



**Escola Tècnica Superior d'Enginyers
de Camins, Canals i Ports de Barcelona**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TESINA D'ESPECIALITAT

Títol

**Nueva estrategia de implementación de fichas técnicas para
forjados unidireccionales de viguetas pretensadas**

Autor/a

Solé Miró, Rafel

Tutor/a

De la Fuente Antequera, Albert

Aguado de Cea, Antonio

Departament

706-EC

Intensificació

Tecnologia i Construcció d'Estructures

Data

Febrer de 2011

Resumen

Nueva estrategia de implementación de fichas técnicas para forjados unidireccionales de viguetas pretensadas

Autor: **Solé Miró, Rafel**
Tutores: **de la Fuente Antequera, Albert**
Aguado de Cea, Antonio

En la presente Tesina se realiza un estudio de la actual reglamentación establecida para la redacción de las Fichas de Características Técnicas de forjados unidireccionales semiprefabricados. Se repasa la evolución desde su aparición en 1941 hasta la fecha actual, y cuál es su situación dentro del mercado CE.

La voluntariedad actual de las Fichas Técnicas a partir de 2011, las coloca en una situación de abandono, y se pierde la conexión entre el fabricante de viguetas pretensadas y el calculista del forjado. En este trabajo se defiende su uso y se diseña un nuevo formato.

La propuesta de las nuevas Fichas Técnicas se adapta a las exigencias del mercado CE, y continúa con la misma filosofía con la que nacieron. A la vez, se adaptan a las necesidades de la empresa estudiada. Por otra parte, están pensadas para tener un control exhaustivo de cada obra particular en la que intervenga la empresa, y se evalúa la estructura en función de las etapas en la que el forjado se construye con el fin de poderla evaluar en cualquier momento de su vida útil.

El conjunto, se ha diseñado de forma que se adapte a las necesidades reales del proyectista a las bases fijadas en el mercado CE que hacen referencia a la regulación de esta documentación técnicas, y se crea una conexión, hasta la fecha inexistente, entre el fabricante, el calculista del forjado y el mercado CE.

El seguimiento sobre la fabricación de viguetas pretensadas, la construcción del forjado unidireccional semiprefabricado, así como también, la aplicación de las normativas y la supervisión del mercado CE, se ha adaptado a la empresa de prefabricados Biguetes Solé, S.L.

Para lograr este objetivo, se han revisado los modelos de cálculo empleados hasta la fecha para la redacción de las Fichas Técnicas, proponiéndose una nueva subrutina de cálculo en base a las nuevas formulaciones recogidas en la nueva EHE-08. La subrutina de cálculo planteada se basa en el Programa AESS (De la Fuente, 2006), y en lo expuesto en la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08), creando de esta manera la hoja de cálculo “Programa de Cálculo Biguetes Solé” (PCBS).

Finalmente, se aplican las nuevas Fichas Técnicas a dos casos particulares, uno para un forjado compuesto por viguetas semirresistentes (T-11-2), y otro para uno compuesto por viguetas autoportantes (T-18-2) consiguiendo resultados satisfactorios.

Abstract

New implementation strategy of Technical Data Sheets for unidirectional frameworks of prestressed concrete beams

Author: **Solé Miró, Rafel**
Tutors: **de la Fuente Antequera, Albert**
Aguado de Cea, Antonio

First of all, this document carries out a study of the current regulation established in the Technical Data Sheets for unidirectional frameworks for prestressed concrete beams. It revises the evolution from its birth in 1941 up to these days, and its situation inside the certification CE.

From 2011 the consideration of the Technical Data Sheets are voluntary. As a result, they are left aside and the connection between manufacturers and engineers who calculate this kind of frameworks have been broken. This document promotes its use as well as a new design model.

The proposal of Technical Data Sheets have been thought to meet the certification CE requirements. Likewise, they have been adapted to the needs of the studied company: Biguetes Solé, S.L. All the information, documents and monitoring prestressed beams production have been used so as to calibrate and compare the new Data Sheet.

Furthermore, the new Technical Data Sheets have been thought in order to make an exhaustive control in every work of the company. In conclusion, the new model has been designed to solve the real needs of the three parts involved: manufacturers, engineers and certification CE. They allow evaluating the structure in each step of framework construction.

To achieve this aim, this study has been programmed an Excel sheet called Programa Cálculo Biguetes Solé (PCBS). It is based on the formulation of EHE-08 and Programa AESS developed in the Civil Engineering Department of the UPC.

Finally, this new Technical Data Sheets are applied in two particular frameworks of prestressed concrete beams (T-11 and T-18) with satisfactory results.

Agradecimientos

Por los motivos que fueran en su momento, inicié la carrera de Ingeniería de caminos, canales y puertos, y en lo primero que me fije fue en el plan de estudios. Al ver los diferentes cursos, y las asignaturas que conformaban cada uno de ellos, me dio la impresión que acabaría realizando grandes cosas, y que seguramente estaría preparado para afrontar grandes retos. Muy lejos quedaban en mis inicios, el planteamiento de un gran trabajo como es una Tesina o el Proyecto Final de Carrera, y pensaba que mi preparación durante la carrera me serviría para realizarlos con garantías. Llegado el momento, me di cuenta que mi preparación existía pero que a la vez era un reto igual de difícil.

A lo largo de los cursos, y ahora, en el tramo final de la carrera con la realización del PFC, y de la presente Tesina, me he dado cuenta de las personas que han estado cerca de mí en todos los momentos.

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres, el apoyo y ayuda constante que he recibido durante estos años, y en especial, en este tramo final. Particularmente, a mi padre y a la empresa Biguetes Solé S.L. que él preside, que me han brindado la oportunidad de aportar mi grano de arena en el presente y futuro de la empresa mediante la Tesina. Por otra parte, el apoyo y los ánimos de mi pareja, compañera y amiga Ingrid, y del resto de familia más próxima, ha sido clave durante todos estos años.

No es menos, las constantes preguntas sobre el día a día de la Tesina y a lo largo de la carrera de mucha gente, como son amigos de toda la vida o compañeros de residencia y de la universidad. Particularmente, a Yago, Raúl y David, compañeros de viaje en toda mi etapa universitaria.

No podría dejar sin mencionar, a mi tutor, compañero y amigo en el presente documento Albert de la Fuente, y también a Antonio Aguado, tutor y gran profesor.

Sin más, solamente decir gracias.

Notación

Mayúsculas latinas

A_c	Área de hormigón
A_{cc}	Área de hormigón a compresión hasta una profundidad $y = 0,8 \cdot x$
A_{cb}	Área sección bruta de hormigón de la vigueta
A_{cn}	Área sección neta de hormigón de la vigueta
A_{ch}	Área sección homogeneizada de hormigón de la vigueta
A'_{ch}	Área sección homogeneizada de hormigón del forjado
A_p	Área de la armadura activa
A_{p1}	Área de la armadura activa inferior
A_{p2}	Área de la armadura activa superior
E_c	Módulo de deformación del hormigón
E_{cm}	Módulo de deformación medio del hormigón
$E_{cm,i}$	Módulo de deformación del hormigón en la edad i
E_{cv}	Módulo de deformación del hormigón teniendo en cuenta la deformación instantánea y la diferida
E_p	Módulo de deformación de la armadura activa
I_C	Inercia de la sección respecto al eje horizontal "x"
I_{cb}	Momento de inercia de la sección bruta de la vigueta
I_{cn}	Momento de inercia de la sección neta de la vigueta
I_{ch}	Momento de inercia de la sección homogeneizada de la vigueta
I'_{ch}	Momento de inercia de la sección homogeneizada del forjado
L	Longitud de la pista de fabricación de las viguetas

M_0	Momento de fisuración en la clase 1
M'_0	Momento de fisuración en la clase 2
$M_{0,2}$	Momento de fisuración en la clase 3
M_u	Momento Último
M_1	Momento debido al peso propio de la vigueta
M_2	Momento debido a las todas las cargas menos el de la vigueta
N_d	Axil de cálculo
P_{ki}	Fuerza inicial de pretensado descontando las pérdidas instantáneas
Y_{b1}	Distancia del c.d.g. de la sección bruta al borde inferior de la vigueta
Y_{b2}	Distancia del c.d.g. de la sección bruta al borde superior de la vigueta
Y_{n1}	Distancia del c.d.g. de la sección neta al borde inferior de la vigueta
Y_{n2}	Distancia del c.d.g. de la sección neta al borde superior de la vigueta
Y_{h1}	Distancia del c.d.g. de la sección homogeneizada al borde inferior de la vigueta
Y_{h2}	Distancia del c.d.g. de la sección homogeneizada al borde superior de la vigueta
Y'_{h1}	Distancia del c.d.g. de la sección homogeneizada al borde inferior del forjado
Y'_{h2}	Distancia del c.d.g. de la sección homogeneizada al borde superior del forjado
Y_p	Distancia del c.d.g. de las armaduras activas al c.d.g. de la sección
W_{n1}	Momento resistente respecto al borde inferior de la sección neta de la vigueta
W_{n2}	Momento resistente respecto al borde superior de la sección neta de la vigueta
W_{h1}	Momento resistente respecto al borde inferior de la sección homogeneizada de la vigueta
W_{h2}	Momento resistente respecto al borde superior de la sección homogeneizada de la vigueta
W'_{h1}	Momento resistente respecto al borde inferior de la sección homogeneizada del forjado
W'_{h2}	Momento resistente respecto al borde superior de la sección homogeneizada del forjado

Minúsculas latinas

a	Deslizamiento en mm de las cuñas hasta el anclaje de las armaduras
b_0	Anchura mínima del nervio de la sección
e	Excentricidad
e_n	Excentricidad de las armaduras respecto el c.d.g. de la sección neta de la vigueta
e_h	Excentricidad de las armaduras respecto el c.d.g. de la sección homogeneizada de la vigueta
e'_h	Excentricidad de las armaduras respecto el c.d.g. de la sección homogeneizada del forjado
d	Canto útil de la sección
d_{p1}	Distancia del borde inferior de la sección al c.d.g. de la armadura activa inferior
d_{p2}	Distancia del borde inferior de la sección al c.d.g. de la armadura activa superior
n	Coefficiente de homogeneización
f_{ck}	Resistencia característica a compresión del hormigón
f_{cm}	Resistencia media a compresión del hormigón
f_{ctd}	Resistencia de cálculo a tracción del hormigón más débil de la junta
f_{ctm}	Resistencia media a tracción del hormigón
$f_{ctm,fl}$	Resistencia media a flexotracción
f_{ct}	Resistencia a tracción del hormigón
f_{cv}	Resistencia efectiva del hormigón a cortante
$f_{p\max}$	Carga unitaria máxima característica del pretensado
f_{pk}	Límite elástico característico de las armaduras activas
f_{pd}	Resistencia de cálculo de las armaduras activas
f_{yk}	Límite elástico característico de las armaduras pasivas
f_{yd}	Resistencia de cálculo de las armaduras pasivas
s	Coefficiente que depende del tipo de cemento
t	Tiempo de evaluación
t_0	Tiempo inicial

Mayúsculas griegas

Δ	Incremento
$\Delta P1$	Pérdida por deslizamiento de las cuñas de anclaje
$\Delta P2$	Pérdida por relajación isoterma a temperatura ambiente hasta la transferencia
$\Delta P3$	Pérdida por acortamiento elástico al transferir
$\Delta P4$	Pérdida por retracción inicial del hormigón
ΔP_{dif}	Pérdidas diferidas
$\Delta P_{R,1000}$	Relajación pura a temperatura de 20°C

Minúsculas griegas

α	Coefficiente que depende de la edad del hormigón y de su resistencia a 28 días
α_{cc}	Factor que tiene en cuenta del cansancio del hormigón
β	Factor en el cálculo de la tensión rasante de agotamiento
β_{cc}	Coefficiente que depende de la edad del hormigón
γ	Coefficiente para armaduras sometidos a procesos de estabilidad
γ_c	Coefficiente de minoración del hormigón
ϵ_c	Deformación del hormigón
ϵ_{cs}	Deformación de retracción del hormigón
ϵ_{cu}	Deformación última del hormigón
ϵ_{pd}	Deformación del acero activo en la formación de la curva tensión - deformación
λ	Coefficiente en función de la transferencia
η	Coefficiente de no linealidad en fluencia
φ	Coefficiente de fluencia
ρ_f	Relajación a longitud constante a tiempo infinito
ρ_l	Cuantía geométrica de la armadura longitudinal
$\Delta\sigma_{pr}$	Pérdida por relajación a longitud constante
σ_c	Tensión del hormigón

σ_{cp}	Tensión del hormigón pretensado en el c.d.g. de la armadura activa
σ'_{cd}	Tensión axial media en el alma de la sección
σ_{cd}	Tensión del hormigón en la formación de la curva tensión - deformación
σ_{pd}	Tensión del acero activo en la formación de la curva tensión - deformación
σ_{pi}	Tensión inicial en c.d.g. armadura activa
σ_{pf}	Tensión final en c.d.g. armadura activa
$\sigma_{inf}^1 \text{ vig.}$	Tensión en la fibra inferior de la vigueta
$\sigma_{sup}^1 \text{ vig.}$	Tensión en la fibra superior de la vigueta
σ_{p1}	Tensión de la armadura activa inferior
σ_{p2}	Tensión de la armadura activa superior
σ_{pf1}	Tensión final en c.d.g. de la armadura activa inferior
σ_{pf2}	Tensión final en c.d.g. de la armadura activa superior
σ_{pat}	Tensión del hormigón pretensado descontando $\Delta P1 + \Delta P2$
σ_{po}	Tensión inicial del acero de pretensar
$\tau_{r,u}$	Tensión rasante de agotamiento
χ	Coeficiente de envejecimiento

Índice general

Resumen	I
Abstract	III
Agradecimientos	V
Notación	VII
1. Introducción	1
1.1 Planteamiento del problema y motivación del trabajo	1
1.2 Objetivos perseguidos	5
1.3 Organización del trabajo	7
1.3.1 La Empresa	8
1.3.2 Criterio de selección	10
2. Revisión del estado del conocimiento	13
2.1 Introducción y objetivos	13
2.2 Forjado unidireccional y semiprefabricado	13
2.3 Elementos del forjado: materiales y productos	16
2.3.1 Vigüeta pretensada	16
2.3.2 Bovedilla	20
2.3.3 Losa de compresión	21
2.3.4 Malla electrosoldada	22
2.3.5 Armadura pasiva para flexión negativa	22
2.4 Ejecución del forjado	23
2.5 Control en la construcción del forjado	27
2.6 Documentación del forjado	28

2.7	Fichas de Características Técnicas actuales	29
2.8	Formato de las actuales Fichas Técnicas	30
3.	Bases de cálculo del Programa AESS	35
3.1	Introducción	35
3.2	Método paso a paso	36
3.2.1	Etapas del método paso a paso	36
3.2.2	Convenio de signos. Idealización de la sección	37
3.2.3	Discretización del tiempo	37
3.3	Hipótesis de las características de los materiales y del modelo de cálculo	38
3.3.1	Hormigón	38
3.3.2	Acero activo	40
3.3.3	Acero pasivo	40
4.	Bases de cálculo de las Fichas Técnicas	43
4.1	Estados de cálculo de la viga y del forjado	43
4.2	Combinación de acciones	44
4.3	Propiedades mecánicas	44
4.3.1	Hormigón	45
4.3.2	Acero activo	47
4.4	Estados Límites Último	48
4.4.1	Estado Límite Último frente a solicitaciones Normales	48
4.4.2	Estado Límite Último frente a Cortante	50
4.4.3	Estado Límite Último de esfuerzo Rasante	51
4.5	Estado Límite de Servicio	52
4.5.1	Estado Límite de Fisuración	52
5.	Bases de cálculo del PCBS	55
5.1	Introducción	55
5.2	Etapas de cálculo de la viga y del forjado	55
5.3	Combinación de acciones	56
5.4	Hipótesis de las características de los materiales	58
5.4.1	Hormigón	58
5.4.2	Armadura activa	59
5.5	Estados Límites Último	64
5.5.1	Estado Límite Último frente a solicitaciones Normales	64
5.5.2	Estado Límite Último frente a Cortante	66

5.5.3	Estado Límite Último de esfuerzo Rasante	66
5.6	Estados Límites de Servicio	66
5.6.1	Estado Límite de Fisuración	67
6.	Formato de las Fichas Técnicas	69
6.1	Introducción	69
6.2	Contenido de las Fichas Técnicas	69
6.3	Partes de las Fichas Técnicas	70
7.	Modelo de las Fichas Técnicas	79
7.1	Introducción	79
7.2	Aplicación de las Fichas Técnicas	79
7.3	Formato de las Fichas Técnicas	80
7.4	Fichas de Características Técnicas	81
	Fichas de Características Técnicas modelo T-11-2	82
	Fichas de Características Técnicas modelo T-18-2	92
8.	Conclusiones	101
	Bibliografía	105
	Anexos	107
A1.	Anexo 1: Proceso de cálculo de las Fichas Técnicas	107
A1.1	Introducción	107
A1.2	Vigueta aislada	107
	A1.2.1 Parámetros estudiados de cada sección	107
	A1.2.2 Tensiones en la transferencia	108
	A1.2.3 Estado Límite Último frente a solicitaciones Normales	110
	A1.2.4 Estado Límite Último frente a Cortante	111
	A1.2.5 Estado Límite de Fisuración	111
A1.3	Forjado	111
	A1.3.1 Características de la homogeneizada del forjado	111
	A1.3.2 Estado Límite Último Positivo frente a solicitaciones Normales	112
	A1.3.3 Estado Límite Último Negativo frente a solicitaciones Normales	112
	A1.3.4 Estado Límite Último frente a Cortante	113
	A1.3.5 Estado Límite Último de esfuerzo Rasante	113

A1.3.6	Estado Límite de Fisuración	113
A2.	Anexo 2: Proceso de cálculo del PCBS	115
A2.1	Introducción	115
A2.2	Tensiones en las fibras en servicio	116
A2.3	Estados Límites estudiados	117
A2.3.1	Estado Límite Último frente a sollicitaciones Normales	117
A2.3.2	Estado Límite Último frente a Cortante	118
A2.3.3	Estado Límite Último de esfuerzo Rasante	118
A2.3.4	Estado Límite de Fisuración	118

Introducción

1.1 Planteamiento del problema y motivación del trabajo

El sistema constructivo más utilizado en la edificación en la historia de España es el forjado, y la tipología más utilizada en el último siglo es el forjado unidireccional formado por viguetas y bovedillas, que durante décadas ha estado obligado a disponer de la correspondiente Autorización de Uso, con la finalidad de permitir su empleo de forma legal en la construcción de viviendas.

La entrada de España en la Unión Europea ha comportado el cumplimiento del país, desde su incorporación, de las normativas y exigencias legales que todos los países miembros deben cumplir. Entre ellas, la exigencia del marcado CE, que se define como un conjunto de requisitos obligatorios para aquellos productos o familias de productos comercializados para los cuales se haya previsto algún tipo de normalización desde la Comisión Europea, y se responsabiliza al propio fabricante de su cumplimiento.

Formalmente tiene el aspecto de una etiqueta, que debe incluir el logotipo CE y los datos del fabricante, del producto, etc., y debe figurar en:

- El producto, o en una etiqueta adherida al producto.
- El embalaje del producto, o en una etiqueta adherida al embalaje del producto.
- Los documentos comerciales de acompañamiento.

La exigencia actual del marcado CE para las viguetas de hormigón prefabricado, voluntaria durante el año 2010 y de forma obligatoria a partir de enero de 2011, supone la última evolución del cambio normativo que se inició en España en 1941 y que ha evolucionado hasta la fecha.

Desarrollo y evolución de la normativa (López, 2003: 13-19; Andece, 2010)

En 1941, se inicia un proceso de reglamentación en la que se definieron una serie de restricciones en el empleo de acero, y que también se publicaron las primeras normas técnicas para el cálculo de dichos elementos.

El gran uso de los forjados, en este caso los unidireccionales, y los problemas estructurales surgidos en la década de los 40, produjo que la Administración decidiera establecer un marco reglamentario para el cumplimiento de los distintos elementos constructivos con las normas existentes. A ello se le denominó Autorización de Uso, materializado en el Decreto 124/1966.

Al cabo de 14 años se aprobó el Real Decreto 1630/1980, donde se recogía la experiencia acumulada en la construcción de forjados y adaptada a las reglamentaciones en la ejecución de proyectos. En la fabricación de viguetas pretensadas supuso un cambio, y fue la introducción de las Fichas de Características Técnicas que proporcionaban al proyectista datos sobre los elementos fabricados para el cálculo, ejecución y control del forjado. En ellas se describen técnicamente cada serie homogénea de elementos resistentes del sistema y de las unidades construidas con ellos.

Las distintas instrucciones de hormigón estructural, marco normativo general que regula el proyecto y la construcción de estructuras de hormigón en España, han ido evolucionado y prestando actualizaciones. Por ejemplo, desde la *Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón pretensado* (EP-77 o EP-93), o la *Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado y pretensado* (EF-96).

La aprobación de la *Instrucción de Hormigón Estructural*, la EHE-98, y más tarde la *Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados en elementos prefabricados*, la EHFE-02, comportó el aglutinamiento de las distintas normativas anteriores, y constituyó el penúltimo paso reglamentario antes de la entrada en vigor de la actual de la *Instrucción de Hormigón Estructural*, la EHE-08, que marca la última evolución de las Autorizaciones de Uso.

Situación actual

La EHE-08 establece que en el caso de elementos resistentes para pisos y cubiertas, que incluyan elementos prefabricados de hormigón que deban ostentar obligatoriamente el marcado CE, no será exigible la Autorización de Uso que hace referencia el Real Decreto 1630/1980 sobre fabricación y empleo de elementos resistentes para pisos y cubiertas.

Entonces, productos como las losas alveolares o las prelosas, que ya disponían de mercado CE obligatorio, dejaron de estar sometidos a tener que disponer de una Autorización de Uso. Sin embargo, para las viguetas prefabricadas pretensadas se mantenía la obligación de disponer de las Autorizaciones de Uso para permitir su empleo en forjados en su comercio dentro del Espacio Económico Europeo.

En diciembre de 2009, la Comisión Europea al respecto, publicó una nueva comunicación de los productos de construcción obligados a ostentar el marcado CE en la que se incluía por primera vez la norma europea de viguetas prefabricadas de hormigón pretensado para sistemas de forjado de vigueta y bovedilla (EN 15037-1:2008). Se instauró en ese momento, un periodo de aplicación voluntario del marcado CE del fabricante durante el 2010 y de obligación a partir de enero de 2011 (Tabla 1.1).

Exigencia reglamentaria	Periodo		
	1/12/08 a 31/12/09	1/01/10 a 31/12/10	A partir del 1/01/11
Autorización de Uso	Obligatoria	Obligatoria	No
Marcado CE	No (aunque está aprobada la norma europea)	Voluntario	Obligatoria

Tabla 1.1. Exigencias reglamentarias para forjados unidireccionales de viguetas de hormigón prefabricado

Fabricantes

A partir de enero de 2011, los fabricantes serán los únicos responsables de la garantía de sus productos con la aportación del marcado CE obligatorio. Además, podrán optar a un Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido (DOR), otorgado por un organismo competente y que sea conforme con los requisitos del Anejo 19 de la EHE-08.

Consecuencias

Cuando entro en vigencia la Instrucción EHE-08, fue aprovechada por el Ministerio de Vivienda (regulador y concesionario de las Autorizaciones de Uso) para adaptar las exigencias del mercado CE a las Autorizaciones de Uso.

El cambio más importante, fue el de pasar de demostrar que el fabricante disponía de un plan de autocontrol de la calidad de la producción, a tener que justificar la existencia de un sistema de autocontrol de producción en fábrica conforme a las exigencias de la EHE-08, mediante la aportación de un certificado de dicho control y evaluado por un agente externo (Tabla 1.2).

Documentación	Autorizaciones de Uso	Marcado CE
Fichas de Características Técnicas y Memoria de Cálculo	Obligatorio	Voluntario
Certificado expedido por un agente externo	Obligatorio	Obligatorio
Declaración de conformidad del fabricante	No	Obligatorio

Tabla 1.2. Comparación reglamentaria entre las Autorizaciones de Uso y el Mercado CE

Futuro de las Fichas de Características Técnicas

Las Fichas de Características Técnicas dejarán de ser obligatorias con la entrada en vigor del mercado CE. No obstante, su uso ha sido y es de gran valor para proyectistas y otros agentes. Aunque los fabricantes podrán seguir proporcionándolas de forma opcional, no hay un acuerdo entre las distintas partes.

Las Fichas Técnicas son y han sido utilizadas por proyectistas y por fabricantes desde su aparición. Los proyectistas, una vez calculados los forjados unidireccionales, comprueban sus resultados mediante las Fichas Técnicas para ver si las estructuras calculadas soportaban las distintas solicitudes que se habían tenido en cuenta. A la vez, los fabricantes venden las viguetas conscientes de que soportan las solicitudes de la estructura específica al realizar unos cálculos previos, y comparándolos con las tablas de las Fichas Técnicas.

La introducción de los DOR, para elementos prefabricados destinados a forjados unidireccionales, como las viguetas pretensadas, que proporcionarán un distintivo de calidad adicional, y que implicará entre otras cosas, la utilización de coeficientes de seguridad menores en los materiales (hormigón y acero), posiblemente garantizará la calidad de los elementos, pero se pierde la conexión existente entre el fabricante y el calculista.

El seguimiento por parte de un agente externo, comporta un control exhaustivo de la planta. La empresa debe presentar los certificados de la maquinaria y materiales empleados en la fabricación de viguetas, e informes sobre los ensayos realizados periódicamente.

La empresa Biguetes Solé S.L. ya cuenta con el control para la certificación del mercado CE, y a la vez mediante las Fichas Técnicas, aprobadas cada 5 años (la última en 2009), regula el control del cálculo de los forjados unidireccionales semiprefabricados formados por viguetas pretensadas y bovedillas.

La voluntariedad de las Fichas Técnicas obligará a los calculistas y a la empresa el deber de buscar otras vías que sustituyan las Fichas Técnicas, o continuar con ellas.

Por este motivo, se propone la realización de las Fichas de Características Técnicas desde una óptica distinta al actual. En primer lugar, no apruebo la voluntariedad por parte del fabricante de poseer las Fichas Técnicas, pero a la vez, propongo un nuevo formato de las Fichas Técnicas que sea de gran utilidad para el calculista, fabricante y agente externo regulador del mercado CE, que aparte de analizar la planta de fabricación, tenga el control de los forjados suministrados por la planta.

La posibilidad de crear un nuevo formato de las Fichas Técnicas, que englobe lo exigido en el mercado CE y los diferentes aspectos que proporcionan las actuales, así como también, el estudio de cada etapa que conforma la construcción de un forjado, desde la fabricación de las viguetas pretensadas hasta la evaluación de la estructura a largo plazo, presenta el documento que contentará a todas las partes.

Mediante un estudio más exhaustivo del forjado, se evalúan todos los aspectos y situaciones de la construcción del forjado unidireccional semiprefabricado. El conocimiento de las características de los materiales a lo largo del tiempo, y de las características de la unidad de obra más concreto, posibilita la evaluación del forjado en cualquier instante de su vida útil, y así, analizar como afectan posibles cambios de uso del forjado.

La aplicación de un nuevo método de cálculo, que evalúe cada una de las etapas, debe ser aplicado a los distintos elementos que conforman el forjado y a las distintas topologías.

1.2 Objetivos perseguidos

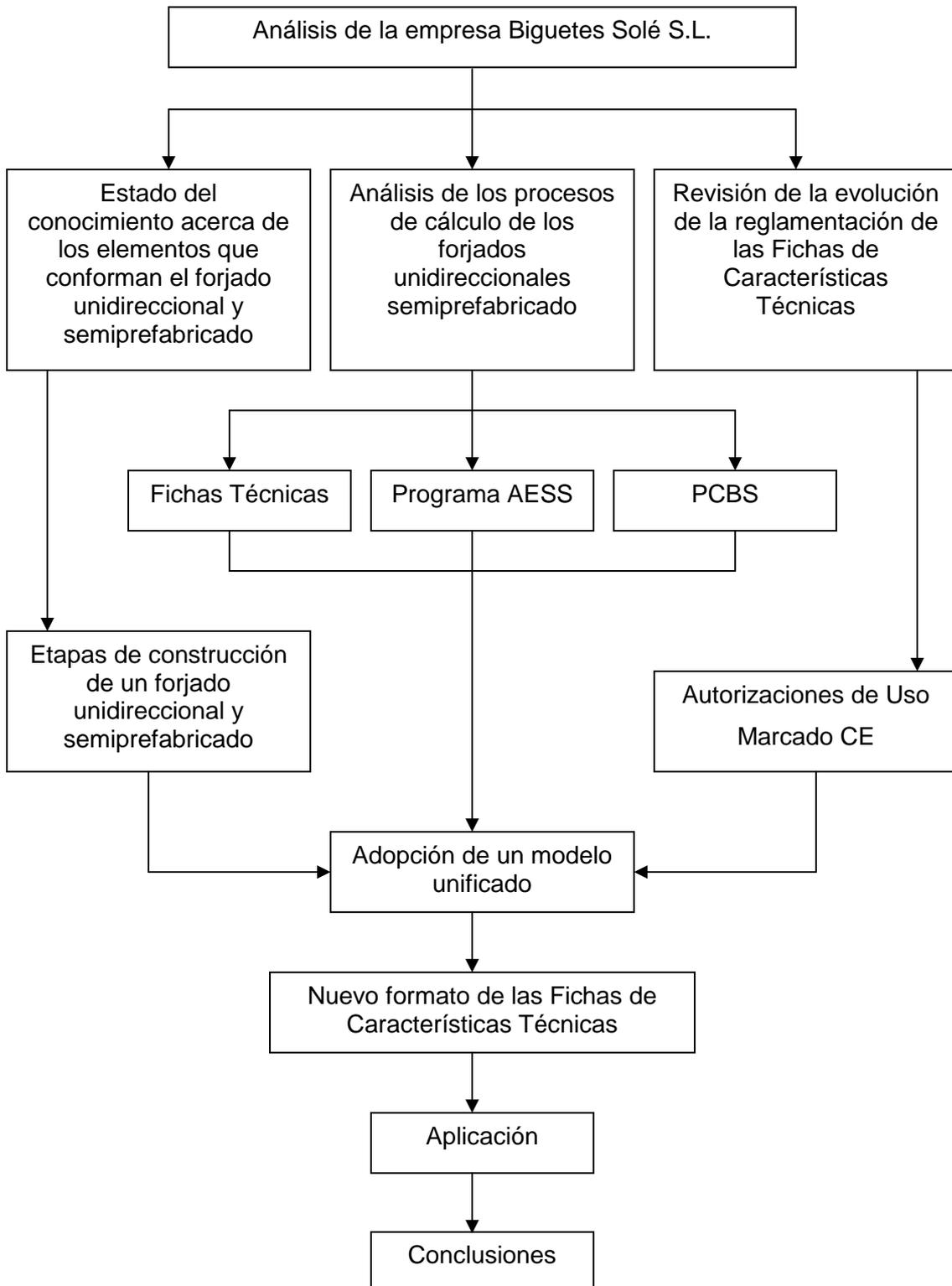
Los objetivos perseguidos en la presente Tesina son los siguientes:

- Estudio de las Fichas de Características Técnicas actuales y de su evolución a lo largo del tiempo desde su aparición.
- Revisión y adopción de los modelos de análisis, y de las ecuaciones constitutivas adecuadas para describir los fenómenos que rigen el comportamiento de los materiales que conforman el forjado. Implementación de una hoja de cálculo llamado PCBS (Programa de Cálculo de Biguetes Solé)
- Estudio de los modelos de análisis que emplean los distintos autores de las Fichas de Características Técnicas (Simón, 2004; Mallafrè, 2009), y la Tesina (De la Fuente, 2006) que implementa el programa AESS.

- Adopción de los principales coeficientes, y verificación de los Estado Límites que se realizan en las Fichas Técnicas sobre la vigueta pretensada y el forjado unidireccional semiprefabricado mediante el PCBS y el programa AESS.
- Mediante los programas PCBS y AESS, se realizarán todos los análisis pertinentes para cada una de las etapas que se ejecutan en la fabricación de viguetas pretensadas y en la construcción del forjado unidireccional y semiprefabricado.
- Análisis paramétrico para estudiar cómo influye su variación en el tiempo en el cálculo por etapas.
- Elaboración de un nuevo formato de las Fichas de Características Técnicas, conforme con las distintas etapas de construcción de un forjado, parámetros y aspectos de cada una de ellas.
- Adaptación de las Fichas de Características Técnicas al mercado CE y a la EHE-08.
- Aplicación de la estrategia de análisis presentada en la empresa de fabricación de viguetas pretensadas, y de servicio de los restantes elementos que conforman el forjado Biguetes Solé S.L. para adaptarse a la nueva normativa estipulada, y defender así, el uso de las Fichas Técnicas. Se estudia un caso concreto a partir de las viguetas que tienen mayor salida en el mercado y del tipo de forjado unidireccional más utilizado en la construcción.

1.3 Organización del trabajo

Los objetivos anteriormente planteados, se llevarán a cabo de forma ordenada siguiendo el esquema que, a grandes rasgos, se expone a continuación:



1.3.1 *La Empresa*

Biguetes Solé S.L. es una empresa familiar fundada en la década de los 60 del siglo pasado. La empresa se dedica a la fabricación de viguetas pretensadas y ofrece al cliente, aparte de las viguetas, los elementos restantes que conforman el forjado unidireccional semiprefabricado.

La evolución de la fabricación de la vigueta pretensada y de las necesidades de la sociedad, en cuanto a la construcción de viviendas, han supuesto que en la actualidad la planta fabrique tres modelos de viguetas:

- *Vigueta T-11*. Semivigueta de canto de 11 cm.
- *Vigueta T-16*. Autoportante de canto de 16 cm.
- *Vigueta T-18*. Autoportante de canto de 18 cm.

El estudio de las características y propiedades de las viguetas, se han adaptado al método de fabricación y a la tipología producida por la empresa Biguetes Solé S.L.

Las actuales Fichas Técnicas realizadas por Ingenierías (Simón, 2004; Mallafrè, 2009) se han adaptado al funcionamiento de la empresa, y a su particular producción de viguetas.

La planta de estudio debe analizar todos los aspectos que afectan al producto final, desde los materiales utilizados hasta el proceso de control de la vigueta pretensada.

Instalación y maquinaria para la producción de viguetas pretensadas

La prefabricación de viguetas pretensadas se realiza en una instalación industrial fija con el fin de producir de manera industrializada, y con una calidad muy controlada y uniforme. Se debe mencionar que para la fabricación de piezas de garantía en una industria fija, se necesita un proyecto correcto, instalaciones adecuadas, y materiales y procesos de fabricación controlados.

La prefabricación de viguetas pretensadas se puede realizar principalmente de dos maneras:

- Fabricación en mesas con moldes:
 1. Limpieza y preparación de los moldes.
 2. Enfilamiento de las armaduras.

3. Tesado y anclaje de las armaduras.
 4. Vertido y vibrado del hormigón.
 5. Periodo de espera.
 6. Destesado y corte de las armaduras.
- Fabricación en pistas mediante máquinas de encofrado deslizante (Figura 1.1):
 1. Limpieza y preparación de la pista de fabricación.
 2. Enfilamiento de las armaduras.
 3. Tesado y anclaje de las armaduras.
 4. Vertido y vibrado mediante una máquina de encofrado deslizante, más conocida como ponedora (Figura 1.2).
 5. Periodo de espera.
 6. Destesado y corte de las viguetas.

La producción de viguetas pretensadas que se realiza en la planta de Biguetes Solé S.L. realiza la fabricación mediante máquinas de encofrado deslizante. La utilización de una ponedora permite fabricar sin moldes fijos, y presenta la ventaja que no sólo la superficie superior, sino también las laterales, quedan rugosas, permitiendo una excelente adherencia con el hormigón *in situ*. Otra ventaja es la realización de una pieza continua sin separadores, que en el momento del corte de las piezas, después de la transferencia del pretensado, se puede cortar a la medida que se quiera.

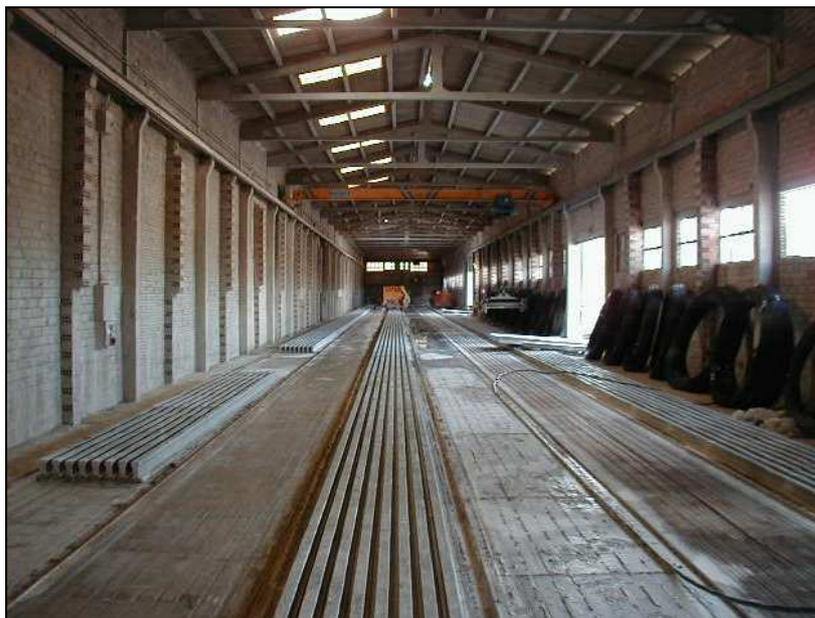


Figura 1.1. Fabricación en pista



Figura 1.2. Ponedora

El curado se puede realizar de distintas maneras, desde la utilización de calefacción al vapor a presión atmosférica hasta otros métodos. En el caso presente, al encontrarnos en una zona de temperaturas medias altas en la mayor parte del año, se realiza el curado mediante el calor del sol, cubriendo las piezas con plásticos transparentes para evitar la evaporación, con el fin de conseguir un ambiente saturado en la pieza.

1.3.2 Criterio de selección

En la Tesina se estudia un nuevo modelo de Fichas Técnicas a partir del estudio de un forjado real. Se estudiará el forjado unidireccional de canto 30 cm, compuesto por una capa de compresión de 5 cm y por bovedillas 60x25 (60 cm de ancho por 25 cm de altura). En este forjado se colocarán dos tipos de viguetas pretensadas, la semivigüeta pretensada T-11 de tipo T-2 y la vigüeta autoportante T-18 de tipo T-2 (Figura 1.3).

El estudio del forjado de 30 cm se debe a que ha sido el más utilizado en la construcción de viviendas en las que ha participado Biguetes Solé S.L. Por otra parte, el criterio de selección de ambas viguetas frente a los otros tipos de viguetas que la empresa fabrica, se debe a que son los productos de los dos tipos de viguetas con mayor volumen de ventas en los últimos 5 años (Figura 1.4). Del mismo modo, la selección de la bovedilla 60x25 (Figura 1.5) se debe a que es la pieza de entrevigado más empleada (Figura 1.6).



Figura 1.3. Secciones de viguetas T-16, T-18 y T-11 (de izquierda a derecha)

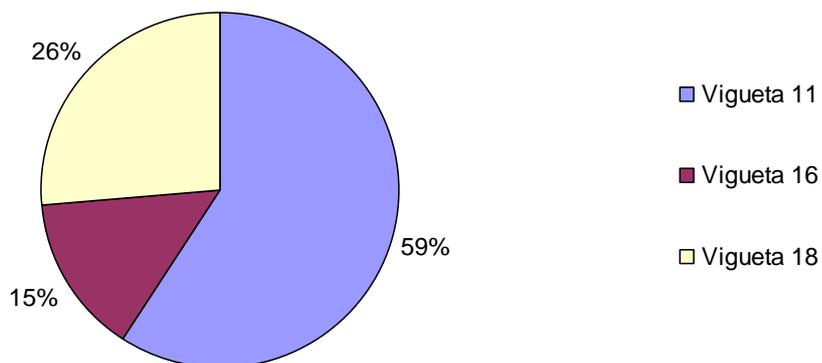


Figura 1.4. Porcentaje de ventas de viguetas pretensadas



Figura 1.5. Bovedillas de cerámica

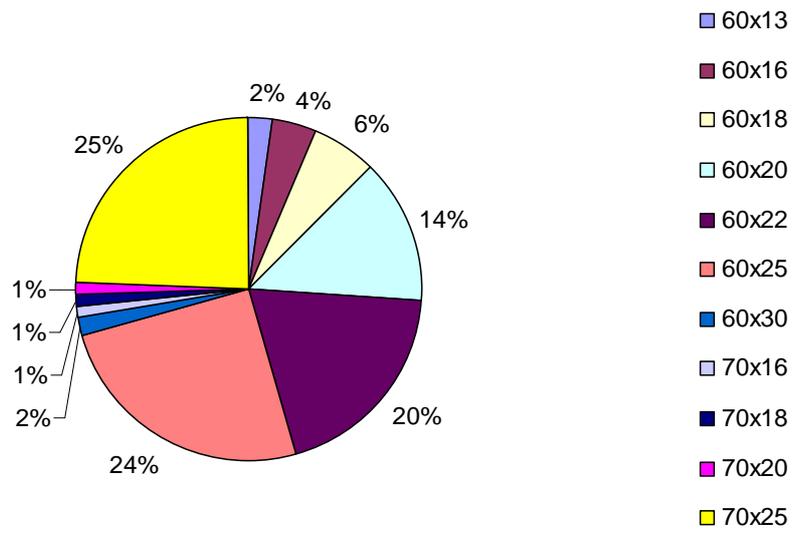


Figura 1.6. Porcentaje de ventas de bovedillas de cerámica

Revisión del estado del conocimiento

2.1 Introducción y objetivos

En el presente capítulo se describe el elemento estudiado en la Tesina: el forjado unidireccional semiprefabricado formado por viguetas pretensadas y por bovedillas.

La explicación del forjado, desde el análisis de sus funciones, hasta la descripción de los elementos que lo conforman, es necesaria para entender la composición del elemento estudiado, los cálculos realizados desde las distintas ópticas, así como también, el análisis del forjado construido evolutivamente en el tiempo sometido a una historia de cargas determinadas.

2.2 Forjado unidireccional semiprefabricado

El forjado es el elemento estructural plano, generalmente horizontal que desempeña las siguientes funciones:

- Estructurales:
 - Recibe directamente las acciones y las transmite a las viguetas y/o pilares, y por éstos a los restantes elementos de la estructura (cimentación y terreno).
 - Acción diafragma, es decir, solidarizar horizontalmente los entramados a nivel de cada planta con el fin de que el forjado se desplace en cada planta como un cuerpo rígido.

- Cuando se asocia monolíticamente a las viguetas, incrementar la capacidad resistente a flexión y torsión de éstas.
- Dar rigidez transversal a las viguetas.
- Funcionales:
 - Separación entre plantas consecutivas.
 - Aislamiento entre plantas.
 - Soporte de acabados y otros elementos (instalaciones, etc.).

El forjado unidireccional semiprefabricado se utiliza principalmente en la construcción de viviendas, teniendo un fuerte uso para edificios de planta irregular debido a la gran libertad para disponer las viguetas dentro de la planta, ya sea variando la dirección de las viguetas como sus longitudes. Por otra parte, si la construcción de la estructura es poco industrializada, este forjado es muy utilizado.

- Un forjado es unidireccional semiprefabricado cuando:
 - *Forjado unidireccional* por la disposición de los elementos en el que sólo le permite transmitir las cargas a los apoyos en una única dirección, siendo ésta la que define el sentido longitudinal de las viguetas. Flectan básicamente en una dirección y transmiten las cargas a las viguetas.
 - *Forjado semiprefabricado* por los elementos prefabricados que aportan una resistencia parcial que debe ser completada con una losa de hormigón y armaduras *in situ*.



Figura 2.1. Forjado unidireccional semiprefabricado

- Las características del forjado estudiado son las siguientes:
 - La rigidez de este tipo de forjados se consigue mediante la incorporación de una losa armada de hormigón (losa de compresión) que une todos los nervios del forjado. Esta losa está compuesta por una malla electrosoldada (armadura electrosoldada con varillas de acero en dos direcciones perpendiculares, en forma de malla) que se coloca sobre las bovedillas y que posteriormente se hormigona. Esta capa consigue el reparto uniforme de las cargas.
 - Para conseguir el efecto diafragma se colocan barras longitudinales de acero corrugadas en los extremos de las viguetas.
 - El forjado está constituido por piezas pequeñas y fácilmente manejables manualmente. Las correcciones en obra, incluyendo cortes y taladros, son sencillas.
 - Acabado inferior directo.
 - Tiene las ventajas e inconvenientes de un proceso artesanal en que predomina la mano de obra *in situ*.
 - Gran libertad para realizar cambios.

De entre los forjados unidireccionales semiprefabricados formados por viguetas pretensadas, se encuentran distintos tipos de forjados debido a la variación de colocación del número de viguetas juntas. Se destacan los siguientes:

- Nervios con una vigueta de hormigón pretensado (Figura 2.2).
- Nervios con doble vigueta pretensada (Figura 2.2).
- Nervios con triple vigueta pretensada.
- Todo viguetas (sin bovedilla).

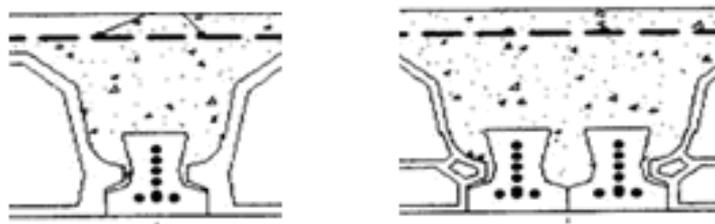


Figura 2.2. Nervios con una vigueta y con doble vigueta pretensada

2.3 Elementos del forjado: materiales y productos

El forjado unidireccional y semiprefabricado está compuesto por los siguientes elementos:

- *Viguetas prefabricadas de hormigón pretensado.*
- *Bovedillas.* Piezas de entrevigado cuya función puede ser de aligeramiento o también de colaboración en la resistencia. Suelen ser de hormigón, cerámica, de porexpan o de arcilla expandida.
- *Armaduras pasivas.* Barras de obra, longitudinales, transversales y de reparto (mallas electrosoldadas), colocadas previamente al hormigonado *in situ* en obra.
- *Losa superior o de compresión.* Hormigón vertido *in situ* para el relleno de nervios y la formación de la losa.

2.3.1 Vigüeta pretensada

La vigüeta pretensada es un elemento prismático de hormigón sometido a tensiones de compresión aplicadas mediante armaduras de acero activo, tensada antes de hormigonar, y que, posteriormente, al destensarla queda anclada al hormigón. Previamente, se verifica la resistencia adecuada.

La vigüeta se fabrica con pretensado para mejorar su comportamiento frente a las tracciones. Al comprimir el hormigón de la vigüeta, transcurrido un lapso de tiempo para el fraguado, se liberan los cables introduciendo la fuerza de pretensado.

Existen dos grandes grupos de vigüetas pretensadas, las autorresistentes o autoportantes y las semirresistentes o semivigüetas. Cada tipología de vigüetas (Tablas 2.1 y 2.2; Figuras 2.3 y 2.4), presenta distintas cuantías de acero variando la excentricidad de las cargas de pretensado, adecuándose cada una de ellas a los diferentes requerimientos del cálculo estructural.

Autorresistente o Autoportante

Las secciones de estas vigüetas son similares a las metálicas, en forma de doble T. Son los extremos de las mismas las que concentran las masas de la sección resistente, separadas por un alma más esbelta cuya función es unir los extremos y resistir el cortante. La forma de la misma es la que conduce a su capacidad resistente a flexión.

Estas viguetas resisten su peso propio y el de las cargas que apoyan sobre ellas sin la colaboración del hormigón vertido en obra, y no requieren de apuntalamiento previo para su colocación. Son especialmente indicadas en la formación de forjados sanitarios, separados del suelo a una distancia aproximada a los 30 cm. Otro tipo de vigueta perdería el material de apuntalamiento en su construcción. La Tesina estudiará la vigueta autoportante T-18-2 (Tabla 2.1; Figura 2.3).

Situación de las armaduras	Autoportante T-18					
	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
Z	1 \varnothing 5					
Y	-	-	-	-	1 \varnothing 5	1 \varnothing 5
X	-	1 \varnothing 5				
W	-	-	1 \varnothing 5	1 \varnothing 5	-	1 \varnothing 5
V	2 \varnothing 5	2 \varnothing 5	2 \varnothing 5	3 \varnothing 5	4 \varnothing 5	4 \varnothing 5

Tabla 2.1. Subtipos de viguetas T-18

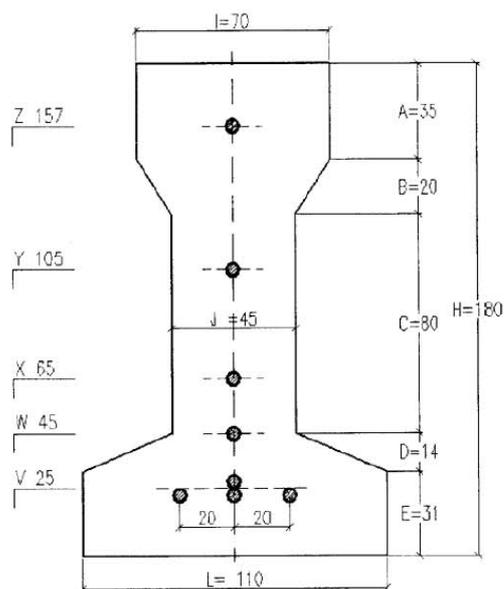


Figura 2.3. Sección de la vigueta autoportante T-18

Semirresistente o Semivigueta

No tienen cabeza de compresión como en el caso anterior. No son capaces de resistir cargas por sí mismas, y algunos modelos no soportan ni su propio peso. Al carecer de cabeza de compresión, no son capaces de resistir tracciones por efecto de la flexión, y por esta razón, requieren de apuntalamientos en muchos casos.

La ventaja que aporta esta vigueta es que los forjados construidos con ella resultan más monolíticos, porque el hormigón de relleno de senos y de la losa de compresión efectuado de una sola vez en obra, proporciona la cabeza de compresión para cada vigueta.

Este forjado presenta una sección donde los elementos resistentes tienen forma T, comportándose como una placa unidireccional y de gran monolitismo. Con un conjunto de estas viguetas es posible construir jácenas planas o también las losas de escaleras.

En esta Tesina se estudiará la semivigueta T-11 (Tabla 2.2; Figura 2.4). A continuación, se presentan los diferentes subtipos de viguetas T-11, entre ellas, la T-11-2, el subtipo analizado en el presente trabajo.

Situación de las armaduras	Semivigueta T-11				
	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
Z	-	-	-	-	1 \varnothing 5
Y	1 \varnothing 5	1 \varnothing 5	1 \varnothing 5	1 \varnothing 5	-
X	-	-	1 \varnothing 5	1 \varnothing 5	1 \varnothing 5
W	-	-		1 \varnothing 5	1 \varnothing 5
V	2 \varnothing 5	3 \varnothing 5	3 \varnothing 5	3 \varnothing 5	4 \varnothing 5

Tabla 2.2. Subtipos de viguetas T-11

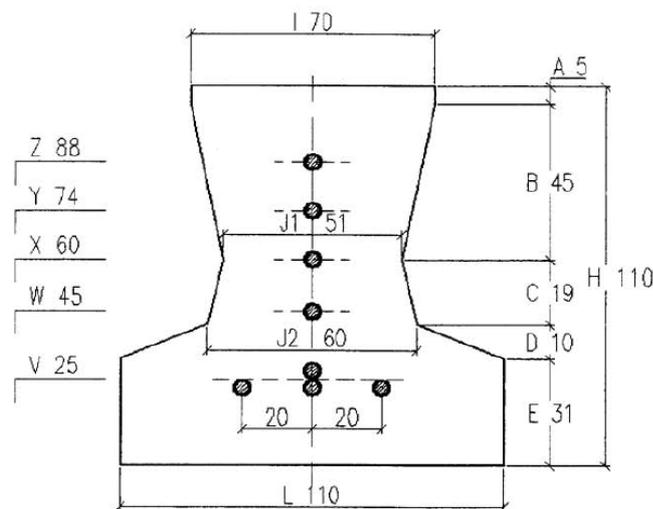


Figura 2.4. Sección de la vigueta autoportante T-11

Hormigón pretensado

Las viguetas se fabrican con un hormigón HP-45/P/12/IIa. Por tanto, la resistencia característica del hormigón es de $f_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$. Por otra parte, le corresponde una resistencia a tracción de $f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3}$ para $f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$ (EHE-08: Artículo 39.1). Entonces, $f_{ctm} = 3,80 \text{ N/mm}^2$.

El hormigón está formado por los siguientes materiales:

- *Cemento*. Cumplen los requisitos de la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 26). Se emplean los cementos comunes de los tipos CEM I principalmente, y CEM II/A-D.
- *Áridos*. Cumplen los requisitos de la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 28), tanto en características geométricas como físicas y químicas. En general, se utiliza arena hasta 5 mm y gravilla hasta 12 mm de ancho.
- *Agua*. Cumplen los requisitos de la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 27).
- *Aditivos*. Cumplen los requisitos de la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 29). Tienen como principal características que son aceleradores de la resistencia del hormigón.

Por otra parte, el ambiente utilizado en las Fichas Técnicas es el *IIa*, clase normal y subclase de humedad alta. Se utiliza tal ambiente ya que ocupa el 98% de los casos posibles (interior de edificios sometidos a humedades relativas media altas, >65%, o a condensaciones).

Armaduras activas

Las armaduras activas son aquellas que en cuyo tesado se introducen tensiones previas en el hormigón para la fabricación de viguetas pretensadas.

Para la fabricación de viguetas pretensadas el acero utilizado es de alta resistencia. Las características mínimas serán las correspondientes a la designación Y 1860 C de diámetro 5 (Tabla 2.3, parte de la EHE-08).

Tensión a rotura por tracción	$f_{yk} = 1860 N / mm^2$	
Límite elástico	$f_{yd} = 1585 N / mm^2$	
Alargamiento mínimo bajo carga máxima	3,5%	
Módulo elástico	$E_p = 180 \text{ a } 200 kN / mm^2$	
Relajación a las 1000 horas	60% de la carga de rotura:	1,5%
	70% de la carga de rotura:	2,5%
	80% de la carga de rotura:	4,5%

Tabla 2.3. Características del acero Y 1860 C

2.3.2 Bovedilla

Se entiende como bovedilla a la pieza de entrevigado. Desde el punto de vista de su colaboración en el forjado, las bovedillas se clasifican en bovedillas aligerantes y bovedillas resistentes o colaborantes.

Piezas aligerantes

Son aquellas piezas que no, generalmente, son consideradas como parte de la sección resistente del forjado. Se exige únicamente que el material de las bovedillas no resulte agresivo para el hormigón ni para las armaduras. Otra exigencia es que la carga característica de rotura en el centro de la pieza sea igual o mayor a 10 kN. Su posible colaboración se desprecia en el cálculo.

Pueden ser de cerámica, hormigón, poliestireno expandido u otros materiales suficientemente rígidos.

Piezas colaborantes

Son aquellas piezas que son consideradas como parte de la sección resistente del forjado. Se requieren los mismos requisitos que en las piezas aligerantes, pero se exige que sean de mortero o cerámica, con una resistencia a compresión no inferior a 25 MPa, ni a la del hormigón *in situ* del forjado. A continuación, se presenta (Tabla 2.4) la influencia de las bovedillas en un forjado (Calavera, 2002: 94).

Tipo de flexión del forjado	Influencia de las bovedillas en el comportamiento resistente		
	Nula sobre:	Débil sobre:	Importante sobre:
Longitudinal	El valor de las flechas remanentes.	El valor de las flechas totales.	La suma de las aberturas de todas las fisuras en talón de vigas.
	La fisuración inicial.	El valor del deslizamiento del hormigón in situ respecto a la pieza prefabricada.	La separación de los hormigones prefabricados e in situ en su superficie de contacto.
	El desarrollo de la fisuración.	El momento flector de rotura.	
	El valor de la carga de rotura.		
Transversal	La forma de rotura		
	El valor de las flechas totales.	La suma de aberturas de fisuras en talón de las viguetas.	La transmisión de esfuerzos sobre el talón de las viguetas.
	El valor de las flechas remanentes.	El valor de deslizamiento del hormigón in situ respecto a la pieza prefabricada cuando la tensión rasante supera los 4 kp/cm ² .	La forma de rotura.
	El principio de la fisuración.		El valor de la carga de rotura.
	El desarrollo de la fisuración en prerrotura.		

Tabla 2.4. Influencia de las bovedillas en el forjado

2.3.3 Losa de compresión

La losa de compresión tiene por objetivo unificar todo los elementos formados por el forjado y repartir uniformemente las cargas. Está formada por hormigón vertido en obra encima de las viguetas y de las bovedillas. El hormigón *in situ* vertido en obra debe contemplar 3 aspectos:

- *Resistencia característica a 28 días.* Es la indicada en los planos del proyecto de ejecución.
- *Tamaño máximo de árido.* El tamaño máximo de árido no será mayor que 20 mm debido a que debe rellenar los huecos entre la vigueta y las bovedillas.
- *Consistencia.* En condiciones normales, una consistencia adecuada es la blanda, que corresponde a un descenso en el ensayo mediante el Cono de Abrams de 6 a 9 cm. Otra consistencia adecuada es la plástica.

Generalmente, los hormigones vertidos en obra más utilizados son el HA-25/P/20/IIa o el HA-25/B/20/IIa.

2.3.4 Malla electrosoldada

La malla electrosoldada (mallazo) tiene por objetivo repartir las cargas y controlar la fisuración superficial. Se fabrican con alambres corrugados, e incluso, pueden fabricarse de barras corrugadas. Los alambres o las barras se cruzan entre sí perpendicularmente y cuyos puntos de contacto están unidos mediante soldadura eléctrica.

Pueden presentar distintos diámetros (de 4 a 12 mm) pero lo normal es colocar una malla compuesta por alambres corrugados de 5 mm. Se usarán normalmente un acero B 500 T.

2.3.5 Armadura pasiva para flexión negativa

Las armaduras pasivas que absorben los momentos negativos son barras de acero corrugado en forma de “L”, o longitudinales cuando unen viguetas. Se colocan en el extremo de las viguetas y sobre ellas. Se conocen coloquialmente en obra como “negativos”.

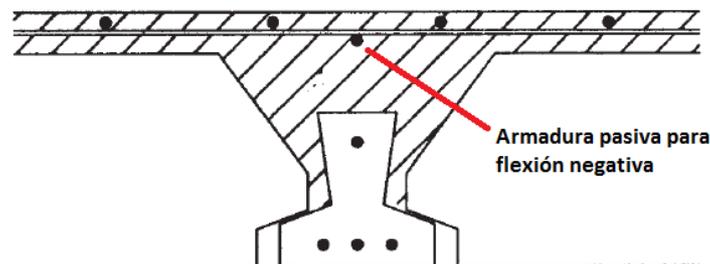


Figura 2.5. Situación de la armadura pasiva

Generalmente, se utilizan barras de tipo B 500 S (Tabla 2.5). De esta manera, da continuidad a las distintas partes del forjado, y a la vez, asegurar una conexión homogénea entre los zunchos colocados encima las paredes y el las viguetas.

Límite elástico	$f_{yk} = 500 N / mm^2$	
Tensión a rotura	$f_s = 550 N / mm^2$	
Alargamiento de rotura	12%	
Alargamiento total bajo carga máxima	Acero suministrado en barra:	5,0%
	Acero suministrado en rollo:	7,5%

Tabla 2.5. Características del acero B 500 S

2.4 Ejecución del forjado

A continuación se describen las etapas que constituyen la construcción de un forjado unidireccional semiprefabricado (Castillo et al., 1987; Calavera, 2002: Capítulo 30).

Transporte, descarga y manipulación

Las viguetas se transportarán mediante un transporte pesado. Es importante tener en cuenta aspectos como la forma y puntos de suspensión, el apoyo entre piezas durante el propio transporte y los posibles efectos dinámicos.

La disposición de las viguetas pretensadas en el vehículo de transportes es la misma que en obra. En el almacenamiento de las viguetas en el transporte y en la obra, las piezas deben apoyarse siempre cerca de sus extremos y sobre listones o tablones de madera colocados como máximo 0,50 m del extremo de la pieza (Figura 2.6). Por otra parte, las alturas de pilas no deberán ser mayores a 1,50 m, salvo que el fabricante indique otro valor.

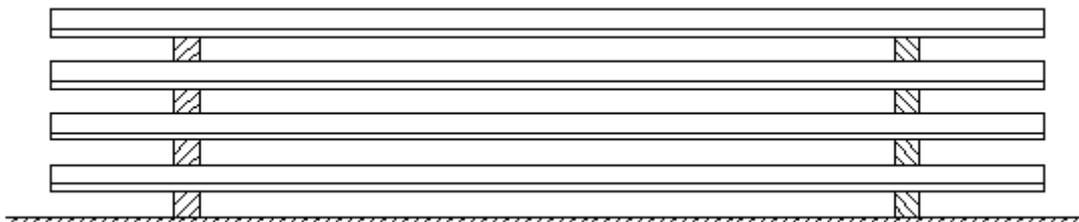


Figura 2.6. Disposición de acopio y de transporte de las viguetas

El transporte deberá realizarse siempre con sistemas de suspensión que no ocasione compresiones importantes en las piezas o malformaciones (Figura 2.7). Un buen sistema son eslingas muy inclinadas.

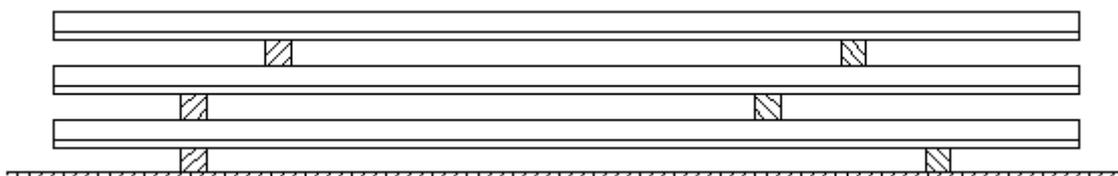


Figura 2.7. Disposición inadecuada de acopio y de transporte de las viguetas

Acopio en obra

El manejo y el almacenamiento deben realizarse de la misma forma que en el apartado anterior (Figura 2.6).

Apuntalamiento

La colocación de viguetas sobre muros o paredes de carga se realiza sobre tabloncillos para que quede elevada sobre el nivel inferior de la cadena de atado (Figura 2.9). Esto asegura un buen reparto de las reacciones de apoyo sobre el muro.

La colocación de sopandas requiere un proceso comprendido en 3 etapas:

- Las sopandas se colocan claramente por debajo de los apoyos.

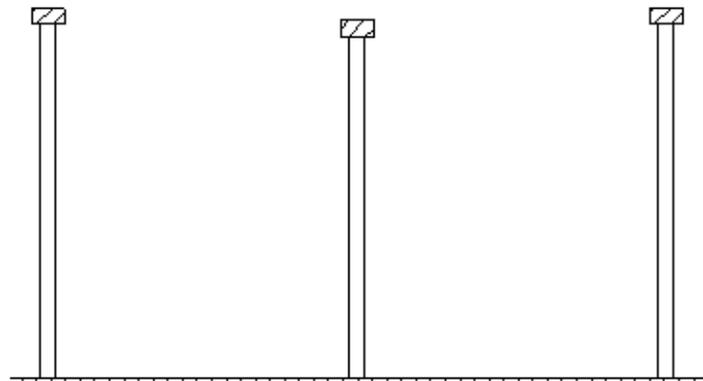


Figura 2.8. Colocación de las sopandas

- Se coloca la vigueta, que tomará flecha instantánea de peso propio trabajando con luz completa, pero quedando una contraflecha.

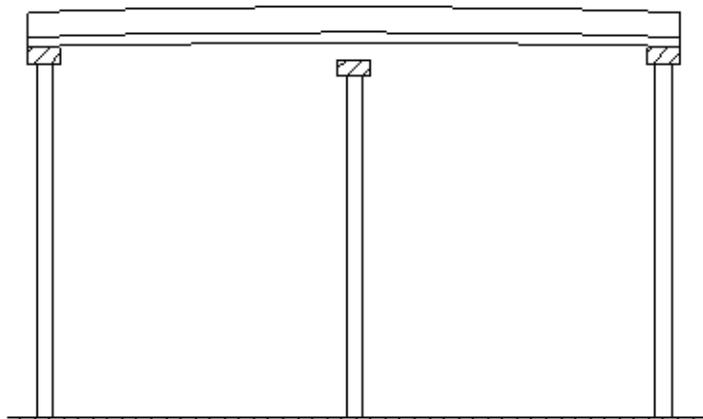


Figura 2.9. Colocación de la vigueta

- Las sopandas se suben hasta entrar estrictamente en contacto con la pieza, sin forzarla en absoluto, siendo preferible dejar las sopandas 1 o 2 cm más bajas.

Si no existe apuntalamiento entre puntales, lo habitual es colocar el puntal y la sopanda después de colocadas las vigas, sin pasar por la primera etapa.

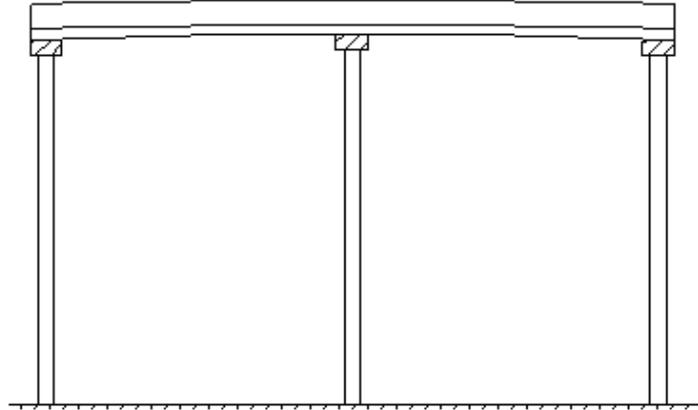


Figura 2.10. Configuración final del apuntalamiento

Las cargas de los puntales se deben repartir mediante durmientes, en especial cuando apoyan en el terreno. Además el apuntalamiento debe ser arriostrado si la altura del forjado supera los 2,60 m o si los pesos propios del forjado son superiores a 3 kN/m².

Colocación de las viguetas y las bovedillas

Una vez niveladas las sopandas, se procede a la colocación de las viguetas. Acto seguido, se ajustan los puntales y se colocan las bovedillas.

La colocación de las bovedillas se realiza del punto medio de la luz libre de las viguetas, hacia cada extremo. Con este orden de colocación de las bovedillas, se llena el espacio libre entre viguetas hacia sus extremos. El posible hueco que quede entre el zuncho y la bovedilla, insuficiente a veces para colocar otra pieza, se maciza con hormigón armado. De esta manera, se produce una unión entre el macizado y el zuncho, motivo por el cual, la colocación de las bovedillas se inicia desde el centro de las viguetas. Para un control de la seguridad en obra, se recomienda que los operarios las coloquen encima de un entablado.

Colocación de las armaduras

Se coloca la armadura de negativos encima o debajo de la armadura de reparto, a la cual se fijará para que mantengan su posición. Por otra parte, se dispondrá de separadores entre las bovedillas y las armaduras de reparto.

Hormigonado de la losa

El hormigonado no presenta a priori problemas, puesto que la altura de vertido es pequeña. Debe recordarse que el forjado se debe hormigonar al mismo tiempo que las vigas. Si se hormigonan primero las viguetas, hasta nivel de forjado, y acto seguido las bovedillas, provoca la aparición de una junta innecesaria y perjudicial a efectos de esfuerzos rasantes de las viguetas.

La compactación debe realizarse por vibración. Es un factor importante, sobretodo en forjados compuestos por semiviguetas, para asegura una conexión óptima del hormigón vertido con el de las viguetas. La compactación es tan importante como la rugosidad de la superficie de las viguetas.

Curado

El curado debe iniciarse tan pronto como sea posible, sin que haya riesgo de lavado de la superficie de la cara superior.

En cuando la duración del curado, pueden seguirse las recomendaciones de la EHE, donde va en función de la temperatura ambiente y de la humedad relativa. Generalmente, se toma 1 a 3 días de curado.

La falta de curado, aunque no afecta en gran medida a la resistencia a compresión del hormigón, reduce la resistencia a tracción y aumenta la velocidad de carbonatación del hormigón, lo que acelera la velocidad de corrosión de las armaduras.

Desapuntalamiento

Previa autorización de Director de Obra, se procederá al desapuntalamiento. El orden será desde los vanos interiores del centro hacia los apoyos, y en los voladizos, del vuelo hacia el arranque. El descimbrado no se ejecutará de forma brusca para evitar efectos perjudiciales de tipo estructural, y siempre, se observará el comportamiento del forjado, tanto por la cara inferior como para la superior.

2.5 Control en la construcción del forjado

Control de recepción de los elementos resistentes y piezas de entrevigado

El control se debe realizar de acuerdo con las prescripciones técnicas de la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículos 84 y 85). En todo suministro de material que llega en obra se deben realizar las comprobaciones que se presentan a continuación:

- Los elementos y piezas deben estar legalmente comercializados y comercializados.
- La vigueta debe llevar una marca que identifique el fabricante y el tipo de cemento. Se deben garantizar las características especificadas para el producto en la autorización de uso.
- Que las características de armado de la vigueta y de las piezas de entrevigado cumplan las condiciones reflejadas en la autorización de uso.

Control del hormigón y armaduras colocados en obra

El control se debe realizar de acuerdo con las prescripciones técnicas de de la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículos 86 a 91).

Control de la ejecución

El control se debe realizar de acuerdo con las prescripciones técnicas de la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 17). Se destacan los siguientes aspectos:

- Cumplimiento de los acopios.
- Las viguetas no deben presentar daños.
- Correcta ejecución de los apeos (distancia entre sopandas, diámetros y resistencia de los puntales).
- La colocación de viguetas con el intereje previsto en los planos.
- La longitud y diámetro de las armaduras colocadas en obra.
- Posición y fijación de las armaduras mediante separadores adecuados.
- Las disposiciones constructivas previstas en el proyecto.

- Limpieza y regado de las superficies antes del vertido del hormigón.
- El espesor de la losa superior de hormigón.
- La compactación y curado del hormigón.
- Las condiciones para proceder al desapuntalamiento.

2.6 Documentación del forjado

Documentación del forjado para su ejecución

(EHE-08: Anejo 21)

En los planos de la estructura del proyecto, debe figurar la siguiente información como mínimo:

- Cargas consideradas en el cálculo.
- Características del hormigón y del acero, con los respectivos coeficientes de seguridad.
- Las sollicitaciones más desfavorables en cada tipo de nervio del forjado.
- Los huecos para el paso de instalaciones.

En los planos de ejecución del forjado, a parte de la información anterior, se debe incluir los siguientes:

- Referencia de la Autorización de Uso concedida para el forjado utilizado.
- Distintivo de calidad reconocido por algún órgano superior.
- Tipo de vigueta a utilizar en cada zona, indicando la separación de viguetas, forma, dimensiones y material de la pieza de entrevigado y espesor de la losa superior de hormigón vertido en obra.
- Longitud, posición y diámetros de las armaduras que deben colocarse en obra.
- Apeos necesarios.
- Detalles de los enlaces del forjado con la estructura principal y de las zonas macizadas.

Documentación final de obra

(EHE-08: Anejo 21)

Respecto el forjado, la documentación final de obra será:

- Copia de las Fichas de Características Técnicas del forjado utilizado, en las que figure el sellado de la Autorización de Uso concedida.
- Planos actualizados de los forjados realmente ejecutados, reflejando las modificaciones introducidas.
- Resultado del control realizado.
- Justificación documental aportada por el fabricante.

2.7 Fichas de Características Técnicas actuales

Como se ha escrito en la Introducción (Capítulo 1) de la presente Tesina, las Fichas de Características Técnicas son los documentos que describen técnicamente cada serie homogénea de elementos resistentes del sistema y de las unidades construidas con ellos.

Las actuales Fichas Técnicas contienen la siguiente información:

- Configuración geométrica de la vigueta.
- Descripción de la bovedilla, el forjado, los materiales empleados, el armado de la vigueta y las características mecánicas de la vigueta aislada.
- Características mecánicas para cada tipo de forjado y vigueta cuando se encuentra a flexión positiva (y negativa): momento último positivo, momento de fisuración, rigideces, momentos límite de servicio para cada clase ambiental de exposición, valores de cortante último y de rasante último.

Actualmente, la redacción de las Fichas Técnicas se inicia con la caducidad de las mismas. Acto seguido, el Fabricante de los elementos que constituyen el forjado, debe comunicar al encargado de redactar y recalculas las Fichas Técnicas un conjunto de información técnica que le permita renovarlas:

- Actualización del proceso de fabricación.
- Actualización de los materiales utilizados.

Así mismo, el calculista de las Fichas Técnicas debe adaptar todos los cálculos a la normativa vigente.

2.8 Formato de las actuales Fichas Técnicas

Se presenta a continuación el formato hasta la fecha actual de las Fichas Técnicas, concretamente para el modelo T-11:

**FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
DEL FORJADO DE VIGUETAS
PRETENSADAS**

MODELO Tipo:

EMPRESA:

TÉCNICO AUTOR DE LA MEMÒRIA:

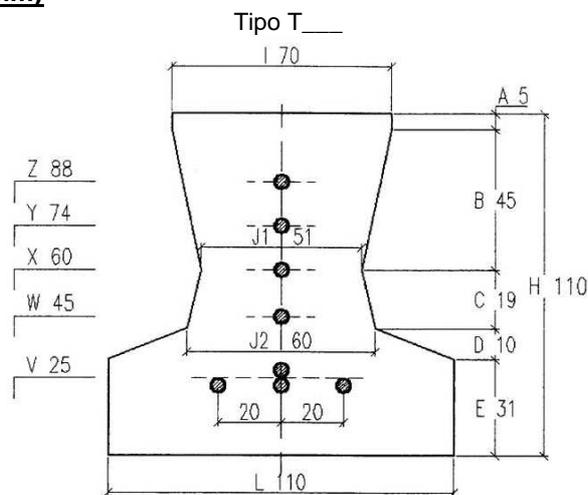
Fulla nº 1 de 4

ADMINISTRACIÓN REGULADORA

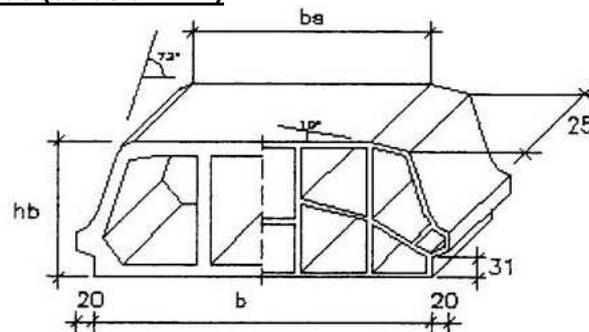
FECHA DE APROBACIÓN DE LAS FICHAS
TÉCNICAS

CADUCIDAD DE LAS FICHAS TÉCNICAS

1.- Vigueta (cotas en mm)



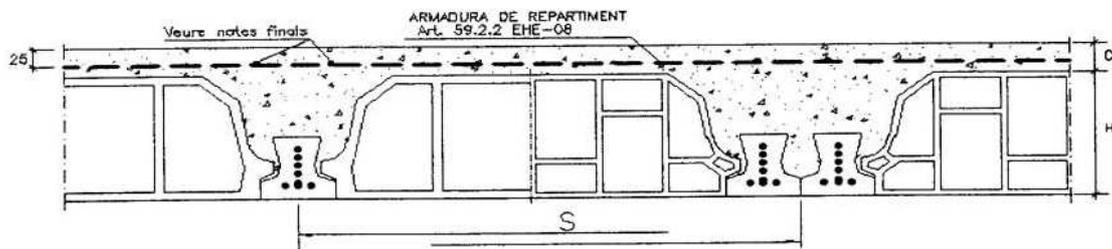
2.- Pieza de entrevigado (cotas en mm)



Tipo (hb x eje)	Cotas i coordenadas en mm			Pes (N/ut)		
	hb	b	bs	Cerámica	Hormigón	Poliéster
16 x 70						
16 x 60						
18 x 70						
18 x 60						
20 x 70						
20 x 60						
22 x 70						
22 x 60						
25 x 70						
25 x 60						
30 x 70						
30 x 60						

FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO DE VIGUETAS PRETENSADAS	ADMINISTRACIÓN REGULADORA
MODELO Tipo: _____	FECHA DE APROBACIÓN DE LAS FICHAS TÉCNICAS
EMPRESA: _____	
TÉCNICO AUTOR DE LA MEMÒRIA: _____	
Fulla nº 2 de 4	CADUCIDAD DE LAS FICHAS TÉCNICAS

3.- Forjados



Tipo de Forjado (h + c)*s[/D]	Pieza de entrevigado	Hormigón in situ	Peso (kN/m ²)		
		Litres/m ²	Cerámica	Hormigón	Poliéster
(16 + 5) x 70	16 x 70				
(16 + 5) x 60	16 x 60				
(18 + 5) x 70	18 x 70				
(18 + 5) x 60	18 x 60				
(20 + 5) x 70	20 x 70				
(20 + 5) x 60	20 x 60				
(22 + 5) x 70	22 x 70				
(22 + 5) x 60	22 x 60				
(22 + 5) x 70 D	22 x 70				
(25 + 5) x 70	25 x 70				
(25 + 5) x 60	25 x 60				
(25 + 5) x 70 D	25 x 70				
(30 + 5) x 70	30 x 70				
(30 + 5) x 60	30 x 60				
(30 + 5) x 70 D	30 x 70				

4.- Materiales y Control

Hormigón vigueta:

Hormigón in situ:

Acero armadura activa:

Acero refuerzo superior:

Acero refuerzo superior:

Tipo

Resistencia
característica

Coefficiente de
seguridad

Normativa
cumplida

FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO DE VIGUETAS PRETENSADAS	ADMINISTRACIÓN REGULADORA
MODELO Tipo: _____	FECHA DE APROBACIÓN DE LAS FICHAS TÉCNICAS
EMPRESA: _____	
TÉCNICO AUTOR DE LA MEMORIA: _____	
Fulla nº 3 de 4	CADUCIDAD DE LAS FICHAS TÉCNICAS

5.- Armado de la vigueta

Tipo de vigueta		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
Situación de las armaduras	Z	-	-	-	-	1ø5
	Y	1ø5	1ø5	1ø5	1ø5	-
	X	-	-	1ø5	1ø5	1ø5
	W	-	-	-	1ø5	1ø5
	V	2ø5	3ø5	3ø5	3ø5	4ø5
Tensión inicial (N/mm ²)						
% Pérdidas totales a tiempo infinito (c.d.g.)						

6.- Características mecánicas de la vigueta aislada

Tipo de vigueta		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
Módulo resistente (cm ³)	W _{inf}					
	W _{sup}					
Tensión pretensado (N/mm ²)	σ _{p.inf}					
	σ _{p.sup}					
Momento Último (kNm)	Positivo					
	Negativo					
Rigidez total E·I _b (MN·m ²)						
Cortante (kN)	V _u					
Momentos de Servicio Positivo	M ₀ D					
	M ₀ ' TL					
	M _{0,2} FC					

FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO DE VIGUETAS PRETENSADAS	ADMINISTRACIÓN REGULADORA
MODELO Tipo: <hr/>	FECHA DE APROBACIÓN DE LAS FICHAS TÉCNICAS
EMPRESA: <hr/>	
TÉCNICO AUTOR DE LA MEMÒRIA: <hr/>	
Fulla nº 4 de 4	CADUCIDAD DE LAS FICHAS TÉCNICAS

7.- Forjado: _____.

Flexión POSITIVA

Tipo de vigueta	Módulo resistente Winf (cm ³ /m)	Momento Último Mu (mkN/m)	β	Rigidez (m ² ·MN/m)		Momento Límite Servicio (m·kN/m)			Cortante Último (kN/m) Vu
				Total E·I	Fisurada E·Ifis	M ₀ D	M ₀ ' TL	M _{0,2} FC	
T-1									
T-2									
T-3									
T-4									
T-5									
T-6									

Flexión NEGATIVA

Refuerzo Superior por Vigueta	Asu (mm ²)	Momento Último (m·kN/m)		Rigidez (m ² ·MN/m)		Momento Fisuración (m·kN/m)	Cortante Último (kN/m) Sección Maciza Vu
		Sección Tipo	Sección Maciza	Total E·I	Fisurada E·Ifis		
1ø10							
2ø8							
1ø12							
2ø10							
1ø16							
2ø12							
1ø20							
2ø16							
3ø16							
2ø20							

Bases de cálculo del Programa AESS

3.1 Introducción

El presente capítulo describe las bases de cálculo del programa AESS realizado por Albert de la Fuente Antequera (2006) en su Tesina de final de carrera: *Análisis no lineal y comportamiento en servicio y rotura de secciones construidas evolutivamente sometidas a flexocompresión recta*.

El programa AESS tiene implementado distintos métodos para los análisis instantáneos y diferidos de una sección. Las secciones para poder ser estudiadas deben cumplir las siguientes hipótesis:

- Las secciones continúan siendo planas después de la aplicación de una carga o de una deformación impuesta.
- No se tienen en cuenta las deformaciones por tensiones tangenciales.
- Se admite adherencia perfecta entre los materiales que constituyen la sección.
- Se considera que los esfuerzos se aplican en un plano de simetría de la sección, originándose una situación de flexocompresión recta.

De entre los métodos implementados, para el estudio de la vigueta y de la sección compuesta vigueta - losa de compresión se utilizará el método paso a paso.

3.2 Método paso a paso

El método paso a paso es el más general de todos, y seguramente el más completo. Puede aplicarse para cálculos lineales y no lineales (Fernández, 2003), y considera cualquier historia de tensiones en la estructura y cualquier tipo de geometría y sección

Este método se adapta para resolver la integral de Volterra:

$$\varepsilon_c(t) = \frac{\sigma_c(t_0)}{E_c(t_0)} [1 + \varphi(t, t_0)] + \int_{t_0}^t \frac{1 + \varphi(t, \tau)}{E_c(\tau)} \frac{d\sigma_c(\tau)}{d\tau} d\tau \quad (3.1)$$

En el método se calcula la evolución en el tiempo de una estructura dada, tanto en su comportamiento seccional como estructural en un número discreto de pasos temporales. De esta forma, la integral de Volterra se resuelve de manera aproximada convirtiéndola en un sumatorio para un número de intervalos discreto:

$$\varepsilon_c(t) = \frac{\sigma_c(t_0)}{E_c(t_0)} [1 + \varphi(t, t_0)] + \sum_{i=1}^m \frac{1 + \varphi(t, \tau)}{E_c(\tau)} \frac{d\sigma_c(\tau)}{d\tau} d\tau \quad (3.2)$$

El método paso a paso se analiza la evolución en el tiempo de una sección en un número discreto de pasos. Para el estudio seccional, se plantea al final de cada intervalo las ecuaciones constitutivas, de equilibrio y de compatibilidad, necesarias debido a las deformaciones reológicas que se producen en los materiales.

3.2.1 Etapas del método paso a paso

Las etapas del método paso a paso en cada paso son las siguientes (Fernández, 2003):

1. Se parte de un estado inicial obtenido de un cálculo a tiempo cero de la estructura.
2. Posteriormente, se deja transcurrir un intervalo de tiempo en el que se permite la libre deformación de las fibras, posteriormente anularlas mediante la aplicación de unas tensiones de compatibilidad.
3. Finalmente, se reaplican las tensiones sobre la sección total. El estado final así obtenido pasa a ser el estado inicial del siguiente paso. Se inicia el ciclo nuevamente.

Al existir materiales con diferentes módulos de deformación, se adopta uno de los módulos de deformación como el de referencia y a él se homogeneiza los demás.

Los tiempos de evaluación de la función suelen tomarse como incrementos logarítmicos para así recoger la rápida variación existente al principio de las tensiones. La mayor eficacia numérica se obtiene usando períodos en los que la deformación diferida sea similar, lo cual conduce a intervalos de longitud creciente, ya que la función de fluencia crece rápidamente en los instantes cercanos a los de la aplicación de la carga y va disminuyendo con el tiempo. Los incrementos de tensión pueden aplicarse al principio del intervalo o en un punto medio del mismo.

El programa AESS estudia diferentes tipos de secciones. Éstas son las siguientes:

- *Secciones simples.* constituidas por un solo hormigón y reforzada con armadura activa y/o pasiva.
- *Secciones metálicas.* solamente se utiliza como material el acero estructural, ya sea un perfil laminado en caliente o perfiles soldados.
- *Secciones compuestas.* Conjunto de piezas formadas por más de una sección parcial de hormigón. Es la extensión de las secciones simples.
- *Secciones mixtas.* consisten en una sección parcial metálica y una o más secciones parciales de hormigón.

3.2.2 Convenio de signos. Idealización de la sección

Las secciones pueden estar formadas por diversos materiales y deben tener un eje de simetría contenido en el plano de carga.

Cada sección se descompone en una serie de trapecios, los cuales se discretizan en capas paralelas entre sí y perpendiculares al eje de simetría. Las capas están compuestas exclusivamente de un solo material, aunque se pueden superponer diversas capas para representar distintos materiales situados en la misma ordenada.

Con todo lo expuesto, se puede simular la construcción de secciones por fases.

3.2.3 Discretización del tiempo

La discretización del tiempo se ha llevado a cabo definiendo una serie de etapas, las cuales representan instantes en las que se aplica alguna acción externa o simplemente hay un cambio en las condiciones de vinculación y condiciones de contorno.

El modelo de análisis de secciones que se emplea distingue las etapas expuestas en la construcción de un forjado unidireccional y semiprefabricado.

3.3 Hipótesis de las características de los materiales y del modelo de cálculo

3.3.1 Hormigón

Comportamiento instantáneo

AESS emplea en compresión un diagrama tipo Thorenfeldt, Tomaszewicz y Jensen¹:

$$\sigma_c = f_{cm} \frac{n \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cf}}{\varepsilon_c'} \right)}{n - 1 + \left(\frac{\varepsilon_{cf}}{\varepsilon_c'} \right)^{nk}} \quad (3.3)$$

Donde:

$$n = 0,8 + \frac{f_{cm} (MPa)}{17}$$

$$\varepsilon_c' = \frac{f_{cm}}{E_{cm}} \frac{n}{n - 1}$$

$$k = 0,67 + \frac{f_{cm}}{62} \geq 1,0$$

Se utiliza este diagrama debido a que reproduce fielmente el comportamiento en compresiones de hormigones no confinados con f_{ck} comprendidas entre los 25-100 Mpa.

En tracción se acepta una ley lineal hasta la tensión de fisuración f_{ctm} de la fibra. Posteriormente, para la misma deformación de fisuración ε_{cr} la tensión se reduce al 50% y progresa decreciendo linealmente hasta una deformación de $4\varepsilon_{cr}$.

¹ Ecuación utilizada para la confección del diagrama Momento-Curvatura.

Comportamiento diferido

Se utiliza el modelo presentado en De la Fuente (2006), dónde se considera una fibra de la sección que sufrirá una serie de redistribuciones en el tiempo, y que ocasionarán que su deformación aumente, y al perder rigidez comparativamente con el resto de materiales de la sección, se descargue (Figura 3.1).

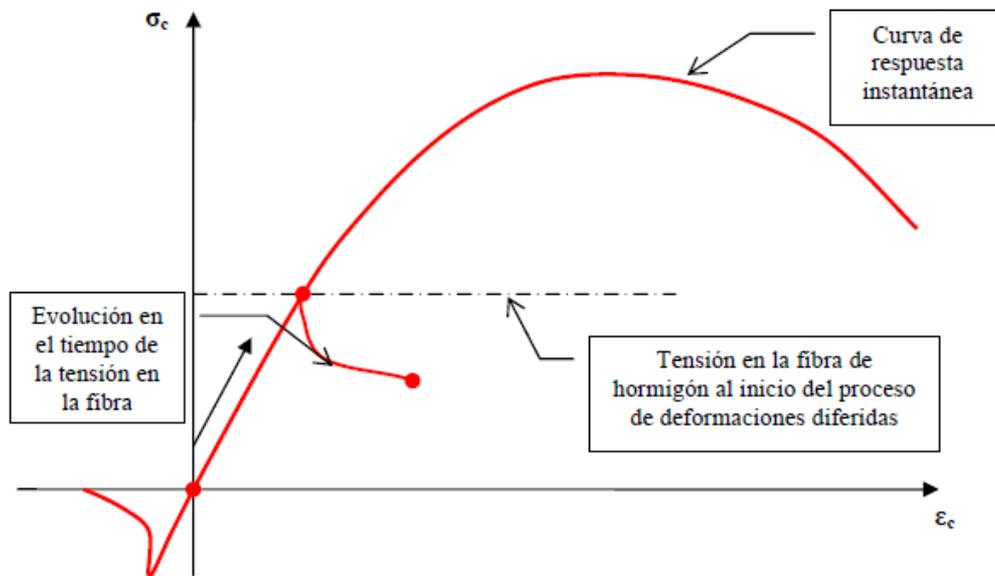


Figura 3.1. Evolución de la tensión en el tiempo

Alcanzado el nuevo punto de equilibrio en la fibra, si se procede a una recarga, el comportamiento se asume elástico hasta alcanzar el nivel máximo anterior. Continuando la carga por la rama instantánea que ese momento presente el hormigón (Figura 3.2).

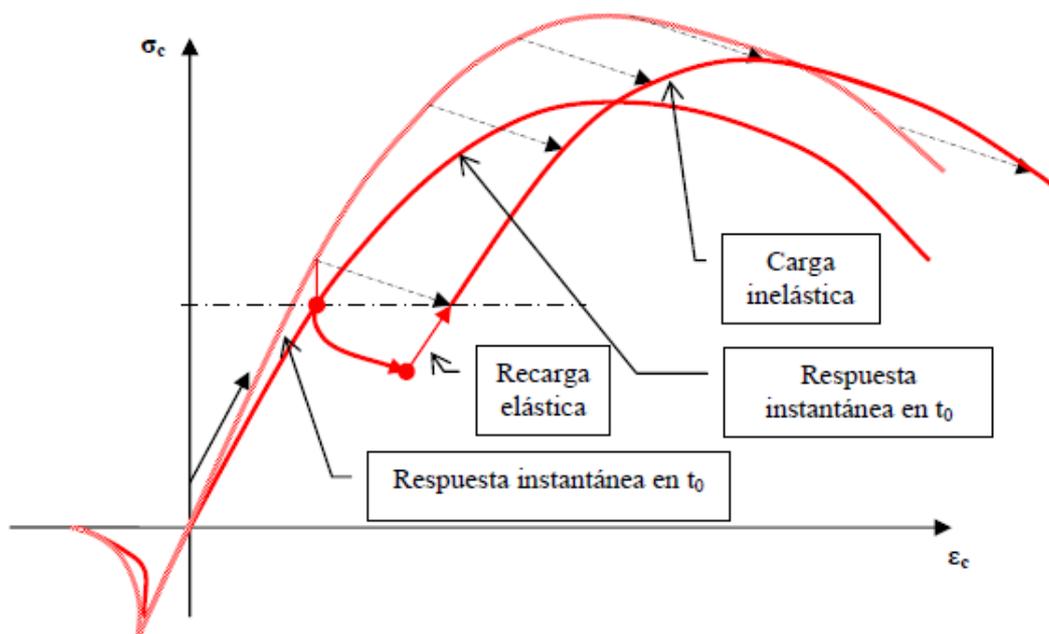


Figura 3.2. Proceso de descarga y recarga

La evolución de la carga-descarga de la fibra de hormigón en el tiempo puede aplicarse a la fibra repetidamente.

El cálculo de las redistribuciones en el tiempo (integración de la ecuación de Volterra) en la Tesina se efectúa mediante el método paso a paso.

3.3.2 Acero activo

Para la modelización de la curva de comportamiento del acero activo, AESS utiliza la formulación Ramberg-Osgood modificada debido a la sencillez analítica de su expresión y no ser una función definida por intervalos. Esta curva es:

$$\sigma_p = E_p \varepsilon_{kf} \left(A + \frac{1-A}{[1 + (B\varepsilon_{kf})^c]^{\frac{1}{c}}} \right) \leq f_{pu} \quad (3.4)$$

Donde A , B y C son valores que varían según el tipo de acero. Por ejemplo, para aceros de baja relajación los valores que utiliza el programa son $A = 0,025$; $B = 118,0$ y $C = 10,0$.

El comportamiento diferido del acero activo se debe a:

$$\Delta\sigma_{pr} = \begin{cases} -\eta_t \sigma_{p0} (\lambda - 0,40)^2 \rightarrow \lambda \geq 0,40 \\ 0 \rightarrow \lambda < 0,40 \end{cases} \quad (3.5)$$

Donde:

$$\lambda = \frac{\sigma_{p0}}{f_{ptk}}$$

$$\eta(t) = 10^{K_1 + K_2 \log_{10}(t)}$$

3.3.3 Acero pasivo

El acero pasivo está embebido en el hormigón y sufre el mismo proceso, de modo que existe compatibilidad entre las deformaciones del acero y el hormigón que le rodea, ya que se considera que la adherencia es perfecta y no se producen deslizamientos relativos.

En el acero pasivo solamente se considera el comportamiento instantáneo debido a que no sufre fenómenos diferidos intrínsecos. Se limita a deformarse junto con el hormigón y a asimilar las tensiones provenientes del hormigón.

AESS considera un diagrama idéntico en compresión y en tracción, modelo elástico – perfectamente plástico sin considerar el posible endurecimiento por deformación.

Bases de cálculo de las Fichas Técnicas

4.1 Estados de cálculo de la vigueta y del forjado

Se consideran dos estados en el proceso de cálculo:

- TRANSFERENCIA: Cuando se destesan las viguetas en la pista de fabricación, es decir, al transferir el pretensado a la pieza. En el presente estado, las tensiones en las fibras extremas son:
 - *Fibras superiores.* No se presentan tracciones superiores a la resistencia a tracción simple del hormigón utilizado.
 - *Fibras inferiores.* La compresión es inferior a la resistencia de rotura del hormigón en el momento de la transferencia. Se utiliza un coeficiente de seguridad de 1,30.

Se considera que la resistencia del hormigón en el momento de la transferencia es del 75% de la resistencia a los 28 días (f_{ck}).

- PIEZA PRETENSADA: Cuando la vigueta es colocada en el forjado para cumplir su función. Se considera la sección del forjado (Figura 4.1). Las tensiones en las fibras extremas en este estado son:

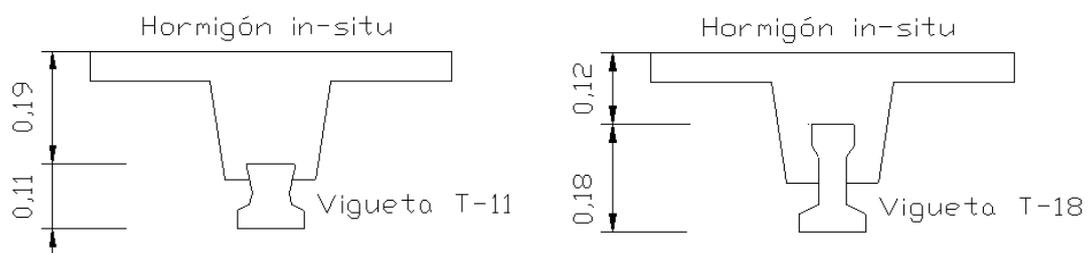


Figura 4.1. Secciones empleadas

- *Fibras superiores.* No se presentan tracciones superiores a la resistencia a tracción pura del hormigón utilizado.
- *Fibras inferiores.* No se alcanza el límite de rotura por compresión del hormigón.

Se considera que la resistencia del hormigón es a los 28 días (f_{ck}).

4.2 Combinación de acciones

La combinación de acciones se definirá de acuerdo con la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 13).

Coeficientes de mayoración de las cargas

Para el cálculo de los esfuerzos producidos en la vigueta y en el forjado las Fichas Técnicas adoptan como coeficientes de mayoración según la EHE-98:

- Para los Estados Límites Últimos (ELU):
 - Cargas externas: 1,50
 - Pretensado: 1,00
- Para los Estados Límites de Servicio (ELS):
 - Cargas externas: 1,00
 - Pretensado favorable: 0,95
 - Pretensado desfavorable: 1,05

4.3 Propiedades mecánicas

En el presente apartado se presentan las consideraciones que las Fichas Técnicas realizan sobre los materiales utilizados en la fabricación de las viguetas pretensadas y en el forjado.

Coeficientes de minoración de los materiales

Con un control a nivel intenso y el hormigón elaborado en una factoría, se utilizan como coeficientes según el estado límite a considerar, los que propone la EHE-98 aunque esté aprobada la actual EHE-08.

- Para los Estados Límites Últimos (ELU):
 - Acero activo en viguetas: 1,10
 - Hormigón en viguetas: 1,40
 - Acero pasivo en obra: 1,15
 - Hormigón in situ: 1,50
 - Hormigón pretensado en el momento de transferir el pretensado: 1,30
- Para los Estados Límites de Servicio (ELS):
 - Acero activo y pasivo: 1,00
 - Hormigón de la vigueta e in situ: 1,00

4.3.1 Hormigón

Resistencia del hormigón

Se recuerda que las viguetas presentan una resistencia característica a compresión de $f_{ck} = 45N/mm^2$. Por otra parte, el hormigón colocado en obra in situ para la formación de la losa y del llenado de los senos presenta una resistencia característica a compresión de $f_{ck} = 25N/mm^2$.

Las Fichas Técnicas en sus cálculos adoptan un coeficiente de 0,6 en el hormigón de la vigueta pretensada ($f_{ck} = 45N/mm^2$) en el estado de transferencia, es decir, en el momento de la transferencia del pretensado en la vigueta, el hormigón alcanza tensiones de compresión alrededor de $27N/mm^2$ (75% de la resistencia del hormigón).

En la edad de 28 días, se escoge un coeficiente de minoración del hormigón de 1,40, en el que el hormigón trabaja a tensiones de compresión del orden de

$32,14 N / mm^2$. A largo plazo y en los cálculos en servicio, el hormigón a compresión bajo la combinación de cargas más desfavorables trabaja a tensiones de $45 N / mm^2$.

Por otra parte, en servicio en el estado límite de aparición de fisuras, el hormigón a tracción trabaja a tensiones de:

$$f_{ct,m} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} \text{ con } f_{ck} < 50 N / mm^2 \quad (4.1)$$

$$\sigma_c = 0,30 \cdot 45^{2/3} = 3,80 N / mm^2 \quad (4.2)$$

Coeficientes de homogeneización

Para el cálculo de las piezas, teniendo en cuenta que los esfuerzos de pretensado y las cargas generalmente serán duraderas, las Fichas Técnicas adoptan para el hormigón el valor de $19600 N/mm^2$. Entonces, el coeficiente utilizado para el cálculo de la sección homogeneizada de la vigueta aislada, utilizando como módulo de deformación del pretensado de $196000 N/mm^2$, será de:

$$n = \frac{196000}{19600} = 10 \quad (4.3)$$

Para el cálculo de deformaciones se considera un módulo de deformación del hormigón de:

$$E_{cm} = 8500 \cdot f_{cm}^{1/3} \text{ donde } f_{cm} = f_{ck} + 8 N / mm^2 \quad (4.4)$$

Para la homogeneización del hormigón in situ con la vigueta pretensada se utiliza el siguiente coeficiente:

$$n = \left(\frac{25}{45} \right)^{1/2} = 0,75 \quad (4.5)$$

Entonces, se considera finalmente todo el hormigón como prefabricado. Los cálculos se efectúan homogeneizando respecto al hormigón de mayor calidad, en este caso, el hormigón pretensado de la vigueta.

4.3.2 Acero activo

Tensión inicial de tesado

El acero utilizado en las armaduras activas es el Y 1860 C de diámetro 5. Según el cálculo de las Fichas Técnicas (EHE-08: Artículo 21), la tensión inicial del hormigón será el menor de los siguientes valores:

$$\sigma_{po} = \min\{0,70 \cdot f_{p \max}; 0,85 \cdot f_{pk}\} \quad (4.6)$$

En el estudio de las Fichas Técnicas se adopta una tensión inicial de tesado que corresponde al 68,8% de la tensión de rotura, y al 80,75% sobre el límite elástico.

Pérdidas de Pretensado

Se estudian dos tipos de pérdidas, las instantáneas y las diferidas a lo largo del tiempo. Las instantáneas se producen en el estado de transferencia del pretensado del hormigón, y las diferidas a lo largo del tiempo una vez fabricada la vigueta.

- Pérdidas instantáneas:
 - Pérdidas por penetración de cuña.
 - Relajación a temperatura ambiente hasta la transferencia de la fuerza del pretensado.
 - Retracción anterior a la transferencia.
 - Pérdidas por acortamiento elástico instantánea al transferir.

Las fichas técnicas no calculan las pérdidas instantáneas. Sin embargo, se considera una estimación de dichas pérdidas, asignándose una pérdida del 10% de la tensión inicial.

- Pérdidas diferidas:
 - Pérdidas finales por retracción.
 - Pérdidas finales por fluencia del hormigón.
 - Pérdidas por relajación del acero.

Según la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 20.2.3), las pérdidas diferidas posteriores a la transferencia se obtendrán de igual forma que en armaduras postesas, utilizando los valores de retracción, relajación y fluencia que se producen después de la transferencia. No se añaden deformaciones por fluencia debidas al proceso de curado por calefacción ya que el curado es a temperatura ambiente.

Las pérdidas diferidas se evalúan mediante la formulación de la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 20.2.2.2) que añaden los tres tipos de pérdidas diferidas:

$$\Delta P_{dif} = \frac{n \cdot \varphi(t, t_0) \cdot \sigma_{cp} + E_p \cdot \varepsilon_{CS}(t, t_0) + 0,80 \cdot \Delta \sigma_{pr} \cdot A_p}{1 + n \cdot \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{A_c \cdot Y_p^2}{I_c} \right)} \cdot A_p \quad (4.7)$$

donde:

$$n = \frac{E_p}{E_{c,i}}$$

$$\Delta \sigma_{pr} = \rho_f \cdot \frac{P_{ki}}{A_p}$$

$\chi = 0,80$ (Simplificadamente, y para evaluaciones a tiempo infinito)

4.4 Estados Límites Último

4.4.1 Estado Límite Último frente a solicitaciones Normales

Se calcula el agotamiento de la pieza según el diagrama parábola-rectángulo tensión-deformación (Figura 4.1). Está formado por una parábola de grado n y un segmento rectilíneo. El vértice de la parábola se encuentra en la abcisa ε_{c0} y el vértice extremo de rectángulo en la abcisa ε_{cu} . La ordenada máxima de este diagrama corresponde a una compresión igual a f_{cd} .

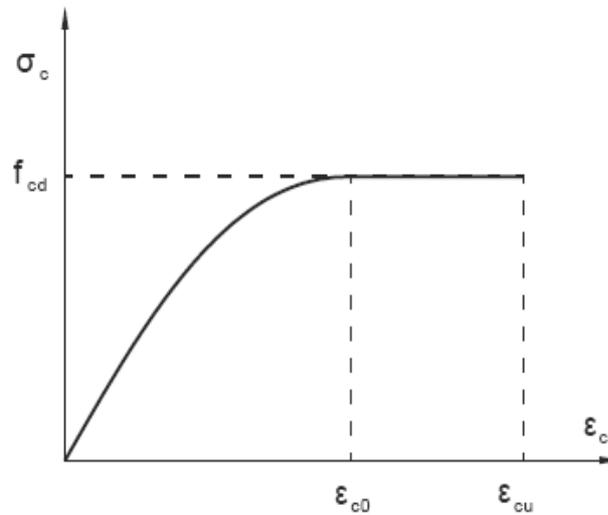
Diagrama de cálculo parábola-rectángulo del hormigón

Figura 4.1. Diagrama parábola-rectángulo hormigón

La ecuación de esta parábola es:

$$\sigma_c = \alpha_{cc} \cdot f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c0}} \right)^n \right], \text{ para } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c0} \quad (4.8)$$

$$\sigma_c = \alpha_{cc} \cdot f_{cd}, \text{ para } \varepsilon_{c0} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \quad (4.9)$$

El hormigón de la vigueta pretensada tiene una $f_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$ y el hormigón *in situ* tiene una $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$. Entonces:

Los valores de la deformación de rotura a compresión simple, ε_{c0} , son los siguientes:

$$\varepsilon_{c0} = 0,002, \text{ para } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \quad (4.10)$$

Los valores de la deformación última, ε_{cu} , vienen dados por:

$$\varepsilon_{cu} = 0,0035, \text{ para } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \quad (4.11)$$

El valor n que define el grado de la parábola se obtiene como:

$$n = 2, \text{ para } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \quad (4.12)$$

Diagrama tensión-deformación característico para armaduras activas:

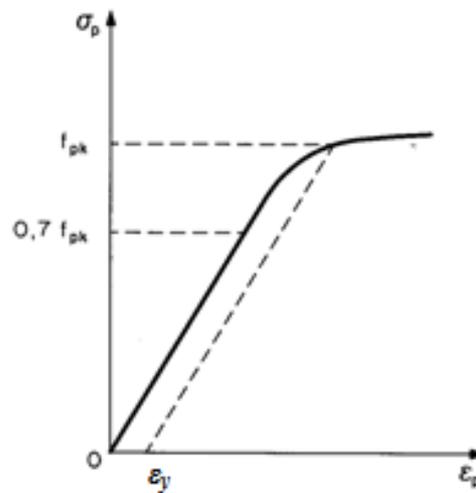


Figura 4.2. Diagrama tensión-deformación característico armaduras activas

La ecuación de esta parábola es:

$$\varepsilon_{pd} = \frac{\sigma_{pd}}{E_p} + 0,823 \left[\frac{\sigma_{pd}}{f_{py}} 1,15 - 0,7 \right]^5 ; \text{ para } \sigma_{pd} \geq \left(\frac{0,7}{1,15} \right) \cdot f_{py} \quad (4.13)$$

$$\sigma_{pd} = \frac{E_p}{\varepsilon_{pd}} ; \text{ para } \sigma_{pd} < \left(\frac{0,7}{1,15} \right) \cdot f_{py} \quad (4.14)$$

4.4.2 Estado Límite Último frente a Cortante

Según la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 42), en forjados unidireccionales compuestos por viguetas prefabricadas pretensadas y hormigón in situ formando el resto del nervio y la cabeza de compresión, el alma no está comprimida por el pretensado de la viga, o en todo caso la compresión es muy reducida y se transmite en el tiempo por fluencia.

Entonces, a partir de la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 44.2.3.2.1.2), el cortante último resistido será el menor de (4.15) y (4.16) considerando por una parte el ancho mínimo del nervio pretensado y por otra parte, el menor ancho del hormigón vertido en obra por encima de la viga, teniendo en cuenta que el cortante V_{u2} resistido deberá ser mayor que el V_{u2} min .

$$V_{u2} = \left[\frac{0,18}{\gamma_c} \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{cv})^{1/3} + 0,15 \cdot \sigma'_{cd} \right] \cdot b_0 \cdot d \quad (4.15)$$

Se considera como valor de cálculo de la resistencia a compresión del hormigón al correspondiente a la vigueta pretensada, como la tensión σ'_{cd} la referida en el área de la vigueta y como cuantía geométrica de la armadura la referida a una sección de ancho b_0 y d .

$$V_{u2} \min = \left[\frac{0,075}{\gamma_c} \cdot \xi^{3/2} \cdot f_{cv}^{1/2} + 0,15 \cdot \sigma'_{cd} \right] \cdot b_0 \cdot d \quad (4.16)$$

donde:

$$\xi = \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d(mm)}} \right) \leq 2,0$$

$$\sigma'_{cd} = \frac{N_d}{A_c} \leq 0,30 \cdot f_{cd} \leq 12MPa$$

$$\rho_l = \frac{A_s + A_p}{b_0 \cdot d} \leq 0,02$$

4.4.3 Estado Límite Último de esfuerzo Rasante

Tanto la vigueta como la sección compuesta vigueta pretensada - losa de compresión, no tienen armadura transversal. Entonces, según la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 47.2), el cálculo de la tensión rasante de agotamiento $\tau_{r,u}$ tiene como valor:

$$\tau_{r,u} = \beta \cdot \left(1,30 - 0,30 \cdot \frac{f_{ck}}{25} \right) \cdot f_{ctd} > 0,70 \cdot \beta \cdot f_{ctd} \quad (4.17)$$

Donde $\beta = 0,80$ para superficies de contacto rugosas de secciones compuestas en las que existe una imbricación tal que se impide el cabalgamiento de una de las partes de la sección compuesta sobre la otra. La fabricación de viguetas pretensadas con máquina ponedora conduce a una superficie de contacto rugosa consiguiendo tal fenómeno.

4.5 Estado Límite de Servicio

4.5.1 Estado Límite de Fisuración

Aunque se aprobó la EHE-08, los cálculos en el Estado Límite de Fisuración, las autores de las Fichas Técnicas han realizado su cálculo según lo expuesto en la EHE-98.

Los forjados constituidos mediante viguetas pretensadas, se diseñarán para prevenir los efectos de la fisuración bajo momentos positivos. Entonces, se deberá verificar que bajo carga total y en la hipótesis de no colaboración de hormigón *in situ* por debajo de la fibra neutra.

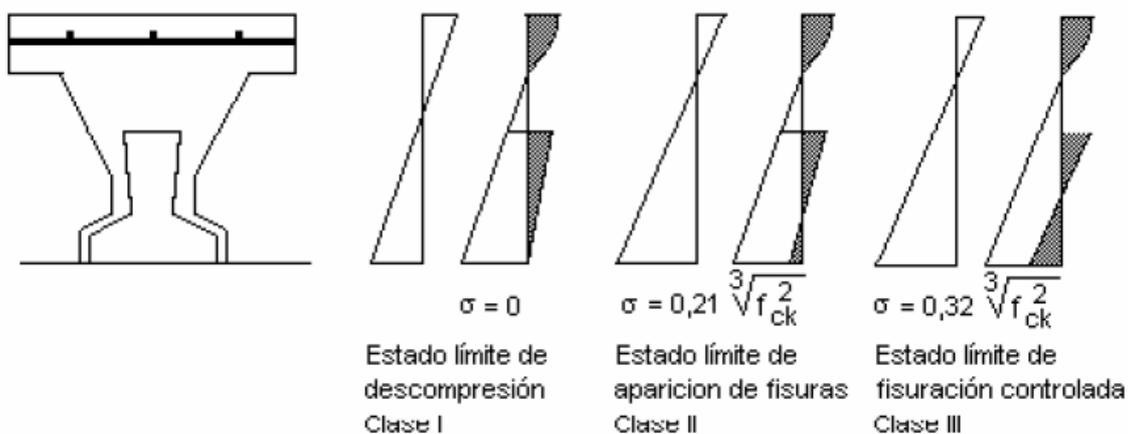


Figura 4.3. Tensiones de la sección del forjado compuesto en los ELS

- Estado Límite de Descompresión, clase 1 (M_0):

(Figura 4.3)

Se debe comprobar que bajo la combinación más desfavorable de las acciones no sea superior el Estado Límite de Descompresión de la vigueta, caracterizada por la existencia de la tensión nula a la fibra menos comprimida de la sección.

Entonces, el momento M_0 , que es el momento de descompresión de la fibra inferior de la sección, debe ser superior de la combinación más desfavorable.

- Fisuración por tracción: Estado Límite de Aparición de Fisuras, clase 2 (M_0'):

(Figura 4.3)

Se debe comprobar que bajo la combinación más desfavorable de las acciones, no se sobrepase el Estado Límite de Aparición de Fisuras (caracterizada por

una tensión de valor igual a $0,21(f_{ck})^{2/3}$ en la fibra más traccionada de la sección) y que debajo la actuación de las cargas permanentes se respecta el Estado Límite de Descompresión.

- Fisuración por tracción: Estado Límite de Fisuración Controlada, clase 3 ($M_{0,2}$):

(Figura 4.3)

Se debe comprobar que bajo la combinación más desfavorable de las acciones, no se alcance el Estado Límite de Fisuración Controlada (caracterizada por una abertura de fisura igual o inferior a 0,2 mm) y que debajo la actuación de las cargas permanentes se respecta el Estado Límite de Descompresión.

En los tres puntos anteriores se comprueba simultáneamente que en las fibras superiores no se alcancen el Estado Límite de Rotura del hormigón por compresión.

Bases de cálculo del PCBS

5.1 Introducción

En el presente capítulo se describen las consideraciones y la formulación implementada en la hoja de cálculo PCBS (Programa de Cálculo de Biguetes Solé).

5.2 Etapas de cálculo de la vigueta y del forjado

En el PCBS se consideran las etapas que modifican la configuración geométrica de materiales de la vigueta (Tabla 5.1), desde el momento de la transferencia del pretensado hasta su colocación en obra. Se tiene en cuenta el estado real de cargas que sufre la vigueta y el forjado en su construcción.

Etapa	Descripción
1	Fabricación de las viguetas pretensadas.
2	Colocación de las viguetas en el forjado.
3	Colocación de las bovedillas, las mallas electrosoldadas y la armadura pasiva (negativos), y vertido del hormigón <i>in situ</i> para la formación de la losa de compresión.
4	Desapuntamiento del forjado.
5	Colocación de las cargas permanentes: tabiquería, terrazo, etc.
6	Estudio de la sección compuesta a corto plazo teniendo en cuenta las sobrecargas de uso.
7	Estudio de la sección compuesta a largo plazo.

Tabla 5.1. Etapas consideradas en la construcción del forjado

5.3 Combinación de acciones

La combinación de acciones se definirá de acuerdo con la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 13):

- Estados Límite Últimos.

- Situaciones permanentes o transitorias:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (5.1)$$

- Situaciones accidentales:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_A A_k + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (5.2)$$

- Situaciones accidentales:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_A A_{E,k} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (5.3)$$

- Estados Límite de Servicio.

- Combinación poco probable o característica:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (5.4)$$

- Combinación frecuente:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (5.5)$$

- Combinación cuasipermanente:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (5.6)$$

Los coeficientes ψ_i se escogen según el Código Técnico de la Edificación (2009).

Coeficientes de mayoración de las cargas

Para el cálculo de los esfuerzos actuantes en la vigueta y en el forjado se adoptan como coeficientes de mayoración según la Instrucción de Hormigón según el artículo 12 de la EHE-08 (Tabla 5.2 y 5.3).

TIPO DE ACCIÓN	Situación persistente o transitoria		Situación accidental	
	Efecto favorable	Efecto desfavorable	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Pretensado	$\gamma_P = 1,00$	$\gamma_P = 1,00$	$\gamma_P = 1,00$	$\gamma_P = 1,00$
Permanente de valor no constante	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,50$	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,50$	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$
Accidental	-	-	$\gamma_A = 1,00$	$\gamma_A = 1,00$

Tabla 5.2. Coeficientes de mayoración para los ELU

TIPO DE ACCIÓN	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Pretensado	Ar. Pretesa $\gamma_P = 0,95$	$\gamma_P = 1,05$
	Ar. Postesa $\gamma_P = 0,90$	$\gamma_P = 1,10$
Permanente de valor no constante	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$

Tabla 5.3. Coeficientes de mayoración para los ELS

5.4 Hipótesis de las características de los materiales

En el presente apartado se presentan las consideraciones que en Cálculo Personal realizan sobre los materiales utilizados en la fabricación de las viguetas pretensadas y en el forjado.

Coeficientes de minoración de los materiales

Para la minoración de los materiales se utilizan como coeficientes los expuestos en la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 15, tabla 5.4 y 5.5).

Situación de proyecto	Hormigón	Acero pasivo y activo
	γ_c	γ_s
Persistente o transitoria	1,5	1,15
Accidental	1,3	1,0

Tabla 5.4. Coeficientes de minoración para los ELU

Situación de proyecto	Hormigón	Acero pasivo y activo
	γ_c	γ_s
Persistente o transitoria	1,0	1,0
Accidental	1,0	1,0

Tabla 5.5. Coeficientes de minoración para los ELS

5.4.1 Hormigón

Resistencia del hormigón

La resistencia del hormigón a considerar en cada edad j se calcula según la expresión propuesta en la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 31.1) (Ecs. 5.7 – 5.8).

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm} \quad (5.7)$$

$$f_{ctm}(t) = \beta_{cc}(t)^\alpha f_{ctm} \quad (5.8)$$

donde:

$$\beta_{cc} = \exp \left\{ s \left(1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{1/2} \right) \right\}$$

Coeficientes de homogeneización

Para el cálculo secuencial teniendo en cuenta la colaboración resistente del acero y del hormigón de forma de las piezas, el coeficiente utilizado para el cálculo de la sección homogeneizada de la viga aislada, utilizando como módulo de deformación del pretensado de $E_p = 190000 \text{ N/mm}^2$, será de (Ec. 5.9).

$$n = \frac{E_p}{E_{cm,i}} \quad (5.9)$$

donde $E_{cm,i}$ (EHE-08: Artículo 39.6) variará en función de la edad del hormigón de la viga.

Para la homogeneización del hormigón *in situ* de la losa de compresión con el hormigón de la viga pretensada se utiliza como coeficiente de homogeneización:

$$n = \frac{E_{cm,i}(\text{losa})}{E_{cm,i}(\text{viga})} \quad (5.10)$$

5.4.2 Armadura activa

Tensión inicial de tesado

La tensión de tesado para elementos pretensados con armadura pretesa con garantía del prefabricador, se acepta una tensión según la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 22) el menor de los siguientes valores:

$$\sigma_{po} = \min \{ 0,75 \cdot f_{p \max}; 0,90 \cdot f_{pk} \} \text{ para situaciones permanentes} \quad (5.11)$$

que representa una fuerza inicial del pretensado de:

$$P_0 = A_p \cdot \sigma_{po} \quad (5.12)$$

donde A_p es el área de la armadura de pretensado y σ_{po} es la tensión obtenida en la ecuación 5.11.

Pérdidas de Pretensado

A partir del momento en que se realiza el tesado de las armaduras en la pista de fabricación, la tensión va disminuyendo a lo largo del tiempo, reduciéndose por tanto la efectividad del pretensado.

Algunas pérdidas son debidas al equipo y sistema de fabricación, a las armaduras o debido a las propiedades reológicas del hormigón.

El conjunto de las pérdidas, instantáneas y diferidas en el tiempo, son del orden del 20 al 35% de la tensión inicial. Aunque para una pieza, el cálculo a estados límite últimos, es decir, a rotura, es primordial, las pérdidas de tensión afectan muy poco a la seguridad a rotura si ésta se produce en los primeros días. Su importancia es grande en referencia a la fisuración y a las deformaciones, y por tanto, en el estado límite de servicio. Despreciar las pérdidas podría conducir al agotamiento estructural de la estructura debido a una corrosión por fisuración en servicio.

Según el tipo de fabricación, el conjunto de pérdidas de tensión instantáneas varía. Un sistema de prefabricación de viguetas con calefacción o sin ella, introduce o no introduce a este tipo de pérdidas, respectivamente.

Aunque se mencionarán todos los tipos de pérdidas instantáneas hasta la transferencia, solamente se calcularán las pérdidas cuando se emplea un sistema de prefabricación sin calefacción ya que el estudio del presente trabajo hace referencia a una planta de fabricación sin calefacción.

Tipo de pérdidas

Se deben considerar dos periodos para la evaluación de las pérdidas en la viga pretensada.

- *Periodo de TRANSFERENCIA:* El periodo de transferencia transcurre desde el inicio de la colocación de las armaduras en la pista de prefabricación cuando se tensan, pasando por el vertido del hormigón hasta la transferencia de la fuerza de pretensado a las vigas. En este periodo, que tiene una duración de 0 horas a 2 días, se calcularán las pérdidas instantáneas.

- *Periodo POST-TRANSFERENCIA:* El periodo post-transferencia se inicia una vez ha finalizado el periodo de transferencia y dura hasta el tiempo de vida de la pieza. En este periodo se evaluarán las pérdidas diferidas a lo largo del tiempo.

A continuación se presentan todas las posibles pérdidas a considerar en cualquier sistema de prefabricación.

- Pérdidas instantáneas:
 - Pérdida por rozamiento parásito en las placas separadoras y defectos de alineación de moldes a lo largo de la vigueta.
 - Pérdida por rozamiento e las placas extremas de desvío.
 - Pérdida por deslizamiento de las cuñas de anclaje.
 - Pérdida por relajación del acero activo isoterma a temperatura ambiente durante el tiempo de espera.
 - Pérdida por relajación anisoterma durante el período de calentamiento.
 - Pérdida por relajación isoterma durante el período de tratamiento a temperatura ambiente.
 - Pérdida por retracción inicial del hormigón.
 - Pérdida de la fuerza de pretensado debida a la dilatación térmica hasta el momento de la transferencia.
 - Pérdida por relajación anisoterma durante el período de enfriamiento.
 - Pérdida por acortamiento elástico al transferir.

En la planta estudiada se fabrican las viguetas mediante sistemas de encofrado deslizante y se realiza el curado mediante el calor del sol, cubriendo las piezas con plásticos transparentes. Por tanto, las pérdidas instantáneas que se dan en el proceso de fabricación son las siguientes:

1. Pérdida por deslizamiento de las cuñas de anclaje ($\Delta P1$).

Se dan una vez tesadas las armaduras, al reducir la presión en el gato se produce el anclaje de las mismas mediante cuñas.

$$\Delta P1 = \frac{a}{L} E_p \cdot A_p \quad (5.13)$$

donde:

a (Deslizamiento de las cuñas hasta el anclaje; $a = 2,5mm$)

L (Longitud de la pista de fabricación; $a = 100m$)

A_p (Área de la armadura activa)

E_p (Módulo de deformación de la armadura activa.

2. Pérdida por relajación isoterma a temperatura ambiente hasta la transferencia ($\Delta P2$).

Debida a la relajación de la armadura activa de la pieza en el proceso de espera entre el tesado y el destesado de la pieza.

$$\Delta P2 = \lambda \cdot \gamma \cdot \Delta P_{r,1000} \quad (5.14)$$

donde:

$\lambda = 0,2$ (Transferencia a 2 días)

$\gamma = 2,0$ (Armaduras sometidas a procesos de estabilidad)

$\Delta P_{r,1000}$ (Relajación pura a temperatura de 20°C)

3. Pérdida por acortamiento elástico al transferir ($\Delta P3$).

Se producen en el momento de la transferencia y al cortar los alambres una vez destensada la pista de fabricación. La pérdida se da cuando el hormigón se comprime, y al estar ambos materiales solidariamente unidos mediante el mecanismo de adherencia físico desarrollado por las corrugas, se acortan la misma magnitud..

$$\Delta P3 = A_p \cdot \left[\frac{\sigma_{pat} \cdot n \cdot q \cdot \left(1 + \left(\frac{e}{r} \right)^2 \right)}{1 + n \cdot q \cdot \left(1 + \left(\frac{e}{r} \right)^2 \right)} \right] \quad (5.15)$$

donde:

$$q = \frac{A_p}{A_h}$$

$$\sigma_{pat} = \frac{P_{ki} - \sum A_s \cdot (\Delta P1 + \Delta P2)}{A_p}$$

e (Excentricidad)

n (Coeficiente de homogeneización)

4. Pérdida por retracción inicial del hormigón ($\Delta P4$).

Una vez colocado el hormigón mediante la ponedora hasta que se realiza la transferencia, se ha producido una pérdida de tensión debida a la retracción inicial del hormigón. Se debe a la existencia de adherencia con la armadura activa hasta el destensado.

$$\Delta P4 = \varepsilon_{CS} \cdot A_p \cdot E_p \quad (5.16)$$

- Pérdidas diferidas:

A partir de la transferencia, seguirán produciéndose pérdidas en la fuerza de pretensado debido a:

- Retracción.
- Fluencia.
- Relajación diferida.

Los tres fenómenos se interfieren en un proceso complejo, por tanto, las pérdidas ocasionadas a lo largo del tiempo las calcularemos mediante una fórmula que contiene el conjunto de dichas pérdidas.

$$\Delta Pdif = \frac{n \cdot \varphi(t, t_0) \cdot \sigma_{cp} + E_p \cdot \varepsilon_{CS}(t, t_0) + 0,80 \cdot \Delta \sigma_{pr}}{1 + n \cdot \frac{A_p}{A_c} \cdot \left(1 + \frac{A_c \cdot Y_p^2}{I_c} \right) (1 + \chi \cdot \varphi(t, t_0))} \cdot A_p \quad (5.17)$$

donde:

$$n = \frac{E_p}{E_{c,i}}$$

$$\Delta\sigma_{pr} = \rho_f \cdot \frac{P_{ki}}{A_p}$$

$\chi = 0,80$ (Simplificadamente, y para evaluaciones a tiempo infinito)

5.5 Estados Límites Último

5.5.1 Estado Límite Último frente a solicitaciones Normales

Para el cálculo de la sección frente a solicitaciones normales en los ELU se adoptará el diagrama rectangular tensión-deformación.

Diagrama rectangular tensión-deformación del hormigón

Está formado por un rectángulo cuya profundidad $\lambda(x)h$, e intensidad $\eta(x)f_{cd}$. Ambos dependen de la profundidad del eje neutro x (Figura 5.1), y de la resistencia del hormigón. Sus valores son (Ecs: 5.18 – 5.19)

$$\eta(x) = \eta; \text{ para } 0 < x \leq h \quad (5.18)$$

$$\eta(x) = 1 - (1 - \eta) \frac{h}{x}; \text{ para } h \leq x < \infty$$

$$\lambda(x) = \lambda \frac{x}{h}; \text{ para } 0 < x \leq h \quad (5.19)$$

$$\lambda(x) = 1 - (1 - \lambda) \frac{x}{h}; \text{ para } h \leq x < \infty$$

El hormigón de la vigueta pretensada tiene una $f_{ck} = 45N/mm^2$ y el hormigón in-situ tiene una $f_{ck} = 25N/mm^2$. Entonces:

$$\eta = 1,0 \text{ para } f_{ck} \leq 50N/mm^2 \quad (5.20)$$

$$\lambda = 0,8 \text{ para } f_{ck} \leq 50N/mm^2 \quad (5.21)$$

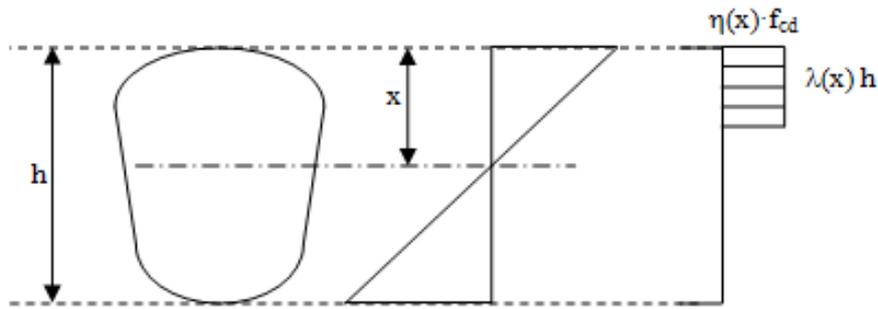


Figura 5.1. Diagrama rectangular tensión-deformación hormigón

Diagrama tensión-deformación característico para armaduras activas

Se tiene en cuenta el mismo comportamiento del acero activo que en las Fichas Técnicas. El diagrama consta de un primer tramo recto de pendiente E_p y un segundo tramo curvo, a partir de $0,7 \cdot f_{pk}$ (Figura 5.2)

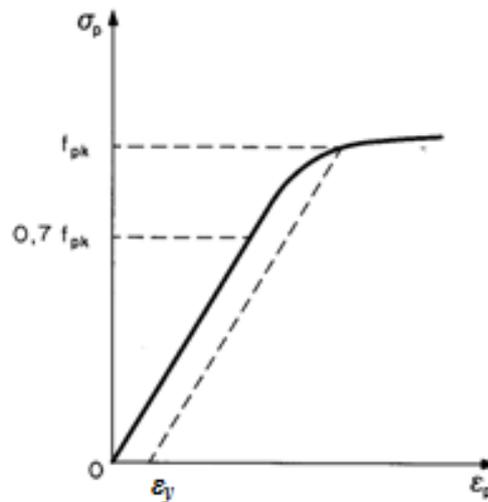


Figura 5.2. Diagrama tensión-deformación armaduras activas

La ecuación de la curva que sigue al tramo lineal es:

$$\varepsilon_{pd} = \frac{\sigma_{pd}}{E_p} + 0,823 \cdot \left[\frac{\sigma_{pd}}{f_{py}} \cdot 1,15 - 0,7 \right]^5 ; \text{ para } \sigma_{pd} \geq 0,7 \cdot f_{pk} \quad (5.22)$$

$$\sigma_{pd} = \frac{E_p}{\varepsilon_{pd}} ; \text{ para } \sigma_{pd} < 0,7 \cdot f_{pk} \quad (5.23)$$

5.5.2 Estado Límite Último frente a Cortante

De acuerdo con la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 44), en piezas compuestas por elementos prefabricados y hormigón *in situ*, para determinar si la sección está fisurada o no a flexión se deberá tener en cuenta las diferentes fases constructivas, considerando en cada una de ellas las cargas actuantes, las secciones resistentes y superponiendo las tensiones correspondientes a cada fase.

En el caso de forjados unidireccionales compuestos por vigueta prefabricada pretensada y hormigón *in situ* formando el resto del nervio y la cabeza de compresiones, el alma no está comprimida por el pretensado de la vigueta, o, en todo caso, la compresión es muy reducida y se transmite en el tiempo debido a la fluencia del hormigón.

Se realiza el mismo cálculo que en las Fichas de Características Técnicas (Capítulo 4.4.2).

5.5.3 Estado Límite Último de esfuerzo Rasante

Las Fichas Técnicas, de acuerdo con la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 47), realizan el cálculo de la tensión rasante frente a cargas totales.

Se realiza el mismo cálculo que en las Fichas de Características Técnicas (Capítulo 4.4.3).

5.6 Estados Límites de Servicio

Para la comprobación relativo al Estado Límite de Servicio se calcula únicamente el Estado Límite de Fisuración. El de Deformación no se suele evaluar porque se realiza en los casos en que las deformaciones puedan ocasionar la puesta fuera de servicio de la estructura o elemento estructural por razones funcionales, estéticas u otras, y el de Vibración porque no se considera el agotamiento de la estructura por vibración debido a movimientos rítmicos, ráfagas de viento, etc.

A partir de la Instrucción de Hormigón (EHE-08: Artículo 49), se analiza el Estado Límite de Fisuración.

5.6.1 Estado Límite de Fisuración

(EHE-08: Artículo 49)

- Aparición de fisuras por compresión.

En todas las situaciones persistentes y transitorias bajo la combinación más desfavorable de acciones correspondiente a la fase en estudio, por tanto, se debe comprobar en los puntos que se explican a continuación.

$$\sigma_c \leq 0,60 \cdot f_{ck,j} \quad (5.24)$$

- Estado Límite de Descompresión.

Corresponde a los elementos que por su utilización se exige ausencia de fisuración bajo la combinación más desfavorable de acciones.

- Fisuración por Tracción: Aparición de fisuras.

Corresponde a los elementos que por su utilización se exige un cierto riesgo de fisuración bajo la combinación más desfavorable de acciones.

Se considera una tensión en la fibra más traccionada de $0,30 \cdot (f_{ck,j})^{2/3}$ para $f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$.

- Fisuración por Tracción: Fisuración controlada.

Corresponde a los elementos que por su utilización se admite una fisuración de amplitud controlada bajo la combinación más desfavorable de acciones. Se considera una abertura de fisura igual o inferior a $0,2 \text{ mm}$.

Formato de las Fichas Técnicas

6.1 Introducción

Las Fichas de Características Técnicas se deben renovar periódicamente para adaptarlas a los nuevos marcos normativos y a las posibles actualizaciones de cálculo. La realización de unas Fichas Técnicas específicas para una obra concreta debe suponer el seguimiento más exhaustivo de la construcción de la estructura, y así si es necesario, poderla evaluar en un futuro ya sea por un cambio de uso del edificio o por posibles anomalías en el forjado.

De esta manera, el seguimiento en la fabricación de viguetas debe ir paralelo a la redacción de las Fichas Técnicas. Los ensayos diarios, semanales y/o anuales de los diferentes materiales y de la vigueta, así como también, el control sobre la producción en planta de las piezas, se deben anotar periódicamente en las Fichas Técnicas.

Cumpliremos entonces, lo estipulado en el marcado CE y se continuará con la filosofía de las Fichas Técnicas tal y como las entendemos.

6.2 Contenido de las Fichas Técnicas

La propuesta de las nuevas Fichas de Características Técnicas sigue las siguientes directrices:

- *Información al calculista.* Debe contener los datos necesarios para facilitar al proyectista el cálculo del forjado unidireccional semiprefabricado frente las solicitudes pertinentes.

- *Adaptación de los actuales sistemas de fabricación de viguetas.* Al realizar las Fichas Técnicas, éstas se adaptan al actual proceso de fabricación.
- *Adaptación al mercado CE y a la EHE-08.* Introducción de la información requerida por el mercado CE y adaptación de los procesos de cálculo a la Instrucción de hormigón, la EHE-08.
- *Análisis exhaustivo de los materiales en el tiempo.* Control intenso de la evolución de las características de los materiales a lo largo de la vida útil de la estructura. Además, al realizar el estudio a partir de la planta de fabricación, se introduce los distintos ensayos en que son sometidos el hormigón pretensado y las viguetas.
- *Análisis de las etapas (Tabla 6.1) que conforman la construcción del forjado unidireccional.* El estudio de los materiales y de los procesos de cálculo se basa en el estricto control de las distintas etapas que conforman la construcción de un forjado.

Etapas	Periodo	Descripción
1		Fabricación de las viguetas pretensadas.
2		Colocación de las viguetas en el forjado.
3		Colocación de las bovedillas, las mallas electrosoldadas y la armadura pasiva (negativos), y vertido del hormigón in situ para la formación de la losa de compresión.
4		Desapuntalamiento del forjado.
5		Colocación de las cargas permanentes: tabiquería, terrazo, etc.
6		Estudio de la sección compuesta a corto plazo teniendo en cuenta las sobrecargas de uso.
7		Estudio de la sección compuesta a largo plazo.

Tabla 6.1. Etapas de la construcción del forjado

6.3 Partes de las Fichas Técnicas

A continuación, se presentan las partes en que se ha dividido las nuevas Fichas Técnicas y que se anotan todos los aspectos analizados y estudiados a lo largo de la tesina.

Vigueta

Se dibuja la sección con sus cotas y con las diferentes disposiciones de las armaduras activas (Figura 6.1).

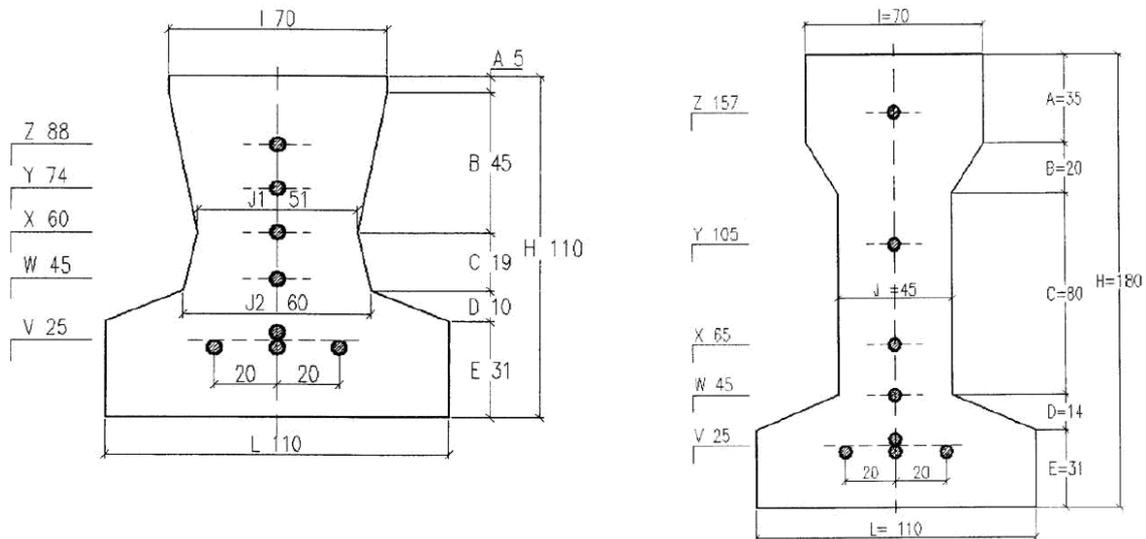


Figura 6.1. Sección de las viguetas T-11 y T-18

Armado de la vigueta

Disposición de las armaduras en las distintas filas posibles de armado en función de las distintas topologías de viguetas (Figura 6.1).

Se establecen los siguientes parámetros:

- *Fuerza inicial.* Fuerza de transferencia a la tipología de vigueta pretensada calculada en la Ficha Técnica.
- *Tensión inicial.* Tensión de transferencia a la tipología de vigueta pretensada calculada en la Ficha Técnica.

Materiales vigueta

Se citan los materiales empleados en la fabricación de las viguetas pretensadas, el hormigón pretensado y el acero de la armadura activa.

Se establecen los siguientes parámetros:

- *Tipo.*
- *Resistencia característica.*

- *Coeficiente de seguridad.* Empleados para la obtención de la resistencia de cálculo de los materiales.
- *Alargamiento de rotura.* Solamente para el acero.

Evolución de la resistencia de la vigueta

Evaluación de la resistencia a compresión y a tracción del hormigón pretensado en la vida útil de la vigueta en cada una de las etapas que conforman la construcción del forjado.

Se establecen los siguientes parámetros:

- *Resistencia a compresión.*
- *Resistencia a tracción.*

Evolución de las pérdidas de pretensado

Evaluación de las pérdidas de pretensado de la vigueta en la vida útil de la vigueta pretensada.

Se establecen los siguientes parámetros:

- *Pérdidas instantáneas.* Evaluación de las pérdidas instantáneas en el c.d.g. de la sección. Solamente se estudia en la primera etapa, la de fabricación de las viguetas pretensadas.
- *Pérdidas diferidas.* Evaluación de las pérdidas diferidas en el c.d.g. de la sección. Se estudia en desde la segunda etapa hasta la última.
- *Pérdidas totales.* Evaluación de las pérdidas totales en el c.d.g. de la sección.

Control de fabricación

Se evalúan diferentes aspectos para el control en la producción de viguetas pretensadas.

Se establecen los siguientes parámetros:

- *Contraflecha.* En la fabricación de una vigueta, la pieza tiene una contraflecha debido al pretensado introducido.

- *Recubrimiento.* Comentar si el recubrimiento es el adecuado. Comentar las posibles anomalías en el lote estudiado de viguetas.
- *Existencia de grietas.* Comentar si hay o no existencia de grietas o posibles anomalías en el lote estudiado de viguetas.
- *Rugosidad.* Evaluación de la rugosidad. Se recuerda que la presencia de rugosidad en la vigueta es adecuada en el momento de unión hormigón pretensado – hormigón *in situ* para generar una homogeneización correcta.
- *Coqueras.* Comentar si hay o no existencia de coqueras o posibles anomalías en el lote estudiado de viguetas.

Ensayos realizados sobre la vigueta

Los ensayos se realizan por lotes según producción. Por día de fabricación se realizan probetas y el análisis de la consistencia mediante el Cono de Abrams. El ensayo a flexión se realiza una vez cada 1000 metros de fabricación.

- *Rotura de probetas a compresión.* Aplicación de una carga de manera continua, sin saltos y a una velocidad constante, hasta la rotura de la misma. Se realiza a los 7 y 28 días de edad.
- *Cono de Abrams.* En condiciones normales, una consistencia adecuada es la plástica, que corresponde a un descenso en el ensayo mediante el Cono de Abrams de 3 a 5 cm.
- *Flexión.* Aplicación de una fuerza F a la vigueta (Figura 6.2), de manera continua, sin saltos y a una velocidad constante, hasta la rotura de la misma. Se estudia el momento de rotura y la flecha producida a los 28 días de edad de la vigueta.

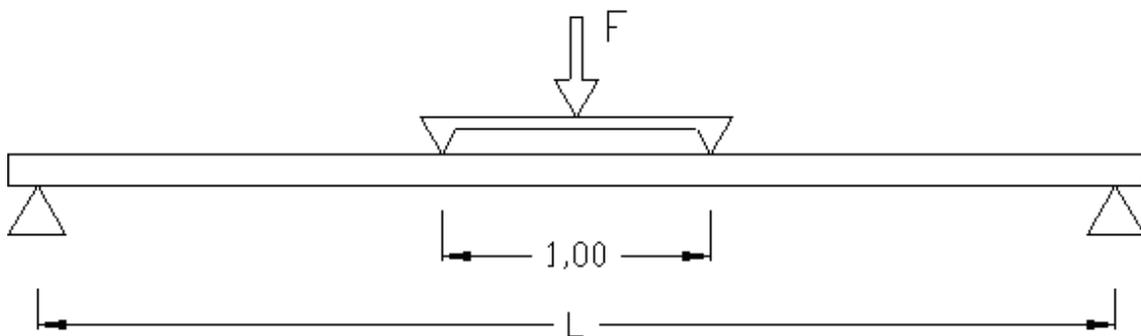


Figura 6.2. Modelo del ensayo a flexión

Materiales forjado

Se citan los materiales empleados en construcción del forjado.

Se establecen los siguientes parámetros:

- *Tipo.*
- *Resistencia característica.*
- *Coefficiente de seguridad.* Empleados para la obtención de la resistencia de cálculo de los materiales.
- *Alargamiento de rotura.* Solamente para el acero.

Pieza de entrevigado

Se dibuja la sección con sus cotas (Figura 6.3). A la vez, se realiza una tabla que especifica las dimensiones de la distintas tipologías de piezas y el peso

Se establecen los siguientes parámetros:

- *Cotas y coordenadas.* Se establecen las dimensiones para cada tipología de piezas.
- *Peso.* En función del material de la pieza de entrevigado y de la tipología, ésta tendrá un peso concreto.

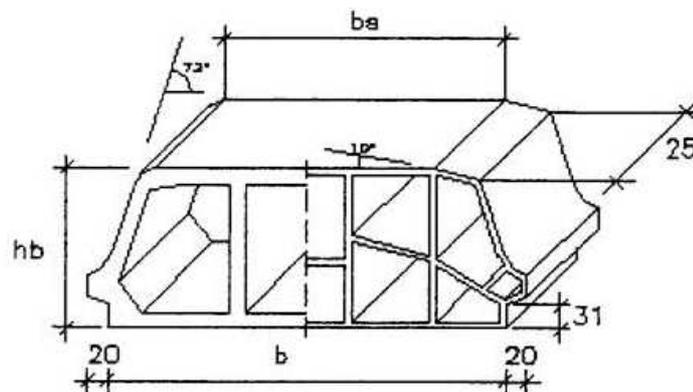


Figura 6.3. Sección pieza de entrevigado

Evolución de la resistencia del hormigón in situ

Evaluación de la resistencia a compresión y a tracción del hormigón in situ que conforma la losa de compresión en la vida útil del forjado.

Se establecen los siguientes parámetros:

- *Resistencia a compresión.*
- *Resistencia a tracción.*

Ensayos realizados sobre en el hormigón in situ

- *Rotura de probetas a compresión.* Aplicación de una carga de manera continua, sin saltos y a una velocidad constante, hasta la rotura de la misma. Se realiza a los 7 y 28 días de edad.
- *Cono de Abrams.* En condiciones normales, una consistencia adecuada es la blanda, que corresponde a un descenso en el ensayo mediante el Cono de Abrams de 6 a 9 cm. Otra consistencia adecuada es la plástica (Descenso de 3 a 5 cm).

Configuración en obra del forjado

Se dibuja la sección definitiva del forjado con todos sus elementos (Figura 6.4 y 6.5).

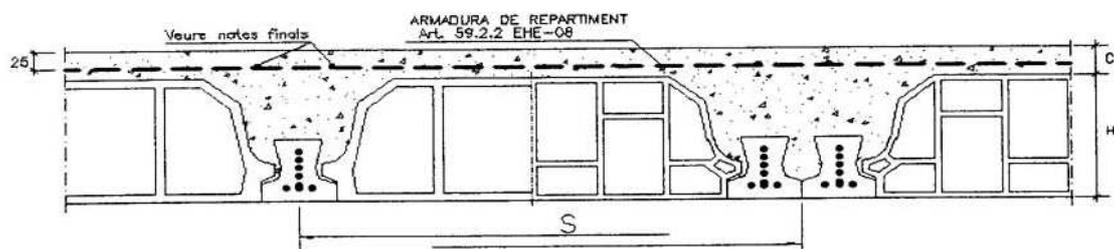


Figura 6.4. Sección en obra del forjado, T – 11.

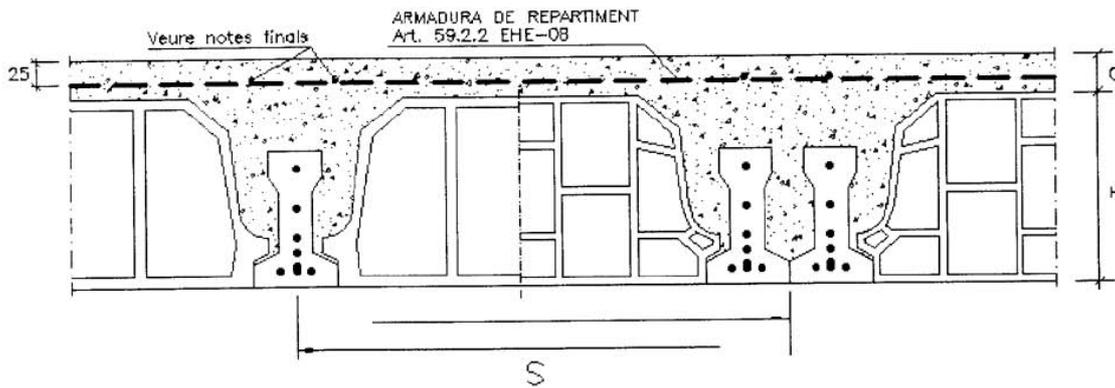


Figura 6.5. Sección en obra del forjado, T – 18.

Forjado

Descripción de las características de los materiales colocados en obra en función de cada tipología de forjado.

Se establecen los siguientes parámetros:

- *Pieza de entrevigado.* Tipología de pieza utilizada.
- *Hormigón in situ.* Litros por metro cuadrado utilizados en la construcción del forjado.
- *Peso.* En función del material de la pieza de entrevigado y de la tipología, ésta tendrá un peso concreto.

Características mecánicas de la vigueta aislada

Estudio de las características mecánicas de la vigueta aislada para saber lo que puede soportar la pieza en solitario. Mediante este estudio, se debe tomar la medida de apuntalar o no el forjado.

Se establecen los siguientes parámetros:

- *Módulo resistente.* Análisis del módulo resistente en la fibra inferior y superior de la vigueta.
- *Tensión pretensado.* Análisis de la tensión de pretensado en la fibra inferior y superior de la vigueta.
- *Momento último.* Análisis del momento último positivo y negativo.

- *Rigidez total.*
- *Cortante.*
- *Momentos de servicio.*

Cargas permanentes

Se señalan las cargas permanentes que debe hacer frente el forjado una vez construido.

Se establecen los siguientes parámetros:

- *Tipo de carga.*
- *Carga.* Valor de la carga permanente con que se ha calculado la estructura.
- *Coeficientes de seguridad.* Coeficiente empleado en el estudio de las combinaciones de acciones para los Estados Límites Últimos (ELU) y los Estados Límites de Servicio (ELS).

Cargas variables

Se señalan las cargas variables que debe hacer frente el forjado una vez construido.

Se establecen los siguientes parámetros:

- *Tipo de carga.*
- *Carga.* Valor de la carga variable con que se ha calculado la estructura.
- *Coeficientes de seguridad.* Coeficiente empleado en el estudio de las combinaciones de acciones para los Estados Límites Últimos (ELU) y los Estados Límites de Servicio (ELS).

Características mecánicas del forjado: Flexión positiva

Estudio de las características mecánicas del forjado para saber lo que puede soportar la estructura una vez construida.

Se analiza el comportamiento del forjado mediante un estudio cuando la estructura está sometida a una flexión positiva, es decir, en el centro de vano. Se realiza en función de la tipología de la viga pretensada.

Se establecen los siguientes parámetros:

- *Modulo resistente inferior.*
- *Momento último.*
- *Coeficiente β .* Relación entre inercias del forjado y la viga. $\beta = \frac{I_{bforjado}}{I_{bviga}}$
- *Rigidez.*
- *Momento límite servicio.*
- *Cortante último.* Valor de V_u sin co atribución de ,la armadura de corte

Características mecánicas del forjado: Flexión negativa

Estudio de las características mecánicas del forjado para saber lo que puede soportar la estructura una vez construida.

Se analiza el comportamiento del forjado mediante un estudio cuando la estructura está sometida a una flexión negativa, es decir, en el extremo de vano. Se realiza en función del armado pasivo (los negativos) colocado en la losa de compresión. Éste no va en función de la tipología de la viga debido a que la fibra neutra cae dentro de la losa de compresión, independientemente de la viga.

Se establecen los siguientes parámetros:

- *Área de la armadura pasiva.*
- *Momento último.*
- *Rigidez.*
- *Momento fisuración.*
- *Cortante último.* Valor de V_u sin co atribución de la armadura de corte.

Modelo de las Fichas Técnicas

7.1 Introducción

Empleando el programa AESS y el PCBS adaptados al cálculo de secciones compuestas (hormigón prefabricado – hormigón *in situ*) y considerando la construcción de un forjado a partir de etapas se recalculan las Fichas de Características Técnicas.

7.2 Aplicación de las Fichas Técnicas

Según lo estudiado en el punto 1.3.2 de la presente Tesina, se han estudiado las Fichas de Características Técnicas de dos forjados de canto 30 cm formado con semiviguetas pretensadas y viguetas autoportantes respectivamente (Tabla 7.1).

Forjado	Vigueta	
25 + 5 (60)	Semivigueta	T-11-2
25 + 5 (60)	Autoportante	T-18-2

Tabla 7.1. Casos estudiados

Se escogerá una obra concreta realizada en el 2009, donde se tiene toda la información necesaria para realizar las Fichas de Características Técnicas. Para salvaguardar la privacidad de todas las personas que realizaron el presente ejemplo de aplicación, los datos no se mencionan. Sin embargo los datos que se muestran son:

- Obra.
- Localidad.
- Situación.
- Calculista.
- Arquitecto.
- Jefe de obra.

Presentamos el periodo que conforma la construcción del forjado en todas sus etapas (Tabla 7.2).

Etapas	Periodo	Descripción
1		Fabricación de las viguetas pretensadas.
2		Colocación de las viguetas en el forjado.
3		Colocación de las bovedillas, las mallas electrosoldadas y la armadura pasiva (negativos), y vertido del hormigón in situ para la formación de la losa de compresión.
4		Desapuntalamiento del forjado.
5		Colocación de las cargas permanentes: tabiquería, terrazo, etc.
6		Estudio de la sección compuesta a corto plazo teniendo en cuenta las sobrecargas de uso.
7		Estudio de la sección compuesta a largo plazo.

Tabla 7.2. Etapas de la construcción del forjado

7.3 Formato de las Fichas Técnicas

El formato de las nuevas de las Fichas de Características Técnicas se basa en cuatro aspectos:

- Formato de la actual Ficha Técnica.
- Formato presentado por José Calavera (2002).
- Adaptación en el mercado CE.
- Aplicación de la nueva manera de calcular y de presentar las Fichas Técnicas.

En el inicio de las Fichas Técnicas, se presenta una hoja anexa que describe todos los técnicos que intervienen en la obra concreta y los aspectos legales necesarios.

7.4 Fichas de Características Técnicas

Con lo expuesto anteriormente y aplicado al caso enunciado, se presentan a continuación las Fichas de Características Técnicas.

Fichas de Características Técnicas

Modelo T-11-2

FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS

Administración reguladora:
Ministerio de Vivienda

Aprobación de las Fichas Técnicas:
2011

Sello Marcado CE:

Caducidad de las Fichas Técnicas:
2016

Fabricante:
Biguetes Solé, S.L.

Obra:
X

Técnico de las Fichas Técnicas:
Rafel Solé Miró

Forjado:
Primera planta

Técnico de la memoria:
Rafel Solé Miró

Localidad:
X

Programa de cálculo:
PCBS

Situación:
X

Calculista:
X

Versión:
1

Arquitecto:
X

Fecha:
Febrero 2011

Jefe de obra:
X

MODELO VIGUETA Tipo:
T-11-2

FORJADO Tipo:
(25 + 5) x 60

Etapas de la construcción del forjado

Etapa	Periodo (días)	Descripción
1	2	Fabricación de las viguetas pretensadas.
2	3	Colocación de las viguetas en el forjado.
3	5	Colocación de las bovedillas, las mallas electrosoldadas y la armadura pasiva (negativos), y vertido del hormigón in situ para la formación de la losa de compresión.
4	33	Desapuntalamiento del forjado.
5	34	Colocación de las cargas permanentes: tabiquería, terrazo, etc.
6	40	Estudio de la sección compuesta a corto plazo teniendo en cuenta las sobrecargas de uso.
7	∞	Estudio de la sección compuesta a largo plazo.

FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS

MODELO VIGUETA Tipo:
T-11-2

Obra:
X

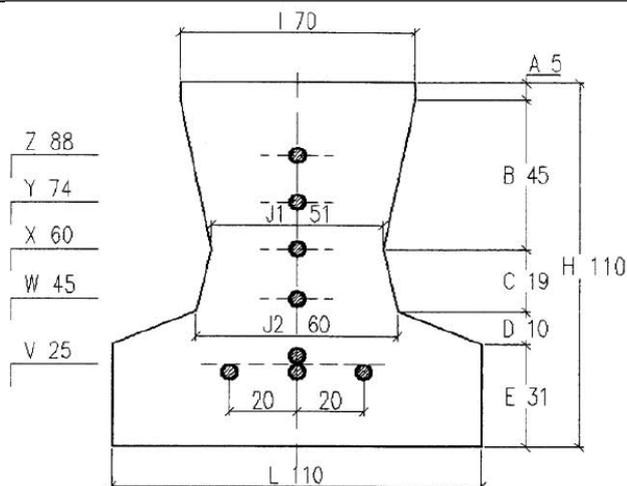
FORJADO Tipo:
(25 + 5) x 60

Versión:
1

Fecha:
Febrero 2011

Nº de hoja:
1 de 8

Vigueta (mm)



Recubrimientos (mm)

Lateral	32,5
Inferior	22,5
Superior	19,5

Armado de la vigueta

Tipo de vigueta	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
Z	-	-	-	-	1ø5
Y	1ø5	1ø5	1ø5	1ø5	-
X	-	-	1ø5	1ø5	1ø5
W	-	-	-	1ø5	1ø5
V	2ø5	3ø5	3ø5	3ø5	4ø5
Fuerza inicial de pretensado (kN)	---	109,6	---	---	---
Tensión inicial de pretensado (N/mm²)	---	1395	---	---	---

Materiales vigueta

	Tipo	Resistencia característica (N/mm ²)	Coefficientes de Seguridad	Alargamiento rotura (%)
Hormigón pretensado	HP-45/P/12/IIa	45	1,50	---
Acero armadura activa	Y 1860 C 5 I	1585	1,10	≥ 3,5

**FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO
UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS**

MODELO VIGUETA Tipo:
T-11-2

Obra:
X

FORJADO Tipo:
(25 + 5) x 60

Forjado:
Primera planta

Versión:
1

Fecha:
Febrero 2011

Nº de hoja:
2 de 8

Evolución de la resistencia de la vigueta (EHE-08)

Etapa	Resistencia a compresión (N/mm ²)	Resistencia a tracción (N/mm ²)
1	30,62	2,19
2	35,13	2,52
3	40,32	2,89
4	52,60	3,77
5	52,80	3,78
6	54,13	3,87
7	64,05	4,35

Evolución de las pérdidas de pretensado de la vigueta (EHE-08)

Tipo	Etapa	Δ%	ΔFuerza (kN)	ΔTensión (N/mm ²)	Totales (cdg)		
					%	Fuerza (kN)	Tensión (N/mm ²)
Instantáneas (cdg)	1	8,63	9,5	120,44	8,63	100,1	1274,56
	2	12,34	13,93	172,18	20,97	86,58	1102,38
Diferidas (cdg)	3	0,09	0,1	1,24	21,06	86,48	1101,14
	4	3,11	3,4	43,36	24,17	83,08	1057,78
	5	0,06	0,07	0,81	24,23	83,01	1056,97
	6	0,39	0,43	5,55	24,62	82,58	1051,42
	7	2,89	3,16	40,19	27,51	79,42	1011,23

Control de fabricación (Marcado CE)

Contraflecha	Correcta
Recubrimiento	Correcto
Existencia de grietas	No
Rugosidad	Correcta
Coqueras	No

FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS

MODELO VIGUETA Tipo:
T-11-2

Obra:
X

FORJADO Tipo:
(25 + 5) x 60

Forjado:
Primera planta

Versión:
1

Fecha:
Febrero 2011

Nº de hoja:
3 de 8

Ensayos realizados sobre la vigueta y el hormigón pretensado (Marcado CE)

Rotura de probetas a compresión

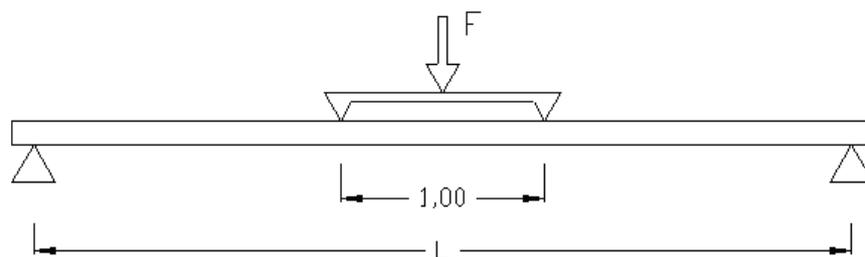
Nº Probeta	Fecha Fabricación	Fecha ensayo	Días probeta	Carga rotura (Tn)	Tensión rotura (kg/cm ²)
A	1/10/2010	8/10/2010	7	16	307
		29/10/2010	28	18	452
B	6/10/2010	13/10/2010	7	18	306
		3/11/2010	28	20	465
C	2/12/2010	9/12/2010	7	18	290
		30/12/2010	28	21	455

Cono de Abrams

Nº Cono	Fecha del ensayo	Consistencia del hormigón	Descenso (cm)
A	1/10/2010	Plástica	2,9
B	6/10/2010	Plástica	2,5
C	2/12/2010	Plástica	3,5

Flexión

Modelo del ensayo



Vigueta	Fecha fabricación	Fecha ensayo	Longitud (m)	F = Fuerza ensayo (kN)	Momento ensayo (kNm)	Flecha (mm)
A	1/10/2010	29/10/2010	3,9	5,51	4	0,2
B	6/10/2010	3/11/2010	3,9	5,10	3,7	0,25
C	10/11/2010	8/12/2010	3,7	6,22	4,2	0,18
D	18/11/2010	16/12/2010	4	5,73	4,3	0,23
E	2/12/2010	30/12/2010	3,8	5,42	3,8	0,2

FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS

MODELO VIGUETA Tipo:
T-11-2

Obra:
X

FORJADO Tipo:
(25 + 5) x 60

Forjado:
Primera planta

Versión:
1

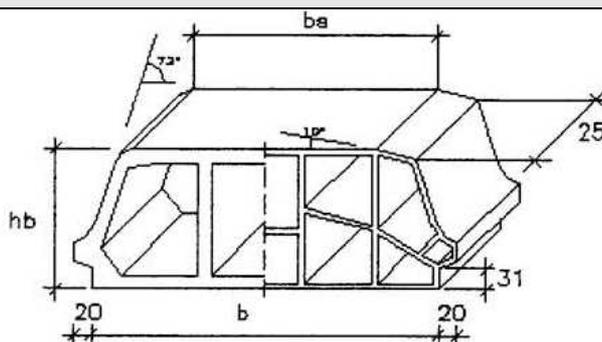
Fecha:
Febrero 2011

Nº de hoja:
4 de 8

Materiales forjado

	Tipo	Resistencia característica (N/mm ²)	Coefficientes de Seguridad	Alargamiento rotura (%)
Pieza entrevigado	25 x 60	---	---	---
Malla electrosoldadas	B 500 T	500	1,15	≥ 11
Armadura pasiva	B 500 S	500	1,15	≥ 12
Hormigón <i>in situ</i>	HA-25/P/12/Ila	25	1,50	---

Pieza de entrevigado (mm)



Tipo (hb x eje)	Cotas y coordenadas (mm)			Peso (N/ut)		
	hb	b	bs	Cerámica	Hormigón	Poliéster
16 x 70	160	590	490	95	186	2
16 x 60	160	490	420	80	151	2
18 x 70	180	590	490	101	196	2
18 x 60	180	490	436	84	158	2
20 x 70	200	590	490	106	205	3
20 x 60	200	490	430	88	164	2
22 x 70	220	590	490	111	214	3
22 x 60	220	490	424	93	171	2
25 x 70	250	590	490	118	227	3
25 x 60	250	490	415	99	181	3
30 x 70	300	590	490	120	210	3
30 x 60	300	490	410	110	198	3

FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS

MODELO VIGUETA Tipo:
T-11-2

Obra:
X

FORJADO Tipo:
(25 + 5) x 60

Forjado:
Primera planta

Versión:
1

Fecha:
Febrero 2011

Nº de hoja:
5 de 8

Evolución de la resistencia del hormigón *in situ* (EHE-08)

Etapa	Resistencia a compresión (N/mm ²)	Resistencia a tracción (N/mm ²)
1	---	---
2	---	---
3	---	---
4	31,75	2,47
5	31,96	2,48
6	33,28	2,59
7	41,81	3,25

Ensayos realizados el hormigón *in situ*

Rotura de probetas a compresión

Nº Probeta	Fecha Fabricación	Fecha ensayo	Días probeta	Carga rotura (Tn)	Tensión rotura (kg/cm ²)
A	8/12/2010	15/12/2010	7	10	205
		5/1/2011	28	16	270
B	8/12/2010	15/12/2010	7	11	180
		5/1/2011	28	15	269
C	8/12/2010	15/12/2010	7	11	197
		5/1/2011	28	17	261

Cono de Abrams

Nº Cono	Fecha del ensayo	Consistencia del hormigón	Descenso (mm)
A	8/12/2010	Plástica	6
B	8/12/2010	Plástica	7
C	8/12/2010	Plástica	6,5

FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS

MODELO VIGUETA Tipo:
T-11-2

Obra:
X

FORJADO Tipo:
(25 + 5) x 60

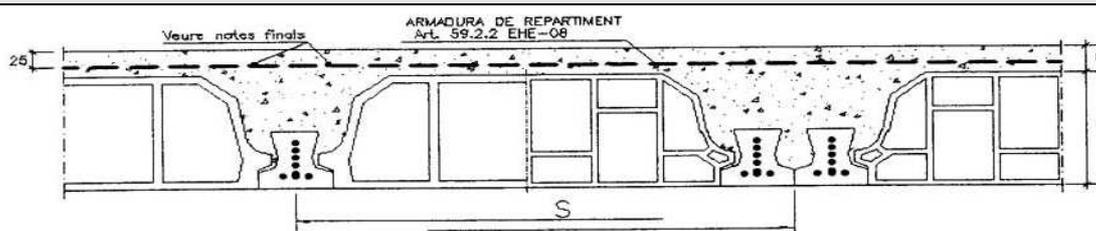
Forjado:
Primera planta

Versión:
1

Fecha:
Febrero 2011

Nº de hoja:
6 de 8

Configuración en obra del forjado



Forjado

Tipo de Forjado (h + c)*s[/D]	Pieza de entrevigado	Hormigón in situ (Litres/m ²)	Peso (kN/m ²)		
			Cerámica	Hormigón	Poliéster
(16 + 5) x 70	16 x 70	75	2,64	3,16	1,88
(16 + 5) x 60	16 x 60	59	2,78	3,25	2,00
(18 + 5) x 70	18 x 70	76	2,70	3,24	2,00
(18 + 5) x 60	18 x 60	80	2,83	3,32	2,14
(20 + 5) x 70	20 x 70	80	2,82	3,39	2,13
(20 + 5) x 60	20 x 60	85	2,98	3,48	2,27
(22 + 5) x 70	22 x 70	84	2,96	3,55	2,25
(22 + 5) x 60	22 x 60	90	3,13	3,65	2,41
(22 + 5) x 81 D	22 x 70	99	3,45	3,96	2,80
(22 + 5) x 71 D	22 x 60	106	3,66	4,10	3,03
(25 + 5) x 70	25 x 70	91	3,17	3,79	2,41
(25 + 5) x 60	25 x 60	98	3,37	3,91	2,65
(25 + 5) x 81 D	25 x 70	109	3,72	4,26	3,04
(25 + 5) x 71 D	25 x 60	118	3,97	4,43	3,33
(30 + 5) x 70	30 x 70	103	3,45	3,97	3,00
(30 + 5) x 60	30 x 60	112	3,76	4,35	3,05
(30 + 5) x 81 D	30 x 70	126	4,14	4,58	3,81
(30 + 5) x 71 D	30 x 60	137	4,24	4,74	3,88

**FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO
UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS**

MODELO VIGUETA Tipo:
T-11-2

Obra:
X

FORJADO Tipo:
(25 + 5) x 60

Forjado:
Primera planta

Versión:
1

Fecha:
Febrero 2011

Nº de hoja:
7 de 8

Características mecánicas de la vigueta aislada

Tipo de vigueta		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
Módulo resistente (cm ³)	Winf	---	205,28	---	---	---
	Wsup	---	154,02	---	---	---
Tensión pretensado (N/mm ²)	σp.inf	---	16,80	---	---	---
	σp.sup	---	4,45	---	---	---
Momento Último (kN·m)	Mu positivo	---	6,54	---	---	---
	Mu negativo	---	2,71	---	---	---
Rigidez total E·Ib (MN·m ²)		---	0,39	---	---	---
Cortante (kN)	Vu	---	12,31	---	---	---
Momentos de Servicio (kN·m)	M ₀ D	---	2,90	---	---	---
	M ₀ ' TL	---	3,45	---	---	---
	M _{0,2} FC	---	3,65	---	---	---

Cargas consideradas en el forjado

Cargas Permanentes

Tipo de carga	Carga	Coeficiente de seguridad	
		ELU	ELS
Pavimento	80 kg/m ²	1,35	1,00
Tabiquería	100 kg/m ²	1,35	1,00

Cargas Variables

Tipo de carga	Carga	Coeficiente de seguridad	
		ELU	ELS
Sobrecargas de uso	200 kg/m ²	1,50	1,00

Fichas de Características Técnicas

Modelo T-18-2

FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS

Administración reguladora:
Ministerio de Vivienda

Aprobación de las Fichas Técnicas:
2011

Sello Marcado CE:

Caducidad de las Fichas Técnicas:
2016

Fabricante:
Biguetes Solé, S.L.

Obra:
X

Técnico de las Fichas Técnicas:
Rafel Solé Miró

Forjado:
Primera planta

Técnico de la memoria:
Rafel Solé Miró

Localidad:
X

Programa de cálculo:
PCBS

Situación:
X

Calculista:
X

Versión:
1

Arquitecto:
X

Fecha:
Febrero 2011

Jefe de obra:
X

MODELO VIGUETA Tipo:
T-11-2

FORJADO Tipo:
(25 + 5) x 60

Etapas de la construcción del forjado

Etapa	Periodo (días)	Descripción
1	2	Fabricación de las viguetas pretensadas.
2	3	Colocación de las viguetas en el forjado.
3	5	Colocación de las bovedillas, las mallas electrosoldadas y la armadura pasiva (negativos), y vertido del hormigón in situ para la formación de la losa de compresión.
4	33	Desapuntalamiento del forjado.
5	34	Colocación de las cargas permanentes: tabiquería, terrazo, etc.
6	40	Estudio de la sección compuesta a corto plazo teniendo en cuenta las sobrecargas de uso.
7	∞	Estudio de la sección compuesta a largo plazo.

FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS

MODELO VIGUETA Tipo:
T-11-2

Obra:
X

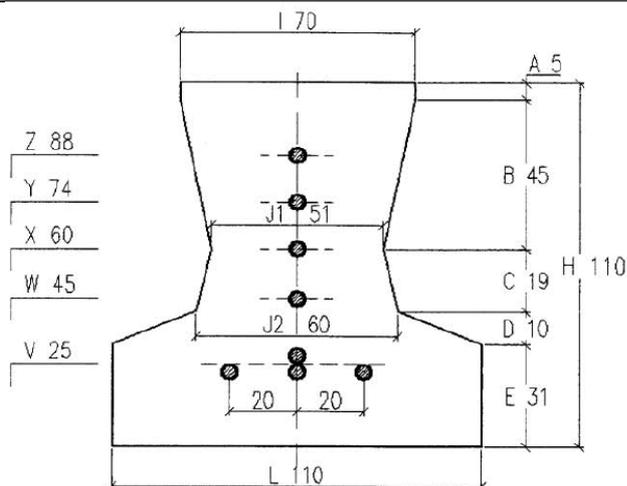
FORJADO Tipo:
(25 + 5) x 60

Versión:
1

Fecha:
Febrero 2011

Nº de hoja:
1 de 8

Vigueta (mm)



Recubrimientos (mm)

Lateral	32,5
Inferior	22,5
Superior	19,5

Armado de la vigueta

Tipo de vigueta	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
Z	-	-	-	-	1ø5
Y	1ø5	1ø5	1ø5	1ø5	-
X	-	-	1ø5	1ø5	1ø5
W	-	-	-	1ø5	1ø5
V	2ø5	3ø5	3ø5	3ø5	4ø5
Fuerza inicial de pretensado (kN)	---	109,6	---	---	---
Tensión inicial de pretensado (N/mm²)	---	1395	---	---	---

Materiales vigueta

	Tipo	Resistencia característica (N/mm ²)	Coefficientes de Seguridad	Alargamiento rotura (%)
Hormigón pretensado	HP-45/P/12/Ila	45	1,50	---
Acero armadura activa	Y 1860 C 5 I	1585	1,10	≥ 3,5

FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS

MODELO VIGUETA Tipo:
T-11-2

Obra:
X

FORJADO Tipo:
(25 + 5) x 60

Forjado:
Primera planta

Versión:
1

Fecha:
Febrero 2011

Nº de hoja:
2 de 8

Evolución de la resistencia de la vigueta (EHE-08)

Etapa	Resistencia a compresión (N/mm ²)	Resistencia a tracción (N/mm ²)
1	30,62	2,19
2	35,13	2,52
3	40,32	2,89
4	52,60	3,77
5	52,80	3,78
6	54,13	3,87
7	64,05	4,35

Evolución de las pérdidas de pretensado de la vigueta (EHE-08)

Tipo	Etapa	Δ%	ΔFuerza (kN)	ΔTensión (N/mm ²)	Totales (cdg)		
					%	Fuerza (kN)	Tensión (N/mm ²)
Instantáneas (cdg)	1	8,63	9,5	120,44	8,63	100,1	1274,56
	2	12,34	13,93	172,18	20,97	86,58	1102,38
Diferidas (cdg)	3	0,09	0,1	1,24	21,06	86,48	1101,14
	4	3,11	3,4	43,36	24,17	83,08	1057,78
	5	0,06	0,07	0,81	24,23	83,01	1056,97
	6	0,39	0,43	5,55	24,62	82,58	1051,42
	7	2,89	3,16	40,19	27,51	79,42	1011,23

Control de fabricación (Marcado CE)

Contraflecha	Correcta
Recubrimiento	Correcto
Existencia de grietas	No
Rugosidad	Correcta
Coqueras	No

FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS

MODELO VIGUETA Tipo:
T-11-2

Obra:
X

FORJADO Tipo:
(25 + 5) x 60

Forjado:
Primera planta

Versión:
1

Fecha:
Febrero 2011

Nº de hoja:
3 de 8

Ensayos realizados sobre la vigueta y el hormigón pretensado (Marcado CE)

Rotura de probetas a compresión

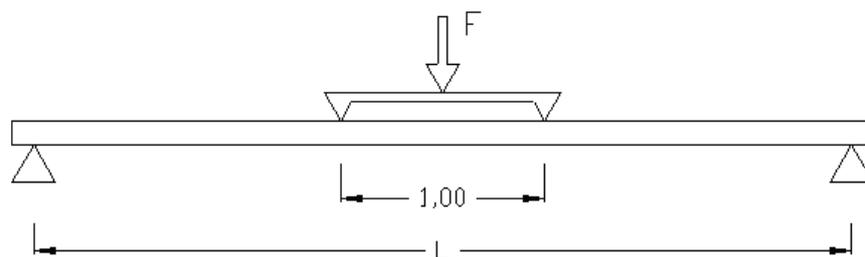
Nº Probeta	Fecha Fabricación	Fecha ensayo	Días probeta	Carga rotura (Tn)	Tensión rotura (kg/cm ²)
A	1/10/2010	8/10/2010	7	16	307
		29/10/2010	28	18	452
B	6/10/2010	13/10/2010	7	18	306
		3/11/2010	28	20	465
C	2/12/2010	9/12/2010	7	18	290
		30/12/2010	28	21	455

Cono de Abrams

Nº Cono	Fecha del ensayo	Consistencia del hormigón	Descenso (cm)
A	1/10/2010	Plástica	2,9
B	6/10/2010	Plástica	2,5
C	2/12/2010	Plástica	3,5

Flexión

Modelo del ensayo



Vigueta	Fecha fabricación	Fecha ensayo	Longitud (m)	F = Fuerza ensayo (kN)	Momento ensayo (kNm)	Flecha (mm)
A	1/10/2010	29/10/2010	3,9	5,51	4	0,2
B	6/10/2010	3/11/2010	3,9	5,10	3,7	0,25
C	10/11/2010	8/12/2010	3,7	6,22	4,2	0,18
D	18/11/2010	16/12/2010	4	5,73	4,3	0,23
E	2/12/2010	30/12/2010	3,8	5,42	3,8	0,2

FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS

MODELO VIGUETA Tipo:
T-11-2

Obra:
X

FORJADO Tipo:
(25 + 5) x 60

Forjado:
Primera planta

Versión:
1

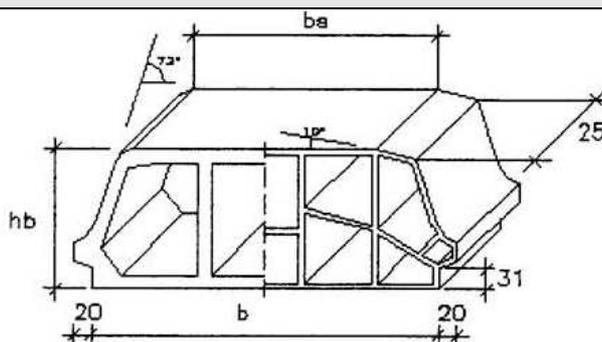
Fecha:
Febrero 2011

Nº de hoja:
4 de 8

Materiales forjado

	Tipo	Resistencia característica (N/mm ²)	Coefficientes de Seguridad	Alargamiento rotura (%)
Pieza entrevigado	25 x 60	---	---	---
Malla electrosoldadas	B 500 T	500	1,15	≥ 11
Armadura pasiva	B 500 S	500	1,15	≥ 12
Hormigón <i>in situ</i>	HA-25/P/12/Ila	25	1,50	---

Pieza de entrevigado (mm)



Tipo (hb x eje)	Cotas y coordenadas (mm)			Peso (N/ut)		
	hb	b	bs	Cerámica	Hormigón	Poliéster
16 x 70	160	590	490	95	186	2
16 x 60	160	490	420	80	151	2
18 x 70	180	590	490	101	196	2
18 x 60	180	490	436	84	158	2
20 x 70	200	590	490	106	205	3
20 x 60	200	490	430	88	164	2
22 x 70	220	590	490	111	214	3
22 x 60	220	490	424	93	171	2
25 x 70	250	590	490	118	227	3
25 x 60	250	490	415	99	181	3
30 x 70	300	590	490	120	210	3
30 x 60	300	490	410	110	198	3

FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS

MODELO VIGUETA Tipo:
T-11-2

Obra:
X

FORJADO Tipo:
(25 + 5) x 60

Forjado:
Primera planta

Versión:
1

Fecha:
Febrero 2011

Nº de hoja:
5 de 8

Evolución de la resistencia del hormigón *in situ* (EHE-08)

Etapa	Resistencia a compresión (N/mm ²)	Resistencia a tracción (N/mm ²)
1	---	---
2	---	---
3	---	---
4	31,75	2,47
5	31,96	2,48
6	33,28	2,59
7	41,81	3,25

Ensayos realizados el hormigón *in situ*

Rotura de probetas a compresión

Nº Probeta	Fecha Fabricación	Fecha ensayo	Días probeta	Carga rotura (Tn)	Tensión rotura (kg/cm ²)
A	8/12/2010	15/12/2010	7	10	205
		5/1/2011	28	16	270
B	8/12/2010	15/12/2010	7	11	180
		5/1/2011	28	15	269
C	8/12/2010	15/12/2010	7	11	197
		5/1/2011	28	17	261

Cono de Abrams

Nº Cono	Fecha del ensayo	Consistencia del hormigón	Descenso (mm)
A	8/12/2010	Plástica	6
B	8/12/2010	Plástica	7
C	8/12/2010	Plástica	6,5

FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS

MODELO VIGUETA Tipo:
T-11-2

Obra:
X

FORJADO Tipo:
(25 + 5) x 60

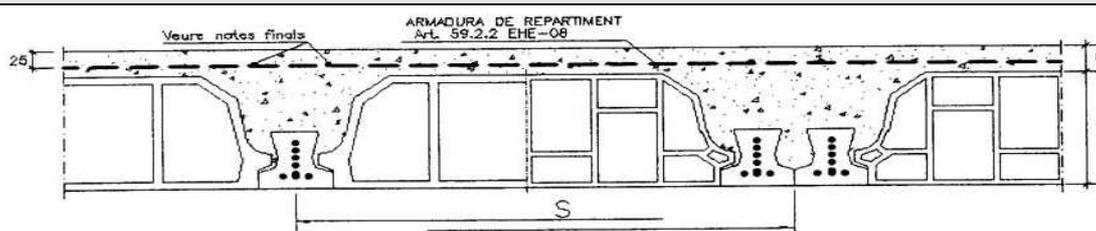
Forjado:
Primera planta

Versión:
1

Fecha:
Febrero 2011

Nº de hoja:
6 de 8

Configuración en obra del forjado



Forjado

Tipo de Forjado (h + c)*s[/D]	Pieza de entrevigado	Hormigón in situ (Litres/m ²)	Peso (kN/m ²)		
			Cerámica	Hormigón	Poliéster
(16 + 5) x 70	16 x 70	75	2,64	3,16	1,88
(16 + 5) x 60	16 x 60	59	2,78	3,25	2,00
(18 + 5) x 70	18 x 70	76	2,70	3,24	2,00
(18 + 5) x 60	18 x 60	80	2,83	3,32	2,14
(20 + 5) x 70	20 x 70	80	2,82	3,39	2,13
(20 + 5) x 60	20 x 60	85	2,98	3,48	2,27
(22 + 5) x 70	22 x 70	84	2,96	3,55	2,25
(22 + 5) x 60	22 x 60	90	3,13	3,65	2,41
(22 + 5) x 81 D	22 x 70	99	3,45	3,96	2,80
(22 + 5) x 71 D	22 x 60	106	3,66	4,10	3,03
(25 + 5) x 70	25 x 70	91	3,17	3,79	2,41
(25 + 5) x 60	25 x 60	98	3,37	3,91	2,65
(25 + 5) x 81 D	25 x 70	109	3,72	4,26	3,04
(25 + 5) x 71 D	25 x 60	118	3,97	4,43	3,33
(30 + 5) x 70	30 x 70	103	3,45	3,97	3,00
(30 + 5) x 60	30 x 60	112	3,76	4,35	3,05
(30 + 5) x 81 D	30 x 70	126	4,14	4,58	3,81
(30 + 5) x 71 D	30 x 60	137	4,24	4,74	3,88

**FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FORJADO
UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS**

MODELO VIGUETA Tipo:
T-11-2

Obra:
X

FORJADO Tipo:
(25 + 5) x 60

Forjado:
Primera planta

Versión:
1

Fecha:
Febrero 2011

Nº de hoja:
7 de 8

Características mecánicas de la vigueta aislada

Tipo de vigueta		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
Módulo resistente (cm ³)	Winf	---	205,28	---	---	---
	Wsup	---	154,02	---	---	---
Tensión pretensado (N/mm ²)	σp.inf	---	16,80	---	---	---
	σp.sup	---	4,45	---	---	---
Momento Último (kN·m)	Mu positivo	---	6,54	---	---	---
	Mu negativo	---	2,71	---	---	---
Rigidez total E·Ib (MN·m ²)		---	0,39	---	---	---
Cortante (kN)	Vu	---	12,31	---	---	---
Momentos de Servicio (kN·m)	M ₀ D	---	2,90	---	---	---
	M ₀ ' TL	---	3,45	---	---	---
	M _{0,2} FC	---	3,65	---	---	---

Cargas consideradas en el forjado

Cargas Permanentes

Tipo de carga	Carga	Coeficiente de seguridad	
		ELU	ELS
Pavimento	80 kg/m ²	1,35	1,00
Tabiquería	100 kg/m ²	1,35	1,00

Cargas Variables

Tipo de carga	Carga	Coeficiente de seguridad	
		ELU	ELS
Sobrecargas de uso	200 kg/m ²	1,50	1,00

Conclusiones

Introducción

La adaptación de los fabricantes de viguetas pretensadas en el mercado CE es ya una realidad. Sin embargo, en la actualidad están conviviendo dos modelos distintos de control del producto, las Fichas de Características Técnicas y el marcado CE.

Aunque la normativa vigente provoca que las Fichas Técnicas adopten un carácter voluntario a partir de 2011, en la presente Tesina se ha cuestionado su nuevo papel, y se ha pensado en un nuevo modelo que englobe todos los aspectos posibles.

El diseño de un nuevo formato de las Fichas de Características Técnicas que unifique la información aportada hasta la fecha de las mismas, la documentación y aspectos requeridos por el mercado CE, y los diferentes parámetros y propiedades necesarios para evaluar la vigueta y el forjado durante la vida útil de la estructura, abrirá un nuevo camino reglamentario.

Marcado CE

El nuevo mercado CE obliga al fabricante, por una parte, a la posesión de los certificados de calidad de los materiales utilizados en la fabricación de las viguetas. Su finalidad es la de identificar la procedencia del material para garantizar la calidad del mismo. Para cada material, así como también, para el producto final como es la vigueta, el fabricante debe realizar informes sobre los ensayos realizados. En este sentido, los informes son diarios, semanales, mensuales y trimestrales.

Por otra parte, el mercado CE exige que cada mecanismo emparado en la planta para la producción de viguetas, tenga un certificado de calidad. Éste debe contener las revisiones realizadas y todos los aspectos que garanticen la calibración

precisa de las máquinas; si es necesario, la maquinaria debe poseer también certificados sobre niveles de contaminación ambiental.

Todos los aspectos que exige el mercado CE, están presentes en el nuevo formato de las Fichas Técnicas. Mediante un sello del mercado CE en las Fichas Técnicas, se establece su aprobación ya que en ellas aparecen los principales aspectos requeridos. Sin embargo, la supervisión anual por parte del mercado CE debe tener continuidad. A parte de exigir la documentación ya mencionada, el mercado CE debería realizar un control sobre las Fichas Técnicas y los forjados contruidos mediante el elemento prefabricado, la vigueta.

Fichas Técnicas actuales

Las actuales Fichas Técnicas describen el forjado unidireccional y los elementos que lo integran, y hace una evaluación de las características mecánicas de la vigueta aislada y del forjado a largo plazo. Sin embargo, no se tienen en cuenta, ni las etapas de la construcción del forjado donde las características de los materiales evolucionan, ni que controles se han sometido los elementos de la estructura. A la vez, en ellas no aparecen posibles anomalías de los materiales, ni observaciones a tener en cuenta para la estructura específica.

Por otra parte, mediante estas Fichas Técnicas, el forjado no se puede evaluar en un periodo concreto debido a la ausencia de las características de los materiales durante la fabricación de las viguetas, como pueden ser las pérdidas de pretensado.

Nuevas Fichas Técnicas

La idea principal de las nuevas Fichas Técnicas es su adaptación para cada obra que la empresa intervenga. Mediante un control exhaustivo de la producción de viguetas pretensadas y de la construcción del forjado pertinente, las Fichas Técnicas se realizan en base a este control.

Como principal novedad en el contenido de las Fichas Técnicas, se encuentran los últimos ensayos realizados en las viguetas y en sus materiales, el estado de la pieza durante su vida útil mediante una evaluación de las pérdidas de pretensado, y de los ensayos específicos realizados sobre el hormigón *in situ* que conforma la losa de compresión. A parte, el sello del mercado CE garantiza los datos expuestos y las formulaciones empleadas.

La realización de las Fichas Técnicas para cada obra, aplicando el mismo proceso de cálculo y la misma metodología a seguir, implica un control muy específico de ese forjado. Esto provoca un seguimiento mayor en dicha estructura, y la evaluación de la misma en cualquier instante. Posibles cambios de uso del forjado o

posibles anomalías, podrán ser estudiadas a partir de los parámetros de las Fichas Técnicas.

Las nuevas Fichas Técnicas contienen la información que ya existía en ellas, y a la vez, se aprovecha para darle un enfoque diferente. La visión por etapas de la construcción del forjado unidireccional, comporta la posibilidad de tener un mayor control, y este aumento de la supervisión, permite principalmente evaluar los materiales emparados a lo largo de la vida útil de la estructura. De esta manera, cada obra realizada por la empresa, estará sometida a un seguimiento más exhaustivo y particular. Este control específico es inexistente hasta la fecha.

Por tanto, es imprescindible la utilización de programas que puedan estudiar la evolución del forjado unidireccional semiprefabricado. Mediante la programación ya realizada en el AESS, y la creación de una hoja de cálculo para la empresa Biguetes Solé S.L., Programa de Cálculo Biguetes Solé (PCBS), se estudia y analiza las características y propiedades del forjado conjuntamente con los materiales que lo integran, desde la fabricación de las viguetas hasta cualquier instante de la vida útil del forjado o de las propias viguetas.

El AESS y el PCBS recogen las formulaciones de la normativa española vigente, la EHE-08, que a diferencia de las últimas Fichas Técnicas, las del 2009, existía algún aspecto calculado mediante formulaciones de la anterior instrucción de hormigón, la EHE-98.

Contexto actual y futuro

El Ministerio de Vivienda ha aprovechado la aplicación del marcado CE de situar las Fichas Técnicas en un punto intermedio en la reglamentación. El hecho de otorgar, a partir de 2011, la categoría de voluntarias a las Fichas Técnicas, rompe con lo seguido hasta el momento. Si nos ponemos en la situación de que la empresa decidiese no tener en su posesión las Fichas Técnicas, la empresa debería realizar de alguna manera u otra, el mismo control que proporcionaban. Por ejemplo, el forjado una vez construido, las propiedades de la estructura para soportar las solicitaciones que fueran, deberían ser estudiadas. A la vez, el calculista debería estar en contacto permanente con el fabricante con el fin de conocer la actual producción de viguetas y posibles modificaciones. Sin las Fichas Técnicas, se pierde un hilo importante, y probablemente sea perjudicial para la empresa, ya que los calculistas podrían dejar de utilizar esta tipología de forjado por no tener un documento que compruebe lo proyectado.

Sin embargo, la entrada del marcado CE aporta ciertos aspectos, hasta la fecha poco seguidos por la administración. El control, mediante certificados de calidad de los materiales y de la maquinaria empleada, implica un primer seguimiento. La supervisión anual del agente exterior encargado del marcado CE, hace que haya una

buena base para realizar un buen producto, y así, construir una estructura con un nivel de garantía superior.

La entrega de un Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido (DOR), es una manera de reconocer al fabricante la faena bien hecha. Mediante este distintivo de calidad, se reducirán los coeficientes de seguridad en los materiales (hormigón y acero) en el cálculo y fabricación de las viguetas pretensadas. Es importante la creación de dicho certificado de calidad, independientemente de la aplicación del marcado CE, ya que hasta la fecha, con la utilización de los coeficientes de seguridad no se daba importancia al trabajo bien hecho por el fabricante, ni tampoco en la construcción del forjado. A partir de ahora, el reconocimiento al fabricante le aportará, en primer lugar, un nivel de garantía hacia sus clientes, y en segundo lugar, la fabricación de viguetas pretensadas de una manera más óptima.

La presente Tesina ha supuesto para la empresa Biguetes Solé S.L. un cambio de visión en el futuro desde el punto de vista del control particular dentro de la planta, y por otra parte, la manera de afrontar la entrada del mercado CE. Además, se ha ordenado la documentación ya existente y se ha realizado

o un plan de control más entendedor y más adaptado a las necesidades de la empresa. Por ejemplo, se han reorganizado los informes, a la vez que se ha actualizado la manera de realizar los ensayos y de redactar sus informes.

Resumen de las ventajas de las nuevas Fichas Técnicas:

- Adaptación al mercado CE.
- Control más exhaustivo en la fabricación de las viguetas y en la construcción del forjado.
- Seguimiento de cada estructura en particular.
- Posibilidad de evaluación de la vigueta y del forjado a lo largo de la vida útil de la estructura.
- Más facilidad para la obtención del DOR.
- Creación de una conexión, hasta la fecha inexistente, entre el fabricante, el calculista del forjado y el mercado CE.
- Flexibilidad en los trámites y disminución del volumen de documentación en la empresa.
- Ordenación de la documentación y de los informes sobre los controles de la empresa.

Bibliografía

Libros

CASTRILLO, Antonio; CHOMÓN, Jesús; GALINDO, Pedro; GARCÍA, Juan; GÓMEZ, Felipe; LLEYDA, José Luis; OLALLA, Carlos; PÁEZ, Jorge; PARDO, Jesús; PIÑEIRO, Rafael; SERRA, Jesús; SOTO, Jesús. *Recomendaciones para la ejecución de forjados unidireccionales*. Instituto Eduardo Torroja. Madrid: Consejo superior de investigaciones científicas, 1987.

CALAVERA, José. *Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón en masa, armado y pretensado*. (Tomos 1 y 2). Madrid: Ed. Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC), 2008.

CALAVERA, José. *Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación*. 5ª Edición. Madrid: Ed. Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC), 2002.

DE LA FUENTE, Albert. *Análisis no lineal y comportamiento en servicio y rotura de secciones construidas evolutivamente sometidas a flexocompresión recta*. Tesina. Barcelona, 2006.

FERNÁNDEZ RUIZ, Miguel. *Evaluación no lineal de los efectos estructurales producidos por las deformaciones diferidas del hormigón y el acero*. Tesis doctoral. Madrid, 2003.

MARÍ BERNAT, Antonio; AGUADO DE CEA, Antonio; AGULLÓ FITÉ, Luis; MARTÍNEZ ABELLA, Fernando; COBO DE ARCO, Diego. *Hormigón armado y pretensado. Ejercicios*. Ed. Edicions UPC. Barcelona, 1999.

MURCIA VELA, Juan; AGUADO DE CEA, Antonio; MARÍ BERNAT, Antonio. *Hormigón armado y pretensado*. (Tomos 1 y 2). Ed. Edicions UPC. Barcelona, 1993.

Normativas

EHE-08, *Instrucción de Hormigón Estructural*. Ministerio de Fomento, Secretaría General Técnica, Servicio de Publicaciones, 2008.

EHE-98, *Instrucción de Hormigón Estructural*. Ministerio de Fomento, Secretaría General Técnica, Servicio de Publicaciones, 1998.

EFHE-02, *Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural con elementos prefabricados*. Ministerio de Fomento, Secretaría General Técnica, Servicio de Publicaciones, 2002.

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. *Seguridad estructural 1 y 2*. Ministerio de Fomento, Secretaría de estado de vivienda y actuaciones urbanas, Servicio de Publicaciones, 2009.

Memorias de cálculo de las Fichas Técnicas

MALLAFRÈ MESTRES, Ricard. *Memòria de càlcul de biguetes pretensadas per a sostres. Models T.11 / T.16 i T.18*. Tarragona, 2009.

SIMÓN SERRA, Josep M^a. *Memoria de cálculo y proyecto de forjados con vigueta pretensada*. Barcelona, 2004.

Artículos

LÓPEZ VIDAL, Alejandro. "De las Autorizaciones de Uso al Mercado CE". *Zuncho* nº 23 (Marzo, 2010): 13 – 19.

Internet

ANDECE. "Situación normativa actual prefabricados de hormigón para forjados unidireccionales: viguetas, losas alveolares, prelosas y elementos para forjados nervados" (2010).

http://www.andece.org/andece/index.php?option=com_content&view=article&id=84&Itemid=107

Proceso de cálculo de las Fichas Técnicas

A1.1 Introducción

La realización de las Fichas de Características Técnicas sigue el procedimiento de cálculo que se describe y analiza en el presente apartado. Se distinguen dos etapas, el cálculo sobre la vigueta aislada y sobre el forjado.

A1.2 Vigueta aislada

A1.2.1 Parámetros estudiados de cada sección

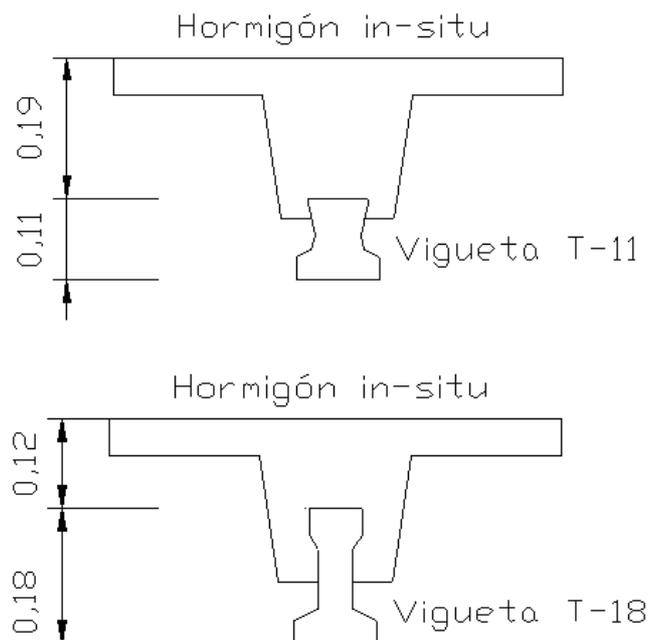


Figura A1.1. Secciones empleadas

Sección bruta	Sección neta	Sección homogeneizada
A_{cb}	A_{cn}	A_{ch}
Y_{b1}	Y_{n1}	Y_{h1}
Y_{b2}	Y_{n2}	Y_{h2}
I_{cb}	I_{cn}	I_{ch}
	W_{n1}	W_{h1}
	W_{n2}	W_{h2}
	e_n	e_h

Tabla A1.1. Parámetros estudiados de cada sección

A1.2.2 Tensiones en la transferencia

Cálculo de las tensiones en las fibras en la vigueta y en el forjado (Calavera, 2002: Capítulo 22).

Etapa 1: Tensiones en la transferencia del pretensado

Tensión fibra inferior de la vigueta:

$$\sigma_{\text{inf}}^1 \text{vig} = -\frac{\gamma_p \cdot P_k}{A_{cn}} - \frac{\gamma_p \cdot P_k \cdot e_n \cdot v}{I_{cn}} \leq 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3}(t) = f_{ctm}(t) \quad (\text{A1.1})$$

Tensión fibra superior de la vigueta:

$$\sigma_{\text{sup}}^1 \text{vig} = -\frac{\gamma_p \cdot P_k}{A_{cn}} - \frac{\gamma_p \cdot P_k \cdot e_n \cdot v}{I_{cn}} \geq -0,60 \cdot f_{cm}(t) \quad (\text{A1.2})$$

Etapa 2: Tensiones en la colocación de la vigueta

Tensión fibra inferior de la vigueta:

$$\sigma_{\text{inf}}^2 \text{vig} = -\frac{\gamma_p \cdot P_k}{A_{ch}} - \frac{\gamma_p \cdot P_k \cdot e_h \cdot v}{I_{ch}} - \frac{M_{ppvig} \cdot v}{I_{ch}} \geq -0,60 \cdot f_{cm}(t) \quad (\text{A1.3})$$

Tensión fibra superior de la vigueta:

$$\sigma_{\text{sup}}^2 \text{vig} = -\frac{\gamma_p \cdot P_k}{A_{ch}} - \frac{\gamma_p \cdot P_k \cdot e_h \cdot v'}{I_{ch}} - \frac{M_{ppvig} \cdot v'}{I_{ch}} \leq 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3}(t) = f_{ctm}(t) \quad (\text{A1.4})$$

Etapas 3: Tensiones en la vigueta al construir la losa

- *Sin apeo*: en el centro del vano sin apoyo

Tensión fibra inferior de la vigueta:

$$\sigma_{\text{inf}}^3 \text{vig} = -\frac{\gamma_p \cdot P_k}{A_{ch}} - \frac{\gamma_p \cdot P_k \cdot e_h \cdot v}{I_{ch}} - \frac{(M_{ppvig} + M_{pplosa})v}{I_{ch}} \geq -0,60 \cdot f_{ctm}(t) \quad (\text{A1.5})$$

Tensión fibra superior de la vigueta:

$$\sigma_{\text{sup}}^3 \text{vig} = -\frac{\gamma_p \cdot P_k}{A_{ch}} - \frac{\gamma_p \cdot P_k \cdot e_h \cdot v'}{I_{ch}} - \frac{(M_{ppvig} + M_{pplosa})v'}{I_{ch}} \leq 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3}(t) = f_{ctm}(t) \quad (\text{A1.6})$$

- *Con apeo*: en el centro del vano en el apoyo

Tensión fibra inferior de la vigueta:

$$\sigma_{\text{inf}}^3 \text{vig} = -\frac{\gamma_p \cdot P_k}{A_{ch}} - \frac{\gamma_p \cdot P_k \cdot e_h \cdot v}{I_{ch}} - \frac{(M_{ppvig} + M_{pplosa})v}{I_{ch}} \leq 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3}(t) = f_{ctm}(t) \quad (\text{A1.7})$$

Tensión fibra superior de la vigueta:

$$\sigma_{\text{sup}}^3 \text{vig} = -\frac{\gamma_p \cdot P_k}{A_{ch}} - \frac{\gamma_p \cdot P_k \cdot e_h \cdot v'}{I_{ch}} - \frac{(M_{ppvig} + M_{pplosa})v'}{I_{ch}} \geq -0,60 \cdot f_{ctm}(t) \quad (\text{A1.8})$$

Etapas 4 a 7: Forjado en construcción y en servicio

Tensión fibra inferior de la vigueta:

$$\sigma_{\text{inf}}^{4a7} \text{vig} = -\frac{\gamma_p \cdot P_k}{A_{ch}} - \frac{\gamma_p \cdot P_k \cdot e_h \cdot v}{I_{ch}} - \frac{M_1 \cdot v}{I_{ch}} - \frac{M_2 \cdot v^*}{I_{ch}} \leq 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3}(t) = f_{ctm}(t) \quad (\text{A1.9})$$

Tensión fibra superior de la viga:

$$\sigma_{\text{sup}}^{4a7} \text{vig} = -\frac{\gamma_p \cdot P_k}{A_{ch}} - \frac{\gamma_p \cdot P_k \cdot e_h \cdot v'}{I_{ch}} - \frac{M_1 \cdot v'}{I_{ch}} - \frac{M_2 \cdot v^{*'}}{I_{ch}} \geq -0,60 \cdot f_{cm}(t) \quad (\text{A1.10})$$

Tensión fibra superior de la losa:

$$\sigma_{\text{sup}}^{4a7} \text{losa} = -n \cdot \frac{M_2 \cdot v^{*'}}{I_h} \geq -0,60 \cdot f_{cm}(t) \quad (\text{A1.11})$$

Tensión fibra inferior de la losa:

$$\sigma_{\text{inf}}^{4a7} \text{losa} = -n \cdot \frac{M_2 \cdot v^{*'}}{I_h} \geq -0,60 \cdot f_{cm}(t) \quad (\text{A1.12})$$

A1.2.3 Estado Límite Último frente a solicitaciones Normales

Se utilizan el diagrama tensión-deformación del hormigón y del acero activo.

Para $x > 0,23 \cdot d_{p1}$, se pivota en $\varepsilon_C = 0,0035$ y para $x \leq 0,23 \cdot d_{p1}$, en $\varepsilon_p = 0,010$

Igualación previa de las fuerzas:

$$\alpha_{cc} \cdot \sigma_{cd} \cdot A_{cc} = E_p \cdot \left[\frac{\sigma_{pf2}}{E_p} - 0,002 \right] \cdot A_{p2} + \sigma_{p1} \cdot A_{p1}$$

Y el momento final:

$$M_{\dot{u}} = \alpha_{cc} \cdot \sigma_{cd} \cdot A_{cc} \cdot d - A_{p2} \cdot \sigma_{pf2} \cdot (d_{p1} - d_{p2})$$

Por otra parte:

$$\varepsilon_{pd} = \frac{\sigma_{pf1}}{E_p} + \left(\frac{\sigma_{pf} \cdot A_p}{E_{CV}} \right) \cdot \left[\frac{1}{A_{cn}} + \left(\frac{e_n}{I_{cn}} \cdot (Y_{n2} - d_{p1}) \right) \right] + \varepsilon_p$$

$$\text{con: } \varepsilon_C = 0,010 \cdot \left(\frac{x}{d_{p1}} - x \right); \text{ para } x > 0,23 \cdot d_{p1}$$

$$\varepsilon_p = 0,0035 \cdot \left(\frac{d_{p1} - x}{x} \right); \text{ para } x \leq 0,23 \cdot d_{p1}$$

A1.2.4 Estado Límite Último frente a Cortante

Se calcula el Estado Límite Último frente a Cortante según lo expuesto en las Bases de cálculo de las Fichas Técnicas (Capítulo 4.4.2).

A1.2.5 Estado Límite de Fisuración

- Momento descompresión (clase 1):

$$M_0 = \sigma_{pf} \cdot A_p \cdot \left[\frac{1}{A_{cn}} - \frac{e_n}{W_{n1}} \right] \cdot W_{h1}$$

- Momento tracción límite (clase 2):

$$M_0' = \sigma_{pf} \cdot A_p \cdot \left[\frac{1}{A_{cn}} - \frac{e_n}{W_{n1}} \right] \cdot W_{h1} + f_{ct} \cdot W_{h1} \text{ con } f_{ct} = 0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

- Momento fisuración controlada (clase 3):

$$M_{0,2} = \sigma_{pf} \cdot A_p \cdot \left[\frac{1}{A_{cn}} - \frac{e_n}{W_{n1}} \right] \cdot W_{h1} + f_{ct} \cdot W_{h1} \text{ con } f_{ct} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

Donde:

$$W_{n1} = \frac{I_{cn}}{Y_{n1}}; W_{n2} = \frac{I_{cn}}{Y_{n2}}$$

$$W_{h1} = \frac{I_{ch}}{Y_{h1}}; W_{h2} = \frac{I_{ch}}{Y_{h2}}$$

A1.3 Forjado

A1.3.1 Características de la homogeneizada del forjado

Conocidas las características de las viguetas, por medio de coeficientes de homogeneización hormigón pretensado-acero y hormigón pretensado-hormigón *in situ*, se hallan las características mecánicas del conjunto referidas al hormigón de más calidad, donde se considera solamente la parte del hormigón *in situ* que trabaja a compresión y la totalidad de la semiviguetas desde la línea neutra del forjado hacia abajo.

Sección homogeneizada
A'_{ch}
Y'_{h1}
Y'_{h2}
I'_{ch}
W'_{h1}
W'_{h2}
e'_h

Tabla A1.2. Parámetros estudiados de la sección homogeneizada

A1.3.2 Estado Límite Último Positivo frente a solicitaciones Normales

No se aplica la simplificación de la deformación (-0,002) a la armadura superior por su situación relativa al forjado, se parte de la situación de la armadura de la vigueta en el centro de gravedad de la misma, limitando no obstante la deformación máxima en la zona inferior. Por tanto, en la formulación para el cálculo del momento flector último positivo no aparece la armadura superior, reduciéndose así, el brazo mecánico.

A1.3.3 Estado Límite Último Negativo frente a solicitaciones Normales

Para la conexión de las distintas partes del forjado compuesto por una alineación de viguetas cada una, se utiliza armadura pasiva para conectar las partes.

Se calculan a base de una serie de armados (Tabla A1.3) teniendo en cuenta una precompresión inferior previa reducida debida a la progresión de la adherencia y al descenso rápido general de la cura de momentos negativos.

Serie de armados pasivos
1 ϕ 10
2 ϕ 8
2 ϕ 10
1 ϕ 16
2 ϕ 12
1 ϕ 20
2 ϕ 16
3 ϕ 16
2 ϕ 20

Tabla A1.3. Serie de armados pasivos

A1.3.4 Estado Límite Último frente a Cortante

Se calcula de igual forma que lo indicado en la vigueta aislada (Capítulo A1.2.4).

A1.3.5 Estado Límite Último de esfuerzo Rasante

Se calcula el Estado Límite Último de esfuerzo Rasante según lo expuesto en las Bases de cálculo de las Fichas Técnicas (Capítulo 4.4.3).

A1.3.6 Estado Límite de Fisuración

Se utilizan las mismas fórmulas y las mismas consideraciones que en el cálculo de los momentos en servicio de la vigueta aislada (Capítulo A1.2.5), pero con las características homogeneizadas de la sección.

Proceso de cálculo del PCBS

A2.1 Introducción

El procedimiento de cálculo se realiza para cada una de las etapas consideradas en la construcción del forjado (Tabla A2.1). (Marí et al., 1999; Murcia et al., 1993; EHE-08, 2008).

Etapas	Sección estudiada
1	Sección neta de la vigueta
2	Sección homogeneizada de la vigueta
3	Sección homogeneizada de la vigueta
4	Sección homogeneizada del forjado
5	Sección homogeneizada del forjado
6	Sección homogeneizada del forjado
7	Sección homogeneizada del forjado

Tabla A2.1. Sección estudiada en cada etapa

Para cada etapa se calculan las características geométricas de la sección a la edad j considerada (Figura A2.1; Tabla A2.2).

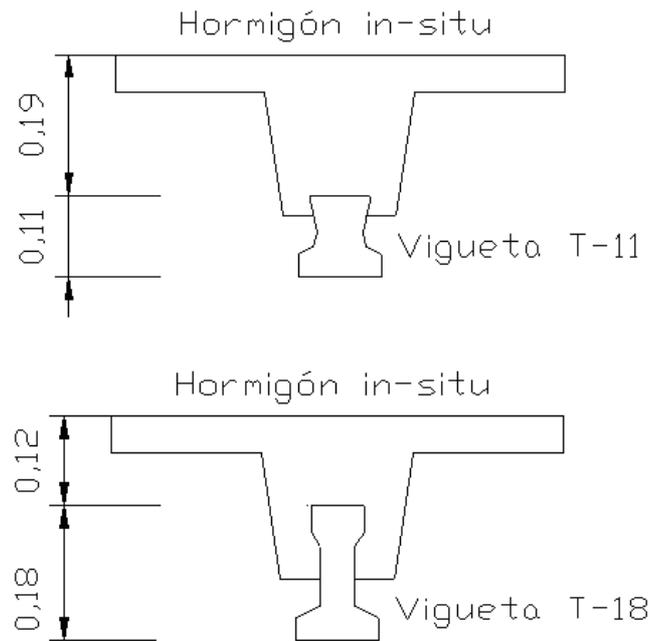


Figura A2.1. Secciones empleadas

Vigueta		Forjado	
Sección bruta	Sección neta	Sección homogeneizada	Sección homogeneizada
A_{cb}	A_{cn}	A_{ch}	A'_{ch}
Y_{b1}	Y_{n1}	Y_{h1}	Y'_{h1}
Y_{b2}	Y_{n2}	Y_{h2}	Y'_{h2}
I_{cb}	I_{cn}	I_{ch}	I'_{ch}
	W_{n1}	W_{h1}	W'_{h1}
	W_{n2}	W_{h2}	W'_{h2}
	e_n	e_h	e'_h

Tabla A2.2. Parámetros estudiados de cada sección

A2.2 Tensiones en las fibras en servicio

Se calculan las tensiones en las fibras de igual forma que en las bases del PCBS (Capítulo A1.2.2).

A2.3 Estados Límites estudiados

A2.3.1 Estado Límite Último frente a solicitaciones Normales

El cálculo del momento último a flexión se realiza en el centro del vano de la pieza para el cálculo del momento positivo, y en el extremo de la pieza para el cálculo del momento negativo. El proceso de cálculo para los ELU frente a solicitaciones normales se amplía en Calavera (2002) en los capítulos 10, 18 para viguetas autoportantes y el 22 para viguetas semirresistentes.

Para el cálculo en el centro del vano se realizan los siguientes pasos:

1. Se supone una profundidad x .
2. Se calcula $y = 0,8 \cdot x$ y el área A_{cc} de hormigón comprimido, y por tanto, la fuerza de compresión en el hormigón (C) es:

$$C = \alpha_{cc} \cdot f_{cd} \cdot A_{cc}$$

3. Cálculo de las deformaciones totales de las armaduras activas adherentes ($\Delta \varepsilon_p$):

$$\Delta \varepsilon_p = \varepsilon_{cp} + \varepsilon_{p0}$$

4. Obtención de la tensión de pretensado (σ_p).
5. Cálculo de la fuerza de pretensado (T):

$$T = A_p \cdot \sigma_p$$

6. Igualando $C = T$, se determina el valor x .

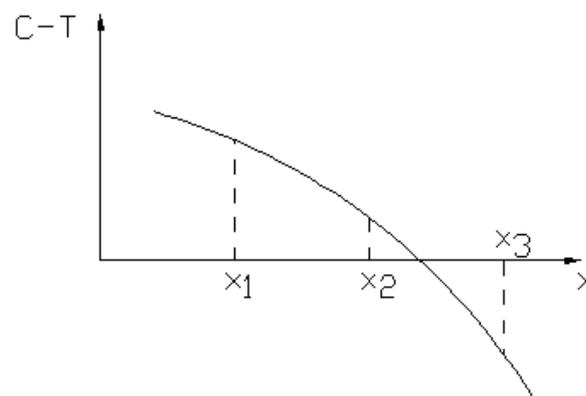


Figura A2.2. Determinación de x

7. Una vez conocido el valor de x es necesaria hallar el c.d.g. del área comprimida de profundidad $0,8x$. Siendo x_g el valor correspondiente, el momento último (M_u) vale:

$$M_u = T \cdot (d - x_g)$$

Para el cálculo en el extremo del vano, se debe añadir la armadura pasiva considerada y se realiza el mismo procedimiento.

A2.3.2 Estado Límite Último frente a Cortante

Se calcula el Estado Límite Último frente a Cortante según lo expuesto en las Bases de cálculo Personal (Capítulo 3.4.2).

A2.3.3 Estado Límite Último de esfuerzo Rasante

Se calcula el Estado Límite Último de esfuerzo Rasante según lo expuesto en las Bases de cálculo Personal (Capítulo 3.4.3).

A2.3.4 Estado Límite de Fisuración

- Aparición de fisuras por compresión.

$$\sigma_c \leq 0,60 \cdot f_{ck,j} \quad (A2.1)$$

- Estado Límite de Descompresión.

$$\text{Momento descompresión: } M_0 = \sigma_{pf} \cdot A_p \cdot \left[\frac{1}{A_{cn}} - \frac{e_n}{W_{n1}} \right] \cdot W_{h1} \quad (A2.2)$$

- Fisuración por Tracción: Aparición de fisuras.

$$\text{Momento tracción límite } M_0' = \sigma_{pf} \cdot A_p \cdot \left[\frac{1}{A_{cn}} - \frac{e_n}{W_{n1}} \right] \cdot W_{h1} + f_{ct} \cdot W_{h1} \quad (A2.3)$$

Se considera una tensión en la fibra más traccionada de $f_{ct} = 0,30 \cdot (f_{ck,j})^{2/3}$ para $f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$.

- Fisuración por Tracción: Fisuración controlada.

$$\text{Momento fisuración controlada: } M_{0,2} = \sigma_{pf} \cdot A_p \cdot \left[\frac{1}{A_{cn}} - \frac{e_n}{W_{n1}} \right] \cdot W_{h1} + f_{ctm,fl} \cdot W_{h1} \quad (\text{A2.4})$$

Se considera una abertura de fisura igual o inferior a $0,2 \text{ mm}$ y con una resistencia media a flexotracción $f_{ctm,fl} = \max\{(1,6 - h/1000) \cdot f_{ctm}; f_{ctm}\}$.

Donde:

$$W_{n1} = \frac{I_{cn}}{Y_{n1}}; W_{n2} = \frac{I_{cn}}{Y_{n2}}$$

$$W_{h1} = \frac{I_{ch}}{Y_{h1}}; W_{h2} = \frac{I_{ch}}{Y_{h2}}$$