	CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LOS FORJADOS	25
7.1	Estados Límite Últimos.	25
	Comprobaciones.	25
	Momento flector último positivo.	25
	Momento flector último negativo.	26
	Esfuerzo cortante último.	26
7.2	Estados Límite de Servicio.	27
	Comprobaciones.	27
	Momento de fisuración en flexión positiva.	27
	Momento de fisuración en flexión negativa.	28
	Rigideces en flexión positiva.	28
	Rigideces en flexión negativa.	28
8.	COMPROBACIONES DE PROYECTO	29
8.1	Condiciones de proyecto.	29
	Requisitos y exigencias.	29
	Seguridad.	29
	Habitabilidad.	30
	Criterios de diseño y comprobación.	30
8.2	Comprobaciones en los estados límite últimos.	30
8.3	Comprobaciones en los estados límite de deformación.	31
	Límites de flecha.	31
	Rigidez equivalente.	31
	Flecha instantánea.	32
	Factores de deformación.	32
	Flecha total y flecha activa.	32
8.4	Enlace del forjado en los apoyos.	33
Anexo. A.	DISPOSICIONES Y NORMAS	35
A.1	Disposiciones generales.	35
A.2	Normas complementarias.	36
Anexo. B.	NOTACIÓN	37
B.1	Notaciones y unidades.	37
B.2	Caracteres romanos.	37
B.3	Caracteres griegos.	43
Anexo. C.	PLANOS. SECCIONES DE VIGUETAS	47
C.1	Vigueta T. 130 v.2	47
C.2	Vigueta T. 180 v.1	48

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

1.1 Sistema de forjado.

Antecedentes.

Este documento se redacta por encargo de la empresa VIGUETAS NAVARRAS, S.L., con domicilio en Altxutxate, 21 – Polígono Industrial de Areta, 31620 Huarte-Pamplona (Navarra).

Con fecha 19 de noviembre de 2003, la citada empresa obtuvo autorización de uso adaptada al R.D. 642/2002, bajo n^{os} 6429 y 6430, para forjados de Viguetas Pretensadas Tipo Z. 13 v.2 y Tipo T. 18 v.1.

Para forjados de Vigueta Pretensada Tipo Z. 13 v.2, la serie de forjados autorizada comprende alturas de pieza de entrevigado de 120, 150, 200, 230, 250 300 y 350 mm con losa superior de hormigón de 50 mm, y altura de pieza de entrevigado de 260 mm con losa superior de hormigón de 40 mm.

Para forjados de Vigueta Pretensada Tipo T. 18 v.1, la serie de forjados autorizada comprende alturas de pieza de entrevigado de 170, 200, 230, 250 y 300 mm con losa superior de hormigón de 50 mm, y altura de pieza de entrevigado de 260 mm con losa superior de hormigón de 40 mm.

En ambos casos, la configuración puede ser de vigueta simple o doble, considerándose separación entre ejes de nervios de 630 o 740 mm respectivamente.

Es objeto de la presente memoria técnica la descripción y el cálculo de las configuraciones de forjado de viguetas de hormigón pretensado que empleando las mismas viguetas T. 130 v.2 y Tipo T. 180 v.1, complementan las series de cantos h y separaciones s entre ejes de nervios anteriormente citadas, y que seguidamente se detallan:

- Forjado de Vigueta Pretensada Tipo Z. 13 v.2-II, con altura b de pieza de entrevigado de 120, 150, 200, 230, 250, 270, 300 y 350 mm, y losa superior de hormigón a de 50 mm.
- Forjado de Vigueta Pretensada Tipo T. 18 v.1-II, con altura b de pieza de entrevigado de 170, 200, 230, 250, 270, y 300 mm, y losa superior de hormigón a de 50 mm.

En ambos casos, las configuraciones consideradas son de vigueta simple, y de vigueta doble, con separación s entre ejes de nervios de 700 mm, y de 810 mm, respectivamente.

Estas dos configuraciones de forjado son las que se describen en las hojas n^{os} 1 y 2 de sus correspondientes Fichas de Características Técnicas.

Diseño y cálculo.

Los forjados objeto de memoria no presentan variaciones de diseño, características de los materiales de los elementos que los componen, o forma de comportamiento mecánico, respecto a los de la citada serie. Su uso o finalidad constructiva tampoco es diferente a los autorizados bajo n^{os} 6429 y 6430.

Los elementos resistentes y constructivos, que componen el sistema de forjado son, las viguetas de hormigón pretensado, las piezas de entrevigado, las armaduras pasivas y el hormigón armado.

El diseño y cálculo de estos forjados se ha realizado siguiendo los preceptos de la Instrucción EHE, Hormigón estructural, y las directrices de la Instrucción EFHE, Proyecto y ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados, tal y como se prescribe en EHE, 53.

Además de lo indicado en las dos Instrucciones EHE y EFHE, la fabricación de las viguetas en taller, y su empleo en obra, se ajusta a lo que establece el Real Decreto 1630/1980, de 18 de julio, sobre fabricación y empleo de elementos resistentes para pisos y cubiertas.

Cada Ficha de Características Técnicas del forjado que se adjunta trata de reflejar las características técnicas y los cálculos efectuados según las disposiciones anteriores, adaptándose a los Modelos de fichas técnicas para la autorización de uso de elementos resistentes, cuyo contenido se actualizó mediante Resolución de 6 de noviembre de 2002.

El autor de cada proyecto de edificación que prescriba este sistema deberá determinar las acciones sobre los forjados con el Documento Básico-SE-AE, Acciones en la edificación del Código Técnico de la Edificación, y con la Norma de Construcción Sismorresistente NCSR-02, en zonas de riesgo sísmico.

En lo que se refiere al resto de aspectos técnicos y funcionales a considerar que afectan al sistema de forjado que se describe, para la redacción de esta memoria técnica se han considerado las Disposiciones generales de obligado cumplimiento y las Normas complementarias que figuran en el Anexo A. Disposiciones y Normas.

Durabilidad.

Las exigibles condiciones de durabilidad de los forjados se han establecido en aplicación de EHE, 8.2 y EHE, 95, en función de la clase de exposición del ambiente y del nivel de control de ejecución de la obra.

Los forjados definidos en esta Memoria Técnica y Fichas de Características Técnicas adjuntas se ajustan a las condiciones de durabilidad de los ambientes con clase general de exposición I, y control de ejecución a nivel intenso.

Las condiciones que se requieren para este ambiente y nivel de control en EHE, 37.2 son:

Clase de hormigón:.....	HA 25.....	HP 50
Recubrimiento de armaduras, c , mm:.....	≥ 25	≥ 15EHE, Tabla 37.2.4
Relación agua/cemento:.....	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$EHE, Tabla 37.3.2.a
Contenido de cemento, kg/m^3 :.....	≥ 250	≥ 275EHE, Tabla 37.3.2.a
Abertura característica de fisura, w_k , mm:....	0,4.....	0,2.....EHE, Tabla 49.2.4

Para otras clases de exposición, los espesores totales de recubrimientos exigidos en EHE, 37.2.4 deberán completarse con los revestimientos adecuados.

1.2 Prefabricación y control.

Viguetas pretensadas.

Las viguetas de hormigón pretensado T. 130 v.2 y T. 180 v.1, de Viguetas Navarras, S.L. forman parte del sistema de forjado que con fecha 19 de noviembre de 2003, obtuvo autorización de uso adaptada al R.D. 642/2002, bajo n^{os} 6429 y 6430.

Las viguetas pretensadas de este sistema de forjados son del tipo de anclaje por adherencia con destesado gradual de armaduras. Han sido diseñadas para su elaboración en bancos de tesado de 50 a 200 m de longitud útil, en naves o recintos cubiertos.

Los tendones de las viguetas están constituidos por alambres de acero Y 1860 C. Se pretesan contra los cabezales del banco y después se hormigonan en los correspondientes moldes mediante máquina continua que deposita y compacta por vibrado el hormigón.

El hormigón con el que se ejecutan las viguetas es HP-50/P/12/I. El curado del hormigón de las viguetas en el banco puede realizarse tanto en ambiente natural como caldeado con vapor de agua, según las conveniencias de fabricación.

El destesado de los alambres se produce cuando el hormigón ha alcanzado la resistencia de transferencia. Después las viguetas se cortan con disco a las longitudes de fabricación.

Las viguetas se fabrican en las instalaciones de la empresa bajo Sistema de Calidad propio. La maquinaria e instalaciones de este taller, y los sistemas de ejecución de las viguetas, se ajustan a las disposiciones oficiales citadas en el Anexo A. Disposiciones y Normas, de esta memoria.

Piezas de entrevigado.

Las piezas de entrevigado se fabrican en el mismo taller en condiciones materiales y de producción similares a las anteriores. En el supuesto de que fuese necesario fabricar alguna pieza en instalaciones externas o ajenas a la empresa, dicho proceso se llevaría a cabo bajo las especificaciones y la supervisión de Viguetas Navarras, S.L.

Las piezas de entrevigado que se emplean en este sistema de forjado se adaptan a las exigencias de EFHE, 11.1 y 11.2. Según las necesidades constructivas propias de cada proyecto, pueden ser de mortero ordinario o de mortero ligero. Se fabrican con las formas y las dimensiones que figuran en las Fichas de Características Técnicas.

La tolerancia dimensional admisible debida al proceso de fabricación puede conllevar variaciones en el peso de las piezas. Es admisible en tal caso una dispersión de $\pm 15\%$ respecto al peso de las piezas secas consignado en las fichas de características técnicas.

El control periódico de las características dimensionales y de la resistencia en vano de las piezas de entrevigado se realiza en el laboratorio del taller, o se encarga a un laboratorio acreditado. Sus resultados se consignan en el registro del laboratorio.

Control de la prefabricación.

Respecto al control de ejecución de los elementos prefabricados, y para nivel intenso (EHE, 95.2), las comprobaciones específicas de prefabricación que se llevan a cabo durante la ejecución son las contempladas en EHE, Tabla 95.1.b.

Las instalaciones para ensayos en las que se efectúa el preceptivo control interno del Sistema de Calidad, cumplen las condiciones que se exigen en el artículo 8 del R.D. 1630/1980, Fabricación y empleo de elementos resistentes para pisos y cubiertas.

Los ensayos de control interno sobre los materiales componentes (hormigón y acero de armaduras activas) y piezas acabadas (viguetas y piezas de entrevigado) son los establecidos en EFHE, 34. Otros ensayos especiales que fuesen necesarios en su caso, deberán llevarse a cabo en laboratorios acreditados.

En las citadas instalaciones para ensayos se registran y archivan los resultados del control interno que se lleva a cabo con la periodicidad establecida en el Sistema de Calidad. Se registran resultados tanto de los ensayos propios como de aquellos realizados por laboratorios acreditados.

Las operaciones de acopio, carga, transporte a obra y descarga, que afectan a los productos prefabricados acabados (EFHE, 24 y 25) se llevan a cabo con todas las precauciones necesarias para que no sufran desperfectos.

1.3 Ejecución y control de los forjados.

Documentación previa.

Como parte del proyecto de ejecución, los planos estructurales de los forjados contendrán aquella información que permita identificar de manera inequívoca la forma y disposición de todos los tramos o paños de forjado de la obra.

A su vez, dichos planos contendrán, junto a cuantos detalles de construcción de tipo general o particular sean necesarios para su correcta ejecución, información relativa a:

Viguetas y piezas de entrevigado.

Con indicación de cada tipo a emplear en cada tramo, en relación a su correspondiente Ficha de Características Técnicas, sus longitudes y las de los macizados extremos.

Armaduras pasivas.

Se indicará, tanto para armadura de momentos flectores negativos, como de enlace por solapo, o de reparto en losa superior, el tipo de acero, las formas, longitudes y diámetros, tanto de barras como de mallas electrosoldadas.

Hormigón.

Se indicarán en los planos, al menos las siguientes propiedades:

Resistencia característica de proyecto.	EHE, 39.1
Tipo de cemento.	RC, 03.3
Contenido máximo y mínimo de cemento.	EHE, 37.3.2
Máxima relación agua/cemento.	EHE, 37.3.2
Tamaño máximo del árido.	EHE, 28.2
Consistencias y tolerancias para ella.	EHE, 30.6

Los planos estructurales de los forjados señalarán también, los apuntalamientos y arriostramientos necesarios en cada caso, indicando a su vez el tipo de puntales a emplear, y las distancias entre ellos.

También se prescribirán los métodos de compactación y de curado que deben emplearse en obra, u otras precauciones especiales que deban adoptarse durante la fase de hormigonado.

Deberá disponerse en obra de copias de los planos estructurales conteniendo las indicaciones reseñadas, así como del Pliego de Prescripciones de Proyecto, y Fichas de Características Técnicas de los Forjados.

Ejecución.

Las fases sucesivas de ejecución en obra de los forjados compuestos con los elementos prefabricados que se describen en la presente memoria se llevarán a cabo según las condiciones establecidas en EFHE y EHE para cada una de ellas.

Se efectuará previamente, según EFHE, 34, el Control de Recepción en obra de viguetas y piezas de entrevigado, el cual comprende principalmente el control documental de lo suministrado a obra y el control de los recubrimientos de viguetas, según tipo de forjado, tamaño del lote y nivel de control.

Se consideran las siguientes fases de ejecución de forjados:

Montaje de viguetas. (EFHE, 26)

Se efectuará según información de planos de estructura y de detalles constructivos del proyecto de ejecución.

Colocación de piezas de entrevigado. (EFHE, 27)

Se contemplarán los correspondientes espacios a macizar y las necesarias obturaciones en piezas extremas.

Colocación de armaduras pasivas. (EFHE, 28)

Comprendiendo tanto armadura de negativos como de reparto, junto a las condiciones de colocación, deberán cuidarse especialmente las de recubrimiento y solapo.

Hormigonado. (EFHE, 29)

Se cuidará especialmente el proceso de rellenado y compactado simultáneo y en continuidad de nervios, losa superior de forjados y otros elementos estructurales tales como vigas o cadenas de atado.

Curado del hormigón. (EFHE, 30)

Debe llevarse a cabo de acuerdo con EHE, 74.

Desencofrado y desapuntalado..... (EFHE, 31)

Se cuidarán especialmente los plazos prescritos en EHE, 75, y el orden de retirada de puntales, evitando en todo caso operaciones bruscas, desapuntalados súbitos o impactos de puntales y sopandas sobre el forjado.

Control en obra.

El control de ejecución de la estructura del edificio en la que se incluyan los forjados descritos, definido en el pliego de prescripciones de su proyecto, comprenderá cuando menos:

Lotización.

El plan de control de ejecución contemplará los lotes de obra especificados en EHE, 88.4 y EHE, 95.1.

Control de los materiales.

El hormigón de obra requiere los controles de componentes, consistencia y resistencia contemplados en EHE, 81, EHE, 30.6 y EHE, 88.4, respectivamente.

Las armaduras pasivas se controlarán en cuanto a calidad del acero y elaboración de armaduras según EHE, 90.3 y EHE, 31.5, respectivamente.

Control de ejecución del forjado.

Para nivel intenso (EHE, 95.2), y de acuerdo con EFHE, 36, las comprobaciones específicas para forjados de edificación que deben efectuarse durante la ejecución son las contempladas en EHE, Tabla 95.1.b., junto a las comprobaciones generales para todo tipo de obras.

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

2.1 Armadura activa.

Cada partida de acero recibida en taller vendrá acompañada por el certificado del fabricante del alambre garantizando sus características, según EHE, 32.6.

La verificación y el control de las características geométricas y mecánicas del alambre se efectuará en el laboratorio del taller, o en su defecto en un laboratorio acreditado.

Habitualmente se denomina tendón al conjunto de alambres que constituyen la armadura activa de las viguetas. En este sistema de forjado, dichas armaduras tienen las siguientes características empleadas en los cálculos:

Designación del Acero:.....	Y 1860 C
Resistencia en rotura:.....	$f_{pr} = 1860 \text{ N/mm}^2$
Límite elástico:.....	$f_{py} = 1600 \text{ N/mm}^2$ (cumple $0,85 f_{pr} \leq f_{py} \leq 0,95 f_{pr}$)
Módulo de elasticidad:.....	$E_p = 200000 \text{ N/mm}^2$ con tolerancia $\pm 7\%$
Resistencia de cálculo:.....	$f_{pd} = f_{py} / \gamma_p = 1391 \text{ N/mm}^2$
Tensión de la armadura activa:	σ_p
Dilatación (deformación unitaria) de la armadura activa:	ε_p
Relación tensión-dilatación de cálculo de la armadura activa para las zonas:	
Elástica:	$\sigma_p \leq 0,7 f_{pd} ; \quad \varepsilon_p = \sigma_p / E_p$
Anelástica:	$\sigma_p > 0,7 f_{pd} ; \quad \varepsilon_p = \frac{\sigma_p}{E_p} + 0,823 \left(\frac{\sigma_p}{f_{pd}} - 0,7 \right)^5$
Relajación a 1000 horas:.....	$\bar{\rho} = 0,02$
Factor de relajación del acero:	$\psi(48 \text{ horas}) = 0,64$ y $\psi(10^6 \text{ horas}) = 2,65$
Peso específico:.....	$\mu_p = 78,5 \text{ kN/m}^3$

2.2 Hormigón pretensado.

De acuerdo con EHE,39.2, el hormigón con que se fabrican las viguetas pretensadas es del tipo HP-50/P/12/I (en lo sucesivo se designará como HP 50). Está compuesto con cemento de tipo CEM II, según la Instrucción para la recepción de cementos RC-03, (R.D. 1797/2003 de 26 de diciembre).

El hormigón de las viguetas se somete a control estadístico, en el laboratorio del taller (EHE, 88.4). Los resultados de los ensayos se recogen en el registro de este laboratorio.

Las características del hormigón pretensado HP 50 empleadas en esta memoria son:

Resistencia de proyecto, a 28 días:.....	$f_{bk} = 50 \text{ N/mm}^2$
Resistencia de transferencia:	$f_{b0} = 40 \text{ N/mm}^2$
Resistencia de cálculo a compresión:	$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_b = 33,3 \text{ N/mm}^2$
Resistencia característica a tracción:	$f_{bt,k} = 0,21 f_{bk}^{2/3} = 2,85 \text{ N/mm}^2$
Resistencia de cálculo a tracción:.....	$f_{bt,d} = f_{bt,k} / \gamma_b = 1,90 \text{ N/mm}^2$
Resistencia media a tracción:	$f_{bt,m} = 0,30 f_{bk}^{2/3} = 4,07 \text{ N/mm}^2$
Resistencia característica a flexotracción:.....	$f_{bf} = 0,37 f_{bk}^{2/3} = 5,02 \text{ N/mm}^2$
Módulo de elasticidad instantáneo:	$E_b = 8500(f_{bk} + 8)^{1/3} = 32902 \text{ N/mm}^2$
Resistencia de cálculo a compresión en el diagrama parábola rectángulo:.....	$f_{b\alpha} = 0,85 f_{bd} = 28,3 \text{ N/mm}^2$
Dilatación máxima a flexión en el diagrama parábola rectángulo:.....	$\epsilon_b = - 3 \text{ }^0/_{00}$
Retracción del hormigón a 10^6 horas:	$\epsilon_r = 0,00040$
Factor de la retracción del hormigón:.....	$\xi(48 \text{ horas}) = 0,23$
Coefficiente final de fluencia del hormigón:	$\phi_f = 2,4$
Peso específico:	$\mu_b = 24 \text{ kN/m}^3$

2.3 Armadura pasiva.

Las armadura de momentos flectores negativos y de enlace por solapo que se colocan en el forjado en los extremos de las viguetas, se confeccionan con barras corrugadas de acero B 500 S, según EHE, 31.2, con certificado de adherencia. Como armadura de reparto a disponer en la losa superior, según EFHE, 20, podrá emplearse malla electrosoldada de acero B 500 T, según EHE, 31.3.

El control en obra se realizará a nivel normal, según EHE, 90.3, encargado a un laboratorio acreditado. Los resultados de control se archivarán en el registro de la obra.

En los cálculos de la presente memoria se emplean las siguientes características de este material:

Designación del Acero:.....	B 500 S
Límite elástico:.....	$f_{sy} = 500 \text{ N/mm}^2$
Módulo de elasticidad:.....	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$
Resistencia de cálculo:.....	$f_{sd} = f_{sy} / \gamma_p = 435 \text{ N/mm}^2$
Dilatación máxima en tracción de la armadura pasiva:.....	
	$\varepsilon_s = 10 \text{ }^0/_{00}$
Peso específico:.....	$\mu_s = 78,5 \text{ kN/m}^3$

2.4 Hormigón armado.

El hormigón armado vertido en obra para completar nervios y losa superior de compresión de los forjados se prescribirá del tipo HA-25/P/12/I, según EHE 39.2, (en lo sucesivo se designará HA 25).

Este hormigón se someterá durante la ejecución de la obra a control estadístico (EHE, 88.4). Conviene que este control se encargue a un laboratorio con acreditación. Los resultados del control se archivarán en el registro de la obra.

Las características del hormigón de obra HA 25 empleadas en esta memoria son:

Resistencia de proyecto, a 28 días:	$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$
Resistencia de cálculo a compresión:.....	$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 16,7 \text{ N/mm}^2$
Resistencia característica a tracción:	$f_{ct,k} = 0,21 f_{ck}^{2/3} = 1,80 \text{ N/mm}^2$
Resistencia de cálculo a tracción:	$f_{ct,d} = f_{ct,k} / \gamma_c = 1,2 \text{ N/mm}^2$
Resistencia media a tracción:	$f_{ct,m} = 0,30 f_{ck}^{2/3} = 2,56 \text{ N/mm}^2$
Resistencia característica a flexotracción:	$f_{cf} = 0,37 f_{ck}^{2/3} = 3,16 \text{ N/mm}^2$
Módulo de elasticidad instantáneo:.....	$E_c = 8500(f_{ck} + 8)^{1/3} = 27300 \text{ N/mm}^2$
Resistencia de cálculo a compresión en el diagrama parábola rectángulo:	
	$f_{ca} = 0,85 f_{cd} = 14,2 \text{ N/mm}^2$
Dilatación máxima a flexión en el diagrama parábola rectángulo:	
	$\varepsilon_c = - 3,5 \text{ }^0/_{00}$
Peso específico:.....	$\mu_c = 24 \text{ kN/m}^3$

2.5 Coeficientes de seguridad.

Para los estados límite últimos los coeficientes parciales de seguridad de los diferentes materiales (EHE, 15.3) anteriormente presentados son:

Armadura activa: $\gamma_p = 1,15$

Hormigón pretensado: $\gamma_b = 1,5$

Armadura pasiva:..... $\gamma_s = 1,15$

Hormigón armado:..... $\gamma_c = 1,5$

Para los estados límite de servicio los coeficientes de seguridad empleados en los diferentes materiales (EHE, 15.3), anteriormente presentados son:

Armadura activa: $\gamma_p = 1$

Hormigón pretensado: $\gamma_b = 1$

Armadura pasiva:..... $\gamma_s = 1$

Hormigón armado:..... $\gamma_c = 1$

3. GEOMETRÍA DE LAS VIGUETAS

3.1 Tipos y dimensiones.

Las secciones de las viguetas pretensadas T. 130 v.2 y T. 180 v.1 tiene las formas y disposiciones de alambres que se describen en las hojas n° 3 de las Fichas de Características Técnicas del forjado correspondiente.

Viguetas T. 130 v.2

Las dimensiones generales de la sección de las viguetas T. 130 v.2 son:

Altura:	$h_v = 130\text{mm}$
Ancho de la fibra superior:.....	$b_v'' = 70\text{mm}$
Ancho de la fibra inferior:.....	$b_v' = 110\text{mm}$
Ancho mínimo:.....	$b_v = 58\text{mm}$
Factor por rugosidad:	$\beta = 0,4$

Las siete viguetas T. 130 v.2 que se fabrican se indican a continuación:

T-1	$2\text{Ø}4 (z'_{p1} = 20\text{mm})$ y $1\text{Ø}4 (z'_{p6} = 112\text{mm})$
T-2	$2\text{Ø}5 (z'_{p1} = 20\text{mm})$ y $1\text{Ø}5 (z'_{p6} = 112\text{mm})$
T-3	$2\text{Ø}5 (z'_{p1} = 20\text{mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p2} = 41\text{mm})$ y $1\text{Ø}5 (z'_{p6} = 112\text{mm})$
T-4	$3\text{Ø}5 (z'_{p1} = 20\text{mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p3} = 56\text{mm})$ y $1\text{Ø}5 (z'_{p6} = 112\text{mm})$
T-5	$3\text{Ø}5 (z'_{p1} = 20\text{mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p2} = 41\text{mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p3} = 56\text{mm})$ y $1\text{Ø}5 (z'_{p6} = 112\text{mm})$
T-6	$4\text{Ø}5 (z'_{p1} = 20\text{mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p2} = 41\text{mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p3} = 56\text{mm})$ y $1\text{Ø}5 (z'_{p6} = 112\text{mm})$
T-7	$4\text{Ø}5 (z'_{p1} = 20\text{mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p2} = 41\text{mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p3} = 56\text{mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p4} = 71\text{mm})$ y $1\text{Ø}5 (z'_{p5} = 86\text{mm})$

Viguetas T. 180 v.1

Las dimensiones generales de la sección de las viguetas T. 180 v.1 son:

Altura:.....	$h_v = 180 \text{ mm}$
Ancho de la fibra superior:.....	$b_v'' = 64 \text{ mm}$
Ancho de la fibra inferior:.....	$b_v' = 110 \text{ mm}$
Ancho mínimo:.....	$b_v = 40 \text{ mm}$
Factor por rugosidad:.....	$\beta = 0,4$

Las siete viguetas T. 180 v.1 que se fabrican se indican a continuación:

T-1	$2\text{Ø}4 (z'_{p1} = 20 \text{ mm})$ y $1\text{Ø}4 (z'_{p5} = 150 \text{ mm})$
T-2	$2\text{Ø}5 (z'_{p1} = 20 \text{ mm})$ y $1\text{Ø}5 (z'_{p5} = 150 \text{ mm})$
T-3	$2\text{Ø}5 (z'_{p1} = 20 \text{ mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p3} = 56 \text{ mm})$ y $1\text{Ø}5 (z'_{p5} = 150 \text{ mm})$
T-4	$3\text{Ø}5 (z'_{p1} = 20 \text{ mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p3} = 56 \text{ mm})$ y $1\text{Ø}5 (z'_{p5} = 150 \text{ mm})$
T-5	$3\text{Ø}5 (z'_{p1} = 20 \text{ mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p2} = 41 \text{ mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p3} = 56 \text{ mm})$ y $1\text{Ø}5 (z'_{p5} = 150 \text{ mm})$
T-6	$4\text{Ø}5 (z'_{p1} = 20 \text{ mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p2} = 41 \text{ mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p4} = 71 \text{ mm})$ y $1\text{Ø}5 (z'_{p5} = 150 \text{ mm})$
T-7	$4\text{Ø}5 (z'_{p1} = 20 \text{ mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p2} = 41 \text{ mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p3} = 56 \text{ mm})$, $1\text{Ø}5 (z'_{p4} = 71 \text{ mm})$ y $1\text{Ø}5 (z'_{p5} = 150 \text{ mm})$

3.2 Sección de la armadura activa.

Los términos de sección de la armadura activa (o tendón) empleados para calcular las viguetas pretensadas son:

Área de cada alambre del tendón:.....	A_{pi}
Área del tendón:.....	$A_p = \sum A_{pi}$
Distancia de cada alambre a la fibra inferior:.....	z'_{pi}
Momento estático respecto a la fibra inferior:.....	$S'_p = \sum A_{pi} z'_{pi}$
Distancia desde el baricentro a la fibra inferior:.....	$z'_p = S'_p / A_p$
Distancia desde el baricentro a la fibra superior:.....	$z''_p = z'_p - h_v$
Momento de inercia respecto al baricentro:.....	I_p

3.3 Sección bruta.

Los términos de sección de la sección bruta empleados para calcular las viguetas son:

$$\begin{aligned} \text{Área de la sección bruta:} & \dots\dots\dots A_b \\ \text{Momento estático respecto a la fibra inferior:} & \dots\dots\dots S'_b \\ \text{Distancia desde el baricentro a la fibra superior:} & \dots\dots\dots z'_b = S'_b/A_b \\ \text{Distancia desde el baricentro a la fibra superior:} & \dots\dots\dots z''_b = z'_b - h_v \\ \text{Momento de inercia respecto al baricentro:} & \dots\dots\dots I_b \end{aligned}$$

3.4 Sección homogeneizada.

La sección homogeneizada se compone de la sección bruta de la vigueta y de la sección de cada alambre del tendón. Para obtener sus términos de sección se emplea el coeficiente de equivalencia entre armadura activa y hormigón pretensado $n_p = E_p/E_b$.

Los términos de sección de la sección homogeneizada empleados para calcular las viguetas son:

$$\begin{aligned} \text{Cuantía geométrica:} & \dots\dots\dots \rho_v = A_p/A_b \\ \text{Área de la sección homogeneizada:} & \dots\dots\dots A_h = A_b + (n_p - 1)A_p \\ \text{Momento estático respecto a la fibra inferior:} & \dots\dots\dots S'_h = S'_b + (n_p - 1)S'_p \\ \text{Distancia desde el baricentro a la fibra inferior:} & \dots\dots\dots z'_h = S'_h/A_h \\ \text{Distancia desde el baricentro a la fibra superior:} & \dots\dots\dots z''_h = z'_h - h_v \\ \text{Excentricidad de tesado:} & \dots\dots\dots e_p = z'_h - z'_p \\ \text{Excentricidad entre sección homogeneizada} \\ \text{y sección bruta:} & \dots\dots\dots e_b = z'_h - z'_b \\ \text{Momento de inercia respecto al baricentro:} & \dots\dots\dots I_h = I_b + A_b e_b^2 + (n_p - 1)(I_p + A_p e_p^2) \\ \text{Radio de giro:} & \dots\dots\dots i_h = \sqrt{I_h/A_h} \\ \text{Módulo resistente inferior:} & \dots\dots\dots W'_h = I_h/z'_h \\ \text{Módulo resistente superior:} & \dots\dots\dots W''_h = I_h/z''_h \\ \text{Rigidez total:} & \dots\dots\dots K_v = E_b I_h \end{aligned}$$

4. GEOMETRÍA DE LOS FORJADOS

4.1 Tipos y dimensiones.

Las configuraciones de este sistema de forjado que son objeto de esta memoria técnica están reseñadas en 1.1. Las secciones de los forjados tienen las formas y dimensiones que se describen en las correspondientes hojas de las Fichas de Características Técnicas del forjado.

Las dimensiones generales de la sección de los forjados son:

Canto del forjado:.....	h
Separación entre nervios con vigueta simple:.....	$s = 700 \text{ mm}$
Separación entre nervios con vigueta doble:	$s = 810 \text{ mm}$
Perímetro de contacto entre el hormigón pretensado y el hormigón armado:	p

4.2 Sección del forjado sin la vigueta (sólo el hormigón armado).

Los términos de sección del forjado sin la vigueta empleados para calcular los forjados son:

Área de la sección de forjado sin la vigueta:	A_c
Momento estático respecto a la fibra inferior:	S'_c
Distancia desde el baricentro a la fibra inferior:	$z'_c = S'_c / A_c$
Distancia desde el baricentro a la fibra superior:	$z''_c = z'_c - h$
Momento de inercia respecto al baricentro:.....	I_c

4.3 Sección homogeneizada del forjado sin armadura pasiva.

Los términos de sección homogeneizada del forjado sin armadura pasiva empleados para calcular los forjados son:

Coeficiente de equivalencia entre hormigón pretensado y armado:.....	$n_b = E_b / E_c$
Área de la sección homogeneizada:	$A_f = A_c + n_b A_h$
Momento estático respecto a la fibra inferior:	$S'_f = S'_c + n_b S'_h$
Distancia desde el baricentro a la fibra inferior:	$z'_f = S'_f / A_f$
Distancia desde el baricentro a la fibra superior:	$z''_f = z'_f - h$
Excentricidad del hormigón armado:.....	$e_c = z'_f - z'_c$

Excentricidad entre la sección homogeneiza

del forjado y la vigueta pretensada: $e_h = z'_f - z'_h$

Momento de inercia respecto al baricentro: $I_f = I_c + A_c e_c^2 + n_b (I_h + A_h e_h^2)$

Módulo resistente inferior: $W'_f = I_f / z'_f$

Módulo resistente superior: $W''_f = I_f / z''_f$

4.4 Sección de la armadura pasiva.

Los términos de sección de la armadura pasiva empleados para calcular los forjados son:

Recubrimiento: c

Diámetro de la armadura pasiva: d_s

Área de la armadura pasiva: A_s

Momento estático respecto a la fibra inferior: S'_s

Distancia desde el baricentro a la fibra inferior: $z'_s = S'_s / A_s$

Distancia desde el baricentro a la fibra superior: $z''_s = z'_s - h$

Momento de inercia respecto al baricentro: I_s

4.5 Sección homogeneizada del forjado con armadura pasiva.

Los términos de sección homogeneizada del forjado con armadura pasiva empleados para calcular los forjados son:

Coefficiente de equivalencia

entre armadura pasiva y hormigón armado: $n_s = E_s / E_c$

Área de la sección homogeneizada: $A_{hf} = A_f + (n_s - 1) A_s$

Momento estático respecto a la fibra inferior: $S'_{hf} = S'_f + (n_s - 1) S'_s$

Distancia desde el baricentro a la fibra inferior: $z'_{hf} = S'_{hf} / A_{hf}$

Distancia desde el baricentro a la fibra superior: $z''_{hf} = z'_{hf} - h$

Excentricidad de la armadura pasiva: $e_s = z'_{hf} - z'_s$

Excentricidad entre las secciones homogeneizadas: .. $e_f = z'_{hf} - z'_f$

Momento de inercia respecto al baricentro: $I_{hf} = I_f + A_f e_f^2 + (n_s - 1) (I_s + A_s e_s^2)$

Radio de giro: $i_{hf} = \sqrt{I_{hf} / A_{hf}}$

Módulo resistente inferior: $W'_{hf} = I_{hf} / z'_{hf}$

Módulo resistente superior: $W''_{hf} = I_{hf} / z''_{hf}$

5. CÁLCULO DE TESADO DE LAS VIGUETAS

5.1 Tensión y fuerza de tesado.

Se desarrolla a continuación el proceso de análisis estructural del pretensado o aplicación controlada de una tensión al hormigón mediante el tesado de tendones de acero de las viguetas que se ha llevado a cabo de acuerdo con EHE, 20.

Las tensiones de tesado de la armadura en el banco para las viguetas T. 130 v.2 son:

Viguetas T-1, T-2, T-3, T-4 y T-5: $\sigma_{p0} = 1280 \text{ N/mm}^2$

Vigueta T-6: $\sigma_{p0} = 1200 \text{ N/mm}^2$

Vigueta T-7: $\sigma_{p0} = 1150 \text{ N/mm}^2$

Las tensiones de tesado de la armadura en el banco para las viguetas T. 180 v.1 son:

Viguetas T-1, T-2, T-3, T-4, T-5 y T-6: $\sigma_{p0} = 1280 \text{ N/mm}^2$

Vigueta T-7: $\sigma_{p0} = 1200 \text{ N/mm}^2$

Estas tensiones iniciales cumplen las condiciones de limitación de la fuerza de tesado que se exigen en EHE, 20.2.1, las cuales son:

$$\sigma_{p0} \leq 0,75 f_{pr} = 1390 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{p0} \leq 0,90 f_{py} = 1440 \text{ N/mm}^2$$

La fuerza de tesado de la armadura activa es: $P_0 = \sigma_{p0} A_p$

5.2 Pérdidas de tensión pretransferencia.

Los tipos de pérdidas de fuerza de tesado a considerar en el cálculo de piezas con armaduras pretesas, desde el momento de tesar hasta la transferencia de la fuerza de tesado al hormigón se relacionan en EHE, 20.2.3.

Pérdida por penetración de cuñas

en el anclaje (EHE, 20.2.2.1.2.): $\Delta\sigma_{p1} = \frac{a_L}{L} E_p$

Siendo: a_L Penetración de la cuña.

L Longitud total del tendón recto.

Pérdida por relajación del acero (EHE, 38.9) : $\Delta\sigma_{p2} = \bar{\rho}\psi (48 \text{ horas}) (\sigma_{p0} - \Delta\sigma_{p1})$

Pérdida por retracción del hormigón (EHE, 39.7) : ... $\Delta\sigma_{p3} = \varepsilon_r \xi (48 \text{ horas}) E_p$

Pérdidas de tensión pretransferencia: $\Delta\sigma_{p\alpha} = \Delta\sigma_{p1} + \Delta\sigma_{p2} + \Delta\sigma_{p3}$

Tensión en el acero antes de transferencia: $\sigma_{pa} = \sigma_{p0} - \Delta\sigma_{p\alpha}$

Pérdida por deformación elástica: $\Delta\sigma_{pe} = \sigma_{pa} n_p \rho_v \left(1 + e_p^2 / i_h^2\right) / \left(1 + n_p \rho_v \left(1 + e_p^2 / i_h^2\right)\right)$

5.3 Tensiones iniciales en las viguetas.

Los efectos iniciales producidos inmediatamente después de la transferencia tanto en el acero como en el hormigón que conforman las viguetas se han obtenido con las expresiones que seguidamente se adjuntan.

Tensiones iniciales en el acero:

Pérdidas de tensión inicial postransferencia: $\Delta\sigma_{pi} = \Delta\sigma_{p\alpha} + \Delta\sigma_{pe}$

Tensión en el acero inicial postransferencia $\sigma_{pi} = \sigma_{p0} - \Delta\sigma_{pi}$

La fuerza de tesado inicial postransferencia de la armadura activa es: $P_i = \sigma_{pi} A_p$

Tensiones iniciales en el hormigón:

Fibra inferior: $\sigma'_{bi} = -\frac{P_i}{A_h} - \frac{P_i e_p}{I_h} z'_h$

Baricentro del tendón: $\sigma_{bi} = -\frac{P_i}{A_h} - \frac{P_i e_p^2}{I_h}$

Fibra superior: $\sigma''_{bi} = -\frac{P_i}{A_h} - \frac{P_i e_p}{I_h} z''_h$

En evitación de aparición de fisuras por compresión, el valor absoluto de las tensiones de compresión de la fibra inferior σ'_{bi} , y de la superior σ''_{bi} , de las viguetas no debe rebasar el máximo prescrito en EHE, 49.2.1.

En este caso, dicha condición $|\sigma_{b\acute{m}ax}| \leq 0,60 f_{b0}$ se cumple. Además, no se producen tensiones de tracción en el hormigón de las viguetas.

5.4 Pérdidas de tensión postransferencia.

Las pérdidas diferidas posteriores a la transferencia se obtienen de igual forma que en armaduras postesas (EHE, 20.2.2.) utilizando los valores de retracción y relajación que se producen después de la transferencia.

Pérdidas de tensión parciales, desde la transferencia hasta 10^6 horas:

Por retracción: $\Delta\sigma_{p4} = (1 - \xi(48 \text{ horas})) \varepsilon_r E_p$

Por fluencia: $\Delta\sigma_{p5} = \phi_f \frac{|\sigma_{bi}|}{E_c} E_p = \phi_f |\sigma_{bi}| n_p$

Por relajación: $\Delta\sigma_{p6} = \bar{\rho}\psi(10^6 \text{ horas})(\sigma_{pi} - 2\Delta\sigma_{p4} - 2\Delta\sigma_{p5})$

Pérdidas de tensión totales, desde la transferencia hasta:

$$90 \text{ horas:} \dots \Delta\sigma_{ps} = \Delta\sigma_{pi} + 0,5(\Delta\sigma_{p4} + \Delta\sigma_{p5} + \Delta\sigma_{p6})$$

$$10^6 \text{ horas:} \dots \Delta\sigma_{pf} = \Delta\sigma_{pi} + \Delta\sigma_{p4} + \Delta\sigma_{p5} + \Delta\sigma_{p6}$$

5.5 Tensiones finales en las viguetas.

Los efectos remanentes producidos a 90 y 10^6 horas después de la transferencia tanto en el acero como en el hormigón que conforman las viguetas se han obtenido con las expresiones que seguidamente se adjuntan.

Tensiones y dilataciones finales en el acero:

$$\text{Tensión final en el acero:} \dots \sigma_{pf} = \sigma_{p0} - \Delta\sigma_{pf}$$

$$\text{Dilatación final en el acero:} \dots \varepsilon_{pf} = (\sigma_{p0} - (\Delta\sigma_{p2} + \Delta\sigma_{p4} + \Delta\sigma_{p5})) / E_p$$

Tensiones finales en el hormigón:

Factor de pérdidas de tensión

$$\text{desde la transferencia hasta } 10^6 \text{ horas:} \dots \delta = (\Delta\sigma_{p4} + \Delta\sigma_{p5} + \Delta\sigma_{p6}) / \sigma_{pi}$$

Efectos a 90 horas:

$$\text{Fibra inferior:} \dots \sigma'_{bs} = (1 - 0,5\delta) \sigma'_{bi}$$

$$\text{Fibra superior:} \dots \sigma''_{bs} = (1 - 0,5\delta) \sigma''_{bi}$$

Efectos a 10^6 horas:

$$\text{Fibra inferior:} \dots \sigma'_{bf} = (1 - \delta) \sigma'_{bi}$$

$$\text{Fibra superior:} \dots \sigma''_{bf} = (1 - \delta) \sigma''_{bi}$$

5.6 Valores de cálculo de tesado.

Las siguientes tablas sintetizan los valores esenciales para el cálculo de tesado, ya contemplados en las Fichas de Características Técnicas de los Forjados de Viguetas Pretensadas Tipo Z. 13 v.2 y Tipo T. 18 v.1.

Vigueta T. 130 v.2		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7
Pérdidas totales a plazo infinito (%)	Zona inferior	13,92	15,85	17,70	19,73	21,42	23,77	24,88
	Zona superior	12,45	13,59	13,98	13,96	14,36	16,15	18,42
	Baricentro	13,43	15,10	16,78	18,59	20,27	21,64	22,50
Módulo resistente (cm ³)	W'_h	281,07	288,07	290,20	295,44	297,47	304,59	299,06
	W''_h	221,07	225,75	225,55	227,12	226,93	228,29	222,99
P_{ie_p} (kN·mm)		-2,53	-3,89	-6,92	-10,96	-13,78	-19,01	-19,91
Tensión debida al pretensado (N/mm ²)	σ'_{bi}	5,72	8,85	12,52	16,64	20,15	23,74	25,46
	σ''_{bi}	3,07	4,75	5,19	4,95	5,37	3,29	3,96

Vigueta T. 180 v.1		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7
Pérdidas totales a plazo infinito (%)	Zona inferior	13,73	15,57	17,05	19,59	21,39	23,34	23,72
	Zona superior	11,95	12,82	13,34	12,43	12,37	12,07	11,73
	Baricentro	13,14	14,66	16,13	18,19	19,93	21,79	22,28
Módulo resistente (cm ³)	W'_h	499,47	510,67	513,65	526,43	532,61	542,90	545,56
	W''_h	372,79	379,29	378,92	381,32	381,54	384,00	383,65
P_{ie_p} (kN·mm)		-5,25	-8,07	-11,99	-22,53	-28,90	-36,19	-37,05
Tensión debida al pretensado (N/mm ²)	σ'_{bi}	5,35	8,28	11,31	15,98	19,56	23,33	24,49
	σ''_{bi}	2,20	3,41	4,02	2,26	1,90	1,15	1,65

6. CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LAS VIGUETAS

6.1 Estados Límite Últimos.

Momentos flectores últimos.

En el proceso de cálculo seguido para determinar según EHE, 42 los momentos flectores últimos propios de las viguetas en el Estado Límite de Agotamiento frente a solicitaciones normales, se han empleado las siguientes expresiones:

Flexión positiva.

Debe cumplirse la ecuación de equilibrio de fuerzas:

$$-A''_{bv}(x''_{bv})f_{bc} + A_p f_{pd} = 0$$

En dicha expresión, $A''_{bv}(x''_{bv})$ es el área comprimida de hormigón y $x''_{bv} \leq x''_{bvm}$ es la distancia de la línea neutra a la fibra superior en flexión positiva.

El momento flector último positivo es:

$$M'_{uv} = A_p f_{pd} (h_v - z'_p - 0,4x''_{bv}) \leq M'_{uvm}$$

En esta expresión, $M'_{uvm} = A_p f_{pd} (h_v - z'_p - 0,4x''_{bvm})$ es el momento flector máximo positivo y $x''_{bvm} = 0,6(h_v - z'_p)$ es la distancia máxima de la línea neutra a la fibra superior al agotarse el hormigón.

Flexión negativa.

Debe cumplirse la ecuación de equilibrio de fuerzas:

$$-A'_{bv}(x'_{bv})f_{bc} + A_p f_{pd} = 0$$

En dicha expresión, $A'_{bv}(x'_{bv})$ es el área comprimida de hormigón y $x'_{bv} \leq x'_{bvm}$ es la distancia de la línea neutra a la fibra inferior en flexión negativa.

El momento flector último negativo es:

$$M''_{uv} = A_p f_{pd} (h_v - z''_p - 0,4x'_{bv}) \leq M''_{uvm}$$

En esta expresión, $M''_{uvm} = A_p f_{pd} (h_v - z''_p - 0,4x'_{bvm})$ es el momento flector máximo negativo y $x'_{bvm} = 0,6(h_v - z''_p)$ es la distancia máxima de la línea neutra a la fibra inferior al agotarse el hormigón.

Esfuerzo cortante último.

En el proceso de cálculo seguido para determinar según EHE, 44 los esfuerzos cortantes últimos propios de las viguetas en el Estado Límite de Agotamiento frente a cortante, se han empleado las siguientes expresiones:

La expresión del esfuerzo cortante último es:

$$V_u = 0,12\zeta\sqrt[3]{(100\rho_V f_{bk})} b_v (h_v - z'_{p\text{inf}})$$

donde:

$$\zeta = 1 + \sqrt{\frac{200}{(h_v - z'_{p\text{inf}})}} ; \rho_V = \frac{A_{p\text{inf}}}{b_v (h_v - z'_{p\text{inf}})}$$

$A_{p\text{inf}}$ es el área de la parte inferior de la armadura activa.

$z'_{p\text{inf}}$ es la distancia de la parte inferior de la armadura activa a la fibra inferior de la viga.

6.2 Estados Límite de Servicio.

En el proceso de cálculo seguido para efectuar las comprobaciones relativas al Estado Límite de Fisuración de las viguetas pretensadas según EHE, 49, se han empleado las siguientes expresiones de momentos flectores límite de servicio:

Momentos de fisuración:

en flexión positiva:..... $M'_{fv} = (f_{bf} / \gamma_b + |\sigma'_{bs}|) W'_h \not\geq M'_{uv}$

en flexión negativa:..... $M''_{fv} = (f_{bf} / \gamma_b + |\sigma''_{bs}|) W''_h \not\geq M''_{uv}$

Momentos de descompresión:

en flexión positiva:..... $M'_{DESv} = |\sigma'_{bs}| W'_h$

en flexión negativa:..... $M''_{DESv} = |\sigma''_{bs}| W''_h$

Momentos de tracción límite:

en flexión positiva:..... $M'_{TLv} = (f_{bt,k} + |\sigma'_{bs}|) W'_h$

en flexión negativa:..... $M''_{TLv} = (f_{bt,k} + |\sigma''_{bs}|) W''_h$

Momentos de fisuración controlada:

en flexión positiva:..... $M'_{FCv} = (f_{bt,m} + |\sigma'_{bs}|) W'_h$

en flexión negativa:..... $M''_{FCv} = (f_{bt,m} + |\sigma''_{bs}|) W''_h$

6.3 Comprobaciones en ejecución.

Los valores anteriormente calculados se emplean para efectuar las comprobaciones previas al hormigonado del forjado que afectan a la viga según EFHE, 16, relativas a transporte, manejo y ejecución. Junto a los valores anteriores, es necesario conocer la carga de cálculo que debe resistir la viga, para poder determinar su longitud máxima entre sopandas.

Carga de cálculo en ejecución.

La carga de cálculo que debe resistir la vigueta en la ejecución es:

$$\gamma_e q_e$$

En dicha expresión se considera:

coeficiente de ponderación en ejecución de las viguetas.....	$\gamma_e = 1,25$
carga característica de ejecución.....	$q_e = g + q_0$
peso propio del forjado	g
sobrecarga de ejecución	$q_0 = 1\text{kN/m}^2$

Apuntalado de ejecución en obra.

La longitud máxima de la vigueta en fase de ejecución se ha calculado según las siguientes expresiones:

sin sopanda.....	$l_0 = \sqrt{8M'_{fv} / \gamma_e q_e s}$
con una sopanda en el centro	$l_1 = 2\sqrt{8(M'_{fv} + 0,3 M''_{fv}) / \gamma_e q_e s}$
con dos sopandas a los tercios.....	$l_2 = 3\sqrt{8(M''_{fv} + 0,3 M''_{fv}) / \gamma_e q_e s}$

6.4 Valores de cálculo de las características estructurales.

Las siguientes tablas, ya contempladas en las Fichas de Características Técnicas de los Forjados de Viguetas Pretensadas Tipo Z. 13 v.2 y Tipo T. 18 v.1., son una síntesis de las características mecánicas de la vigueta aislada. Los valores numéricos se han obtenido mediante el cálculo, aplicando las expresiones precedentes.

Vigueta T. 130 v.2		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7
Momentos últimos (mkN)	M'_{uv} Positivo	3,70	5,08	6,09	6,89	7,23	8,04	8,07
	M''_{uv} Negativo	2,26	3,34	3,60	3,67	3,83	3,14	3,40
Rigidez total K_v (MN.m ²)		1,09	1,11	1,11	1,13	1,13	1,14	1,12
Cortante (kN)	V_u	11,04	12,51	13,04	13,92	14,73	16,08	16,78
Momentos de servicio positivos (mkN)	M'_{DESv}	1,46	2,30	3,26	4,38	5,30	6,38	6,72
	M'_{TLv}	2,26	3,12	4,09	5,21	6,14	7,24	7,57
	M'_{FCv}	2,67	3,54	4,51	5,64	6,57	7,68	8,00

Vigueta T. 180 v.1		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7
Momentos últimos (mkN)	M'_{uv} Positivo	5,70	8,14	9,75	11,79	12,77	13,51	13,48
	M''_{uv} Negativo	2,93	4,49	4,94	4,87	5,00	5,06	5,25
Rigidez total K_v (MN.m ²)		2,59	2,64	2,65	2,69	2,70	2,73	2,74
Cortante (kN)	V_u	12,09	13,65	14,07	15,34	16,26	17,26	17,47
Momentos de servicio positivos (mkN)	M'_{DESv}	2,44	3,83	5,23	7,51	9,22	11,11	11,76
	M'_{TLv}	3,85	5,28	6,69	9,00	10,73	12,65	13,30
	M'_{FCv}	4,57	6,02	7,43	9,76	11,50	13,43	14,09

7. CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LOS FORJADOS

7.1 Estados Límite Últimos.

Comprobaciones.

Para la comprobación de los forjados en el Estado Límite de Agotamiento frente a solicitaciones normales (en este caso sólo momentos flectores), se ha aplicado lo establecido en EHE, 42.

En el Estado Límite de Agotamiento frente a cortante se ha procedido según EFHE, 14.2, aplicando a su vez las consideraciones de EHE, 44.2.

Momento flector último positivo.

El momento flector último positivo del forjado se ha calculado considerando la sección mixta constituida por las viguetas y el hormigón armado.

Debe cumplirse la ecuación de equilibrio de fuerzas:

$$-f_{ca}A_c'' + \sigma_p A_p = 0$$

En dicha expresión, A_c'' es el área comprimida de hormigón armado a una distancia de la línea neutra a la fibra superior x_c'' .

La determinación de x_c'' depende del dominio de agotamiento de la sección del forjado.

Dominio 2: Línea neutra $x_c'' \leq 0,259(h - z_p')$. Agotamiento de la armadura activa.

Fibra superior del hormigón armado $\varepsilon_c \leq 3,5\text{‰}$

Pretensado de la viga $\varepsilon_p = 10\text{‰}$

La tensión σ_p del tendón al alcanzarse el momento flector positivo se calcula con la dilatación: $\varepsilon_{pv} = 10\text{‰} + \varepsilon_{pf}$

Dominio 3: Línea neutra $x_c'' \geq 0,259(h - z_p')$. Agotamiento del hormigón.

Fibra superior del hormigón armado $\varepsilon_c = 3,5\text{‰}$

Pretensado de la viga $\varepsilon_p \leq 10\text{‰}$

La tensión σ_p del tendón al alcanzarse el momento flector positivo se calcula con la dilatación: $\varepsilon_{pv} = 3,5\text{‰} \frac{h - z_p' - x_c''}{x_c''} + \varepsilon_{pf}$

El momento flector último positivo, por metro de anchura de forjado, es:

$$m'_u = \sigma_p A_p (h - z_p' - \lambda x_c'') / s$$

En dicha expresión, $\lambda x_c''$ es la distancia del centro de gravedad del área comprimida de hormigón armado a la fibra más comprimida.

Los valores de m_u' así obtenidos se tabulan en las correspondientes hojas de las Fichas de Características Técnicas de cada tipo de forjado según clase de vigueta, para cada canto.

Momento flector último negativo.

Para determinar el momento flector último negativo del forjado se ha considerado la sección mixta constituida por las viguetas, el hormigón armado y las armaduras pasivas superiores.

Se tiene que cumplir la ecuación de equilibrio de fuerzas:

$$-f_{b\alpha}A_b' + f_{sd}A_s = 0$$

En la expresión anterior, $A_b' \leq A_h$ es el área comprimida de hormigón pretensado.

Si $A_h < f_{sd}A_s / f_{b\alpha}$ se requiere hormigonar el entrevigado.

El momento flector último negativo, por metro de anchura de forjado, es:

$$m_u'' = f_{sd}A_s (h - z_s'' - 0,4x_b')/s$$

En dicha expresión, x_b' es la distancia de la línea neutra a la fibra inferior.

Los valores de m_u'' así obtenidos se tabulan en las correspondientes hojas de las Fichas de Características Técnicas de cada tipo de forjado según clase de vigueta, para cada canto.

Esfuerzo cortante último.

El esfuerzo cortante último, por metro de forjado, v_u , sin armaduras transversales debe cumplir las siguientes condiciones:

$$v_u \leq v_{u1} = 0,3 f_{bd} b_v (h - z_s'')/s$$

Siendo v_{u1} el esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua del hormigón del nervio.

$$v_u \leq v_{u2} = 0,16\sqrt{f_{bd}} b_v (h - z_s'')/s; v_{u2} = 0,32\sqrt{f_{bd}} b_v (h - z_s'')/s$$

Siendo v_{u2} el esfuerzo cortante de agotamiento por tracción oblicua del hormigón del nervio.

$$v_u \leq v_{u3} = \beta f_{ct,d} p (h - z_s'')/s$$

Siendo v_{u3} el esfuerzo cortante de agotamiento por adherencia entre el hormigón pretensado y armado (esfuerzo rasante).

Los valores de esfuerzo cortante último así obtenidos se tabulan en las correspondientes hojas de las Fichas de Características Técnicas de cada tipo de forjado según clase de vigueta, para cada canto.

7.2 Estados Límite de Servicio.

Comprobaciones.

Para poder efectuar las comprobaciones necesarias en el Estado Límite de Fisuración según EHE, 49, se ha procedido a obtener los momentos de fisuración del forjado, tanto bajo momentos flectores positivos como negativos.

También se han calculado los valores de rigidez necesarios para efectuar según EFHE, 15.2 las comprobaciones necesarias establecidas por EHE, 50 en el Estado Límite de Deformación.

Momento de fisuración en flexión positiva.

Para determinar el momento de fisuración bajo flexión positiva es necesario obtener los términos de la sección homogeneizada del forjado intrafisurado (sin armadura pasiva).

Dichos términos son:

Distancia de la línea intrafisurada a la fibra superior

$$\text{(considerando la tracción del hormigón) } \dots\dots\dots x_{cf} = \left[1 + \frac{0,001 f_{ct,d}}{\varepsilon_c f_{ca}} \right] x_c''$$

Área de la sección de hormigón armado no fisurado: A_{cf}

Área de la sección homogeneizada $A_{fi} = A_{cf} + n_b A_h$

Momento estático respecto a la fibra inferior $S'_{fi} = A_{cf} (h - x_{cf}/2) + n_b S'_h$

Distancia desde el baricentro a la fibra inferior $z'_{fi} = S'_{fi} / A_{fi}$

Excentricidad respecto al baricentro de la vigueta $e_{fih} = z'_{fi} - z'_h$

Excentricidad respecto al baricentro de la sección de hormigón armado no fisurado $e_{fic} = z'_{fi} - (h - x_{cf}/2)$

Momento de inercia de la sección de hormigón armado no fisurado respecto a su baricentro:..... I_{cf}

Momento de inercia respecto al baricentro $I_{fi} = I_{cf} + A_{cf} e_{fic}^2 + n_b (I_h + A_h e_{fih}^2)$

Módulo resistente inferior $W'_{fi} = I_{fi} / z'_{fi}$

Sabiendo que $|\sigma'_{bf}| + f_{bf} = \frac{M'_f}{W'_{fi}} n_b = \frac{m'_f s}{W'_{fi}} n_b$, el momento de fisuración por metro de anchura de forjado con momentos flectores positivos es:

$$m'_f = \left(|\sigma'_{bf}| + f_{bf} \right) W'_{fi} / n_b s \neq m'_u$$

Los valores de m'_f así obtenidos se tabulan en las correspondientes hojas de las Fichas de Características Técnicas del forjado, según tipo de vigueta y canto.

Momento de fisuración en flexión negativa.

Sabiendo que $f_{cf} = \frac{M_f''}{|W_{hf}''|} = \frac{m_f'' s}{|W_{hf}''|}$, el momento de fisuración por metro de anchura de forjado con momentos flectores negativos es:

$$m_f'' = f_{cf} |W_{hf}''| / s \not\geq m_u''$$

Los valores de m_f'' así obtenidos se tabulan en las correspondientes hojas de las Fichas de Características Técnicas del forjado, según tipo de vigueta y canto.

Rigideces en flexión positiva.

Rigidez total.

Para $m'_{ku} < m'_f$ (momento flector positivo característico $m'_{ku} = m'_u / \gamma_f$ y coeficiente parcial de seguridad de las acciones $\gamma_f = 1,5$), la rigidez total en flexión positiva, por metro de anchura de forjado, es:

$$K_I' = E_c I_{fi} / s$$

Rigidez fisurada.

Para $m'_{ku} > m'_f$ la rigidez fisurada, por metro de anchura de forjado, es:

$$K_{II}' = E_p A_p (h - z'_{pi} - \lambda x_c'') (h - z'_{pi} - x_c'') / s$$

Para determinar el brazo de palanca y la profundidad de la línea neutra, se ha elegido la distancia x_c'' correspondiente al cálculo del momento último positivo.

Rigideces en flexión negativa.

Rigidez total.

Para $m''_{ku} < m''_f$ (momento flector negativo característico $m''_{ku} = m''_u / \gamma_f$) la rigidez total, por metro de anchura de forjado, es:

$$K_I'' = E_c I_{hf} / s$$

Rigidez fisurada.

Para $m''_{ku} > m''_f$ rigidez fisurada, por metro de anchura de forjado, es:

$$K_{II}'' = E_s A_s (h - z_s'' - 0,4 x_b') (h - z_s'' - x_b') / s$$

Para determinar la profundidad de la línea neutra, se ha elegido la distancia x_b' correspondiente al cálculo del momento último negativo.

8. COMPROBACIONES DE PROYECTO

8.1 Condiciones de proyecto.

Requisitos y exigencias.

El técnico competente que prescriba en el proyecto de un edificio el sistema de forjado que se describe en esta memoria deberá hacerlo dentro del marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad (CTE, Parte I, cap. 3) que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones, para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad de los mismos (Ley de Ordenación de la Edificación, 38/1999 de 5 de noviembre, art. 3, pto. 2).

Estas exigencias básicas que debe cumplir el sistema de forjado, aparte de ser consideradas en proyecto, deben ser tenidas en cuenta también por el fabricante.

Aunque el forjado unidireccional de vigueta pretensada es un sistema constructivo estructural de hormigón armado y pretensado, cuyo diseño, cálculo y comprobación se rige fundamentalmente por las Instrucciones EHE, y EFHE, está afectado a su vez por otras comprobaciones de proyecto.

Otros requisitos básicos relativos a la funcionalidad, no estrictamente de seguridad o habitabilidad, cuyo cumplimiento sea preciso en su caso, se registrarán por su normativa específica.

Seguridad.

Para satisfacer los requisitos básicos de la edificación relativos a seguridad, el sistema de forjado que se describe deberá atenerse a las exigencias básicas de seguridad estructural (SE), y de seguridad en caso de incendio (SI), (CTE, Parte I, cap. 3, art. 10 y 11):

Exigencia básica SE-1: Resistencia y estabilidad.

Exigencia básica SE-2: Aptitud para el servicio.

Exigencia básica SI-6: Resistencia estructural al incendio.

El cumplimiento de estas exigencias conlleva en este caso que los forjados se proyectarán, fabricarán, construirán y mantendrán de acuerdo con los apartados que les sean de incumbencia de los Documentos Básicos (CTE, Parte II):

Documento Básico DB-SE. Seguridad estructural.

Documento Básico DB-SE-AE. Acciones en la edificación.

Documento Básico DB-SI-6. Resistencia al fuego de la estructura.

En lo referente a acciones, el redactor del proyecto deberá determinar las acciones sobre los forjados con el citado Documento Básico-SE-AE, Acciones en la edificación, del Código Técnico de la Edificación, y con la Norma de Construcción Sismorresistente NCSR-02, en zonas de riesgo sísmico.

Habitabilidad.

Para satisfacer los requisitos básicos de la edificación relativos a habitabilidad, el sistema de forjado deberá atenerse a las exigencias básicas de protección frente al ruido (HR) y ahorro de energía (HE), (CTE, Parte I, cap. 3, art. 14 y 15):

Exigencias básicas HR:	Protección frente al ruido.
Exigencia básica HE-1:	Limitación de demanda energética (aislamiento térmico).

El cumplimiento de estas exigencias conlleva en este caso que los forjados se proyectarán, fabricarán, construirán y mantendrán de acuerdo con los apartados que les sean de aplicación (CTE, Parte II), de:

Norma Básica de la Edificación-CA-88.	Condiciones acústicas en los edificios.
Documento Básico DB-HE-1.	Limitación de la demanda energética.

Criterios de diseño y comprobación.

En las comprobaciones en los estados límites últimos se aplicarán los criterios de cálculo contenidos en EHE, 42 y 44 (agotamiento de secciones frente a solicitaciones normales y frente a esfuerzo cortante), pudiendo emplearse la redistribución de la ley de momentos flectores que permite EFHE, 7, y considerando solamente tres tipos de tramo de forjado: aislado, externo, e interno, además de los voladizos.

En función de la deformabilidad de los elementos sustentantes, la sustentación extrema de un tramo aislado o externo del forjado puede considerarse en el caso general como apoyo, o como semiempotramiento si se considera la solicitación inducida sobre dicho elemento sustentante por el propio forjado.

En las comprobaciones en los estados límites de servicio se aplicarán los criterios de cálculo contenidos en EHE, 49 y 50 (estados límite de fisuración y de deformación), con las condiciones de EFHE, 15.2.

Al comienzo del proyecto se elegirán el tipo y componentes del forjado a emplear, y se predimensionará el canto de la sección de cada tramo, de forma que todas las solicitaciones de cálculo cumplan las condiciones de resistencia y estabilidad mecánica. Deberá verificarse también el cumplimiento de las exigencias establecidas de comportamiento frente al fuego, protección frente al ruido y ahorro de energía.

Después, se comprobará que las flechas resultantes del cálculo no sobrepasen las admisibles, de forma que se cumplan las condiciones establecidas de aptitud para el servicio.

En caso de no satisfacerse todas las exigencias, deberá rediseñarse el forjado o tramo del mismo, hasta que cumpla con dichas exigencias.

8.2 Comprobaciones en los estados límite últimos.

La condición de resistencia de un tramo de forjado de longitud l , con valores de cálculo $q_d = q_k \gamma_f$, siendo q_k la carga característica y γ_f el coeficiente parcial de seguridad de la acción, implica que deben cumplirse las siguientes condiciones.

Para el estado límite de agotamiento frente a sollicitaciones normales.

$$\text{Momento flector positivo en el vano:} \dots\dots\dots m'_d(q_d, l) = m'_k(q_k, l) \gamma_f \leq m'_u$$

$$\text{Momento flector negativo en el extremo inicial I: } m''_{dI}(q_d, l) = m''_{kI}(q_k, l) \gamma_f \leq m''_u$$

$$\text{Momento flector negativo en el extremo final II:} \dots m''_{dII}(q_d, l) = m''_{kII}(q_k, l) \gamma_f \leq m''_u$$

Para el estado límite de agotamiento frente a cortante.

$$\text{Esfuerzo cortante en el extremo inicial I:} \dots\dots\dots v_{dI}(q_d, l) = v_{kI}(q_k, l) \gamma_f \leq v_u$$

$$\text{Esfuerzo cortante en el extremo final II:} \dots\dots\dots v_{dII}(q_d, l) = v_{kII}(q_k, l) \gamma_f \leq v_u$$

8.3 Comprobaciones en los estados límite de deformación.

Límites de flecha.

En todo tramo de forjado, las flechas calculadas como posteriormente se describe deben cumplir las siguientes limitaciones (EFHE, 15.2.1):

$$\text{Flecha total:} \dots\dots\dots w_t \leq l/250 > l/500 + 10\text{mm}$$

$$\text{Flecha activa con elementos afectables:} \dots\dots\dots w_a \leq l/500 > l/1000 + 5\text{mm}$$

En las condiciones de flecha total y de flecha activa, l es la luz del correspondiente tramo. Cuando se trate de un voladizo, l se tomará 1,6 veces el vuelo.

Para realizar estas comprobaciones, es necesario obtener algunos valores de rigidez, para determinar posteriormente la flecha total y la flecha activa.

Rigidez equivalente.

La rigidez equivalente de la sección de un tramo de forjado es:

$$\text{En el vano:} \dots\dots\dots K'_s = \left(m'_f/m'_k\right)^3 K'_I + \left[1 - \left(m'_f/m'_k\right)^3\right] K'_{II}$$

$$\text{En el apoyo inicial I:} \dots\dots\dots K''_{sI} = \left(m''_f/m''_{kI}\right)^3 K''_I + \left[1 - \left(m''_f/m''_{kI}\right)^3\right] K''_{II}$$

$$\text{En el apoyo final II:} \dots\dots\dots K''_{sII} = \left(m''_f/m''_{kII}\right)^3 K''_I + \left[1 - \left(m''_f/m''_{kII}\right)^3\right] K''_{II}$$

La rigidez equivalente de un forjado, según el tipo de tramo, es (EFHE, 15.2.3.2):

$$\text{Tramo aislado:} \dots\dots\dots K_e = K'_s$$

$$\text{Tramo en voladizo:} \dots\dots\dots K_e = K''_{sI} \ ; \ K_e = K''_{sII}$$

$$\text{Tramo externo inicial:} \dots\dots\dots K_e = 0,75K'_s + 0,25K''_{sI}$$

$$\text{Tramo externo final:} \dots\dots\dots K_e = 0,75K'_s + 0,25K''_{sII}$$

$$\text{Tramo interno:} \dots\dots\dots K_e = 0,50K'_s + 0,25(K''_{sI} + K''_{sII})$$

Flecha instantánea.

La flecha instantánea w de un tramo de forjado de luz l , con carga característica q_k es:

$$w = \beta \frac{q_k l^4}{K_e}$$

En dicha expresión, β es un factor de flecha, dependiente de la carga característica q_k y del tipo de tramo. Por ejemplo, para un tramo aislado de forjado con carga constante el factor de flecha en la sección central es $\beta = 5/384$

Factores de deformación.

El aumento de deformación que produce una única carga que se aplica transcurrido un tiempo t_i (en meses) después del hormigonado del forjado, puede evaluarse empleando el factor de deformación:

$$\zeta_i = 3 - \xi_i$$

En esta expresión, el coeficiente de duración de la acción ξ_i se ha obtenido aplicando EHE, 50.2.2.3. Dicho coeficiente es: $\xi_i = 0,0194 \ln^2(t_i) + 0,24 \ln(t_i) + 0,705$; $0 \leq t_i \leq 60$.

El factor de deformación total ζ_t de un tramo de forjado es:

$$\zeta_t = \kappa_1 \zeta_1 + \kappa_2 \zeta_2 + \dots + \kappa_i \zeta_i$$

En esta expresión, κ_i representa la proporción entre las partes en que se descompone la carga total (peso propio, tabiquería, pavimento, sobrecarga de uso u otros).

Flecha total y flecha activa.

La flecha total w_t de un tramo de forjado, conocida la flecha instantánea w y el factor de deformación total ζ_t , es:

$$w_t = \zeta_t w$$

Elementos afectables por la deformación, son aquellos tabiques o muros que se sustentan encima del forjado o se comprimen por debajo, en los que la deformación del forjado puede producir daños (EFHE, 15.2.1).

La flecha existente en un tramo de forjado en el momento de construir los elementos afectables por la deformación es:

$$w_e = \zeta_e w$$

En esta expresión, ζ_e es el factor de deformación existente y se calcula por el procedimiento señalado anteriormente.

La flecha activa, w_a , para un elemento afectable es la que puede ocasionarle daños. Es por tanto la que se produce a partir del día en que se construye el elemento afectable.

La flecha activa puede así calcularse con:

$$w_a = w_t - w_e = \zeta_t w - \zeta_e w = \chi_a w$$

8.4. Enlace del forjado en los apoyos.

Este sistema de forjado permite su unión con el resto de la estructura mediante apoyos en vigas o muros de hormigón armado, elementos prefabricados de hormigón pretensado o armado, vigas de acero laminado, muros de fábrica u otros.

En estas uniones, los apoyos pueden ser de tipo directo (cuando el forjado acometa sobre un elemento de mayor canto que este, como en el caso de las vigas de canto, cadena de atado sobre un muro u otros), o indirecto (cuando el forjado acometa sobre un elemento de igual canto que este, como en el caso de las vigas planas, brochales u otros).

El enlace de la vigueta, puede ser por entrega (encastre parcial de la vigueta en la viga o cadena de la unión), o enlace por solapo (mediante armaduras inferiores de enlace).

En este sistema, el enlace por entrega no es apropiado para apoyo sobre vigas o muros de hormigón armado, por causa de los estribos; y no es admisible con vigas planas.

El diseño del enlace y la comprobación de las longitudes y secciones de las armaduras de enlace, así como de las longitudes de las zonas macizadas necesarias en cada caso, debe realizarse teniendo en cuenta EFHE 21.

Anexo A. DISPOSICIONES Y NORMAS

A.1 Disposiciones generales.

Para la redacción de esta memoria técnica se han tenido en cuenta las prescripciones contenidas en las disposiciones generales de obligado cumplimiento que seguidamente se especifican.

- Instrucción EFHE. Proyecto y ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados.
REAL DECRETO 642/2002, de 5 de julio (B.O.E. 2002.08.06).
- Instrucción de Hormigón Estructural EHE.
REAL DECRETO. 2661/1998 de 11 de diciembre (B.O.E. 1999. 01.13).
- Instrucción para la recepción de cementos RC-03
REAL DECRETO 1797/2003 de 26 de diciembre (B.O.E. 2004. 01.16).
- REAL DECRETO 1630/1980, de 18 de julio, sobre fabricación y empleo de elementos resistentes para pisos y cubiertas. (B.O.E. 1980.08.08) (Norma para Autorizaciones de uso de los sistemas de forjados y estructuras industrializadas para pisos y cubiertas.)
- ORDEN de 29 de noviembre de 1989 (B.O.E. 1989.12.16), sobre los modelos de fichas técnicas a que se refiere el Real Decreto 1630/1980, de 18 de julio, sobre la autorización de uso para la fabricación y empleo de elementos resistentes para pisos y cubiertas.
- RESOLUCIÓN de 30 de enero de 1997, de la Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo, por la que se actualizan las fichas de autorización de uso de sistemas de forjados.
- RESOLUCIÓN de 6 de noviembre de 2002 (B.O.E. 2002.12.02), de la Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo, por la que se actualiza el contenido de las fichas técnicas y del sistema de autocontrol de la calidad de la producción a los que se refiere el Real Decreto 1630/1980, de 18 de julio, sobre la autorización de uso para la fabricación y empleo de elementos resistentes para pisos y cubiertas.
- REAL DECRETO 314/2006 (B.O.E. 2006.03.28), de 17 de marzo (B.O.E. 2006.03.28), por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

Documento Básico DB-SE.	Seguridad estructural.
Documento Básico DB-SE-AE.	Acciones en la edificación.
Documento Básico DB-SI-6.	Resistencia al fuego de la estructura.
- Norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación NCSR-02.
REAL DECRETO 997/2002, de 27 de septiembre (B.O.E. 2002.10.11).

- Norma Básica de la Edificación NBE-CA-88 sobre Condiciones Acústicas en los edificios.
REAL DECRETO 2115/1982 (B.O.E. 1982.10.07).
ORDEN M.O.P.U. 1988.05.29 (B.O.E. 1988.10.08).
- REAL DECRETO 1317/1989, de 27 de octubre (B.O.E. 1989.11.03), por el que se establecen las Unidades Legales de Medida.

A.2 Normas complementarias.

Para la redacción de esta memoria técnica se han tenido en cuenta con carácter complementario algunas otras normas. Junto a ellas se citan también, de entre las Normas UNE que se relacionan en EHE, Anejo 2, aquellas que afectan directamente al sistema de forjado que se describe.

- CEB-FIP Model Code 1990. Comité Euro-International du béton, Lausanne, 1993.
- UNE-ENV 1991-1:1997 Bases del proyecto en estructuras.
- UNE-ENV 1992-1-1:1993 Proyecto de estructuras de hormigón: Reglas generales y reglas para edificación.
- UNE-ENV 1992-1-2:1996 Proyecto de estructuras de hormigón: Reglas generales frente al fuego.
- UNE 7474:92. Materiales metálicos. Ensayo a tracción. Método de ensayo.
- UNE 23093:98. Ensayo de resistencia al fuego de estructuras y elementos.
- UNE 23727:90. Ensayos de reacción al fuego en los materiales de construcción.
- UNE 36068:94. Barras corrugadas de acero soldable para hormigón armado.
- UNE 36092:96. Mallas electrosoldadas de acero.
- UNE 36094:97. Alambres y cordones para armaduras de hormigón pretensado.
- UNE 36442:85. Ensayo de relajación isotérmica.
- UNE 36461:80. Ensayo de doblado de acero para armaduras pretensadas.
- UNE 53891:98. Bovedillas de poliestireno expandido para forjados.
- UNE 67037:99. Productos de arcilla cocida. Resistencia a flexión.
- UNE 83300:84. Ensayos de hormigón: Toma de muestras de hormigón fresco.
- UNE 83301:91. Ensayos de hormigón. Fabricación y conservación de probetas.
- UNE 83303:84. Ensayos de hormigón: Refrentado de probetas.
- UNE 83304:84 Ensayos de hormigón: Rotura por compresión.
- UNE 83306:85 Ensayos de hormigón: Rotura por tracción indirecta.

Anexo B. NOTACIÓN

B.1 Notaciones y unidades.

La notación empleada en esta memoria coincide en lo esencial con la de las instrucciones EHE y EFHE, y los Eurocódigos, con pequeñas variaciones debidas a necesidades derivadas de las consideraciones de cálculo, o por coincidencia de un símbolo con más de un concepto a emplear. En todo caso se ha tratado de que la notación difiera lo menos posible de la que internacionalmente se unifica en la Norma ISO 3898:1976.

Las unidades de medida empleadas son también las de las instrucciones EHE y EFHE, y tratan de atenerse al Real Decreto de Unidades de Medida. Las magnitudes adimensionales se indican con un trazo horizontal.

Las tablas de notación que siguen presentan la simbología en caracteres romanos o griegos, unidades de medida, descripción, y referencia al epígrafe del texto donde se emplea el símbolo por primera vez.

B.2 Caracteres romanos.

Símbolo	Unidades	Descripción	Epígrafe
a	mm	Altura de la losa superior de hormigón del forjado.	1.1
a_L	mm	Longitud que penetra la cuña en el anclaje durante el tesado.	5.2
A_b	mm ²	Área de la sección bruta de la vigueta.	3.3
A'_b	mm ²	Área comprimida del hormigón del forjado, en flexión negativa.	7.1
A'_{bv}	mm ²	Área comprimida del hormigón de la vigueta, en flexión negativa.	6.1
A''_{bv}	mm ²	Área comprimida del hormigón de la vigueta, en flexión positiva.	6.1
A_c	mm ²	Área de la sección de hormigón armado del forjado.	4.2
A''_c	mm ²	Área comprimida del hormigón del forjado, en flexión positiva.	7.1
A_{cf}	mm ²	Área de la sección de hormigón armado no fisurado.	7.2
A_f	mm ²	Área de la sección homogeneizada del forjado sin armadura pasiva.	4.3
A_{fi}	mm ²	Área de la sección homogeneizada que comprende el hormigón armado no fisurado y la vigueta.	7.2
A_h	mm ²	Área de la sección homogeneizada de la vigueta.	3.4
A_{hf}	mm ²	Área de la sección homogeneizada del forjado.	4.4
A_p	mm ²	Área del tendón de la vigueta.	3.2
A_{pi}	mm ²	Área de cada alambre del tendón de la vigueta.	3.2
$A'_{p\text{inf}}$	mm ²	Área de la parte inferior de la armadura activa.	6.1

A_s	mm ²	Área de la sección de la armadura pasiva.	4.4
b	mm	Altura de la pieza de entrevigado.	1.1
b_v	mm	Ancho mínimo de la vigueta.	3.1
b'_v	mm	Ancho de la fibra inferior de la vigueta.	3.1
b''_v	mm	Ancho de la fibra superior de la vigueta.	3.1
c	mm	Espesor del recubrimiento de hormigón de una armadura.	4.4
d_s	mm	Diámetro de la armadura pasiva.	4.4
e_b	mm	Excentricidad entre la sección homogeneizada y la sección bruta de la vigueta.	3.4
e_c	mm	Excentricidad entre la sección homogeneizada del forjado sin armadura pasiva, y el hormigón armado.	4.3
e_f	mm	Excentricidad entre las secciones homogeneizadas, sin armadura pasiva y con armadura pasiva.	4.4
e_{fic}	mm	Excentricidad entre baricentros de la sección homogeneizada intrafisurada y del hormigón armado no fisurado.	7.2
e_{fih}	mm	Excentricidad entre baricentros de la sección homogeneizada intrafisurada y de la vigueta.	7.2
e_h	mm	Excentricidad entre la sección homogeneizada del forjado sin armadura pasiva, y la vigueta pretensada.	4.3
e_p	mm	Excentricidad de tesado de la sección de la vigueta.	3.4
e_s	mm	Excentricidad entre la sección homogeneizada del forjado, y la armadura pasiva.	4.4
E_b	N/mm ²	Módulo de elasticidad instantáneo del hormigón pretensado.	2.2
E_c	N/mm ²	Módulo de elasticidad instantáneo del hormigón armado.	2.4
E_p	N/mm ²	Módulo de elasticidad del acero de pretensado.	2.1
E_s	N/mm ²	Módulo de elasticidad del acero de la armadura pasiva.	2.3
f_{bd}	N/mm ²	Resistencia de cálculo a compresión del hormigón pretensado.	2.2
f_{bf}	N/mm ²	Resistencia característica a flexotracción del hormigón pretensado.	2.2
f_{bk}	N/mm ²	Resistencia de proyecto del hormigón pretensado, a 28 días.	2.2
$f_{br,k}$	N/mm ²	Resistencia característica a tracción del hormigón pretensado.	2.2
$f_{br,d}$	N/mm ²	Resistencia de cálculo a tracción del hormigón pretensado.	2.2
$f_{br,m}$	N/mm ²	Resistencia media a tracción del hormigón pretensado.	2.2
f_{b0}	N/mm ²	Resistencia de transferencia del hormigón pretensado.	2.2
$f_{b\alpha}$	N/mm ²	Resistencia de cálculo del hormigón pretensado a compresión en el diagrama parábola rectángulo.	2.2
f_{cd}	N/mm ²	Resistencia de cálculo a compresión del hormigón armado.	2.4
f_{cf}	N/mm ²	Resistencia característica a flexotracción del hormigón armado.	2.4

f_{ck}	N/mm ²	Resistencia de proyecto del hormigón armado, a 28 días.	2.4
$f_{ct,k}$	N/mm ²	Resistencia característica a tracción del hormigón armado.	2.4
$f_{ct,d}$	N/mm ²	Resistencia de cálculo a tracción del hormigón armado.	2.4
$f_{ct,m}$	N/mm ²	Resistencia media a tracción del hormigón armado.	2.4
f_{ca}	N/mm ²	Resistencia de cálculo a compresión en el diagrama parábola rectángulo.	2.4
f_{pd}	N/mm ²	Resistencia de cálculo del acero de pretensado.	2.1
f_{pr}	N/mm ²	Resistencia del acero de pretensado en rotura.	2.1
f_{py}	N/mm ²	Límite elástico del acero de pretensado.	2.1
f_{sd}	N/mm ²	Resistencia de cálculo del acero de la armadura pasiva.	2.3
f_{sy}	N/mm ²	Límite elástico del acero de la armadura pasiva.	2.3
g	kN/m ²	Peso propio del forjado por m ² .	6.3
h	mm	Canto del forjado.	4.1
h_v	mm	Altura de la vigueta.	3.1
i_h	mm	Radio de giro de la sección homogeneizada de la vigueta.	3.4
i_{hf}	mm	Radio de giro de la sección homogeneizada del forjado.	4.4
I_b	mm ⁴	Momento de inercia de la sección bruta de la vigueta respecto a su baricentro.	3.3
I_c	mm ⁴	Momento de inercia de la sección de hormigón armado del forjado respecto a su baricentro.	4.2
I_{cf}	mm ⁴	Momento de inercia de la sección de hormigón armado no fisurado respecto a su baricentro.	7.2
I_f	mm ⁴	Momento de inercia de la sección homogeneizada del forjado sin armadura pasiva respecto a su baricentro.	4.3
I_{fi}	mm ⁴	Momento de inercia de la sección homogeneizada que comprende el hormigón armado no fisurado y la vigueta respecto a su baricentro.	7.2
I_h	mm ⁴	Momento de inercia de la sección homogeneizada de la vigueta respecto a su baricentro.	3.4
I_{hf}	mm ⁴	Momento de inercia de la sección homogeneizada del forjado respecto a su baricentro.	4.4
I_p	mm ⁴	Momento de inercia de la armadura activa respecto a su baricentro.	3.2
I_s	mm ⁴	Momento de inercia de la sección de la armadura pasiva respecto al baricentro de dicha armadura.	4.4
K_e	kNmm ² /m	Rigidez equivalente de un tramo de forjado.	8.3
K'_s	kNmm ² /m	Rigidez equivalente de un tramo de forjado en el vano.	8.3
K''_{st}	kNmm ² /m	Rigidez equivalente de la sección de un tramo de forjado en el apoyo inicial I.	8.3
K_v	kNmm ²	Rigidez total de la sección homogeneizada de la vigueta.	3.4
K'_i	kNmm ² /m	Rigidez total en flexión positiva, del forjado, por metro de anchura.	7.2

K'_{II}	kNmm ² /m	Rigidez fisurada en flexión positiva, del forjado, por metro de anchura.	7.2
K''_I	kNmm ² /m	Rigidez total en flexión negativa, del forjado, por metro de anchura.	7.2
K''_{II}	kNmm ² /m	Rigidez fisurada en flexión negativa, del forjado, por metro de anchura.	7.2
K''_{sII}	kNmm ² /m	Rigidez equivalente de la sección de un tramo de forjado en el apoyo final II.	8.3
l	mm	Longitud de cálculo de un tramo de forjado.	8.2
l_0	mm	Longitud máxima de la vigueta en fase de ejecución, sin sopanda.	6.3
l_1	mm	Longitud máxima de la vigueta en fase de ejecución, con una sopanda en el centro.	6.3
l_2	mm	Longitud máxima de la vigueta en fase de ejecución, con dos sopandas en los tercios.	6.3
L	mm	Longitud total del tendón recto.	5.2
m'_f	kNm/m	Momento flector de fisuración en flexión positiva, del forjado, por metro de anchura.	7.2
m''_f	kNm/m	Momento flector de fisuración en flexión negativa, del forjado, por metro de anchura.	7.2
m'_{ku}	kNm/m	Momento flector característico en flexión positiva, del forjado, por metro de anchura.	7.2
m''_{ku}	kNm/m	Momento flector característico en flexión negativa, del forjado, por metro de anchura.	7.2
m'_u	kNm/m	Momento flector último en flexión positiva del forjado, por metro de anchura.	7.1
m''_u	kNm/m	Momento flector último en flexión negativa del forjado, por metro de anchura.	7.1
M'_f	kNm	Momento flector de fisuración en flexión positiva, del forjado.	7.2
M''_f	kNm	Momento flector de fisuración en flexión negativa, del forjado.	7.2
M'_{fv}	kNm	Momento flector de fisuración en flexión positiva, de la vigueta.	6.2
M''_{fv}	kNm	Momento flector de fisuración en flexión negativa, de la vigueta.	6.2
M'_{uv}	kNm	Momento flector último en flexión positiva, de la vigueta.	6.1
M''_{uv}	kNm	Momento flector último en flexión negativa, de la vigueta.	6.1
M'_{uvm}	kNm	Momento flector máximo en flexión positiva, de la vigueta.	6.1
M''_{uvm}	kNm	Momento flector máximo en flexión negativa, de la vigueta.	6.1
M'_{DESv}	kNm	Momento flector de descompresión en flexión positiva, de la vigueta.	6.2
M''_{DESv}	kNm	Momento flector de descompresión en flexión negativa, de la vigueta.	6.2
M'_{FCv}	kNm	Momento flector de fisuración controlada en flexión positiva, de la vigueta.	6.2

M''_{FCv}	kNm	Momento flector de fisuración controlada en flexión negativa, de la vigueta.	6.2
M'_{TLv}	kNm	Momento flector de tracción en flexión positiva, de la vigueta.	6.2
M''_{TLv}	kNm	Momento flector de tracción en flexión negativa, de la vigueta.	6.2
n_b	–	Coefficiente de equivalencia del hormigón pretensado respecto al hormigón armado.	4.3
n_p	–	Coefficiente de equivalencia del acero de la armadura activa respecto al hormigón pretensado.	3.4
n_s	–	Coefficiente de equivalencia del acero de la armadura pasiva respecto al hormigón armado.	4.4
p	mm	Perímetro de contacto entre el hormigón pretensado y el hormigón armado.	4.1
P_i	kN	Fuerza de tesado inicial en la armadura activa tras la transferencia.	5.3
P_0	kN	Fuerza de tesado inicial en la armadura activa, en el banco de tesado.	5.1
q_e	kN/m ²	Carga característica de ejecución de la vigueta, por m ² de forjado.	6.3
q_0	kN/m ²	Sobrecarga de ejecución de la vigueta, por m ² de forjado.	6.3
q_d	kN/m ²	Carga de cálculo por unidad de superficie.	8.2
q_k	kN/m ²	Carga característica por unidad de superficie.	8.2
s	mm	Separación entre ejes de nervios con vigueta simple o doble.	4.1
S'_b	mm ³	Momento estático de la sección bruta de la vigueta respecto a su fibra inferior.	3.3
S'_c	mm ³	Momento estático de la sección de hormigón armado del forjado respecto a su fibra inferior.	4.2
S'_f	mm ³	Momento estático de la sección homogeneizada del forjado sin armadura pasiva respecto a su fibra inferior.	4.3
S'_{fi}	mm ³	Momento estático de la sección homogeneizada que comprende el hormigón armado no fisurado y la vigueta respecto a la fibra inferior.	7.2
S'_h	mm ³	Momento estático de la sección homogeneizada de la vigueta respecto a su fibra inferior.	3.4
S'_{hf}	mm ³	Momento estático de la sección homogeneizada del forjado respecto a su fibra inferior.	4.4
S'_p	mm ³	Momento estático respecto a la fibra inferior de la vigueta.	3.2
S'_s	mm ³	Momento estático de la sección de la armadura pasiva respecto a la fibra inferior del forjado.	4.4
t_i	meses	Tiempo transcurrido desde el hormigonado del forjado.	8.3
v_{dI}	kN/m	Esfuerzo cortante de cálculo en el extremo inicial I.	8.2
v_{dII}	kN/m	Esfuerzo cortante de cálculo en el extremo inicial I.	8.2
v_u	kN/m	Esfuerzo cortante último del forjado, por metro de anchura.	7.1

v_{u1}	kN/m	Esfuerzo cortante de agotamiento del forjado, por compresión oblicua del hormigón.	7.1
v_{u2}	kN/m	Esfuerzo cortante de agotamiento del forjado, por tracción oblicua del hormigón.	7.1
v_{u3}	kN/m	Esfuerzo cortante de agotamiento del forjado, por adherencia entre el hormigón pretensado y el hormigón armado.	7.1
V_u	kN	Esfuerzo cortante último de la vigueta.	6.1
w	mm	Flecha instantánea de un tramo de forjado.	8.3
w_a	mm	Flecha activa de un tramo de forjado para un elemento afectable.	8.3
w_e	mm	Flecha existente en un tramo de forjado.	8.3
w_k	mm	Abertura característica de fisura.	1.1
w_t	mm	Flecha total de un tramo de forjado.	8.3
W'_f	mm ³	Módulo resistente de la sección homogeneizada del forjado sin armadura pasiva respecto a su fibra inferior.	4.3
W''_f	mm ³	Módulo resistente de la sección homogeneizada del forjado sin armadura pasiva respecto a su fibra superior.	4.3
W'_{fi}	mm ³	Módulo resistente de la sección homogeneizada que comprende el hormigón armado no fisurado y la vigueta respecto a la fibra inferior.	7.2
W'_h	mm ³	Módulo resistente de la sección homogeneizada de la vigueta respecto a su fibra inferior.	3.4
W''_h	mm ³	Módulo resistente de la sección homogeneizada de la vigueta respecto a su fibra superior.	3.4
W'_{hf}	mm ³	Módulo resistente de la sección homogeneizada del forjado respecto a su fibra inferior.	4.4
W''_{hf}	mm ³	Módulo resistente de la sección homogeneizada del forjado respecto a su fibra superior.	4.4
x'_b	mm	Distancia de la línea neutra a la fibra inferior en flexión negativa, del forjado.	7.1
x'_{bv}	mm	Distancia de la línea neutra a la fibra inferior en flexión negativa, de la vigueta.	6.1
x''_{bv}	mm	Distancia de la línea neutra a la fibra superior en flexión positiva, de la vigueta.	6.1
x'_{bvm}	mm	Distancia máxima de la línea neutra a la fibra inferior al agotarse el hormigón en flexión negativa, de la vigueta.	6.1
x''_{bvm}	mm	Distancia máxima de la línea neutra a la fibra superior al agotarse el hormigón en flexión positiva, de la vigueta.	6.1
x''_c	mm	Distancia de la línea neutra a la fibra superior en flexión positiva, del forjado.	7.1
x_{cf}	mm	Distancia de la línea intrafisurada a la fibra superior del forjado.	7.2
z'_b	mm	Distancia desde el baricentro de la sección bruta de la vigueta a su fibra inferior.	3.3
z''_b	mm	Distancia desde el baricentro de la sección bruta de la vigueta a su fibra superior.	3.3

z'_c	mm	Distancia desde el baricentro de la sección de hormigón armado del forjado a su fibra inferior.	4.2
z''_c	mm	Distancia desde el baricentro de la sección de hormigón armado del forjado a su fibra superior.	4.2
z'_f	mm	Distancia desde el baricentro de la sección homogeneizada del forjado sin armadura pasiva respecto a su fibra inferior.	4.3
z''_f	mm	Distancia desde el baricentro de la sección homogeneizada del forjado sin armadura pasiva respecto a su fibra superior.	4.3
z'_{fi}	mm	Distancia desde el baricentro de la sección homogeneizada intrafisurada a la fibra inferior del forjado.	7.2
z'_h	mm	Distancia desde el baricentro de la sección homogeneizada de la vigueta a su fibra inferior.	3.4
z''_h	mm	Distancia desde el baricentro de la sección homogeneizada de la vigueta a su fibra superior.	3.4
z'_{hf}	mm	Distancia desde el baricentro de la sección homogeneizada del forjado a su fibra inferior.	4.4
z''_{hf}	mm	Distancia desde el baricentro de la sección homogeneizada del forjado a su fibra superior.	4.4
z'_p	mm	Distancia desde el baricentro de la armadura activa a la fibra inferior de la vigueta.	3.2
z''_p	mm	Distancia desde el baricentro de la armadura activa a la fibra superior de la vigueta.	3.2
z'_{pi}	mm	Distancia de cada alambre a la fibra inferior de la vigueta.	3.2
$z'_{p\text{inf}}$	mm	Distancia de la parte inferior de la armadura activa a la fibra inferior de la vigueta.	6.1
z'_s	mm	Distancia desde el baricentro de la sección de la armadura pasiva a la fibra inferior del forjado.	4.4
z''_s	mm	Distancia desde el baricentro de la sección de la armadura pasiva a la fibra superior del forjado.	4.4

B.2 Caracteres griegos.

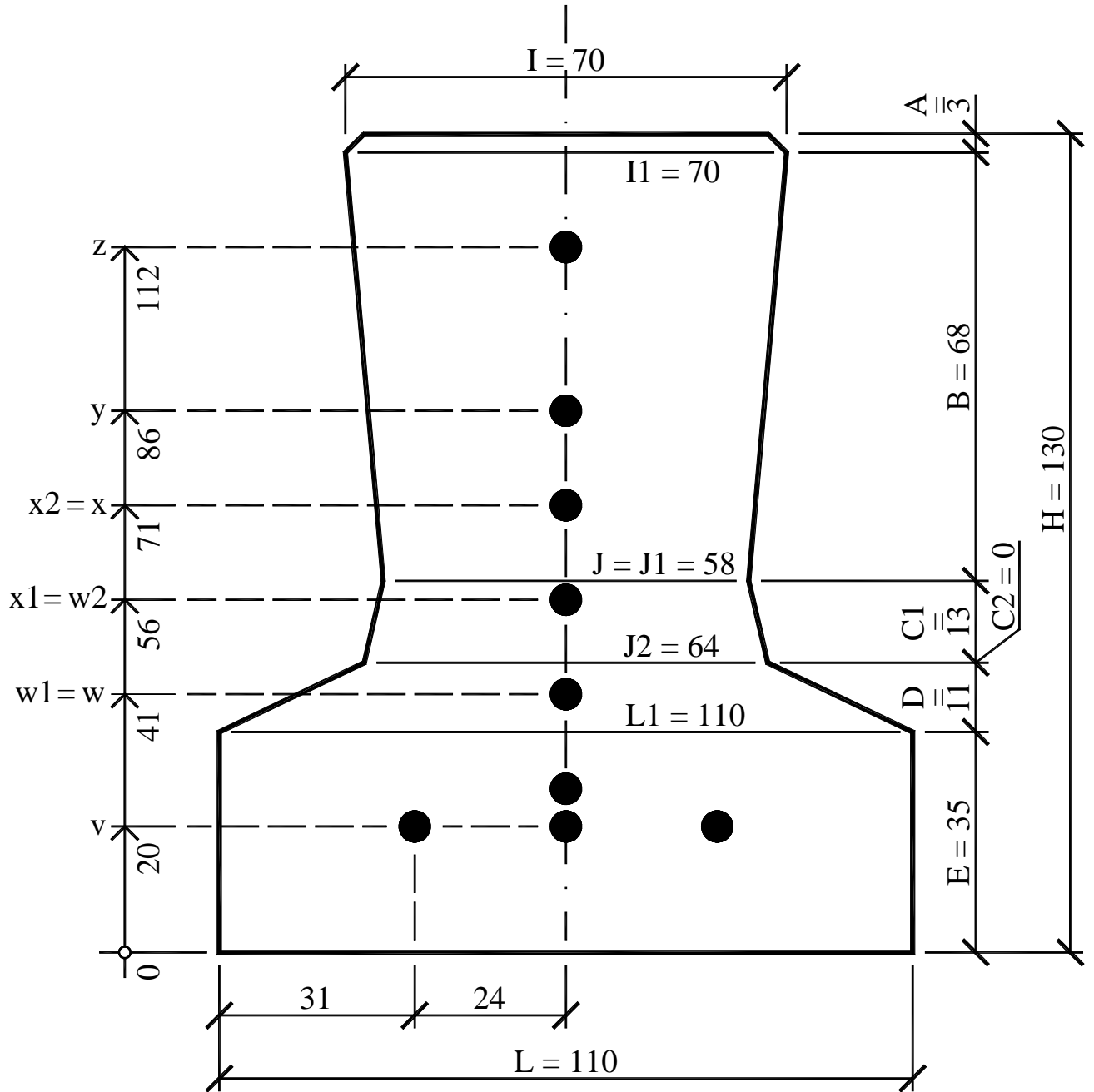
Símbolo	Unidades	Descripción	Epígrafe
β	–	Factor por rugosidad de la vigueta.	3.1
β	–	Factor de cálculo de la flecha instantánea.	8.3
γ_b	–	Coefficiente de seguridad del hormigón pretensado.	2.5
γ_c	–	Coefficiente de seguridad del hormigón armado.	2.5
γ_e	–	Coefficiente de ponderación de la carga en ejecución de la viguetas.	6.3
γ_f	–	Coefficiente parcial de seguridad de las acciones.	7.2
γ_p	–	Coefficiente de seguridad de la armadura activa.	2.5
γ_s	–	Coefficiente de seguridad de la armadura pasiva.	2.5
δ	–	Factor de pérdida de tensión en la armadura activa desde la transferencia hasta 10^6 horas.	5.5

$\Delta\sigma_{pe}$	N/mm ²	Pérdida de tensión de la armadura activa por deformación elástica.	5.2
$\Delta\sigma_{pf}$	N/mm ²	Pérdida de tensión total en la armadura activa, desde la transferencia hasta 10 ⁶ horas, a 10 ⁶ horas.	5.4
$\Delta\sigma_{pi}$	N/mm ²	Pérdida de tensión inicial en la armadura activa después de la transferencia.	5.3
$\Delta\sigma_{ps}$	N/mm ²	Pérdida de tensión total en la armadura activa, desde la transferencia hasta 10 ⁶ horas, a 90 horas.	5.4
$\Delta\sigma_{p1}$	N/mm ²	Pérdida de tensión de la armadura activa por penetración de cuñas en el anclaje antes de la transferencia	5.2
$\Delta\sigma_{p2}$	N/mm ²	Pérdida de tensión de la armadura activa por relajación del acero antes de la transferencia.	5.2
$\Delta\sigma_{p3}$	N/mm ²	Pérdida de tensión de la armadura activa por retracción del hormigón antes de la transferencia.	5.2
$\Delta\sigma_{p4}$	N/mm ²	Pérdida de tensión parcial en la armadura activa, desde la transferencia hasta 10 ⁶ horas, por retracción.	5.4
$\Delta\sigma_{p5}$	N/mm ²	Pérdida de tensión parcial en la armadura activa, desde la transferencia hasta 10 ⁶ horas, por fluencia.	5.4
$\Delta\sigma_{p6}$	N/mm ²	Pérdida de tensión parcial en la armadura activa, desde la transferencia hasta 10 ⁶ horas, por relajación.	5.4
$\Delta\sigma_{p\alpha}$	N/mm ²	Pérdida total de tensión de la armadura activa antes de la transferencia.	5.2
ε_b	–	Dilatación máxima del hormigón pretensado a flexión en el diagrama parábola rectángulo.	2.2
ε_c	–	Dilatación máxima a flexión en el diagrama parábola rectángulo.	2.4
ε_p	–	Dilatación (deformación unitaria) de la armadura activa.	2.1
ε_{pf}	–	Dilatación final en la armadura activa después de la transferencia.	5.5
ε_r	–	Dilatación por retracción del hormigón a 10 ⁶ horas.	2.2
ε_s	–	Dilatación (deformación unitaria) de la armadura pasiva.	2.3
ζ	–	Factor de aumento de la resistencia frente a esfuerzo cortante.	6.1
ζ_i	–	Factor de aumento de la deformación debida a una carga única aplicada tras un tiempo t_i desde el hormigonado del forjado.	8.3
ζ_e	–	Factor de deformación asociado a la flecha existente en un tramo de forjado.	8.3
ζ_t	–	Factor de deformación total de un tramo de forjado.	8.3
κ_i	–	Proporción entre las partes en que se descompone la carga total.	8.3
λ	–	Factor de distancia del área comprimida en flexión positiva, del forjado.	7.1
μ_p	kN/m ³	Peso específico del acero de pretensado.	2.1
μ_b	kN/m ³	Peso específico del hormigón pretensado.	2.2

μ_s	kN/m^3	Peso específico del acero de armado.	2.3
μ_c	kN/m^3	Peso específico del hormigón armado.	2.4
ξ	–	Factor de la retracción del hormigón en función del tiempo.	2.2
ξ_i	–	Coefficiente de duración de la acción aplicada tras un tiempo t_i desde el hormigonado del forjado.	8.3
ρ_v	–	Cuantía geométrica de una vigueta.	3.4
ρ_V	–	Cuantía geométrica de la armadura activa traccionada.	6.1
$\bar{\rho}$	–	Relajación del acero de pretensado a 1000 horas.	2.1
σ_{bi}	N/mm^2	Tensión inicial del hormigón de la vigueta en el baricentro de la armadura activa.	5.3
σ'_{bi}	N/mm^2	Tensión inicial del hormigón de la vigueta en la fibra inferior.	5.3
σ''_{bi}	N/mm^2	Tensión inicial del hormigón de la vigueta en la fibra superior.	5.3
σ'_{bf}	N/mm^2	Tensión final en el hormigón pretensado a 10^6 horas, en la fibra inferior.	5.5
σ''_{bf}	N/mm^2	Tensión final en el hormigón pretensado a 10^6 horas, en la fibra superior.	5.5
σ'_{bs}	N/mm^2	Tensión final en el hormigón pretensado a 90 horas, en la fibra inferior.	5.5
σ''_{bs}	N/mm^2	Tensión final en el hormigón pretensado a 90 horas, en la fibra superior.	5.5
σ_p	N/mm^2	Tensión variable de la armadura activa.	2.1
σ_{pf}	N/mm^2	Tensión final en la armadura activa después de la transferencia.	5.5
σ_{pi}	N/mm^2	Tensión inicial en la armadura activa después de la transferencia.	5.3
σ_{p0}	N/mm^2	Tensión de tesado inicial en la armadura activa, en el banco de tesado.	5.1
$\sigma_{p\alpha}$	N/mm^2	Tensión de tesado en la armadura activa antes de la transferencia.	5.2
ϕ_f	–	Coefficiente final de fluencia del hormigón.	2.2
χ_a	–	Factor de deformación asociado a la flecha activa en un tramo de forjado.	8.3
ψ	–	Factor de relajación del acero en función del tiempo.	2.1

Anexo C. PLANOS. SECCIONES DE VIGUETAS

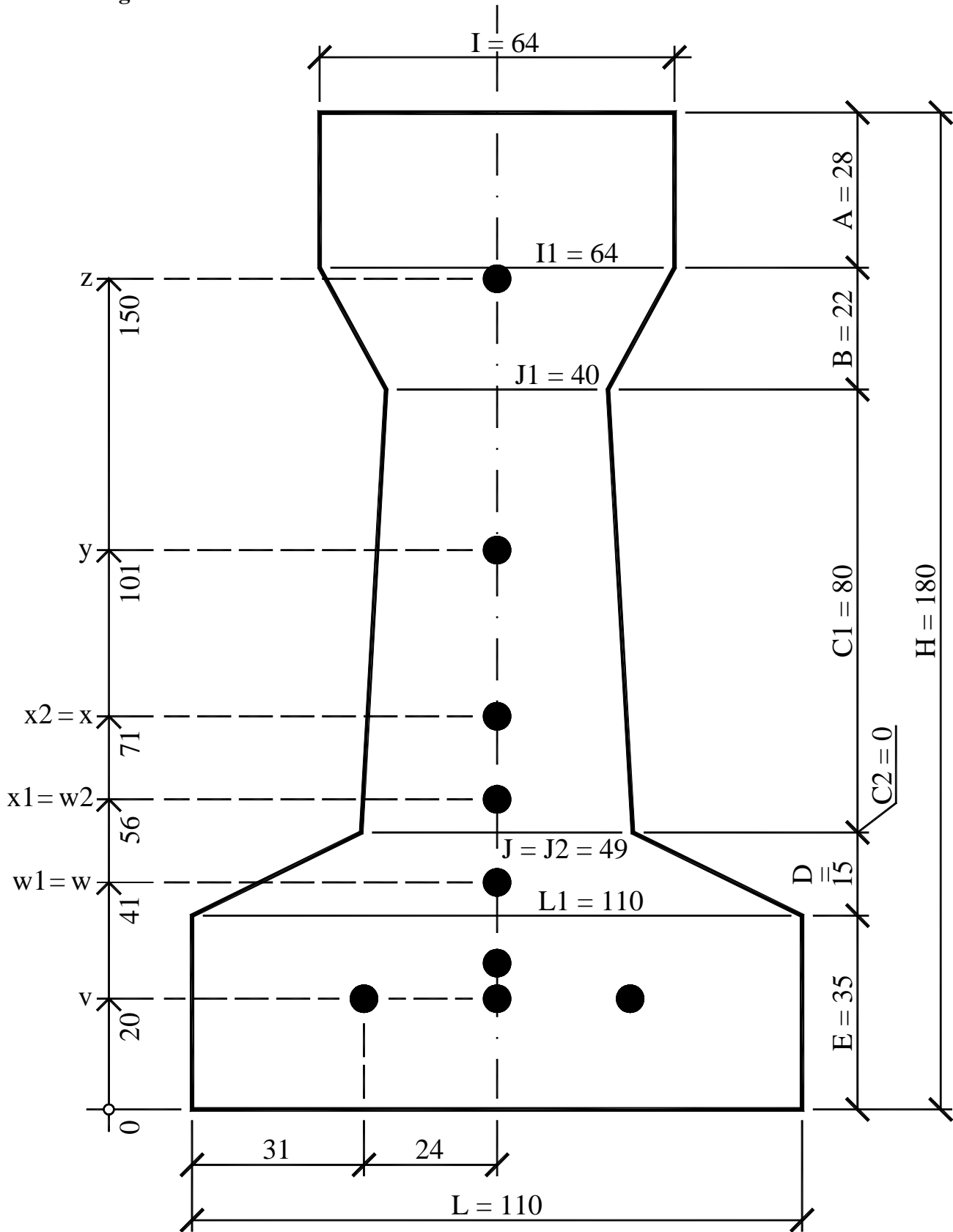
C.1 Vigueta T. 130 v.2.



escala 1:1
cotas en mm

Fdo: Fernando Sarría Pueyo
Arquitecto

C.2 Vigueta T. 180 v.1.



escala 1:1
cotas en mm

Fdo: Fernando Sarría Pueyo
Arquitecto

Junto a la presente Memoria Técnica se adjuntan las correspondientes Fichas de Características Técnicas del sistema de forjado descrito.

Pamplona, 22 de agosto de 2007

Fdo: El Peticionario

Fdo: Fernando Sarría Pueyo
Arquitecto

FERNANDO SARRÍA ESTRUCTURAS, S.L.
PLAZA MAYOR 19-21 BAJO · 31621 SARRIGUREN (NAVARRA)

TELÉFONO +34 948263435 · FAX +34 948165204 · E-MAIL INFO@FSESTRUCTURAS.COM