



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ENGINYERIA D'EDIFICACIÓ

PROJECTE FINAL DE GRAU

DETERMINACIÓ DE LES PROPIETATS MECÀNIQUES DE LA FUSTA MITJANÇANT LA COMBINACIÓ DE DIFERENTS TÈCNIQUES

Projectista/es: Xavier Alcón Latorre
Jordi Sallent Aguilera
Director/s: Joaquin Montón Lecumberri
Edgar Segués Aguasca
Convocatòria: Octubre 2012

RESUM

L'objecte d'aquest treball és l'anàlisi de 17 bigues de fusta de conífera provinents d'un edifici de Barcelona per determinar les propietats físiques, mecàniques i l'estat de les mateixes.

Tanmateix es posa de manifest una comparativa entre l'anàlisi que es pot fer in situ i la que es pot fer amb més mitjans i les comoditats del laboratori. Alhora es fa una comparativa entre els resultats i les diferents tècniques i mètodes d'assaig.

Primerament es realitza la classificació estructural de la fusta realitzada pel mètode i els criteris descrits en la norma UNE 56544:2011 "Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas".

En segon lloc es realitzen assajos no destructius per a l'estimació de les diferents propietats. La densitat: l'assaig del penetròmetre, la màquina d'arrencament de vis i el Resistògraf, així com assajos mitjanament destructius com l'extracció de microprovetes. Es realitzen assajos no destructius per a l'estimació de les propietats de rigidesa utilitzant l'anàlisi d'ultrasons, d'ones d'impacte i de vibracions, tant longitudinals com transversals.

Seguidament, es realitzen assajos mecànics (destructius) per a obtenir valors per comparar amb els no destructius i establir la correlació amb els mateixos. Aquests assajos són: per la densitat les provetes i per l'estimació del mòdul d'elasticitat l'assaig de flexió global i local, així com l'assaig de determinació de la resistència a flexió.

Tanmateix, es realitzen els assajos de determinació de la humitat pel mètode de resistència elèctrica UNE-EN 13183-2 i pel mètode d'assecat per estufa UNE-EN 13183-1.

De la classificació visual analitzant tota la biga, s'extreu que el 100% d'elles són rebuig, tenint com a causa principal la guexesa. Obviant aquesta un 94% són de rebuig. Analitzant tan sols les cares vistes de la biga, hi ha un 100% de rebuig i sense considerar la guexesa un 53%.

La correlació de la densitat de les provetes amb els valors obtinguts amb les microprovetes és del 86%. La correlació de la densitat de les provetes amb l'estimació de la màquina d'arrencament de vis és del 39%, dels valors obtinguts amb el Resistògraf és del 11% i dels valors estimats amb el penetròmetre és del 0,9%.

De l'estimació del mòdul d'elasticitat s'ha aconseguit una correlació amb l'assaig de flexió global del 77% amb l'assaig de vibracions longitudinals, d'un 50% de les transversals, d'un 54% amb ultrasons i un 34% amb l'assaig per ones d'impacte.

S'ha estimat una mitjana de l'error absolut del 1.3% amb el xilohigròmetre.

Les conclusions que s'han extret són que per a la determinació de la densitat, l'assaig que més s'aproxima és l'assaig de les microprovetes i d'entre els no destructiu el de la màquina d'arrencament de vis. Per a l'estimació del mòdul d'elasticitat el que més s'aproxima és l'assaig de les vibracions longitudinals i per a realitzar in situ el d'ultrasons.

ÍNDEX

Glossari	6
Introducció	8
Treball en l'obra.....	9
Determinació de les propietats físiques i mecàniques de la fusta	12
Classificació visual	13
Definició.....	13
Criteris d'acceptació	13
Equips	15
Metodologia	15
Muntatge fotogràfic	16
Registre de les dades	16
Nusos	17
Clivelles.....	18
Desviació de la fibra.....	19
Sema	20
Deformacions de les peces.....	21
Alteracions biològiques	21
Altres singularitats.....	22
Resultats	23
Classificació visual en el laboratori (Totes les cares).....	23
Classificació visual en obra (Cares vistes).....	25
Anàlisi de resultats	26
Assajos de laboratori	27
Preparació de les provetes	27
Definició.....	27
Equips	27
Metodologia	27
Resultats	29
Densitat de les provetes.....	29
Definició.....	29
Equips	30
Metodologia	30

Resultats.....	31
Densitat de microprovetes.....	31
Definició	31
Equips	32
Metodologia.....	32
Resultats.....	34
Determinació de la densitat amb mètodes indirectes. penetròmetre	35
Definició	35
Equips	35
Metodologia.....	35
Resultats.....	37
Determinació de la densitat amb mètodes indirectes. Màquina d'arrencament de vis	41
Definició	41
Equip.....	41
Metodologia.....	42
Resultats.....	43
Determinació de la densitat amb mètodes indirectes. Resistògraf.....	47
Definició	47
Equips	48
Metodologia.....	49
Resultats.....	53
Determinació de la humitat pel mètode d'estufa.....	59
Definició	59
Equips	59
Metodologia.....	60
Resultats.....	62
Determinació de la Humitat pel mètode de la resistència elèctrica. Xilohigròmetre.....	62
Definició	62
Equips	63
Metodologia.....	63
Resultats.....	66
Assajos Acústics.....	68
Introducció.....	68

Assaig amb Ones ultrasòniques.....	68
Definició.....	68
Equips	69
Metodologia	70
Resultats Ultrasons.....	73
Assaig amb Ones d'impacte.....	76
Definició.....	76
Equips	76
Metodologia	77
Resultats ones d'impacte	79
Assaig amb vibracions	83
Definició.....	83
Equips	84
Metodologia	86
Resultats Vibracions	89
Assajos Mecànics en Flexió.....	92
Introducció	92
Equips	93
Assaig per determinar el Mòdul d'elasticitat Local en flexió	96
Definició.....	96
Metodologia	96
Assaig per determinar el Mòdul d'elasticitat Global en flexió	98
Definició.....	98
Metodologia	99
Assaig per determinar la Resistència a flexió o Tensió de ruptura	101
Definició.....	101
Metodologia	101
Resultats Assajos mecànics en flexió.....	104
Conclusions.....	109
Índex il·lustracions.....	110
Índex de taules	113
Índex de gràfics.....	114
Bibliografia.....	115

Llibres i revistes	115
Normativa.....	116
Projectes Finals de Carrera i Tesis Doctorals.....	117
Pàgines web	118
Agraïments	119
Annex 1.....	120
Annex 2.....	161

GLOSSARI

a	distància en mm entre el recolzament i el punt més pròxim d'aplicació de la càrrega
AG	àrea de la gràfica estreta del Resistògraf
A	ample de la proveta en mm
b	distància entre les cares de la biga
b_1	longitud del cantell 1 (superior) en la secció transversal de la biga en mm
b_2	longitud del cantell 2 (inferior) en la secció transversal de la biga en mm
C.V	coeficient de variació
d	diàmetre mig a la part roscada en mm
Den_{AG}	densitat predita amb l'àrea gràfica
Den_{loc}	densitat local de la llesca a una humitat del 12%
Den_{RR}	densitat predita amb la resistència relativa
E_{din}	mòdul d'elasticitat dinàmic en N/mm ²
$E_{din-MSTTT}$	mòdul d'elasticitat dinàmic en N/mm ² de l'assaig d'ones d'impacte testa-testa corregit al 12% d'humitat
$E_{din-PLGlong}$	mòdul d'elasticitat dinàmic en N/mm ² de l'assaig de vibracions longitudinals corregit al 12% d'humitat
$E_{din-PLGtrans}$	mòdul d'elasticitat dinàmic en N/mm ² de l'assaig de vibracions transversals corregit al 12% d'humitat
$E_{din-SyITT}$	mòdul d'elasticitat dinàmic en N/mm ² de l'assaig d'ultrasons testa-testa corregit al 12% d'humitat
E_{glo}	mòdul d'elasticitat global a flexió N/mm ²
E_{loc}	mòdul d'elasticitat local a flexió en N/mm ²
F	valor característic de la capacitat d'arrencada en kN
f	freqüència natural de vibració longitudinal en Hz
$F_2 - F_1$	increment de força en N produït en el tram de comportament elàstic de la peça sotmesa a flexió
f_n	freqüència natural de vibració a flexió, sent "n" el mode 1 (bàsic) en Hz
F_R	càrrega de ruptura en N
G	mòdul d'elasticitat transversal en N/mm ²
G	gruix de la proveta en mm
h	cantell de la secció mitja de la biga en mm
h_1	longitud de la cara 1 en la secció transversal de la biga en mm
h_2	longitud de la cara 2 en la secció transversal de la biga en mm
I	moment d'inèrcia de la secció mitja de la biga en mm ⁴
l	llarg de la proveta en mm
L	longitud de la biga en mm
L_1	longitud en mm de la zona central en la que es mesura la deformació local
l_{ef}	longitud de penetració a la peça de punta, de la part roscada menys un diàmetre en mm
m	massa de la proveta en grams
m_0	massa de la mostra anhidra, en grams

m_1	massa de la mostra abans d'assecar, en grams
Mat_{med}	força d'extracció en kN (mitjana entre la lectura radial i tangencial)
MOE	mòdul d'elasticitat local en flexió en N/mm ² corregit al 12% d'humitat
MOEG	mòdul d'elasticitat global en flexió en N/mm ² corregit al 12% d'humitat
P_1	pesada anterior, en grams
P_2	segona pesada en un interval de temps de 2h respecte P_1
$Prof_{med}$	profunditat de penetració en mm (mitjana entre la lectura radial i tangencial)
r	radi de la microproveta en mm
$R_{1/2}$	meitat de la massa de la biga en kg
RR	resistència relativa o resistència mitjana a la perforació
S	distància entre emissor i receptor en mm
SD	desviació estàndard o desviació típica
t	temps transcorregut de l'ona acústica
T_{rup}	tensió a ruptura de la biga en N/mm ²
V	volum de la proveta en m ³
Vel	velocitat de propagació de l'ona acústica
Vel_{ID18H1}	velocitat de l'ona acústica en m/s de la lectura indirecta cara1 corregida al 12% d'humitat
Vel_{ID18H2}	velocitat de l'ona acústica en m/s de la lectura indirecta cara2 corregida al 12% d'humitat
Vel_{PLG_long}	velocitat de l'assaig PLG longitudinal en m/s corregida al 12% d'humitat
$Vel_{SD18H12}$	velocitat de l'ona acústica en m/s de la lectura directa cara1-cara2 corregida al 12% d'humitat
$Vel_{SD18H21}$	velocitat de l'ona acústica en m/s de la lectura directa cara2-cara1 corregida al 12% d'humitat
Vel_{TT}	velocitat de l'ona acústica en m/s de la lectura directa testa-testa corregida al 12% d'humitat
Vel_{TT-MST}	velocitat de l'assaig MST en m/s de la lectura directa testa-testa corregida al 12% d'humitat
Vel_{TT-Syl}	velocitat de l'assaig Sylvatest en m/s de la lectura directa testa-testa corregida al 12% d'humitat
$w_2 - w_1$	increment de les deformacions en mm corresponents a F_2-F_1
y	distància en mm des del centre de la peça al punt de ruptura
γ_1	constant pel primer mode de vibració i de valor igual a 2,267
ρ	densitat de la proveta o de la biga en kg/m ³
ω	contingut d'humitat en percentatge

INTRODUCCIÓ

En aquest Treball de Final de Grau és pretén obtenir les propietats físiques i mecàniques d'una sèrie de bigues assajades al laboratori mitjançant assajos no destructius i mecànics (destructius) i comparar-los amb alguns dels resultats obtinguts prèviament mitjançant un anàlisi en l'obra.

S'ha pretès establir una comparativa dels resultats de l'anàlisi que s'ha realitzat in situ, amb la que s'ha realitzat en el laboratori, amb més mètodes d'assaig, diferenciant els que es podrien haver dut a terme en una diagnosi i els que tant sols es poden fer en el laboratori.

Es documenten els assajos, així com els mètodes, les dades extretes i el tractament que s'ha fet de les mateixes, tant de forma escrita com gràfica.

Es fa un anàlisi individual del resultat de cada assaig i en conjunt del lot de bigues, per permetre la comparació d'un o altre mètode d'assaig.

També es representen totes les dades de cadascuna de les bigues, mitjançant fitxes que contenen gràfics, fotografies i taules, tant de la classificació visual com de les característiques que s'han extret dels diferents assajos. Permetent d'aquesta manera un posterior anàlisi de les mateixes i la inclusió d'elles en una base de dades que s'està fent amb les dades d'altres treballs i tesis.

Aquest treball agafa com a referència per a la seva realització les tesis doctorals:

- "Clasificación estructural de la madera de *Pinus radiata* D. Don procedente de Cataluña mediante métodos no destructivos y su aplicabilidad en la diagnosis estructural" de J. Montón.
- "Determinación de la capacidad resistente de la madera estructural de gran escuadría y su aplicación en estructuras existentes de madera de conífera" de M. Esteban.
- "Clasificación mediante técnicas no destructivas y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural" de G. Íñiguez.

I el treball final de grau:

- "Caracterització de la qualitat i les propietats de la fusta de *Pinus radiata* D. Don procedent de Catalunya" de J. Farràs i R. Plensa.

Aquest seguit de tesis i el treball que s'acaben de citar s'han realitzat amb fusta que no ha estat posada en obra, a diferència de les bigues del nostre treball que sí que ho han estat i presenten unes geometries i característiques diferents.

Per fer més entenedora i més fàcil la lectura del treball s'ha començat amb una definició de l'assaig, els equips necessaris, la metodologia i els resultats obtinguts, per aquest ordre repetint-se per cadascun dels assajos. I al final del treball, en l'apartat de les conclusions s'ha fet un breu anàlisi dels assajos així com dels resultats obtinguts.

TREBALL EN L'OBRA.

El desenvolupament i anàlisi dels assajos i processos d'aquest projecte tenen un punt de partida, el qual marca l'inici de tot el projecte. Aquest treball comença a partir d'un anàlisi que es va realitzar en l'immoble on es situaven les disset bigues del projecte. L'immoble es localitza en el carrer Reina Amàlia nº38, en mig del barri del Raval a Barcelona. Com es pot veure a la Il·lustració 1



Il·lustració 1: Situació del immoble a la ciutat



Il·lustració 2: Vista general del immoble

És un edifici que es va sotmetre a un enderroc parcial (mantenint la fonamentació) i finalment es va fer una rehabilitació integral. Abans de produir-se tot això, tot un equip de persones de la EPSEB, dirigits pel professor Joaquin Montón, van realitzar l'anàlisi de les bigues in situ.

Tot element estructural d'una obra està sotmès a unes tensions i a uns agents externs que amb el temps i la intensitat produeixen a l'element unes lesions. Aquestes lesions, amb una bona prediagnosi i diagnosi es poden minimitzar i fins i tot treure-les. Però, també és cert que tot element té una funcionalitat limitada, encara que hagi tingut una bona conservació. En el cas de les bigues de fusta, són elements que estan sotmesos a grans tensions i per la seva naturalesa poden patir molts atacs externs, dos conceptes que poden accelerar el final de la vida útil d'aquests elements.

La heterogeneïtat de la fusta i tots els seus comportaments mecànics, físics i químics, han portat en les últimes dècades a una investigació acurada i intensa, conseqüència que ha produït tota una sèrie de resultats, els quals han generat classificacions de la fusta, assajos per determinar propietats de la fusta, normatives, etc. Tot això dóna unes eines i uns valors per poder qualificar la fusta en funció d'uns valors. Encara que actualment la fusta ha perdut protagonisme en les estructures dels immobles, no podem oblidar-nos que en l'actualitat encara hi ha una gran quantitat d'habitatges que estructuralment la fusta té un gran pes, com és aquest cas. I gràcies a totes les eines citades anteriorment es poden determinar valors in situ que puguin determinar l'estat d'aquests elements, i per tant, generar un diagnòstic que sigui determinant per a una qualificació de l'element o comparativa en assajos de laboratori. Tot això és el que es va intentar fer en aquesta obra.

Amb les eines del laboratori i equip del EPSEB es va poder realitzar tot un seguit d'assajos, els quals citarem a continuació. Aquests assajos s'expliquen amb detall a mesura que avancem en el projecte.

1. Es van numerar totes les bigues i es va enregistrar la seva geometria. Una feina inicial essencial per començar a realitzar qualsevol diagnòstic, com es veu de la II·lustració 3 a la II·lustració 6.
2. Es van agafar dades de les humitats de cada biga, amb l'ajuda d'un xilohigròmetre, detectant en el moment la humitat de la biga.
3. Es va utilitzar un penetròmetre, per fer un assaig de determinació de la densitat en totes les bigues a analitzar.
4. Amb l'ajuda d'un Resistògraf, es van perforar les bigues. Produint la màquina unes gràfiques on es pot veure la resistència del material a la perforació. Formant part d'un altre estudi de la determinació de la densitat de les bigues.
5. Es va realitzar un assaig acústic, amb l'ajuda del Microsecond Timer, un aparell electrònic, que gràcies a un cop de martell enregistra el temps que triga l'ona d'impacte produïda pel cop des d'un focus emissor fins a un receptor. A partir del temps, es pot determinar la velocitat de propagació de l'ona en la biga i també el mòdul d'elasticitat dinàmic. Es van fer dues lectures, semidirecta i indirecta.
6. Es van extreure d'unes quantes bigues, amb una trepant i una broca de corona, unes microprovetes cilíndriques.

Una vegada realitzats tots aquests assajos, totes les bigues es van treure de l'obra i es van portar al laboratori de materials del EPSEB, on es van realitzar acuradament tots els assajos que explicarem a continuació en tot el projecte.



Il·lustració 3: Enumeració de les bigues en l'obra



Il·lustració 4: Registre de la geometria de les bigues. Humitats de les bigues. Assaig amb el Resistògraf



Il·lustració 5: Extracció in situ de microprovetes cilíndriques



Il·lustració 6: Vista general de l'assaig acústic d'ones d'impacte

DETERMINACIÓ DE LES PROPIETATS FÍSQUES I MECÀNQUES DE LA FUSTA

Per poder fer servir la fusta per a usos estructurals fa falta determinar les propietats físiques i mecàniques de la fusta.

L'estimació d'aquestes propietats es poden realitzar amb la classificació visual i amb la classificació automàtica. Dins de la classificació automàtica hi ha diferents tipus: màquines que aprofiten la relació existent entre rigidesa i resistència, mitjançant proves de càrrega no destructives. El següent tipus fa servir proves acústiques i el tercer i últim tipus, combina els dos anteriors o fins i tot la classificació visual.

CLASSIFICACIÓ VISUAL

DEFINICIÓ

La classificació visual de la fusta és una classificació que es realitza d'acord a la norma UNE 56544:2011 "Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas" en la que s'estableix quines són les singularitats de la fusta que s'han de tenir presents per tal de poder classificar-la com a fusta estructural. En aquesta norma es dona tot un seguit de criteris de com s'ha de mesurar i els criteris d'acceptació o rebuig de la peça.

Es basa amb la inspecció visual de les singularitats que hi ha, la seva magnitud, la ubicació de les mateixes i el nombre de cops que apareixen en la peça permetent assignar la qualitat visual i a partir d'ella i l'espècie, la classe resistent.

Segons les singularitats de les peces, les dimensions es poden donar diferents classificacions, com es detalla en la Taula 1.



Taula 1: Esquema de la classificació visual

Donat que les nostres bigues tenien un gruix substancialment superior als 70 mil·límetres la nostra classificació estava entre MEG, acrònim castellà "Madera Estructural Gruesa escuadría", i el Rebuig. Aquesta distinció entre el gruix superior a 70mm i el inferior o igual als 70mm, era nova a la norma UNE 565444:2011, ja que en versions anteriors no apareixia.

Es va definir l'amplada i el gruix com les dimensió major i menor de la secció transversal de la peça, respectivament. També es va fer una discriminació de les característiques que la fusta havia de complir depenent si la fusta es trobava humida o seca.

CRITERIS D'ACCEPTACIÓ

La norma UNE 565444:2011 marcava uns criteris d'acceptació per a les fustes estructurals amb una escairada gruixuda, que s'especifiquen en la Taula 2.

CRITERIOS DE CALIDAD		MEG
DIÁMETRO DE LOS NUDOS SOBRE LA CARA (h)		$d \leq 2/3$ de "h"
DIÁMETRO DE LOS NUDOS SOBRE EL CANTO (b)		$d \leq 2/3$ de "b"
ANCHURA MÁXIMA DEL ANILLO DE CRECIMIENTO ⁽¹⁾ – Pino silvestre – Pino laricio – Pino gallego y pinaster – Pino insigne (radiata)		Sin limitación Sin limitación Sin limitación Sin limitación
FENDAS	De secado ⁽²⁾⁽³⁾	$f \leq 3/5$ Las fendas de contracción sólo se consideran si su longitud es mayor que la menor de las dimensiones siguientes: 1/4 de la longitud de la pieza y 1 m.
	– Rayo – Heladura – Abatimiento	No permitidas
ACEBOLLADURAS		No permitidas
BOLSAS DE RESINA y ENTRECASCO		Se admiten si su longitud es menor o igual que 1,5·"h"
MADERA DE COMPRESIÓN		Admisible en 2/5 de la sección o de la superficie externa de la pieza
DESVIACIÓN DE LA FIBRA		1:6 (16,7%)
GEMAS – longitud – dimensión relativa		$\leq 1/3$ de "L" $g \leq 1/3$
MÉDULA ⁽¹⁾		Admitida
ALTERACIONES BIOLÓGICAS – Muérdago (<i>V. album</i>) – Azulado – Pudrición – Galerías de insectos xilófagos		– No se admite – Se admite – No se admite – No se admiten
DEFORMACIONES MÁXIMAS ⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾ – Curvatura de cara – Curvatura de canto – Alabeo – Abarquillado		20 (10) mm (para una longitud de 2 m) 12 (8) mm (para una longitud de 2 m) 2 (1) mm (por cada 25 mm de "h") (para una longitud de 2 m) sin limitación
<p>(1) Estos criterios sólo se consideran cuando se comercializa en húmedo.</p> <p>(2) Estos criterios no se consideran cuando la clasificación se efectúa en húmedo.</p> <p>(3) Referidas a un 20% de contenido de humedad.</p> <p>(4) Pueden aceptarse deformaciones mayores siempre que no afecten a la estabilidad de la construcción (porque puedan corregirse durante la fase del montaje) y exista acuerdo expreso al respecto entre el suministrador y el cliente.</p> <p>(5) Se toman los valores más exigentes indicados entre paréntesis, cuando la calidad MEG de lugar a una clase resistente superior a C18.</p>		

Taula 2: Especificacions per la classificació de peces de secció rectangular amb amplada $b > 70$ mm. UNE 565444:2011

EQUIPS

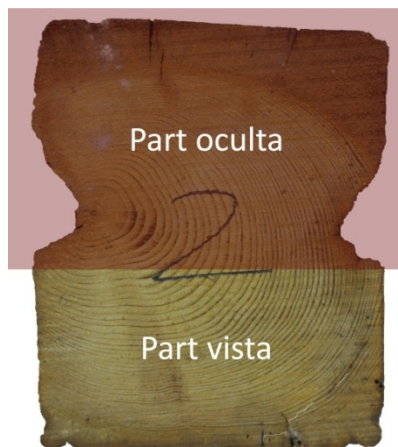
Els equips que es van fer servir per dur a terme la classificació visual eren essencialment equips de traçat i mesura.

- Flexòmetre de 5m amb precisió d' 1 mil·límetre.
- Metre plegable de fibra de vidre de 2 metres de longitud amb precisió de 1 mil·límetre.
- Làmina de 0,2mm de gruix
- Peu de rei amb precisió d' 1 mil·límetre
- Regle d' alumini per mesurar la curvatura i el guerxament.
- Traçador per marcar el desviament de la fibra de la fusta.
- Punxo metàl·lic amb mànec de plàstic.

METODOLOGIA

Des de l'inici del nostre treball es va voler separar els assajos que es podien realitzar en una diagnosi i els que només es podien realitzar en un laboratori, i en el cas de la classificació visual també vam voler seguir la mateixa tònica.

Cal destacar que quan la biga es troba a l'obra tan sols es pot veure el cantell inferior, que al llarg de tot el treball s'anomena b2, i normalment la meitat inferior de les dues cares h1 i h2, com es mostra en la Il·lustració 7.



Il·lustració 7: Secció vista i oculta de una biga

Es va considerar que la part vista començava aproximadament després de les sagnies que tenien fetes les bigues per allotjar les peces ceràmiques del revoltó.

La classificació visual es va realitzar amb una longitud de biga de 20 vegades el cantell de la mateixa prèviament tallada amb una serra de cadena, permetent la posterior comparació dels resultats obtinguts en la classificació vers els obtinguts en els assajos de flexió i ruptura.

Es va realitzar una neteja prèvia de les superfícies de les bigues, per tal de poder procedir a la classificació de les bigues. Cal recordar que aquestes provenen d'un edifici i que havien estat col·locades a obra i pintades, fet que feia que portessin restes de material de l'obra i pintura en la part vista.

MUNTATGE FOTOGRÀFIC

Seguidament, es va realitzar un reportatge fotogràfic de cadascuna de les cares de les bigues permetent d'aquesta manera un posterior estudi virtual de les bigues a partir de les nostres dades i registres. Il·lustració 8

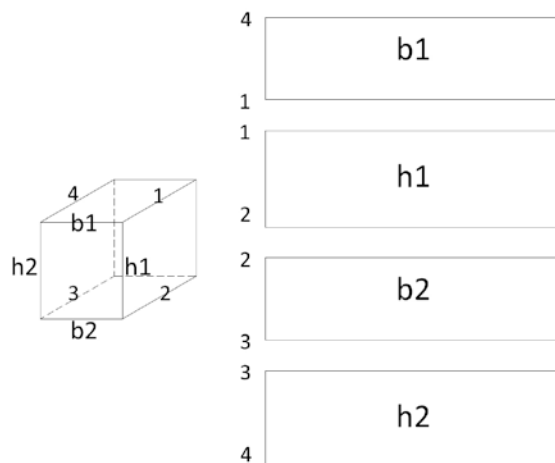


Il·lustració 8: Fotografies de la Biga 2

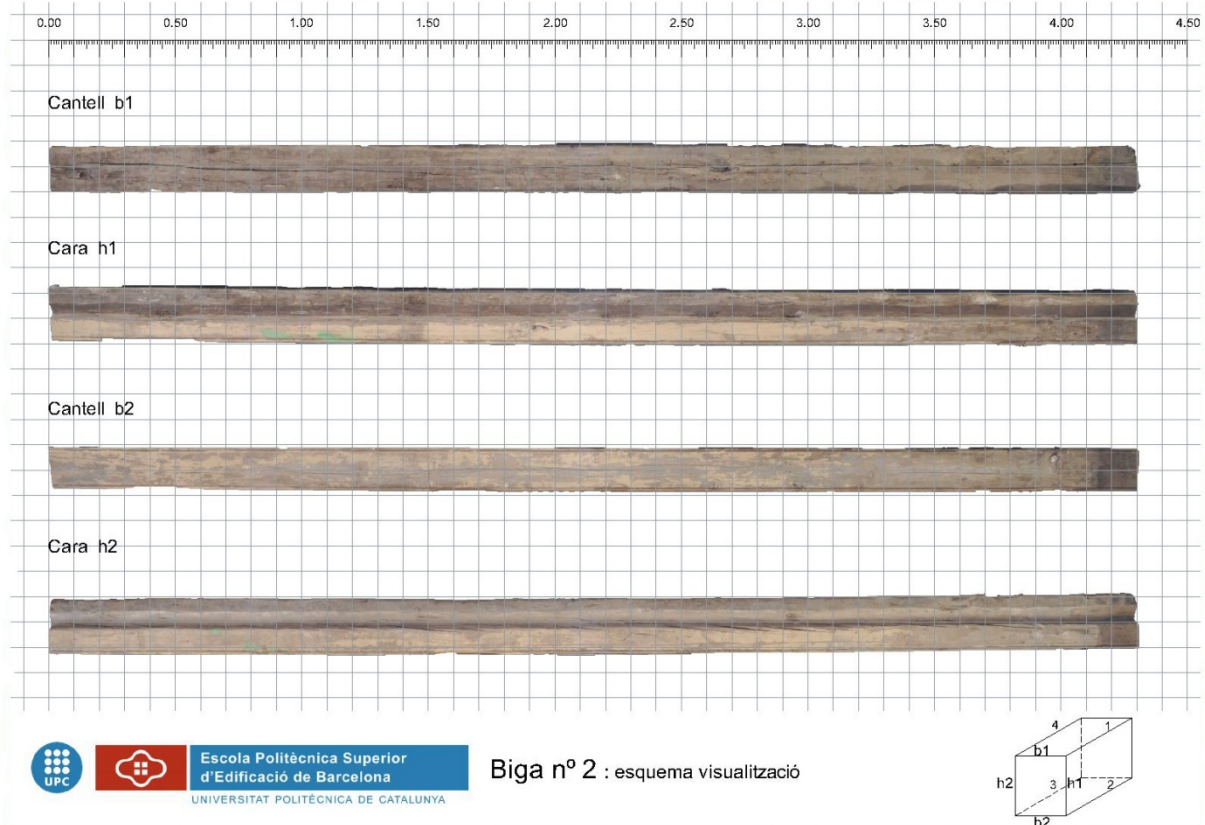
Es van processar les imatges amb un editor d'imatges que ens va permetre treure el fons i deixar tant sols les bigues.

REGISTRE DE LES DADES

Amb la finalitat de fer més fàcil el registre es va utilitzar una plantilla amb una escala gràfica de cadascuna de les bigues seguint l'esquema de la Il·lustració 9. El resultat el podem veure en la Il·lustració 10.



Il·lustració 9: Distribució de les cares de la biga en la plantilla



Il·lustració 10: Plantilla visualització de les bigues

Per portar un registre de les dades que s'anaven prenent, ens vam valdre d'un full de càlcul en el que anàvem anotant cadascuna de les singularitats que ens trobàvem a les bigues, segons les indicacions de la norma UNE 565444:2011. Val a dir que algunes d'aquestes singularitats no es van detectar, o perquè es trobaven ocultes dins del que seria la secció de la biga, o perquè no hi eren presents.

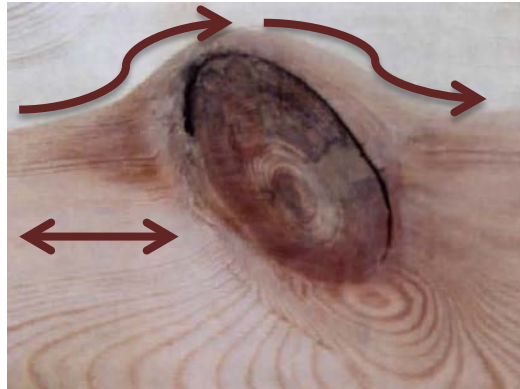
Per tal de no deixar-nos de prendre nota de cap singularitat de la biga a estudiar, seguïem la plantilla que ens havíem preparat.

Nusos

No hem d'oblidar en cap moment que la fusta prové dels arbres i que aquests estan formats per troncs, que és la part de la que s'extreu la fusta com la de les nostres bigues. I que alhora aquests troncs són el punt en el que neixen les branques; doncs bé, el naixement d'aquestes branques és el que coneixem com a nusos, que amb la creixuda del tronc es van quedant dins d'aquest.

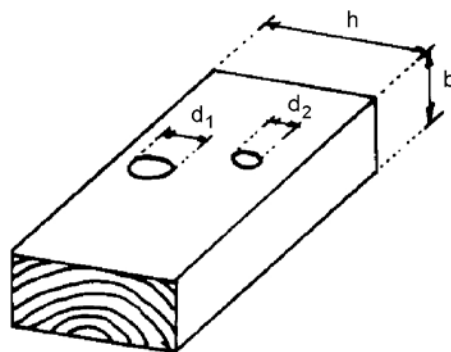
Hi ha diferents tipus de nusos depenent de la seva situació i forma dins de la peça, si està més o menys adherit, o si està afectat per podridura, o si es tracta d'un nus d'una branca que ha estat tallada arran de tronc i ha quedat ocult dins d'aquest...

El que fa que sigui significatiu en quant a la resistència de la fusta, és la desviació de la fibra que es produeix en la fusta per envoltar aquest nus. Aquesta singularitat la podem apreciar en la Il·lustració 11.



Il·lustració 11: Nus parcialment adherit. Manual de clasificación de la madera

Un cop teníem la biga sobre els cavallets es van anotar les seves dimensions en el full i tot seguit passàvem a mesurar i anotàvem els diàmetres dels diferents nusos i a quina distància es trobaven de la testa que fèiem servir de referència, és a dir, la testa que havíem tallat amb la serra de cadena prèviament. Totes les distàncies es van anotar en mil·límetres. El criteri d'amidament el podem veure en la Il·lustració 12.



Il·lustració 12: Criteri de amidament dels nusos. UNE 565444:2011

CLIVELLES

Definim clivella com la separació de les fibres que s'ha produït en sentit longitudinal. Les clivelles que ens acostumem a trobar en les peces que tenen una escairada considerable, acostumen a estar produïdes per la diferència de contracció de la fusta que es dona entre la direcció radial i tangencial.

La contracció de la fusta en el sentit radial és respecte el sentit tangencial entre un 50% i un 60% menor, en la Il·lustració 13 podem apreciar una clivella discontinua d'una de les nostres bigues.

L'aparició de les clivelles s'accentua quan més s'asseca la peça i la secció de la fusta és més gran, cosa que passa en les bigues d'escairada més gran.

De les clivelles es mesurava la longitud de les que tenien un gruix superior a un mil·límetre i també es mesurava amb l'ajuda d'una làmina flexible de 0,2 mil·límetres de gruix la profunditat màxima d'aquestes clivelles. També es tenia en compte si la clivella era contínua, és a dir, una única clivella o discontinua, és a dir, quan aquesta clivella anava seguida per altres que tant sols estaven separades per alguna fibra que les creuava. Aquesta dada la consideràvem de rellevància perquè en una flexió molt pronunciada podria arribar a comunicar-se les diferents clivelles i actuar com una sola clivella.



Il·lustració 13: Clivella discontinua

DESVIACIÓ DE LA FIBRA

El següent punt a estudi era la desviació de la fibra. La desviació de la fibra pot ser local, com es el cas d'un nus (que no es té en compte en la norma) o general, que és la inclinació que aquesta té respecte l'eix longitudinal de la peça.

Aquesta desviació es deu entre d'altres factors a que els troncs dels arbres tenen una forma més o menys cònica, aquest fet s'acaba transformant en unes inclinacions a les cares de la fusta un cop ja ha estat escairada.

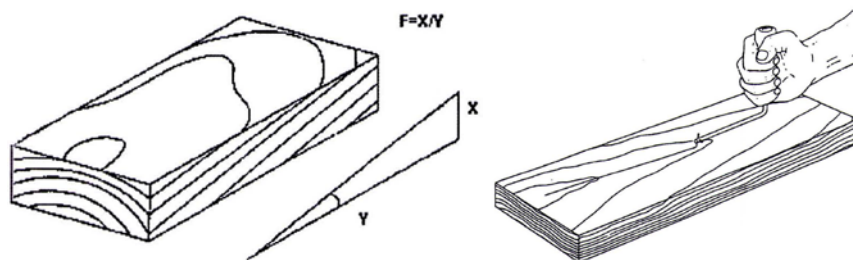
Un altre factor que pot generar que la desviació de la fibra sigui superior al que considerarem acceptable és el creixement revirat del tronc. Això es pot apreciar en la Il·lustració 14.



Il·lustració 14: Fibra revirada. Manual de clasificación de la madera

Per tal de poder mesurar la desviació de la fibra es va fer servir un traçador, que no és altra cosa que una punta unida a un mànec que permet el gir de la punta lliurement, permetent que segueixi la direcció de la fibra quedant marcada a la peça. Cal destacar que la línia que es marca a la peça no pot discórrer per punts on hi hagin singularitats, com ara nusos, ja que alterarien el resultat i així ho contempla la norma.

Un cop es va tenir marcada una línia d'un metre de llarg, o en el seu defecte el més llarga possible, es va mesurar la pendent de la recta respecte la directriu de la biga, tal i com es mostra en la Il·lustració 15.



Il·lustració 15: Mesurament desviació de la fibra. Manual de classificació de la madera

SEMA

Es denomina sema a la superfície arrodonida original d'un tronc, amb o sense escorça, que es manifesta sobre les arestes de la peça de fusta serrada.

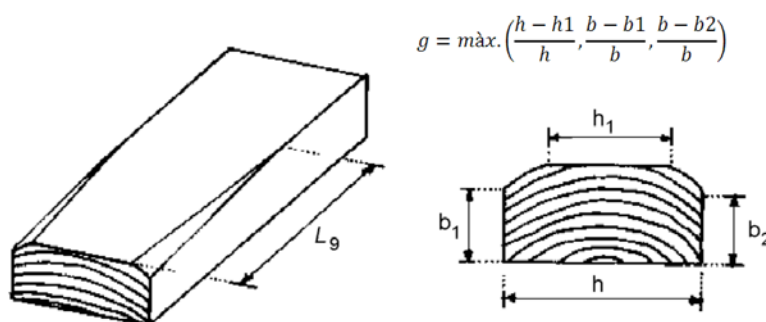
El motiu de l'aparició de les semes, es deu a la voluntat de voler aprofitar al màxim la secció del tronc que a causa de la conicitat de l'arbre pot produir semes en la fusta serrada. Il·lustració 16.



Il·lustració 16: Sema remarcada amb guix blanc

De les semes s'avaluen dos factors. Il·lustració 17:

- La seva longitud, que no ha de ser superior a 1/3 de la longitud de la biga.
- La secció transversal, a partir del coeficient "g" que la norma diu que ha de ser $\leq 1/3$.

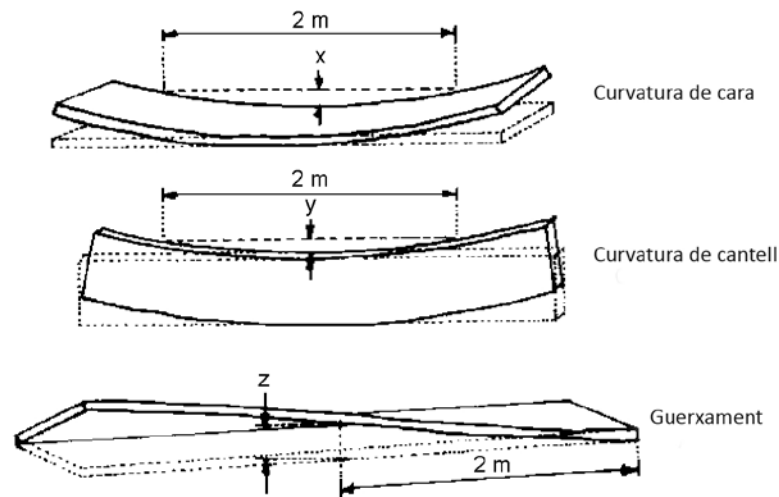


Il·lustració 17: Mesurament i avaluació de les semes. UNE 565444:2011

DEFORMACIONS DE LES PECES

De deformacions de les peces en fusta de gran escairada en considerem de tres tipus. Il·lustració 18:

- Curvatura de cara
- Curvatura de cantell
- Guerxament



Il·lustració 18: Deformacions de les peces. UNE 565444:2011

Per mesurar i poder quantificar el grau de deformació de les bigues es va utilitzar un perfil d'alumini, que ens feia la funció de regla per mesurar les curvatures i de superfície plana per mesurar el guerxament. I d'un metre per tal poder-lo quantificar, seguint l'esquema de la il·lustració anterior.

ALTERACIONS BIOLÒGIQUES

Com alteracions biològiques la normativa contempla les següents. El vesc, que és una planta parasitària que fa que es desviïn les fibres de la fusta.

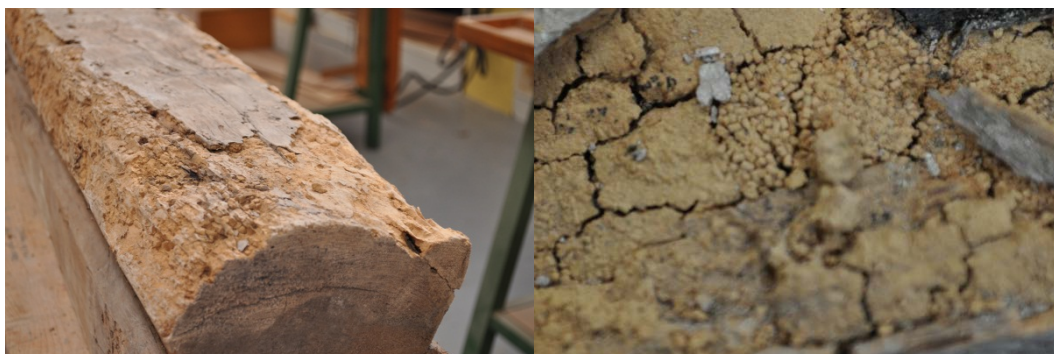
El blau de la fusta, és un fong cromogen que tant sols canvia l'aparença de la fusta, tot i que afavoreix que la fusta sigui atacada per altres fongs.

La podridura que és produïda per fongs que alteren de forma greu la seva estructura, destruint la fusta, en major o menor grau. Il·lustració 19.



Il·lustració 19: Podridura cúbica

Per últim les galeries d'insectes xilòfags que viuen dins de la fusta i se la van menjant i construint galeries. Aquestes galeries seran de major o menor diàmetre depenent de l'espècie de xilòfag que es tracti. Il·lustració 20.



Il·lustració 20: Galeries serradures i excrements de *Hylotrupes bajulus*

De totes aquestes alteracions la única que s'admet és el blau de la fusta, probablement perquè no es veu afectada la resistència de la fusta, sinó més aviat la vesant estètica de la mateixa.

Es va procedir fent una inspecció visual i en el cas de podridures es va clavar un punxó per poder determinar la profunditat aproximada de l'afectació.

En els casos que es va poder identificar el tipus de podridura i el tipus d'agent xilòfag que l'havia afectat es va deixar descrit en la fitxa de treball. No obstant això, si ens cenyim a la norma, tan sols s'havia de determinar si n'hi havia o no.

ALTRES SINGULARITATS

A part de les singularitats que s'han citat anteriorment, hi ha d'altres que tracta la norma, com són: Il·lustració 21

- Cullerots
- Dipòsits de resina
- Entrecasc
- Fusta de compressió

De cullerots, entrecasc i fusta de compressió no es va detectar en cap part de la biga. De dipòsits de resina, n'hem trobat només un en la part interna de la biga que ens quedava fora dels 20h. És per aquest motiu, que no l'hem tingut en compte. De tota manera, si l'haguéssim considerat per les seves dimensions l'haguéssim donat per admès.



Il·lustració 21: Dipòsit de resina

RESULTATS

Seguint la metodologia que ens havíem plantejat, es va fer l'anàlisi de les dades des de dos vessants: una vessant en que tan sols es contempla el que es podria veure en una diagnosi in situ, és a dir, les parts vistes de la biga. I per altra banda, analitzant tota la biga, les parts vistes i ocultes de la biga, és a dir, treball de laboratori.

Finalment, un cop es van exposar les dades, tant de les parts vistes com les parts ocultes, es va fer un anàlisi comparatiu.

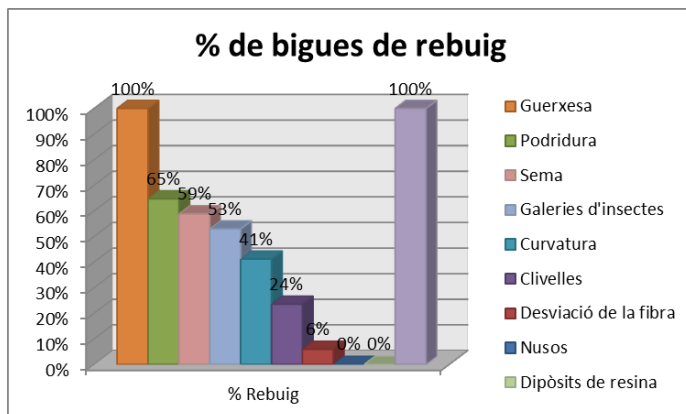
CLASSIFICACIÓ VISUAL EN EL LABORATORI (TOTES LES CARES)

Un cop es va omplir les dades en el nostre full de càlcul es van aplicar els criteris que ens marca la norma UNE 565444:2011 en la Taula 3: Detall de les singularitats de les bigues en el laboratori de totes les cares, i es van començar a analitzar les dades. Per tal de poder-ho fer millor, es van utilitzar taules i gràfiques que ens van ajudar a avaluar conjuntament tota la partida de bigues.

Biga	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Nusos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Desviació de la fibra	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Podridura	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓
Clivelles	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Curvatura	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓
Guexesa	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Galeries d'insectes	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓
Sema	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗
Dipòsits de resina	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cullarots	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Taula 3: Detall de les singularitats de les bigues en el laboratori de totes les cares

Com podem veure en la Taula 3: Detall de les singularitats de les bigues en el laboratori de totes les cares, totes les bigues segons la norma haurien de ser rebuig, donat que en totes les bigues hi va haver un grau de guexesa superior al llinda permès.



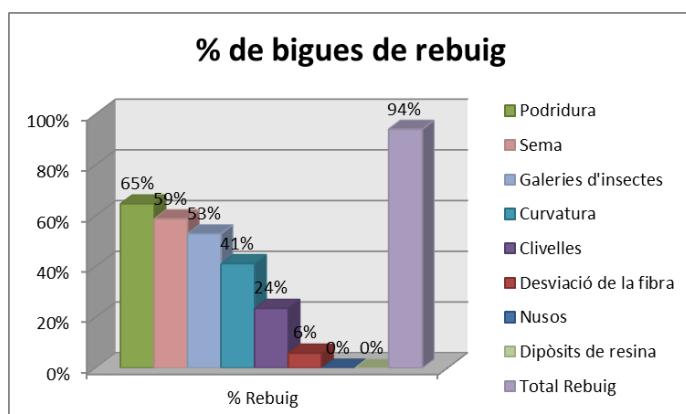
Gràfic 1: Freqüència de les singularitats de les bigues a totes les cares

Com es pot veure en el Gràfic 1, totes les bigues van ser considerades de rebuig, donat que tenen més guerxesa que la que es permet en la norma. És per aquest motiu que es va decidir tornar-les a analitzar obviant la guerxesa.

Biga	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Nusos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Desviació de la fibra	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Podridura	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓
Clivelles	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Curvatura	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓
Galeries d'insectes	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓
Sema	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗
Dipòsits de resina	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cullarots	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Taula 4: Detall de les singularitats de les bigues a totes les cares sense guerxesa

Si no considerem la guerxesa, veiem a la Taula 4 que tan sols s'admet la biga 14, Per tant, la millora ha estat més aviat minsa i el percentatge de bigues que són rebuig és de 94%. Gràfic 2.



Gràfic 2: Freqüència de les singularitats de les bigues a totes les cares sense guerxesa

CLASSIFICACIÓ VISUAL EN OBRA (CARES VISTES)

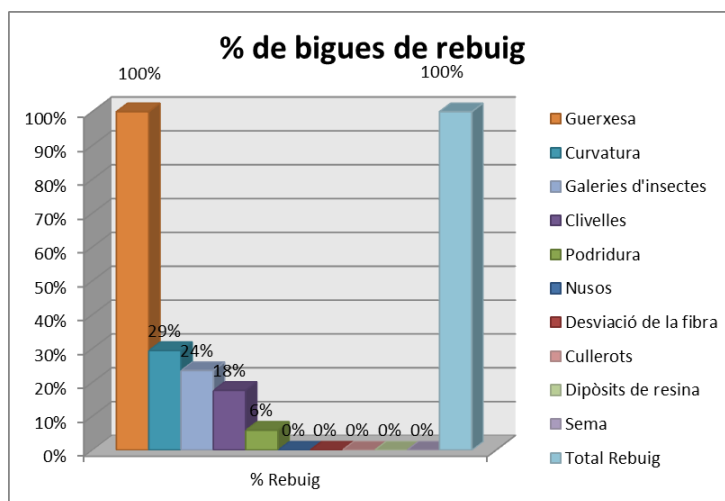
Com havíem comentat anteriorment, també es van analitzar les dades amb els mateixos paràmetres que podem obtenir a l'obra en una diagnosi, és a dir, analitzant la cara inferior i les dues meitats inferiors dels cantells de la biga. Com era de preveure, analitzant la meitat de la biga es troben menys singularitats, i per tant, el percentatge d'acceptació també millora i més si tenim en compte que la part inferior, també és la part que el fuster escollia com a millor per fer les motlures, sense semes i és de suposar que amb menys nusos o amb nusos de mida menor.

Seguirem el mateix esquema d'anàlisi de dades per fer més fàcil la seva interpretació i comparació.

Biga	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Nusos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Desviació de la fibra	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Podridura	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Clivelles	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Curvatura	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Guexesa	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Galeries d'insectes	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Sema	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Dipòsits de resina	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cullarots	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Taula 5: Detall de les singularitats de les bigues a les cares vistes

Com es veu clarament a la Taula 5, el factor que fa que no es pugui acceptar cap de les bigues, torna a ser la guexesa que està present a totes les bigues. Però, si mirem el gràfic de freqüències veurem clarament que segueix la podridura amb un 29%. Gràfic 3.

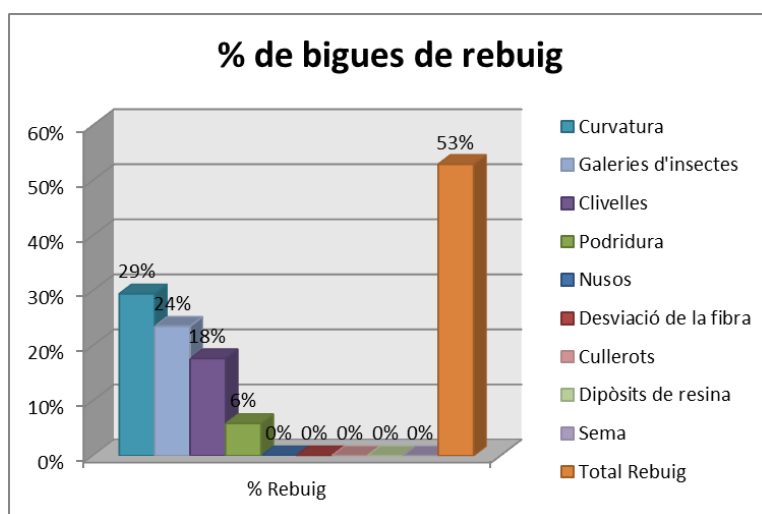


Gràfic 3: Freqüència de les singularitats de les bigues a les cares vistes

Per aquest mateix motiu, es van tornar a analitzar les bigues sense tenir en compte la guexesa, en aquest cas les bigues que no considerariem rebuig serien 8, que serien considerades MEG. Taula 6 .

Biga	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Nusos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Desviació de la fibra	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Podridura	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Clivelles	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Curvatura	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Galeries d'insectes	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Sema	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Dipòsits de resina	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cullarots	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Taula 6: Detall de les singularitats de les bigues a les cares vistes sense guerxesa



Gràfic 4: Freqüència de les singularitats de les bigues a les cares vistes sense guerxesa

ANÀLISI DE RESULTATS

Ara ens plantegem comparar els resultats dels dos supòsits.

Bigues acceptades UNE 565444:2011	Comparativa			
	Laboratori		Diagnosi	
Segons norma	0	0%	0	0%
Sense Guerxesa	1	6%	8	47%

Taula 7: Comparativa bigues acceptades

Com podem veure a la Taula 7, segons la normativa, no hauríem d’haver acceptat cap de les bigues si es tractes de fusta nova. Tampoc acceptaríem cap de les bigues tenint en compte la informació que ens donen les cares vistes. Ara bé, una altra cosa ben diferent hagués passat si ens haguéssim trobat amb unes bigues que no estiguessin guerxes, ja que tenint en compte únicament les cares vistes hauríem acceptat un 47% de les bigues, mentre que en una visualització completa de les bigues no hauríem d’acceptar més del 6% d’aquestes.

ASSAJOS DE LABORATORI

Al llarg de tot el projecte s'ha treballat amb quatre tipus diferents de mostres:

- Bigues tallades a una llargada de 20h.
- Llesques, secció sencera de les bigues, per fer els assajos de Resistògraf.
- Provetes cúbiques de 10 x 10 x 10 cm., per calcular la densitat i la humitat, assecant les provetes
- Microprovetes, per treure la densitat.

Les bigues feien falta a una llargada de 20h per poder realitzar la majoria dels assajos segons normativa, com es va veient al llarg de tot el treball. Les llesques van servir per poder analitzar les gràfiques del Resistògraf. Les provetes cúbiques ens han permès treure la densitat de la fusta a estudi, amb molt menys marge d'error que si ho haguéssim fet amb la pròpia biga per la dificultat de calcular el seu volum. I les microprovetes s'han fet pensant amb la seva utilitat en la diagnosi.

PREPARACIÓ DE LES PROVETES

DEFINICIÓ

Per tal de poder fer diferents assajos hem hagut de preparar diverses mostres. Aquestes mostres es faran servir en més d'un assaig i és per aquest motiu que s'ha volgut explicar en aquest apartat com es van preparar.

Les mostres que es van preparar són de aproximadament 100x100x100mm.

EQUIPS

Per a la realització d'aquesta feina es van fer servir diferents màquines i eines manuals de la fusteria del Institut La Pineda. Totes aquestes màquines són el que s'anomena màquines convencionals que les podem trobar en qualsevol fusteria. Aquestes màquines convencionals són:

- Serra de cinta
- Màquina d'obrar
- Màquina de regruixar
- Serra de tallar biaixos

METODOLOGIA

Es va partir dels trossos de bigues que ens van sobrar al tallar les bigues a una longitud de 20h, que es van carregar a una furgoneta per a transportar-les al taller de fusta de l' Institut de formació professional La Pineda de Badalona, que ens van cedir les instal·lacions per preparar les mostres.

El primer que es va fer va ser amb l'ajuda d'un detector de metalls i eines manuals: enformadors, tornavisos, maça, estenalles... treure tots els claus que hi havia clavats a les bigues. Aquesta feina va ser molt laboriosa donat que, gran part d'aquests claus estaven rovellats i totalment clavats dins de la fusta, fet que feia que es trenquessin en trossos quan els intentaves treure. Il·lustració 22.



Il·lustració 22: Forat d'extracció d'un clau rovellat

Quan ja es va tenir la fusta neta de claus, es va tallar a la serra de cinta la llargada de les peces per treure una peça de 60cm de 10 x 10cm d'escairada. A continuació, del tros que volíem treure la peça es va tallar una cara a la mida que ens permetés evitar les sagnies i singularitats de la biga per treure una peça el més neta possible. Seguidament, recolzant la cara tallada de la biga a la bancada de la serra cinta, es va tallar la cara més estreta de forma que ens quedava un angle més o menys bo. Ara faltava passar la cara recent tallada per la màquina d'obrar, que ens faria una superfície plana i polida. Un cop teníem la cara en condicions, la recolzàvem a la guia fent que el cantell a més de quedar pla i polit ens quedés perpendicular a la cara.

Finalment, tan sols quedava posar la guia a la serra per treure peces més o menys a la mateixa amplada i regruixa-les a la regruixadora. Aquesta màquina el que fa és polir una cara paral·lela a una altra a una mesura prefixada, en el nostre cas les que ja havíem deixat planes i perpendiculars entre elles, de manera que ens quedés un llistó regular i amb la mateixa mida entre cares i entre cantells.

Ara ja tant sols ens quedava anar a la serra de tallar biaixos i treure un tros de 10cm de llarg. Aquest procés és pot veure en la Il·lustració 23.



Il·lustració 23: Detalls del procés de preparació de les mostres i estat final de la serra

RESULTATS

El resultat eren diferents mostres de 10x10x10cm de cadascuna de les bigues, en la Il·lustració 24 podem veure les mostres abans de ser tallades a sobre de la regruixadora i després de ser tallades.



Il·lustració 24: Mostres abans i després de tallar de llarg

DENSITAT DE LES PROVETES

DEFINICIÓ

Donada la dificultat de cubicar amb garanties una secció completa de la biga perquè no és una forma regular i que aquesta forma no es manté al llarg de la biga, es va optar per agafar una de les provetes amb forma de cub, fet que va facilitar molt les coses. La densitat que volem extreure en aquest apartat és la que farem servir per comparar la resta de densitats, és a dir, per a nosaltres serà la nostra densitat de referència.

EQUIPS

Els equips que hem fet servir per determinar la densitat són:

- Un peu de rei digital amb una precisió de 0.01mm
- Una balança amb una precisió de 0.01g

METODOLOGIA

La metodologia que es va seguir és molt simple. Primerament, es van mesurar i anotar les tres dimensions llarg, ample i gruix de la peça en un full de càlcul que havíem preparat perquè ens donés el volum de la mostra. Il·lustració 25.



Il·lustració 25: Mesurat i pesat de les provetes

$$V = \frac{(L \cdot A \cdot G)}{1 \cdot 10^9}$$

On:

V és volum en m^3

L és el llarg de la mostra en mm

A és el ample de la mostra en mm

G és el gruix de la mostra en mm

El següent pas va ser pesar la mostra a la bàscula i anotar el resultat en el full de càlcul que ens va donar el resultat en kg/m^3 mitjançant la fórmula següent:

$$\rho = \frac{(m/(1 \cdot 10^3))}{V}$$

On:

ρ és la densitat de la mostra en kg/m^3

m és la massa de la mostra en g

V és volum en m^3

RESULTATS

A la Taula 8 s'exposen les diferents densitats que hi ha en aquestes mostres. Com es pot veure, la mitjana de les densitats és de 517,43 i estan distribuïdes en un ventall que va des dels 668.22 de densitat màxima als 417.35 de densitat mínima.

	Llarg	Ample	Gruix	Volum	Massa	Densitat	% Humitat	Densitat 12%
Biga 1	100,24	100,05	100,02	0,00100	533,55	531,90	11,6%	532,85
Biga 2	100,76	100,16	100,07	0,00101	674,85	668,22	15,5%	656,53
Biga 3	100,93	100,11	100,03	0,00101	532,61	526,96	12,0%	526,94
Biga 4	101,21	100,11	100,08	0,00101	435,64	429,62	13,2%	427,01
Biga 5	100,96	100,11	100,04	0,00101	464,49	459,38	12,1%	459,25
Biga 6	100,83	100,07	100,13	0,00101	500,23	495,12	12,8%	493,23
Biga 7	100,56	100,08	100,11	0,00101	491,13	487,47	12,2%	487,03
Biga 8	100,57	100,08	99,95	0,00101	515,25	512,18	10,8%	515,17
Biga 9	100,53	99,96	99,95	0,00100	419,64	417,80	13,0%	415,80
Biga 10	99,96	100,07	100,18	0,00100	435,10	434,19	12,4%	433,32
Biga 11	100,28	99,95	100,04	0,00100	559,84	558,33	14,8%	550,60
Biga 12	101,24	100,04	99,93	0,00101	602,48	595,28	14,1%	588,88
Biga 13	100,60	99,87	99,57	0,00100	544,44	544,24	12,2%	543,60
Biga 14	101,02	100,10	99,95	0,00101	595,74	589,43	12,6%	587,68
Biga 15	99,75	101,91	100	0,00102	535,90	527,17	13,9%	522,17
Biga 16	100,62	99,82	99,81	0,00100	603,22	601,73	13,5%	597,10
Biga 17	100,82	99,98	100,05	0,00101	420,90	417,35	12,5%	416,29
Mitjanes	100,64	100,15	99,99	0,00101	521,47	517,43	12,9%	514,91

Taula 8 Volums, masses i densitats de les mostres

A la Taula 9 presentem l'anàlisi numèric de les dades per tal de facilitar la lectura i interpretació de les dades de la taula de densitats.

Densitat 12%	Màxima	Mínima	Mitjana	Sd	C.V
	656,53	415,80	514,91	70,03	14%

Taula 9: Anàlisi de les densitats corregides

DENSITAT DE MICROPROVETES

DEFINICIÓ

Com ja hem comentat anteriorment, un dels objectius d'aquest treball és comprovar, en la mesura que ens ho permeten 17 bigues, la relació que hi ha entre diferents sistemes que hi ha per definir un paràmetre. Tenint en compte els paràmetres que es poden definir in situ i els que fa falta treure la biga de l'obra per fer-ho en un laboratori, hem cregut convenient contemplar el que nosaltres diem microprovetes per tal de determinar la densitat, tot i que és un sistema moderadament destructiu.

El que nosaltres anomenem microprovetes són petits cilindres que s'extreuen de la biga amb l'ajuda d'un trepant i una broca de corona a la que li trèiem la broca central que fa de guia. Il·lustració 26.



Il·lustració 26: Microprovetes i corones

EQUIPS

Els equips que ha requerit aquest assaig han estat:

- Per preparar la microproveta
 - Un trepant horitzontal
 - Una broca de corona de 16mm de diàmetre
 - Una tupí
 - Un disc de serra de 25cm de diàmetre
- Per mesurar i pesar la microproveta
 - Una bascula de laboratori amb una precisió de 0.001g
 - Un peu de rei digital amb una precisió de 0.01mm

METODOLOGIA

Per tal de fer les microprovetes es va fer primer el forat amb un trepant horitzontal i per facilitar l'extracció es va fer un tall a el límit de la profunditat del forat, amb l'ajuda de la tupí. D'aquesta manera va quedar lliure el cilindre per extreure'l. És evident que aquest sistema no es podrà fer igual en una visita d'obra, però el que nosaltres volem constatar és la fiabilitat dels resultats.

De cada mostra es va treure una microproveta en el sentit tangencial que es va marcar de color blau amb el numero de la biga i una altra en el sentit radial que es va marcar de color vermell.

Per tal d' evitar els canvis d' humitat un cop extretes les provetes, es van anar guardant dins de bossetes amb tancament hermètic tant bon punt les anàvem traient.



Il·lustració 27: Preparació de les microprovetes

Un cop ja hem tingut les microprovetes fetes hem procedit a mesurar les seves dimensions amb una precisió de 0.01mm i a pesar-les amb una bàscula amb precisió 0.001g.



Un cop ja les hem tingut fetes el que ens ha restat és calcular el seu volum i posteriorment pesar-les per poder calcular la densitat.

Per a calcular el volum hem aplicat la següent formula:

$$V = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot L}{1 \cdot 10^9}$$

On:

V és volum en m^3

r és el radi de la microproveta en mm

L és la longitud de la mostra en mm

I per calcular la densitat hem fet servir la següent formula:

$$\rho = \frac{(m/(1 \cdot 10^3))}{V}$$

On:

ρ és la densitat de la mostra en kg/m^3

m és la massa de la mostra en g

V és volum en m^3

RESULTATS

A la Taula 10 queden exposades totes les densitats que es van calcular, amb especificant si es van obtenir de les microprovetes en sentit tangencial o radial i la mitjana de les dues, que és la dada que es dona com a bona.

	Tangencial					Ràdial					Densitat Promig	Den. Pro. 12%
	Llarg	Diametre	Massa	Densitat	Den. 12%	Llarg	Diametre	Massa	Densitat	Den. 12%		
1	39,77	11,48	2,091	507,95	508,86	39,5	11,56	2,191	528,49	529,43	518,22	519,14
2	39,66	11,68	2,504	589,26	578,95	39,5	11,74	3,029	708,40	696,00	648,83	637,48
3	39,32	11,64	2,293	548,02	547,99	39,53	11,79	2,352	545,00	544,97	546,51	546,48
4	39,37	11,64	1,963	468,55	465,71	39,58	11,66	1,937	458,32	455,54	463,44	460,63
5	39,32	11,54	2,059	500,66	500,51	39,71	11,75	2,38	552,73	552,56	526,69	526,53
6	39,77	11,71	2,397	559,64	557,50	39,34	11,77	2,233	521,69	519,69	540,66	538,59
7	39,39	11,64	2,419	577,10	576,58	39,4	11,64	2,212	527,59	527,11	552,34	551,84
8	39,36	11,92	2,373	540,26	543,42	39,82	11,49	2,191	530,65	533,76	535,46	538,59
9	39,54	11,61	1,904	454,86	452,68	39,25	11,75	1,971	463,11	460,89	458,98	456,78
10	39,54	11,71	1,95	457,92	457,01	39,57	11,74	1,86	434,23	433,36	446,08	445,19
11	39,78	11,39	2,313	570,65	562,76	39,77	11,7	2,401	561,53	553,76	566,09	558,26
12	39,3	11,75	2,607	611,76	605,19	39,54	11,83	2,713	624,24	617,53	618,00	611,36
13	39,2	11,69	2,24	532,41	531,79	39,56	11,61	2,381	568,52	567,86	550,47	549,83
14	39,44	11,55	2,331	564,09	562,42	39,47	11,69	2,284	539,15	537,55	551,62	549,98
16	39,06	11,52	2,519	618,73	613,98	39,36	11,7	2,704	638,98	634,07	628,86	624,03
17	39,29	11,59	1,889	455,71	454,55	39,34	11,61	1,827	438,68	437,56	447,20	446,06

Taula 10: Volums, masses i densitats de les microprovetes corregides al 12% d'humitat

Per tal de facilitar l'anàlisi de les dades, hem calculat la dada màxima i mínima de cada tipus de densitat, així com la desviació estàndard i el coeficient de variació. Taula 11.

Densitat 12%	Màxima	Mínima	Mitjana	Sd	C.V
D. Tangencial	613,98	452,68	532,49	53,55	10%
D. Radial	696,00	433,36	537,60	71,30	13%
D.Mitjana	637,48	445,19	535,05	59,80	11%

Taula 11: Densitats tangencials, radials i mitjanes corregides al 12% d'humitat

DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT AMB MÈTODES INDIRECTES. PENETRÒMETRE

DEFINICIÓ

El penetròmetre és un aparell que consta d'una molla que impulsa la punta de l'aparell a una força determinada de 6 joules. Al impulsar aquesta agulla amb una força sempre igual, ens mesura la variable de la duresa superficial de la fusta.

El penetròmetre que es va fer servir és el Pilodyn 6J, que és com se'l denomina comercialment. Es fa servir amb diferents objectius, el primer seria mirar l'estat fitosanitari dels arbres. També es fa servir per determinar l'abast d'atacs biòtics fent diferents proves al llarg de tota la biga, d'aquesta manera per comparació de les profunditats d'una zona sana amb d'altres que no ho estan, ens podem arribar a fer una idea de quin és l'estat real de la biga. I l'últim ús que és el que es va fer en aquest assaig és l'estimació de la densitat de les nostres bigues.

EQUIPS

L'equip per la realització de l'assaig és el penetròmetre Pilodyn 6J de l'empresa Proceq. Com es pot veure en la Il·lustració 28, consta d'un mecanisme que impulsa la agulla metàl·lica mitjançant una molla que la fa penetrar a la fusta. La profunditat de penetració de l'agulla es pot veure en la finestreta graduada del Pilodyn, que està graduada amb una precisió de 1mm.

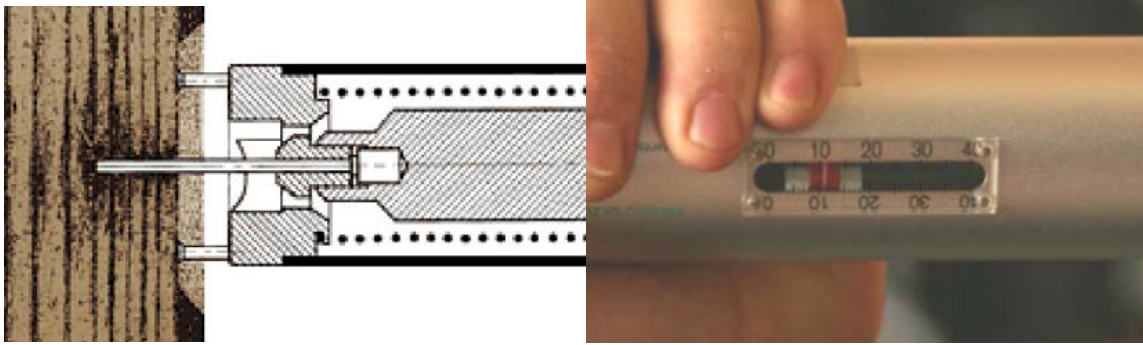


Il·lustració 28: Equip Pilodyn 6J de l'empresa Proceq

L'assaig del penetròmetre es considera una tècnica no destructiva de mesura puntual, que com ja hem comentat abans, depèn de la duresa superficial de la fusta que acostuma a estar íntimament relacionada amb la densitat, variant això sí, entre cada espècie de fusta.

METODOLOGIA

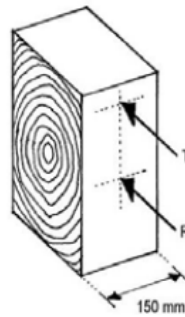
L'assaig consisteix en alliberar una molla, comprimida amb una energia de 6 Joules, que empeny una agulla de 2,5mm de diàmetre, fent que aquesta es clavi a la fusta i, posteriorment, es mesura la profunditat de penetració mitjançant la finestreta de lectura, com es pot veure en la il·lustració.



Il·lustració 29: Mecanisme Pilodyn i lectura de dades

Es va realitzar l'assaig prenent 4 mesures per biga, dues en la cara vista i dues més en la cara oculta de la biga.

Per a cada cara es va realitzar una lectura en el sentit tangencial de la fusta i una altra en el sentit radial dels anells de creixement de la fusta, com és pot veure en la Il·lustració 30. Valors als que hem fet la mitjana i aquesta última és la dada que hem donat com a bona.



Il·lustració 30: Esquema de les posicions de lectura radial i tangencial. Informes de la Construcció

RESULTATS

Les mesures de penetració que ens dóna el Pilodyn sovint són difícils d'interpretar, ja que tot i estar relacionada la duresa superficial amb la penetració de l'agulla, el que es va pretendre deduir és la densitat de la biga. A la Taula 12 mostrem les profunditats de penetració.

	Profunditats de penetració						Mitjana TOT
	Cantell vist			Cantell Ocult			
	Tangencial	Radial	Mitjana	Tangencial	Radial	Mitjana	
Biga 1	14,5	14,5	14,5	15	17	16	15,25
Biga 2	12	19	15,5	16	14	15	15,25
Biga 3	14	15	14,5	11,5	12	11,75	13,13
Biga 4	14	17	15,5	15,5	20	17,75	16,63
Biga 5	13	14	13,5	11	12	11,5	12,50
Biga 6	13	13	13	18	24	21	17,00
Biga 7	11,5	17	14,25	14	16	15	14,63
Biga 8	15	14	14,5	14	14,5	14,25	14,38
Biga 9	15	14,5	14,75	19,5	20	19,75	17,25
Biga 10	15	17	16	19	20	19,5	17,75
Biga 11	18	18,5	18,25	24	21,5	22,75	20,50
Biga 12	10	12	11	13	15	14	12,50
Biga 13	14	16	15	14,5	13,5	14	14,50
Biga 14	13	16,5	14,75	21	14,5	17,75	16,25
Biga 15	13	15	14	16	22	19	16,50
Biga 16	11,5	14	12,75	14	13	13,5	13,13
Biga 17	18,5	16	17,25	20	18	19	18,13
Mitjana	13,82	15,47	14,65	16,24	16,88	16,56	15,60

Taula 12: Profunditats de penetració del Pilodyn

És per aquest motiu, que es va consultar la tesis doctoral "Clasificación mediante técnicas no destructiva y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural" de Dr. Guillermo Íñiguez González on es facilitava com a resultat dels seus assajos una recta de regressió amb un coeficient de correlació de $R^2 = 0.59$, que ens va servir per relacionar la densitat de la proveta amb la profunditat de penetració del Pilodyn. L'equació de la recta és:

$$Den_{loc} = 771.91 - 19.03 \cdot Prof_{med} - 63.19$$

On:

Den_{loc} és la densitat local de la llesca a una humitat del 12%

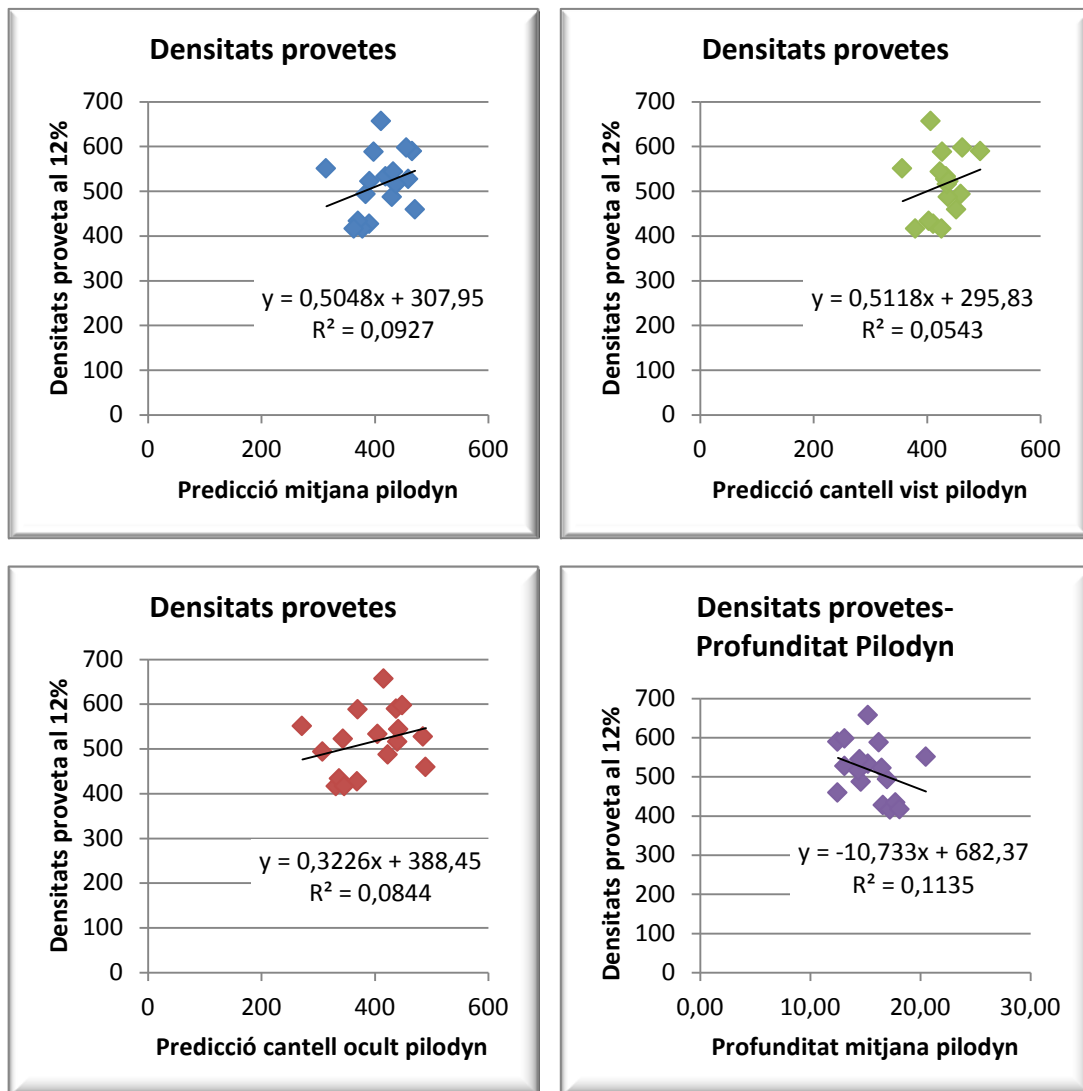
$Prof_{med}$ és la profunditat de penetració en mm (mitjana entre la lectura radial i tangencial)

Seguidament mostrem la Taula 13 amb les dades de les densitats estimades a partir de la profunditat de penetració en el cantell vist, cantell ocult i la mitjana de les dues densitats estimades, així com les densitats reals extretes de les provetes i corregides al 12% d'humitat amb una correcció d'un 0,5% per cada 1% de humitat de la fusta, augmentant la densitat a les humitats més baixes del 12% i disminuint en la mateixa proporció a les humitats més altes.

	Densitats recta de regressió Íñiguez						Densitat proveta al 12%
	Cantell vist		Cantell ocult		Mitjana		
	Densitat	Den. 12%	Densitat	Den. 12%	Densitat	Den. 12%	
Biga 1	433	434	404	405	419	419	533
Biga 2	414	407	423	416	419	411	657
Biga 3	433	433	485	485	459	459	527
Biga 4	414	411	371	369	392	390	427
Biga 5	452	452	490	490	471	471	459
Biga 6	461	460	309	308	385	384	493
Biga 7	438	437	423	423	430	430	487
Biga 8	433	435	438	440	435	438	515
Biga 9	428	426	333	331	380	379	416
Biga 10	404	403	338	337	371	370	433
Biga 11	361	356	276	272	319	314	551
Biga 12	499	494	442	438	471	466	589
Biga 13	423	423	442	442	433	432	544
Biga 14	428	427	371	370	399	398	588
Biga 15	442	438	347	344	395	391	522
Biga 16	466	463	452	448	459	455	597
Biga 17	380	379	347	346	364	363	416
Mitjana	430	428	394	392	412	410	515

Taula 13: Comparativa entre densitats predites i densitats de proveta

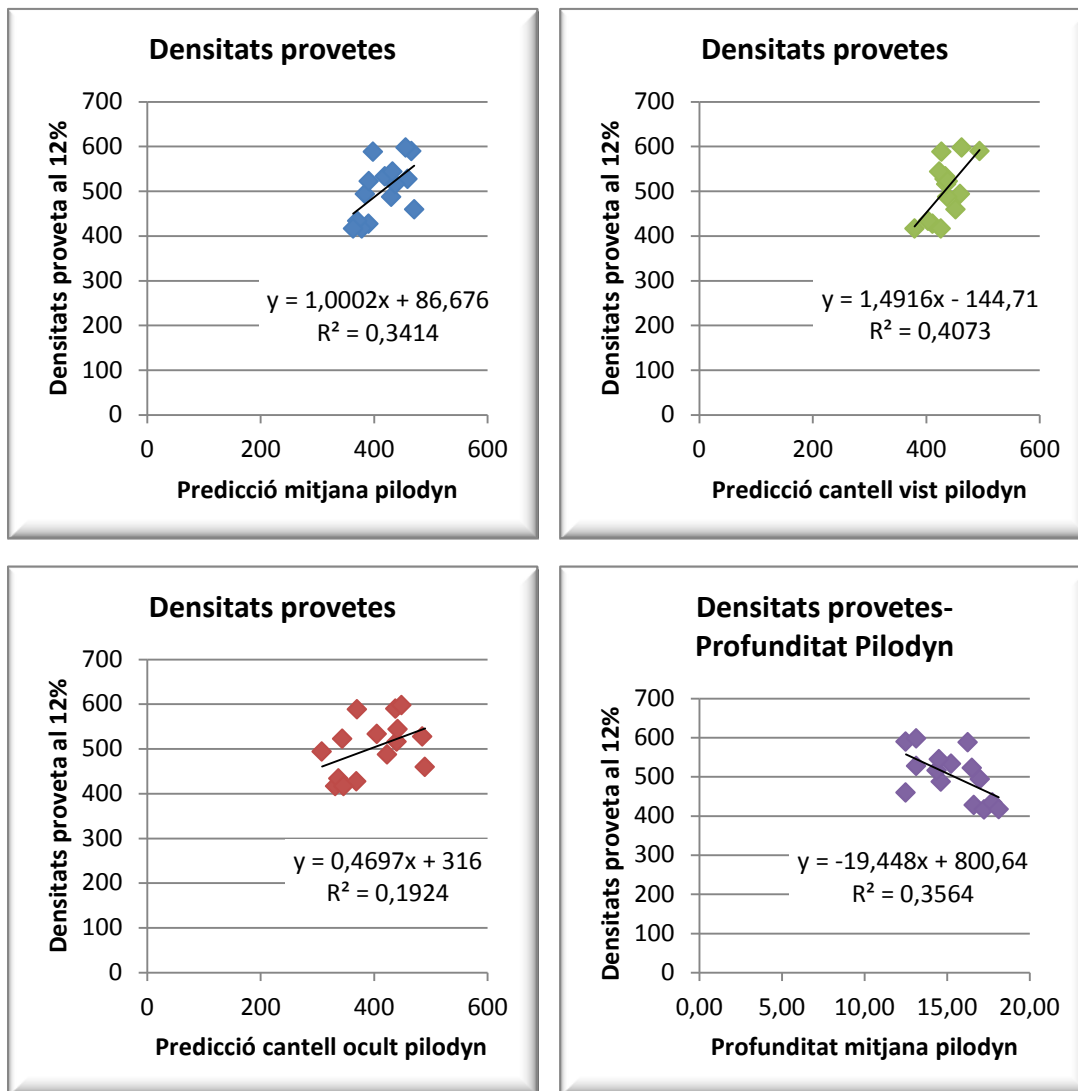
Com es pot apreciar a la Taula 13, els resultats predits amb la recta de regressió de la tesis doctoral del Dr. Íñiguez i els resultats de la densitat real estan de mitjana 105kg/m^3 per sobre de l'esperada, aproximant-se més en el cas de les lectures del cantell vist. Per acabar d'analitzar les dades es va voler realitzar tot un seguit de gràfics de dispersió de punts amb les seves rectes de regressió i coeficients de correlació al quadrat per acabar de treure conclusions. I per acabar una gràfica que relacioni les profunditats mitjanes amb les densitats corregides al 12%.



Gràfic 5: Densitats predites, densitats provetes i profunditats de Pilodyn

Com es pot extreure del Gràfic 5 i dels coeficients de correlació, la correlació entre les densitats predites i les reals és molt baixa, dada que augmenta sotilment si la comparativa la fem entre les profunditats i les densitats.

A partir dels mals resultats de les gràfiques hem cregut convenient tornar a analitzar les dades excloent dos de les bigues que ens queden més allunyades de la recta, que a més a més, també són les que tenen les humitats més altes, amb la finalitat de veure si ens pot donar una recta de regressió que sigui susceptible de fer servir en una diagnosi. Gràfic 6.



Gràfic 6: Densitats predites, densitats provetes i profunditats de Pilodyn

Hi ha una dada que si analitzem les densitats mitjanes del cantell vist i del cantell ocult per separat en contraposició a la densitat de la proveta, veurem que les que més s'aproximen són les lectures realitzades en el cantell vist, cosa que no deixa de ser una mica lògic, ja que considerem que és normal que hi hagi una duresa superficial sensiblement millor en les cares de la fusta que estan permanentment ventilades i son menys susceptibles de retenir aigua d'unes possibles filtracions, cosa que les fa menys proclius a tenir fongs, com ja s'ha vist en la classificació visual.

Es va analitzar les ultimes gràfiques en les que es va anul·lar les dues bigues que estaven més lluny de la recta. També podem veure que la correlació de la predicció dels cantells vistos amb la densitat de la proveta és millor, cosa que no es dona si considerem les bigues 2 i 11 en el nostre estudi.

Així que amb les nostres bigues l'equació de la recta de regressió amb una $R^2=0.41$ és la següent:

$$Den_{loc} = 1,4916 \cdot Prof_{med} - 144,71$$

On:

Den_{loc} és la densitat local de la llesca a una humitat del 12%

$Prof_{med}$ és la profunditat de penetració en mm (mitjana entre la lectura radial i tangencial en el cantell vist)

DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT AMB MÈTODES INDIRECTES. MÀQUINA D'ARRENCAMENT DE VIS

DEFINICIÓ

Aquest assaig mesura la força que s'ha de fer per extreure un vis de la fusta, que s'ha collat a la fusta a una determinada profunditat. El resultat que ens dóna aquest assaig, no ens hem d'oblidar que com en el penetròmetre, es tracta d'una lectura puntual.

EQUIP

L'equip que es va fer servir per dur a terme aquest assaig constava de:

- Màquina d'arrencament de vis de la marca Fakopp
- Una galga que ens limitava la profunditat de penetració de la punta del vis a 2 cm
 - És convenient que la profunditat de penetració del vis sigui el més exacta possible perquè totes les lectures siguin comparables
- Trepant de bateria per collar el vis de la marca Black & Decker de 12V
- Punta de tornavís Pz2
- Tornavís manual Pz2
 - Per acabar d'ajustar la profunditat de penetració
- Peu de rei
 - Per mesurar les característiques dels visos
- Visos cap pla Pz2 de 4x70



Il·lustració 31: Màquina d'arrencament de vis, galga de profunditat i unitat de control

La màquina d'arrencament de vis consta d'un cargol en la part superior que es fa servir per fer la força necessària per fer l'extracció del vis, una cèl·lula de càrrega que mesura la força aplicada, una urpa que es fa servir per ancorar el cap del cargol i realitzar la tracció en sentit ascendent i una unitat de control amb una pantalla que ens facilita les dades mesurades per l'aparell. Il·lustració 31.

METODOLOGIA

Es tracta d'un assaig que no va tenir massa dificultat, tot i que s'havien de seguir amb rigor les instruccions del fabricant a l'hora de fer l'assaig per tal de poder extreure uns resultats fiables.

L'assaig, com en el cas del Pilodyn, es va realitzar en el sentit tangencial i es va repetir en el sentit radial de la mostra i sempre realitzant l'assaig a la cara vista de la biga.

Per fer l'assaig ens va ser d'utilitat la galga, per mirar de garantir que la profunditat de penetració del vis fos de 2cm. Seguidament es va transmetre tensió a la màquina d'arrencament de vis amb una tensió mínima que ens assegurés el bon contacte de la màquina amb el vis i es va realitzar l'últim pas previ a la realització de l'assaig, és a dir, es va tarar la màquina de manera que s'esborressin les lectures anteriors.

Per a l'extracció del vis i perquè quedés correctament mesurat per la unitat de control, es va anar transmetent tensió al vis amb l'ajuda del cargol que hi ha a part superior de la màquina. Per fer aquest assaig és important que, tot i que sigui un assaig manual, intentem mantenir un ritme constant durant tot l'assaig i que l'extracció del vis estigui compresa entre 4 i 8 segons.

Un cop acabat l'assaig, es van anotar les lectures en kN de la tensió màxima de la unitat de control al nostre full de càlcul.

RESULTATS

Per tal de poder determinar la densitat amb la màquina d'arrencament de vis ens vam valdre de la següent fórmula, que surt de la relació utilitzada per definir el valor característic de la capacitat d'arrencament d'unions amb rosca carregats axialment i sabent el valor característic de la resistència a l'arrencada (Eurocodi 5):

$$\rho = \frac{F}{50 \cdot 10^{-6} (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0.8}}$$

On:

ρ és el valor característic de la densitat en kg/m³

F és el valor característic de la capacitat d'arrencada en kN

d és el diàmetre mig a la part roscada en mm

l_{ef} és la longitud de penetració a la peça de punta, de la part roscada menys un diàmetre en mm

També hem utilitzat la fórmula que descriu en la tesis doctoral "Clasificación mediante técnicas no destructiva y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural" (Íñiguez, 2007) en la que ens facilita com a resultat dels seus assajos una recta de regressió amb un coeficient de correlació de $R^2 = 0.64$ que ens relaciona la Densitat local amb la força màxima d'arrencada de vis.

L'equació de la recta és:

$$Den_{loc} = 365.88 + 95.46 \cdot Mat_{med} - 38.53$$

On:

Den_{loc} és la densitat local de la llesca a una humitat del 12%

Mat_{med} és la força d'extracció en kN (mitjana entre la lectura radial i tangencial)

Amb les dades extretes de la màquina d'extracció de vis i les que es van calcular amb les dues fórmules anteriors es va elaborar la Taula 14: Forces d'extracció i densitats. Màquina arrencament de vis, Taula 15: Densitats mitjanes, desviacions estàndard i coeficients de variació, la Taula 16: Densitats mitjanes, desviacions estàndard i coeficients de variació i el Gràfic 7 per tal de poder analitzar millor els resultats.

	Mitjana		Recta de Regressió		Densitat Local
	Densitat	Error Abs	Densitat	Error Abs	
Biga 1	475,51	56,39	485,34	46,56	531,90
Biga 2	410,87	257,35	463,86	204,36	668,22
Biga 3	601,94	74,97	527,34	0,37	526,96
Biga 4	221,24	208,38	400,85	28,76	429,62
Biga 5	476,95	17,57	485,81	26,43	459,38
Biga 6	369,21	125,92	450,02	45,11	495,12
Biga 7	614,87	127,40	531,63	44,17	487,47
Biga 8	548,78	36,61	509,68	2,50	512,18
Biga 9	316,05	101,75	432,36	14,55	417,80
Biga 10	317,49	116,70	432,83	1,35	434,19
Biga 11	422,36	135,97	467,68	90,66	558,33
Biga 12	566,02	29,26	515,41	79,87	595,28
Biga 13	534,42	9,82	504,91	39,33	544,24
Biga 14	622,05	32,62	534,02	55,41	589,43
Biga 15	488,44	38,73	489,63	37,54	527,17
Biga 16	754,22	152,49	577,93	23,79	601,73
Biga 17	314,62	102,74	431,88	14,53	417,35

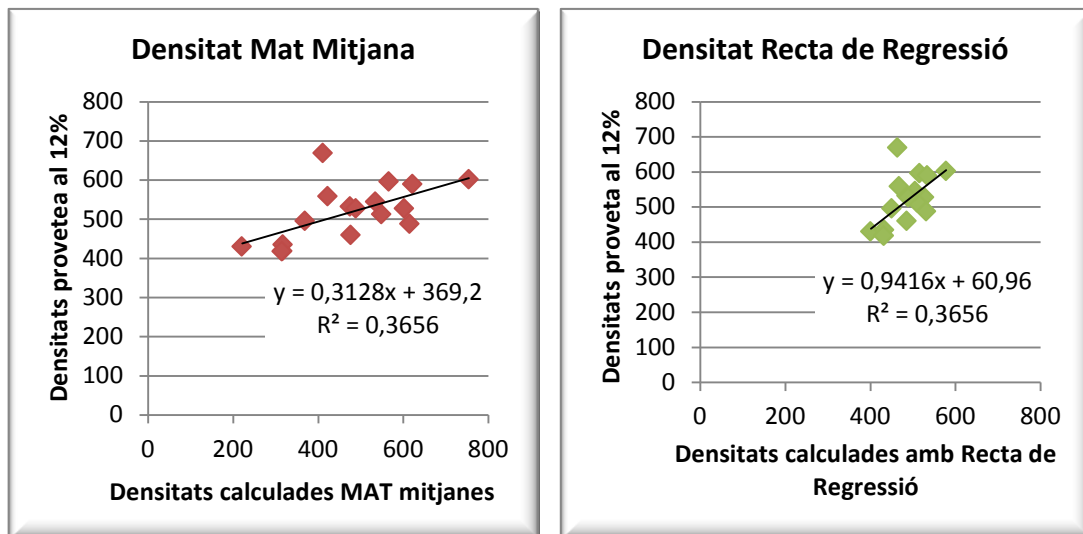
Taula 14: Forces d'extracció i densitats. Màquina arrencament de vis

També es van calcular les mitjanes, desviacions estàndard i coeficient de variació de les densitats obtingudes tant de la mitjana de les forces màximes que ens ha donat l'assaig en sentit longitudinal com radial, calculades amb la recta de regressió del la tesis del Dr. Íñiguez i la densitat local, així com els errors absoluts de les dues densitats calculades vers la densitat local.

	Mitjana		Recta de Regressió		Densitat Local
	Densitat	Error Abs	Densitat	Error Abs	
Mitjana	473,82	95,57	484,77	44,43	517,43
SD	139,41		46,32		72,13
C.V	29%		10%		14%

Taula 15: Densitats mitjanes, desviacions estàndard i coeficients de variació

Com podem observar mirant les mitjanes, se'ns va acostar més la mitjana fent servir la recta de regressió de la tesis del Dr. Íñiguez, tot i que la diferència no era substancial. En canvi, si agafàvem els valors absoluts de la diferència de les dues densitats calculades i la densitat local, es va veure que en el cas de la densitat calculada amb la fórmula, ens donava una diferència mitjana de 95.57 kg/m^3 , i en la densitat que es va calcular amb la recta de regressió ens donava una diferència mitjana de 44.43 kg/m^3 , cosa que apart de que els valors mitjos de les densitats fossin millors fent servir la recta de regressió, les diferències absolutes també ho eren.



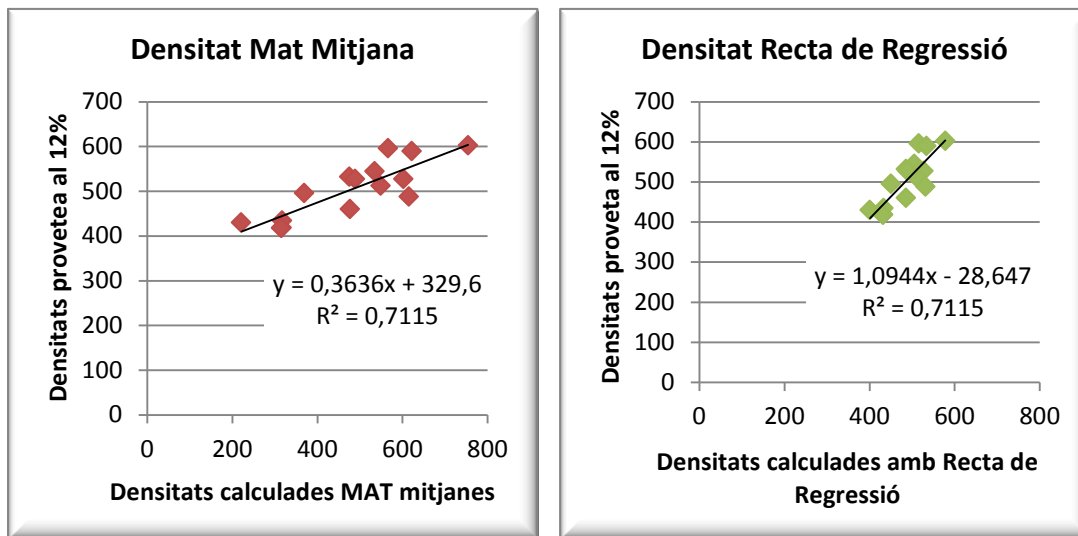
Gràfic 7: Densitats arrencament de vis - Densitat local

Analitzant el Gràfic 7 i els valors absoluts ens vam adonar que les bigues que ens tornaven a fer baix considerablement les R^2 al tenir els seus errors absoluts majors que la resta, tornaven a ser la biga 2 i la 11, és per aquest motiu que es va considerar convenient tornar a analitzar les dades sense aquestes bigues. Taula 16.

	Mitjana		Recta de Regressió		Densitat Local
	Densitat	Error Abs	Densitat	Error Abs	
Mitjana	481,45	82,09	487,31	30,69	504,65
SD	147,23		48,92		63,47
C.V	31%		10%		13%

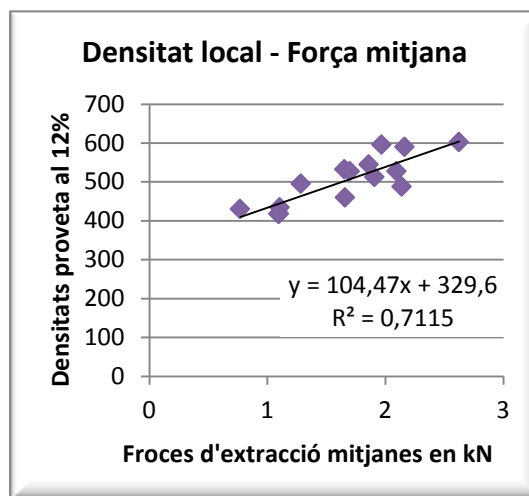
Taula 16: Densitats mitjanes, desviacions estàndard i coeficients de variació

Com era de preveure els errors absoluts variaven respecte el càlcul amb totes les bigues, però aquesta variació era molt més significativa si tenim en compte les R^2 que passen de un 0.37 a un 0.71, com es pot veure en el Gràfic 8 i el Gràfic 9:



Gràfic 8: Densitats arrencament de vis - Densitat local

Ens ha semblat interessant afegir la nostra recta de regressió amb l'equació de la seva pendent, donat que ens dóna un error absolut mitjà de 28.55kg/m^3 , que és menor que el de la recta de regressió.



Gràfic 9: Densitat local - Força mitjana d'extracció

La nostra equació de la recta amb una R^2 de 0,71 és:

$$Den_{loc} = 104.47 \cdot Mat_{med} + 329.6$$

On:

Den_{loc} és la densitat local de la llesca a una humitat del 12%

Mat_{med} és la força d'extracció en kN (mitjana entre la lectura radial i tangencial)

DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT AMB MÈTODES INDIRECTES. RESISTÒGRAF

DEFINICIÓ

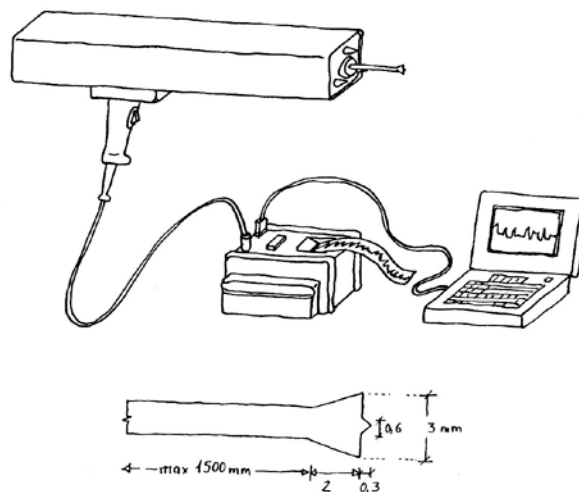
L'assaig de determinació de la densitat amb el Resistògraf es basa en el principi que una fusta més densa oposa més resistència a ser foradada que una fusta menys densa. És per aquest motiu que ens valem del Resistògraf per determinar la densitat de la fusta.

El Resistògraf consisteix en un trepant que realitza una perforació de 3mm de diàmetre en la direcció radial de la secció de la peça i que avalua la resistència que presenta la fusta a la perforació. Il·lustració 32.

La resistència a la perforació es mesura mitjançant el consum de potència.

La resistència que ofereix al seu avançament es relaciona amb la densitat de la fusta i és capaç de detectar els anells de creixement al trobar diferències de densitat entre els anells d'estiu i de primavera.

Permet detectar pèrdues de densitat degudes a podridures, clivelles, atacs xilòfags, ja que aquests presenten una pèrdua de la densitat que es veu representada en les gràfiques.



Il·lustració 32: Esquema d'un Resistògraf. Intervenció en estructures de fusta

Es va creure molt interessant fer aquest assaig, tenint en compte que el resistògraf és un assaig que no el considerem destructiu, ja que tant sols fa un forat de 3mm quasi sense danys per a una estructura. A més a més, és un dels pocs sistemes de diagnosi no destructiu, que ens permet analitzar els caps de les bigues amb la biga posada en obra. Aquest sistema ens permet estimar la densitat i conèixer la presència de podridura i quin és el grau d'afectació d'aquesta permetent determinar, tenint en compte altres factors, si la biga analitzada és segura o no, Il·lustració 33.



Il·lustració 33: Inspecció amb Resistògraf de caps de bigues

EQUIPS

Per tal de poder fer aquest assaig es va fer servir d'un Resistògraf i elements auxiliars per tal de poder fer l'assaig amb més comoditat i precisió.



Il·lustració 34: RESISTOGRAPH® 4453-P, dins de la maleta de transport

- RESISTOGRAPH® 4453-P amb 45cm de profunditat de perforació. Il·lustració 34.
 - Resolució 1/10mm
 - Velocitat d'avançament per sobre de 40cm/min
- Serjants
 - Per aguantar la llesca i fer de recolzament del Resistògraf donant estabilitat al conjunt
- Metre plegable de fibra de vidre de 2 metres de longitud
 - Per mesurar la profunditat necessària del forat
- Programari:
 - Decom™ Professional, per la transmissió de les dades
 - Origin 8, per treure les àrees de les gràfiques
 - Microsoft Excel, per fer les gràfiques i processar les dades

METODOLOGIA

En aquest apartat es van diferenciar dos parts, una primera part que responia a la realització de l'assaig amb el Resistògraf, i una segona part que va ser el processat de les dades.

En la realització de l'assaig, es van preparar les llesques de les bigues que es van fixar a una taula de treball mitjançant un serjant. D'aquesta manera, es van evitar desplaçaments involuntaris de la llesca que poguessin afectar a l'assaig o a la sort de la pròpia broca.

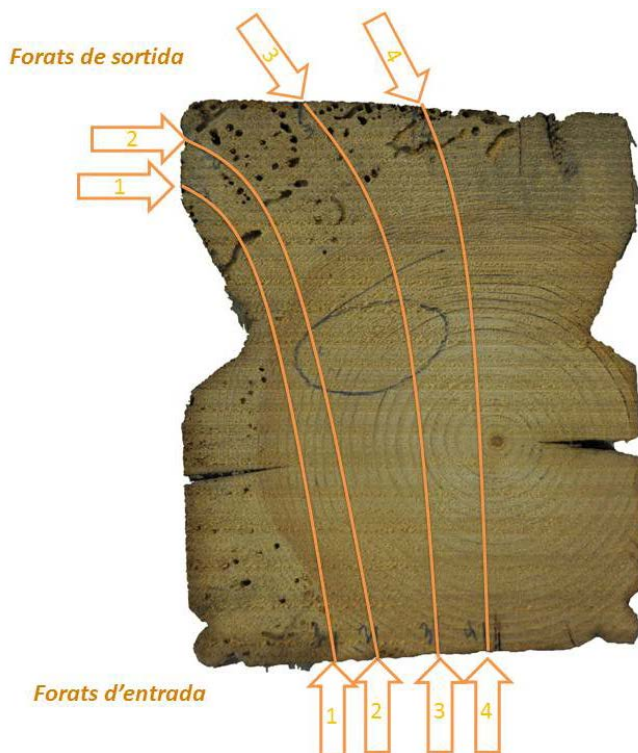
També es va posar un tros de fusta fixat al mateix banc de treball de manera que va fer la tasca de recolzament del Resistògraf, evitant d'aquesta manera les possibles vibracions o torsions que un operari pogués transmetre a l'aparell, tal i com es pot veure en la Il·lustració 35.



Il·lustració 35: Realització del assaig del Resistògraf

Un cop es va tenir tot fixat, amb l'ajuda d'un metre plegable de fibra de vidre, es va mesurar la profunditat que faria el forat de manera que seguint la llum que hi ha en la part superior del Resistògraf, tal i com es pot veure en l'ampliació de la Il·lustració 35 es sabia en quin moment s'havia de parar de foradar.

El que es va poder observar és que quan la perforació passava tangencialment a la fusta d'estiu, feia desviar la broca, ja que aquesta era flexible i buscava el camí més fàcil de perforar, és per aquest motiu que es va haver de repetir en alguna biga els forats diverses vegades, com és mostra en la Il·lustració 36.



Il·lustració 36: Desviació de les perforacions a raó dels anells de creixement

Alhora que s'anava fent el forat la unitat de control anava traient una gràfica en la que es representaven a escala real les resistències que anaven sortint. Fet que permetia la localització de les singularitats i la fàcil interpretació de la gràfica, cosa que hagués sigut més difícil si ens esperéssim a analitzar les gràfiques un cop es descarreguessin les dades en un ordinador.

Es van anar identificant els diferents forats enumerant les gràfiques que van sortir del Resistògraf i en les bigues, d'aquesta manera es va facilitar una posterior reinterpretació de les mateixes.

En el nostre cas, el que es va fer, tal i com es pot veure a la Il·lustració 36, va ser anotar en les testes els forats d'entrada i de sortida de la broca i encerclar el forat en la cara que aquest ha entrat i ha sortit per facilitar la seva localització. A més a més, es va anotar en el full de la gràfica, el número de biga, seguit d'un punt i el numero de forat que es va realitzar en aquesta biga.

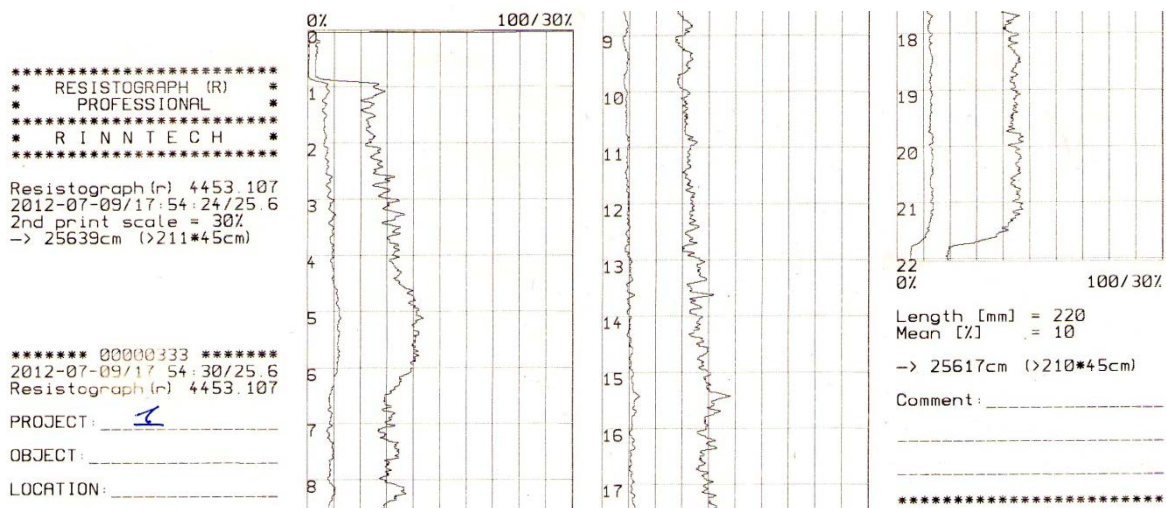
Codi gràfica resistògraf: B.F

On:

B és el numero de biga.

F és el numero de forat, sempre que hi hagués més d'un forat en aquella biga.

També es va realitzar les fotografies de les testes de les llesques i es va guardar les gràfiques que van sortir del Resistògraf en un recipient que les protegís de la temperatura. Cal recordar que les gràfiques surten impreses en paper tèrmic, fet que ens podria fer perdre la informació impresa. Il·lustració 37.



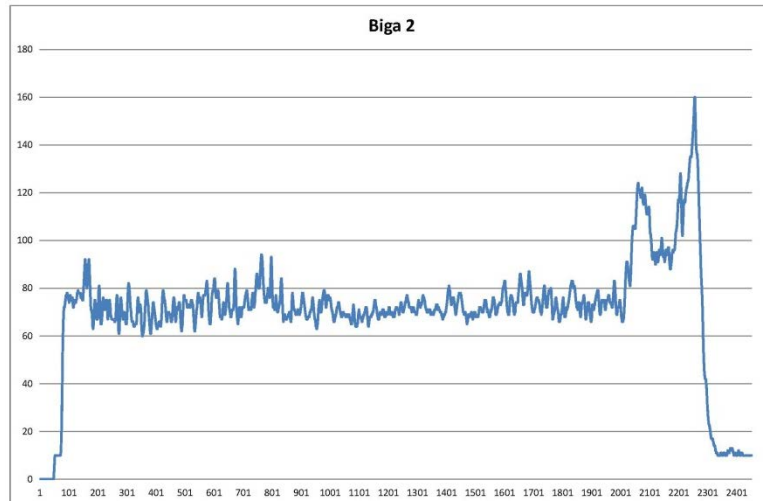
II-lustració 37: Dades impreses pel RESISTOGRAPH

A la II-lustració 37, podem observar que ens detalla la data i l'hora de l'assaig, així com el número d'assaig, en el nostre cas 333 (el trobarem entre * abans i després del numero). Aquesta dada és de vital importància per a nosaltres, ja que ens ajuda a localitzar el fitxer a l'hora de fer la descàrrega de les dades en un ordinador.

Com es pot observar hi ha dues gràfiques paral·leles, una molt més sutil que correspon a la gràfica a escala real i la següent que està ampliada un 30%, facilitant l'anàlisi per a la interpretació de les dades.

Un cop es van realitzar totes les perforacions i imprés les dades, es va connectar l'unitat de control a l'ordinador que tenia instal·lat el DecomTM Professional per importar els fitxers de les dades. Les dades que ens donen aquests fitxers responen a l'energia que ha necessitat el Resistògraf per mantenir una velocitat d'avançament constant per fer el forat. Cada dada de la columna de dades correspon a la energia necessària en l'avançament de 0,01mm. Com es pot veure és un aparell que dona molta precisió.

Seguidament, aquestes dades es van posar en un full de càlcul i es van generar les gràfiques. Gràfic 10 Fet que ens permetia augmentar o reduir l'escala al gust, i fins i tot, superposar les gràfiques a les fotografies de les testes mitjançant un muntatge fotogràfic que ens va ajudar a fer un anàlisi més acurat de les singularitats i a una correcta interpretació, així com aprendre com es comporta aquest equip de laboratori amb cada singularitat.



Gràfic 10: Gràfic d'Excel de la biga 2

Si sobreposem la gràfica a la imatge de la secció de la biga, és pot veure amb més detall la interpretació de la mateixa. Això ho podem veure amb el següent muntatge fotogràfic. Il·lustració 38.



Il·lustració 38: Muntatge fotogràfic de la secció i gràfica del Resistògraf

A la il·lustració anterior, podem veure traçat de color vermell dues línies paral·leles que corresponen al pas aproximat de la broca per la biga. De color vermell amb transparència, l'àrea compresa dins del gràfic, que ens va ajudar a predir la densitat de la biga.

Si ens fixem amb la il·lustració veurem que quan la broca està entrant a la zona de l'albeca, en lloc de baixar la resistència augmenta. Aquesta dada ens fa pensar que en aquesta zona la broca va traspasar un nus, i aquest fet va fer oposar més resistència a la broca.



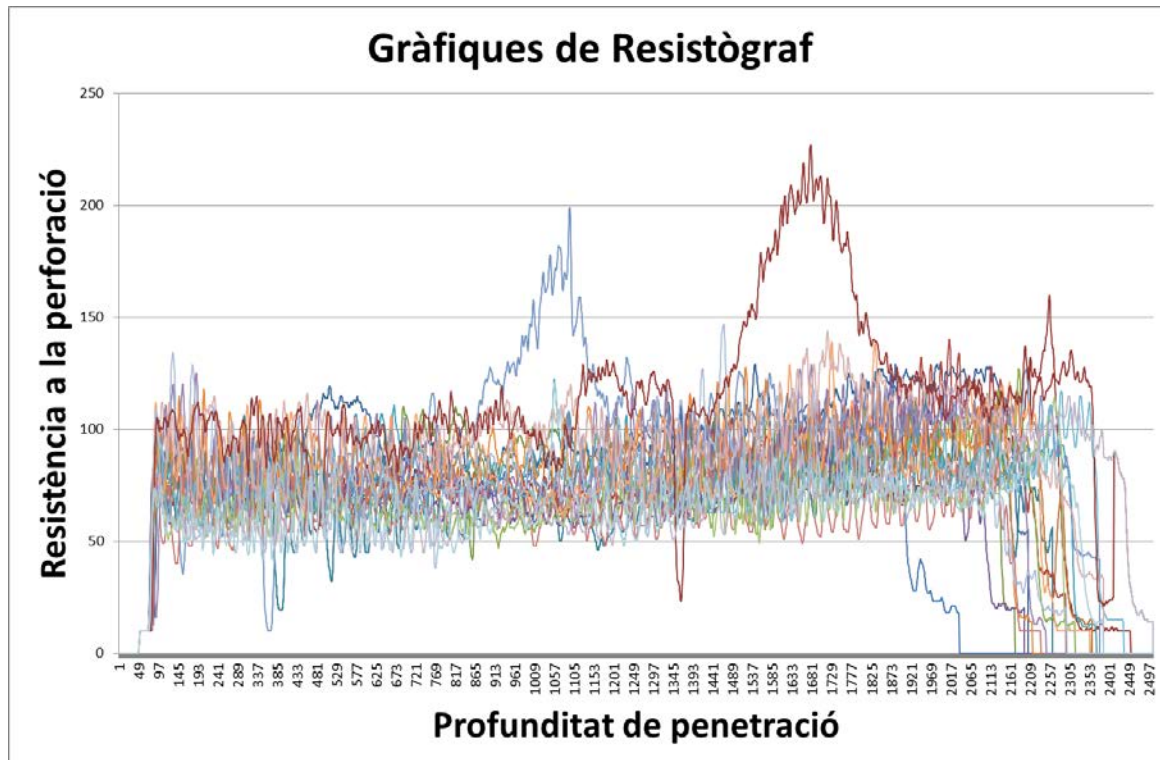
Il·lustració 39: Punta de la broca i forat de sortida

A l'anterior Il·lustració 39, veiem en la part inferior dreta, encerclada amb bolígraf blau, un forat de sortida de la broca. I en la part superior esquerra, com surt la broca de la biga després de foradar la secció.

RESULTATS

En aquest apartat es mostra la densitat que s'ha pogut estimar a partir de les dades que ens va facilitar el Resistògraf i el posterior tractament de les dades, ja sigui de forma aritmètica o integrant les àrees de les gràfiques.

El primer que es va fer, un cop s'havien extret les dades del fitxer del Resistògraf, és generar les gràfiques amb Excel per veure-les de forma individual. I posteriorment es va poder creuar totes les gràfiques de manera en que es van destacar els punts màxims i mínims, com es pot veure en el Gràfic 11.

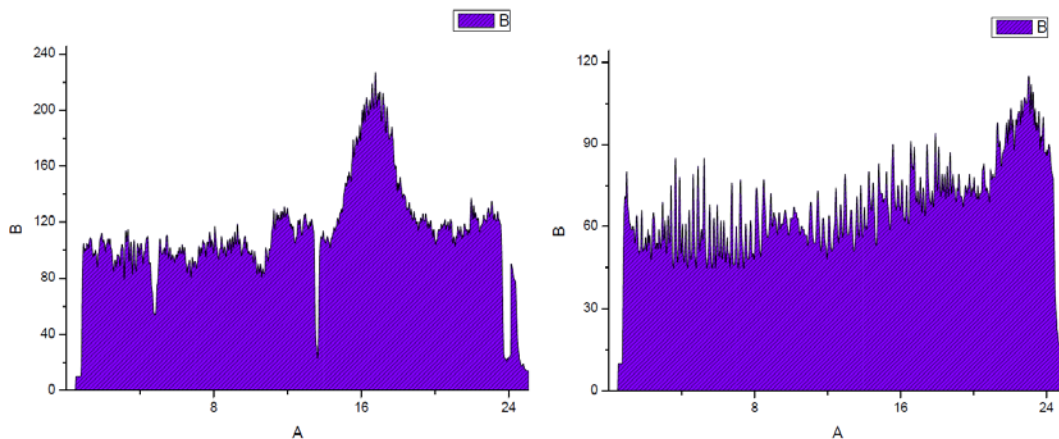


Gràfic 11: Gràfiques de totes les bigues

En el gràfic anterior es va veure que hi ha punts en els que queien les resistències degut a clivelles i en d'altres en que aquestes augmentaven a causa de nusos en la zona de pas.

També cal destacar que, en la majoria de les bigues la caiguda al final de la gràfica es realitzava de forma molt ràpida i poc progressiva, fet que ens indica, contra el que ens imaginàvem al veure les bigues, que les podridures que hi ha en els cantells superiors de la biga son d'escassa importància i profunditat. Aquest fet es va poder apreciar al comparar la gràfica en la part d'entrada, i en la part de sortida. Es va veure que en la part d'entrada ascendia en una mica més de pendent que en la de sortida. Tot i que tenia la podridura en la part de sortida, la diferència de pendent no era gaire més significativa.

Un cop es van realitzar les gràfiques amb el full de càlcul es van fer de nou les gràfiques en l'Origin, programari que ens va permetre integrar les gràfiques i treure les àrees de les mateixes. Dada que ens va fer falta per predir les densitats de les bigues. Gràfic 12



Gràfic 12: Gràfics de les bigues 16 i 17 respectivament generats per Origin 8

Un cop es va tenir les àrees dels gràfics i les RR, Resistències Relatives, que respon a la resistència mitjana de la perforació de cadascuna de les bigues es va poder començar a calcular les densitats.

$$RR = \frac{\sum \text{Resistències}}{n^{\circ} \text{ Resistències}}$$

On:

RR és la resistència relativa o resistència mitjana a la perforació.

Per tal de poder treure les densitats amb el Resistògraf ens hem valgut de la fórmula de la recta de regressió que en Joan Guasp Torrandell va calcular en el seu Treball Final de Màster, en el que també feia servir el Resistògraf per la predicció de la densitat, i que a ell li va donar una $R^2=0,706$, que mostrem tot seguit:

$$Den_{RR} = 2.5772 \cdot RR + 272.38$$

On:

Den_{RR} és la densitat predita amb la resistència relativa.

RR és la resistència relativa o resistència mitjana a la perforació.

Per a estimar la densitat a partir de l'àrea del gràfic es va fer un gràfic de dispersió i es va treure la seva recta de regressió, així com l'equació de la mateixa, que surt de comparar la densitat corregida a una humitat relativa del 12% amb l'àrea del gràfic, un cop hem descartat la biga 2 i la 11 com hem vingut fent fins ara i després de comprovar que són les bigues que ens generen un error absolut major. Taula 17.

	Àrea	Den. Area	Error Abs	RR	Den. RR	Error Abs	Densitat 12%
Biga 1	2073,40	526	6,55	94,09	515	17,98	533
Biga 2	1721,77	492	164,24	70,22	453	203,18	657
Biga 3	1766,84	497	30,28	81,35	482	44,90	527
Biga 4	1537,87	475	47,50	67,97	448	20,54	427
Biga 5	1759,61	496	36,71	74,59	465	5,38	459
Biga 6.4	1569,03	478	15,70	71,49	457	36,61	493
Biga 7	1887,16	508	21,26	79,66	478	9,34	487
Biga 8	1871,88	507	8,36	84,55	490	24,89	515
Biga 9	2215,38	540	124,23	93,17	512	96,70	416
Biga 10	1377,77	459	25,71	61,65	431	2,06	433
Biga 11	1510,80	472	78,71	64,15	438	112,88	551
Biga 12	1876,50	507	81,62	83,48	488	101,37	589
Biga 13	1751,85	495	48,40	71,92	458	85,88	544
Biga 14	1874,71	507	80,59	79,64	478	110,04	588
Biga 15	1719,72	492	30,07	74,87	465	56,82	522
Biga 16.2	2731,34	590	7,18	108,95	553	43,93	597
Biga 17.2	1486,17	470	53,22	62,29	433	16,63	416

Taula 17: Àrees, RR i densitats amb llurs errors absoluts

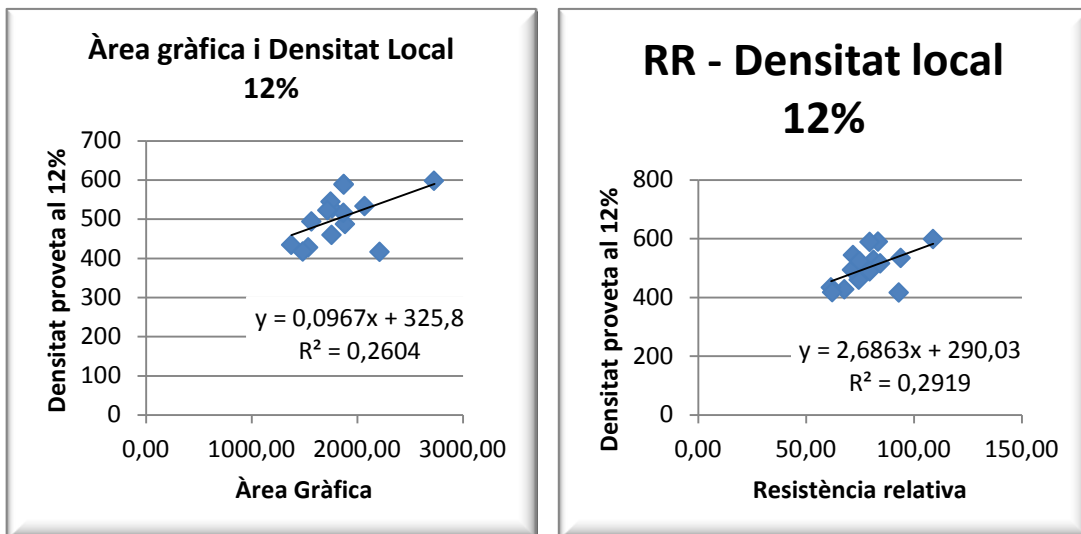
Amb la Taula 17 hem volgut mostrar les diferents densitats calculades, i els seus errors absoluts al ser comparades amb les densitats de referència que han estat calculades amb les formules facilitades anteriorment.

	Àrea	Den. Area	Error Abs	RR	Den. RR	Error Abs	Densitat 12%
Mitjana	1807,75	500,61	50,61	77,88	473,11	58,18	514,91
SD	319,95	30,94		12,51	32,24		70,03
C.V	18%	6%		16%	7%		14%

Taula 18: Comparativa dels resultats de les densitats

A la Taula 18 es veu que l'error absolut mitjà que resulta de calcular la densitat amb l'àrea de la gràfica és menor al de la resistència relativa. I la mitjana de la densitat es queda molt pròxima a la mitjana de la densitat de les provetes que agafem com a referència.

A partir dels resultats es va pensar com podíem disminuir els errors aproximant més els predits als resultats reals i es va partir com ja hem comentat abans d'eliminar els resultats de les bigues 2 i 11, seguidament es va realitzar les gràfiques de dispersió amb llurs rectes de regressió així com en les seves equacions per tal de poder estimar les densitats pels dos sistemes, per l'àrea del gràfic i per la resistència relativa, com es pot veure en el Gràfic 13:



Gràfic 13: Relació entre la Àrea gràfica i RR amb la Densitat

De les gràfiques podem extreure les fórmules que relacionen l' Àrea gràfica amb la densitat amb una $R^2=0.2604$ i la RR amb la densitat amb una $R^2=0.29$:

$$Den_{AG} = 0.0967 \cdot AG + 325.8$$

$$Den_{RR} = 2.6863 \cdot RR + 290.03$$

On:

Den_{AG} és la densitat predita amb l'àrea gràfica.

Den_{RR} és la densitat predita amb la resistència relativa.

AG és l'àrea de la gràfica extreta del Resistògraf.

RR és la resistència relativa o resistència mitjana a la perforació.

Es va calcular de nou amb aquestes fórmules i extreiem els següents resultats. Taula 19:

	Àrea	Den. Area	Error Abs	RR	Den. RR	Error Abs	Densitat 12%
Biga 1	2073,40	526	6,55	94,09	543	9,93	533
Biga 3	1766,84	497	30,28	81,35	509	18,37	527
Biga 4	1537,87	475	47,50	67,97	473	45,60	427
Biga 5	1759,61	496	36,71	74,59	490	31,17	459
Biga 6.4	1569,03	478	15,70	71,49	482	11,16	493
Biga 7	1887,16	508	21,26	79,66	504	17,00	487
Biga 8	1871,88	507	8,36	84,55	517	1,99	515
Biga 9	2215,38	540	124,23	93,17	540	124,51	416
Biga 10	1377,77	459	25,71	61,65	456	22,31	433
Biga 12	1876,50	507	81,62	83,48	514	74,61	589
Biga 13	1751,85	495	48,40	71,92	483	60,38	544
Biga 14	1874,71	507	80,59	79,64	504	83,71	588
Biga 15	1719,72	492	30,07	74,87	491	31,01	522
Biga 16.2	2731,34	590	7,18	108,95	583	14,40	597
Biga 17.2	1486,17	470	53,22	62,29	457	41,07	416

Taula 19: Àrees, RR i densitats amb llurs errors absoluts

Per tal de continuar analitzant les dades hem fet la Taula 20 en la que s'analitzen els valors mitjans, les desviacions estàndards i el coeficient de variació.

	Àrea	Den. Area	Error Abs	RR	Den. RR	Error Abs	Densitat 12%
Mitjana	1833,28	503,08	41,16	79,31	503,08	39,15	503,09
SD	330,86	31,99		12,61	33,88		62,70
C.V	18%	6%		16%	7%		12%

Taula 20: Comparativa dels resultats de les densitats

Com es pot veure els errors absoluts són molt semblants, tot i que una mica menors en el cas de les resistències relatives.

És per aquest motiu que es va creure interessant fer una recta de regressió entre l'àrea de la gràfica i les resistències relatives que ens permetés verificar que la relació que hi ha entre les dues dades és important. Aquesta recta ens ha donat una $R^2=0.94$, valor més que significatiu, del que es va extreure que donat que els resultats obtinguts per un sistema o per un altre són molt semblants sempre serà més pràctic fer els càlculs amb la RR, ja que és prou més fàcil d'obtenir ja que es tracta d'una simple mitjana fàcil de fer en un full de càlcul i en el cas de les àrees de les gràfiques ens cal integrar la gràfica per extreure els resultats.

DETERMINACIÓ DE LA HUMITAT PEL MÈTODE D'ESTUFA

DEFINICIÓ

Per tal de poder referenciar les dades a una humitat de referència, és a dir, un 12% ens cal saber quina és la diferència entre el 12% i la humitat real de la peça.

Per tal de determinar la humitat d'una peça de fusta es van fer servir dos sistemes. El que es descriu la norma EN 13183-1:2002 de determinació de la humitat pel mètode d'assecat en estufa, en que es detalla quin és el procediment operatori i el de determinació de la humitat pel mètode de la resistència elèctrica el qual és descriu a la norma EN 13183-2:2004.

L'assaig per calcular la humitat pel mètode d'assecat en estufa és el sistema que es va considerar de referència.

EQUIPS

Per la realització d'aquest assaig ens va fer falta bàsicament dos equips:

- Estufes de laboratori. Il·lustració 40.
- Bascules de laboratori amb precisió 0,01g. Il·lustració 41.



Il·lustració 40: Estufes d'assecat amb circulació lliure d'aire en l'interior

Les estufes han de ser equips que puguin assegurar la circulació lliure d'aire en el seu interior i que siguin capaços d'assolir una temperatura de 103 °C amb una precisió de més-menys 2°C



Il·lustració 41: Bascula de laboratori amb precisió de 0,01g

METODOLOGIA

El procediment a seguir per tal de saber la humitat de la fusta es basa en la diferència de masses d'una fusta en la humitat actual i la massa de la mateixa mostra en estat anhidrid. Com es pot veure en la formula:

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100$$

On:

m_1 és la massa de la mostra abans d'assecar, en grams

m_0 és la massa de la mostra anhidra, en grams

ω és el contingut d'humitat en percentatge

El resultat s'ha d'expressar amb aproximació al 0.1%

Es considera que la fusta es troba en estat anhidrid quan dues pesades consecutives realitzades en un interval de 2h tenen una variació de pes menor al 0.1%.

$$\text{Fusta en estat anhidrid} = \frac{P_2}{P_1} \times 100 < 0.1\%$$

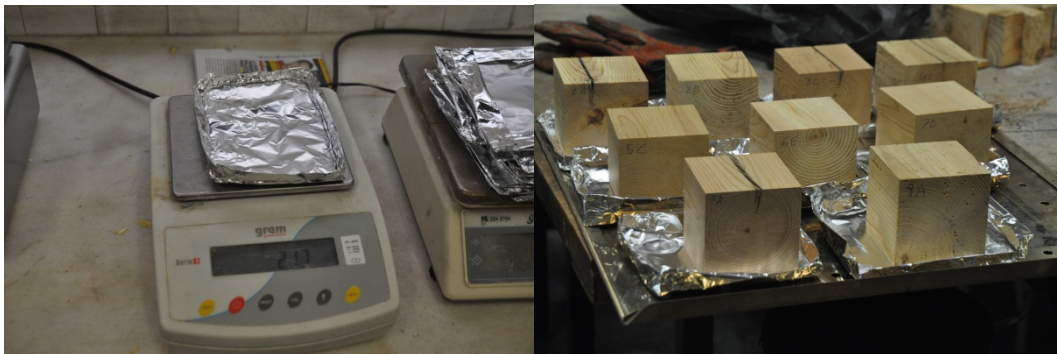
On:

P_1 és la pesada anterior

P_2 és la segona pesada en un interval de temps de 2h respecte P_1

El primer que es va fer un cop tenim les mostres va ser pesar-les. Es van pesar en una bàscula que la seva precisió era de 0.01g, tot i que segons la norma, amb mostres que pesessin més de 100g n'hi havia prou amb una precisió de 0,1g. Tot seguit es va anotar les masses en un full de càlcul, així com el dia i l'hora.

També es van fer unes safates de paper d'alumini per tres motius, un per no embrutar les estufes amb la resina que pogués sortir i l'altre per esbrinar si era important la quantitat de resina que vesava de la peça i per evitar que aquesta anés a parar a una altra mostra i la contaminés o ens falsegés els resultats. Aquestes safates també es van pesar i es va anotar el pes en el mateix full de càlcul. Il·lustració 42.



Il·lustració 42: Pes safates de paper d'alumini i preparació de mostres

Un cop es van posar les mostres en l'estufa, es va graduar a 103°C tal i com diu la norma EN 13183-1:2002, i es van deixar al laboratori donat que ja es sabia que el procediment duraria dies. Al cap d'estar un parell d'hores ens van avisar que s'havia omplert el laboratori de fum.

Aquest fet ens va fer aturar l'assaig i que ens poséssim a pensar el per què i quines alternatives s'havien de prendre. El per què ens va semblar prou clar, l'estufa del laboratori de materials té sortida lliure, és a dir, no està connectada a cap extracció i les peces com ja havíem comprovat a l'hora de preparar les mostres estaven molt carregades de resina, aquesta resina al pujar sobtadament de temperatura es va començar a evaporar molt ràpidament juntament amb l'aigua i això és el que va provocar la fumera.

Es va decidir canviar l'assaig en dos aspectes, el primer, va ser pujar la temperatura de les mostres de forma més gradual, així l'evaporació també seria més gradual i controlada i la segona va ser portar les mostres a l'estufa que hi ha al laboratori del foc, ja que ens van dir que aquesta estufa tenia extracció forçada. Amb aquestes dues petites correccions es va poder continuar amb l'assaig.

El procediment és prou simple en si mateix, però és llarg en el temps i obliga a una constància en les pesades.

RESULTATS

Un cop ja teníem la fusta seca i s'havien realitzat els càlculs pertinents es va obtenir els resultats de la humitat de les mostres, que son els que figuren en la Taula 21:

	P. Humit	P.anhidrid	% Humitat
Biga 1	533,6	477,9	11,6%
Biga 2	674,9	584,3	15,5%
Biga 3	532,6	475,5	12,0%
Biga 4	435,6	384,8	13,2%
Biga 5	464,5	414,5	12,1%
Biga 6	500,2	443,6	12,8%
Biga 7	491,1	437,8	12,2%
Biga 8	515,3	464,9	10,8%
Biga 9	419,6	371,5	13,0%
Biga 10	435,1	387,1	12,4%
Biga 11	559,8	487,8	14,8%
Biga 12	602,5	527,8	14,1%
Biga 13	544,4	485,1	12,2%
Biga 14	595,7	529,1	12,6%
Biga 15	535,9	470,5	13,9%
Biga 16	603,2	531,3	13,5%
Biga 17	420,9	374,1	12,5%
Mitjanes	521,47	461,62	12,9%

Taula 21: Humitats pel mètode d'assecat amb estufa

Com es pot veure les humitats estan al voltant del 12% que és la que es pren de referència en els assajos. I es pren la diferència d'humitats de les peces amb la humitat de referència per fer la correcció del resultats.

DETERMINACIÓ DE LA HUMITAT PEL MÈTODE DE LA RESISTÈNCIA ELÈCTRICA. XILOHIGRÒMETRE.

DEFINICIÓ

Com és ben sabut la determinació de la humitat és un factor molt important a l'hora de determinar les característiques de la fusta. I el sistema més ràpid econòmic que facilita la humitat amb garanties és el d'estimació de la humitat per resistència elèctrica. Aquest sistema, a més a més, és el que es fa servir en una diagnosi in situ, donat que és un sistema no destructiu, ràpid i en que la fiabilitat és suficientment bona.

Per a la realització de l'assaig es van seguir les indicacions que ens donava feia la norma EN 13183-2:2002 "Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada, Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica"

EQUIPS

Els equips que es van fer servir per determinar la humitat pel mètode de la resistència elèctrica són:

- Xilohigròmetre Hydromette HT 85 T de la casa GANN. Il·lustració 43.
 - Resolució de 0,1% de contingut d'humitat.
- Puntes de 70mm
- Martell de pena
- Pota de cabra
- Estenalles

La normativa diu que s'ha de clavar un clau a 1/3 de la profunditat de la mostra. Al tenir cantells de poc més de 20 cm ens donava que la profunditat que s'havia de clavar era d'uns 7cm, per aquest motiu no es va poder fer servir el clavador que porta el xilohigròmetre ja que la longitud de les puntes és de 16mm. Per aquest motiu es van fer servir unes altres puntes, el martell per clavar-les, i les estenalles i la pota de cabra per extreure-les.



Il·lustració 43: Hydromette HT 85 T

METODOLOGIA

En tot moment s'ha plantejat aquest treball des de l'òptica de la diagnosi, és per aquest motiu que es va creure convenient realitzar les mesures de la humitat directament des de la cara vista de la biga, que és com es faria en una diagnosi in situ.

El primer que es va fer va ser agafar el mànec que ve amb el Hydromette HT 85 T per marcar la separació entre les dues puntes, de manera que en totes les bigues sigui la mateixa i per assegurar que estem mantenint la separació que ha previst el fabricant, tal i com es pot veure en la Il·lustració 44.



Il·lustració 44: Marcat de la separació de les puntes del xilohigròmetre

Es van clavar les puntes perpendiculars a l'eix de la peça.

Primerament, es van posar correctament els selectors de temperatura i el selector del tipus de fusta a analitzar, per tal que el xilohigròmetre corregís la humitat en raó d'aquestes dues variables.

Seguidament, es van clavar unes puntes a un terç de profunditat de la peça. De totes formes, la nostra curiositat ens va portar a fer diferents mesures en una de les bigues canviant la profunditat de penetració de la que es va extreure que les variacions d'humitat van augmentant a raó de 0,1% per cada centímetre de penetració, fins el punt en que s'estabilitza, que en el nostre cas rondava als 6 cm de profunditat. Taula 22.

Variació d'humitat segons la profunditat de penetració. Biga 13						
Profunditat de penetració (cm)	2	3	4	5	6	6,5
Humitat enregistrada	12,6%	12,7%	12,8%	12,9%	13%	13%

Taula 22: Variació d'humitat segons la profunditat de penetració

Un cop teníem les puntes clavades a la profunditat corresponent, es van agafar les puntes amb unes pinces que anaven connectades al xilohigròmetre, com és pot apreciar en la Il·lustració 45.



Il·lustració 45: Mesurament de la humitat de la fusta

Un cop es van obtenir les dades d'humitat les anàvem anotant en un full de càlcul que es va preveure a aquest efecte.

L'últim que es va fer va ser extreure les puntes que s'havien clavat a la fusta per deixar-la neta de claus i que ens poguessin fer mal al manipular les bigues en els assajos posteriors. Aquesta acció la vam realitzar amb l'ajuda d'una pota de cabra, com es pot veure en la Il·lustració 46.



Il·lustració 46: Extracció de puntes

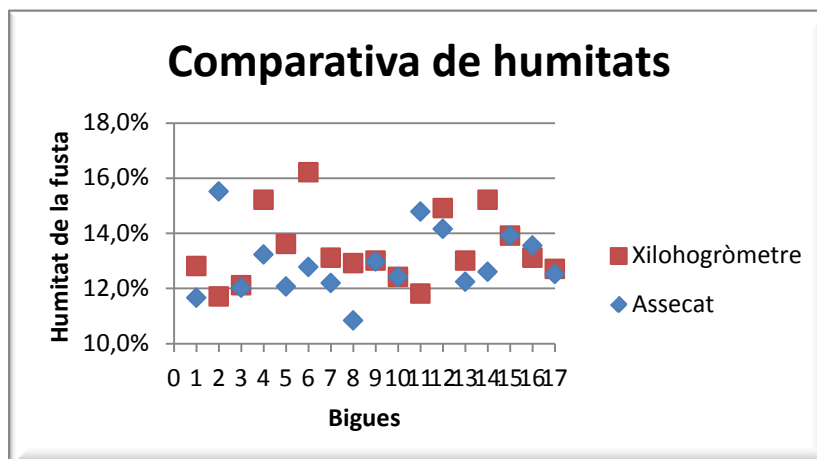
RESULTATS

Seguidament mostrem en la Taula 23 els resultats que es van extreure de l'estimació de la humitat pel mètode de la resistència elèctrica amb un equip Hydromette HT 85 T seguint les indicacions de la norma EN 13183-2:2002.

	Xilohogròmetre	Error Abs	Assecat
Biga 1	12,8%	1,2%	11,6%
Biga 2	11,7%	3,8%	15,5%
Biga 3	12,1%	0,1%	12,0%
Biga 4	15,2%	2,0%	13,2%
Biga 5	13,6%	1,5%	12,1%
Biga 6	16,2%	3,4%	12,8%
Biga 7	13,1%	0,9%	12,2%
Biga 8	12,9%	2,1%	10,8%
Biga 9	13,0%	0,0%	13,0%
Biga 10	12,4%	0,0%	12,4%
Biga 11	11,8%	3,0%	14,8%
Biga 12	14,9%	0,8%	14,1%
Biga 13	13,0%	0,8%	12,2%
Biga 14	15,2%	2,6%	12,6%
Biga 15	13,9%	0,0%	13,9%
Biga 16	13,1%	0,4%	13,5%
Biga 17	12,7%	0,2%	12,5%
Mitjana	13,4%	1,3%	12,9%

Taula 23: Comparativa d'humitats

Com es pot veure clarament a la taula la diferència de mitjanes és de 0.5%. Tot i que la mitjana de l'error absolut sigui de 1.3%, creiem que en global és prou acceptable encara que hi hagi algunes mostres que van donar un error més alt del esperat.



Gràfic 14: Comparativa de les humitats

Al Gràfic 14 ens permet analitzar visualment els resultats que es van obtenir amb els dos assajos, establint quines eren les diferències entre els resultats d'un i l'altre sistema d'estimació de la humitat de la fusta.

Aquesta diferència es pot deure a que les mesures del xilohigròmetre es van prendre directament sobre de les bigues i les de l'assecat amb estufa en unes provetes cubiques de 10cm de costat, aquest fet pot ser un condicionant que pot haver-nos generat aquestes diferències de resultats.

De totes maneres no estaria de més la realització d'un altre treball posterior que analitzés les diferències sobre els dos sistemes de mesurament de la humitat de manera que es poguessin establir patrons que ens ajudessin a ajustar més les dades.

ASSAJOS ACÚSTICS

INTRODUCCIÓ

En tot procés d'estudi, anàlisi i diagnòs de d'un material en general els assajos acústics tenen una gran importància, i sobretot des del punt de vista de les tècniques no destructives. És evident que per l'estudi de les bigues de fusta l'ús d'aquests assajos és bàsic i essencial.

La base conceptual d'aquests mètodes és sempre la mateixa. Un focus emissor emet una ona acústica pel material i un focus receptor la rep, el temps que triga en fer el recorregut des del focus emissor al receptor es registra i d'aquesta forma s'obtenen velocitats de propagació d'ones. Informacions importants ja que es podrà relacionar aquestes velocitats amb el mòdul d'elasticitat o de Young. O també, gràcies aquests mètodes es detectaran defectes interns del material, com fissures, borses de resina, etc.

Aquests mètodes es defineixen en funció de les ones utilitzades, els quals són els següents:

- Mètode per ones ultrasòniques
- Mètode per ones d'impacte
- Mètode per vibracions: assaig longitudinal i transversal

ASSAIG AMB ONES ULTRASÒNIQUES

DEFINICIÓ

Tal com diu el títol en aquest cas s'utilitzen ones ultrasòniques, o sigui ones les quals la seva freqüència és superior a la percepció humana, estem parlant de freqüències de 20 kHz cap endavant. L'avantatge d'aquest tipus d'ones és que com la seva freqüència és gran més capacitat tenen de detectar defectes més petits. Però en contra, a mida que s'augmenta la seva freqüència es delimita més l'abast de l'ona.

Per a materials heterogenis, com en el cas de la fusta, per l'ús d'ones ultrasòniques el mètode més adequat és el de transmissió. Es genera una ona ultrasònica per mitjà d'uns transductors piezoelèctric acoblats a les bigues, la qual passa per la zona que volem analitzar. Hi ha un punt d'emissió de l'ona, per mitja d'un palpador, i un altre palpador en el punt receptor el qual rep l'ona i registra el temps d'arribada. Coneixent la distància i el temps, la velocitat de propagació es calcula segons la següent expressió:

$$V = \frac{S}{t}$$

On:

V és la velocitat de propagació de l'ona ultrasònica

S és la distància entre emissor i receptor

t és el temps transcorregut

Una vegada coneguda la velocitat de propagació, existeix una fórmula que relaciona aquesta dada amb la densitat i el mòdul d'elasticitat dinàmic, amb la següent fórmula:

$$E_{din} = \rho \cdot V^2$$

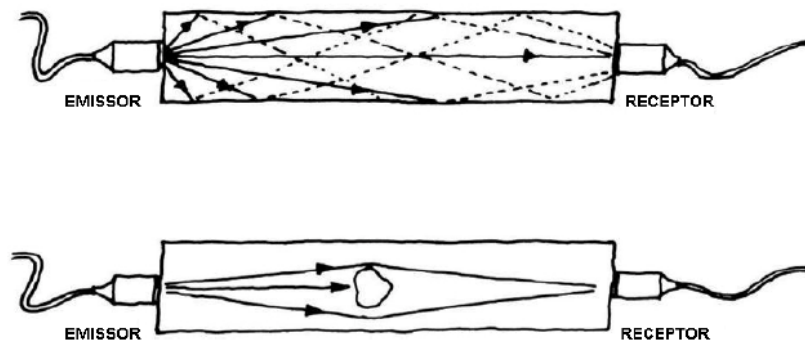
On:

E_{din} és el mòdul d'elasticitat dinàmic

ρ és la densitat

V és la velocitat de propagació de l'ona ultrasònica

Segons s'observa a la Il·lustració 47, esquema pràctic del mètode de transmissió per ultrasons, es pot afirmar que el temps de recorregut de l'ona augmentarà en el moment que l'ona es trobi amb obstacles (nusos, clivelles, etc.) ja que l'ona haurà d'evitar-ho.



Il·lustració 47: Mètode de transmissió d'ultrasons

EQUIPS

Per aquest assaig s'han utilitzat el següent equip:

- Sylvatest Duo de l'empresa CBS-CTB
 - Compost per un emissor, un receptor i un terminal de control i lectura de dades
 - Treballa amb freqüències de 22 kHz
- Broca especial piramidal d'acer dissenyada exclusivament per acoblar-se a les necessitats del Sylvatest Duo
- Trepant Bosch PSB 500 RE per perforar la fusta
- Rosset
 - Per marcar les mesures paral·leles al cantell de la biga



II-lustració 48: Equip Sylvatest Duo

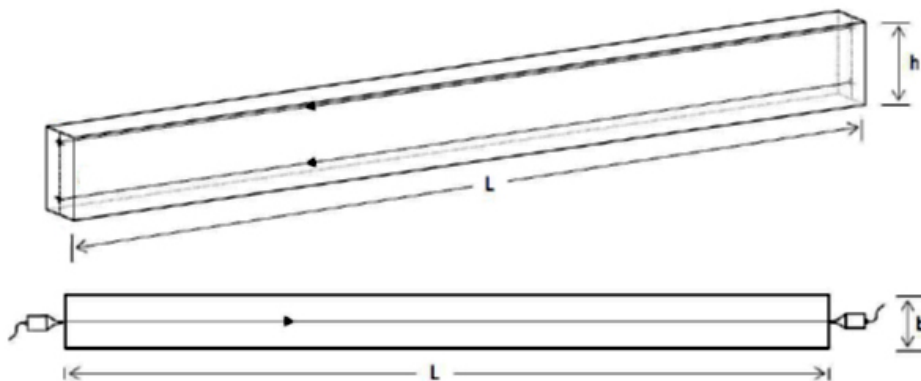


II-lustració 49: Broca d'acer piramidal

METODOLOGIA

Abans d'explicar tot el procés per a la realització d'aquest assaig, és essencial explicar els tipus de mesures que es fa a l'hora de registrar els temps de recorregut de les ones.

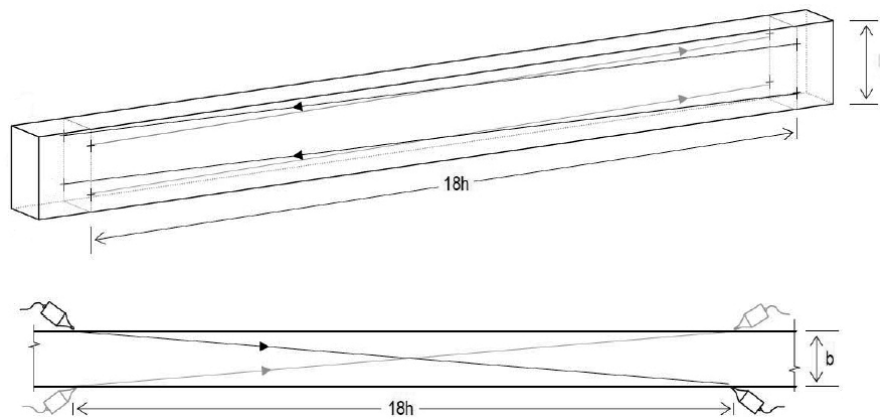
Una primera mesura és la de testa a testa, anomenada lectura directa testa-testa. De les quals es fan dos, una a 3cm del cantell superior i l'altra a 3cm del cantell inferior.



II-lustració 50: Lectura directa testa-testa

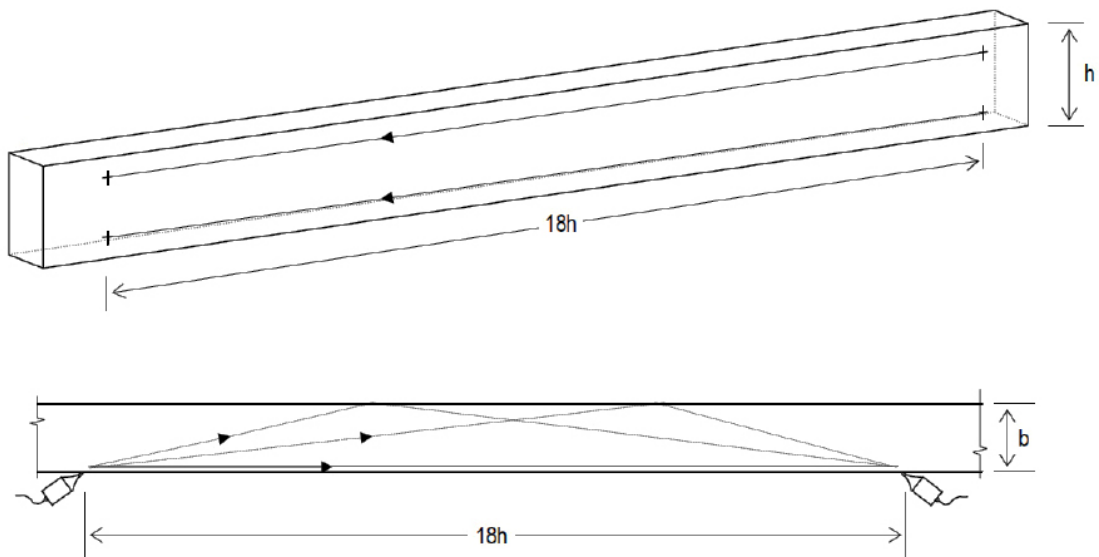
És evident que aquesta lectura és la més eficaç i desitjable. Facilitat a l'hora de l'execució i recorregut de l'ona. Però, també és evident que en la gran quantitat dels casos, assajos en la mateixa obra, no estaran les testes visibles. Per tant, és necessari la presa d'unes altres lectures.

La segona mesura és entre cares oposades, anomenada lectura directa cara-cara. Els palpadors es col·loquen a una distància de 18 vegades h , on h és l'alçada de la cara de la biga. I com el cas anterior es fan dos lectures, una superior a 3 cm del cantell superior i una inferior a 3 cm del cantell inferior. Els palpadors estan col·locats amb un grau d'inclinació aproximadament de 45° respecte la cara. I mai es fa una lectura amb els palpadors situats en la part superior i inferior alhora.



Il·lustració 51: Lectura directa cara-cara

I la tercera mesura és en la mateixa cara, anomenada lectura indirecta mateixa cara. La col·locació dels palpadors és la mateixa que la directa cara-cara, però en aquest cas els dos estan en la mateixa cara. També es fan lectures superiors i inferiors.



Il·lustració 52: Lectura indirecta mateixa cara

Senyalar que a l'hora de calcular les velocitats, les distàncies no són les mateixes, per tant les velocitats es calcularan amb aquestes fórmules:

- Velocitat de lectura directa (testa-testa):

$$Vel_{TT} = L/t$$

- Velocitat de lectura directa (cara-cara):

$$Vel_{SD18H} = \frac{\sqrt{18h^2 + b^2}}{t}$$

- Velocitat de lectura indirecta (mateixa cara):

$$Vel_{ID18H} = 18h/t$$

On

L és la longitud de la biga

t és el temps de propagació de l'ona

h és el cantell de la secció

b és el la distància entre les cares de la biga

Una vegada definides les lectures a realitzar, amb un total de 10 lectures per biga. El primer que es realitza, fent servir la broca cònica i el trepant estàndard, són els forats corresponents. Amb una profunditat adequada, facilitant així el contacte de la biga amb els palpadors, d'aquesta manera el palpador està totalment acoblat a la fusta i així no hi ha problemes de transmissió de l'ona. Com es pot veure en la Il·lustració 53.



Il·lustració 53: Realització dels forats i col·locació dels palpadors

A continuació s'aciona l'equip. El palpador emissor emet quatre senyals que circulen per la biga i són rebudes pel palpador receptor, seguidament d'aquestes quatre senyals la màquina fa la mitjana aritmètica, d'aquest resultat s'obté un valor que és el temps de propagació de l'ona en microsegons (μs), valor que es registra. A part de donar el temps de propagació, també dóna l'estimació de la senyal màxima, reflectida en milivolts, dades registrades (per futures interpretacions), però no són utilitzades ja que la interpretació és desconeguda. Actualment aquestes dades comencen a ser estudiades i analitzades en altres treballs.

Puntualitzar que de les lectures superior i inferior de cada cas, es fa la mitjana aritmètica de les dues, i amb aquests valors es calcula la velocitat i el mòdul d'elasticitat dinàmic, tal com s'ha explicat en el primer apartat.

Com que partim d'un valor de referència del 12% d'humitat, i és evident que en el moment de prendre les dades no hi havien aquestes condicions, es fa una petita rectificació. Per cada increment d'un 1% d'humitat, es produeix una disminució de la velocitat d'un 0,8%, seguint una relació lineal entre el 5% i el 30%. (Sandoz 1989).



II-lustració 54: Vista general de l'assaig. Lectura indirecta superior de la cara 2 de la biga

RESULTATS ULTRASONS

Com a criteri d'inici es fixen les cares de les bigues en sentit horari, per tant, mirant la testa (sempre de la zona de la biga que en un inici del projecte es va tallar) la cara de la dreta és la cara 1 i la cara de l'esquerra és la cara 2.



II-lustració 55: Posició de les cares

De totes les lectures que es fan, s'agafen totes les velocitats de propagació de les ones ultrasòniques, les quals simplement es calculen amb la divisió entre la distància dels dos focus i el temps de propagació, registrat per l'aparell. De cada lectura es fa la mitjana aritmètica i el coeficient de variació. Aquests resultats es mostren en la següent taula:

Lectura	Velocitat modificada al 12%	
	Mitjana	C.V
	(m/s)	(%)
directa Testa-testa	4455,22	10,03%
directa cara1-cara2	4197,51	11,41%
directa cara2-cara1	4182,14	12,23%
indirecta cara1	4175,62	11,75%
indirecta cara2	4176,09	11,20%

Taula 24: Mitjana aritmètica i el coeficient de variació de la velocitat de propagació de les diferents lectures de les ones ultrasòniques

Per direcció i comportament de les ones, la lectura directa testa-testa és la més eficaç i representativa de tot el procés. Però és evident que en la majoria dels casos, quan les bigues es troben col·locades en l'obra, aquest tipus de lectura és impossible realitzar-la. Per aquest cas es realitza les altres lectures, i per comparació es relaciona totes les lectures amb la lectura testa-testa. Les relacions lineals existents amb les diferents velocitats de propagació són les següents:

$$Vel_{TT} = 0,8883 \cdot Vel_{SD18H12} + 726,54 \quad R^2: 0,907$$

$$Vel_{TT} = 0,8503 \cdot Vel_{SD18H21} + 899,18 \quad R^2: 0,9485$$

$$Vel_{TT} = 0,8913 \cdot Vel_{ID18H1} + 733,31 \quad R^2: 0,9585$$

$$Vel_{TT} = 0,9109 \cdot Vel_{ID18H2} + 651,18 \quad R^2: 0,9103$$

On

Vel_{TT} és la velocitat d'ultrasons en m/s de la lectura directa testa-testa corregida al 12% d'humitat

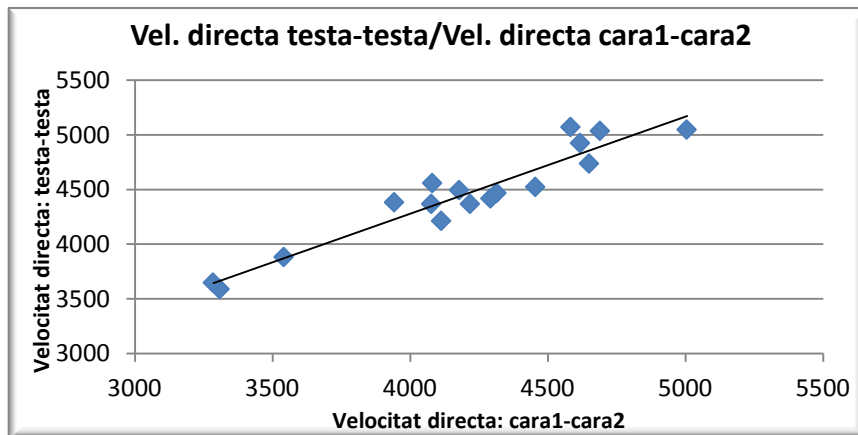
$Vel_{SD18H12}$ és la velocitat d'ultrasons en m/s de la lectura directa cara1-cara2 corregida al 12% d'humitat

$Vel_{SD18H21}$ és la velocitat d'ultrasons en m/s de la lectura directa cara2-cara1 corregida al 12% d'humitat

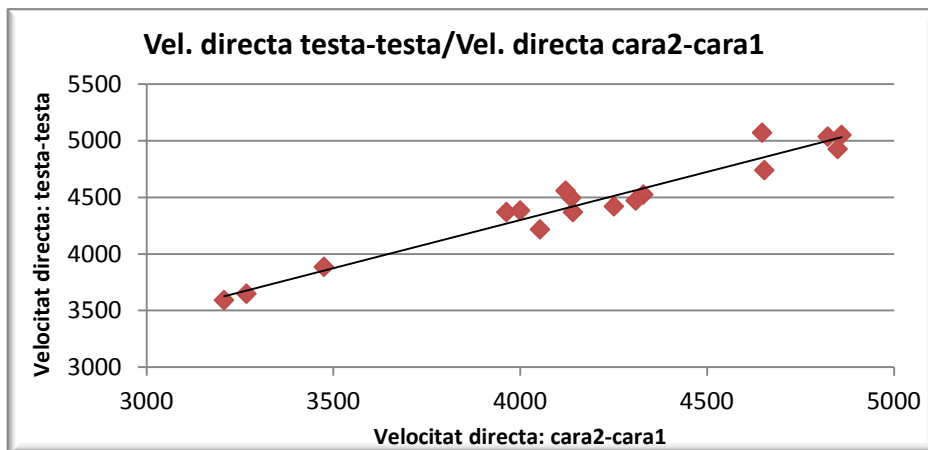
Vel_{ID18H1} és la velocitat d'ultrasons en m/s de la lectura indirecta cara1 corregida al 12% d'humitat

Vel_{ID18H2} és la velocitat d'ultrasons en m/s de la lectura indirecta cara2 corregida al 12% d'humitat

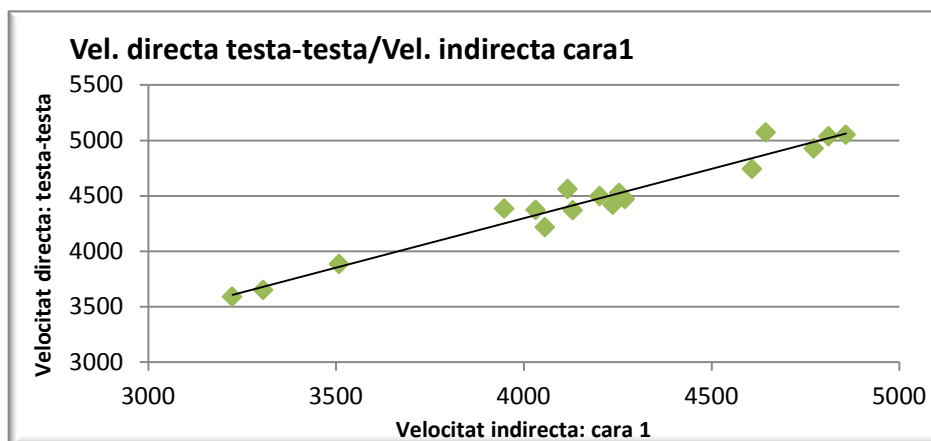
En les següents gràfiques mostrem les rectes de regressió lineal entre cada relació que hem fet de les velocitats registrades.



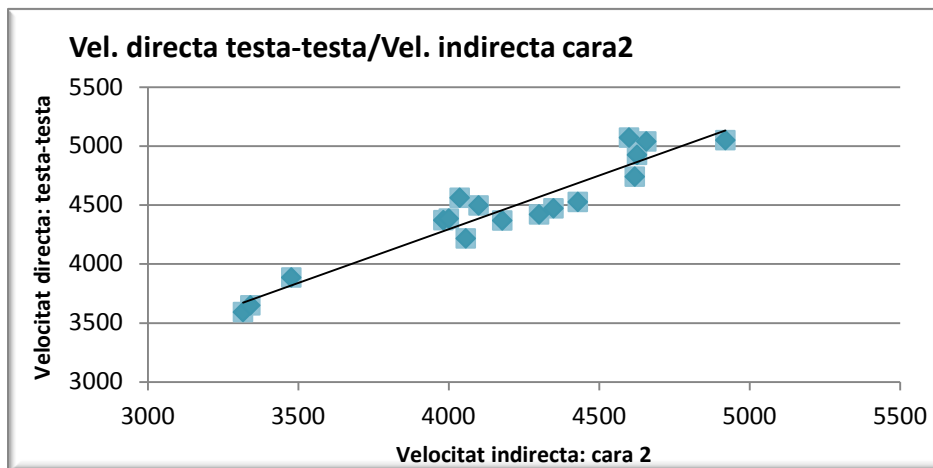
Gràfic 15: Recta regressió lineal velocitat ultrasons lectura testa-testa i directa cara1-cara2



Gràfic 16: Recta regressió lineal velocitat ultrasons lectura testa-testa i directa cara2-cara1



Gràfic 17: Recta regressió lineal velocitat ultrasons lectura testa-testa i indirecta cara1



Gràfic 18: Recta regressió lineal velocitat ultrasons lectura testa-testa i indirecta cara2

ASSAIG AMB ONES D'IMPACTE

DEFINICIÓ

Com a mètode acústic que és, la seva component principal és la generació, desenvolupament i recorregut d'una ona acústica. En aquest cas són ones mecàniques de baixa freqüència, inferiors a 20kHz, produïdes mitjançant un impacte, en aquest cas un impacte de martell al transductor emissor. Aquestes ones també s'anomenen ones d'impacte.

A diferència de les altres, les ones ultrasòniques, tenen una longitud d'ona molt més elevada i per tant un abast molt més ample. A més, la heterogeneïtat del material no afecta en res aquestes ones, ja que la seva longitud d'ona és molt més superior a tota la varietat de defectes i particularitats del material. Però, per contra són ones que no tenen tanta definició a l'hora de determinar irregularitats internes del material com ho fan les ones ultrasòniques.

La seva velocitat de propagació (V) i el mòdul d'elasticitat dinàmic (E_{din}) queden definides de la mateixa manera que hem definit abans en el cas de les ones ultrasòniques. Per tant tenen la mateixa naturalesa que les altres, i en conseqüència la metodologia i l'anàlisi dels resultats és molt semblant.

EQUIPS

Per aquest assaig s'han utilitzat el següent equip:

- Microsecond Timer (MST) de l'empresa FAKOPP
 - Compost per dos transductors, emissor i receptor, i un terminal de control i lectura de dades
 - Pot treballar amb freqüències de 2 kHz
- Petit martell per produir els impactes



Il·lustració 56: Terminal de control i lectura de l'equip



Il·lustració 57: Transductor emissor sent copejat pel martell i així genera l'ona d'impacte

METODOLOGIA

Es fan les mateixes lectures del temps de propagació de l'ona i es calculen les mateixes velocitats que es fan en l'assaig de les ones ultrasòniques, o sigui les lectures directes testa-testa, directes cara-cara i indirectes mateixa cara, i de totes tres superior i inferior. En total 10 lectures, igual que abans, en cada cas de la superior i inferior es fa la mitjana aritmètica, i s'extreu una velocitat de propagació i un mòdul d'elasticitat dinàmic de l'ona d'impacte.

Les marques de 3cm en la testa ja sigui superior i inferior són les mateixes, i els 18h referenciats anteriorment també. La única diferència a l'hora del procés de muntatge dels transductors és, a diferència dels ultrasons, la no necessitat de cap màquina o trepant per la seva col·locació, ja que el

seu final acabat en punta facilita la seva penetració en la fusta, tal com es pot veure en la Il·lustració 57.

Això últim és una condició que fixa l'ordre dels assajos d'aquests dos últims. És evident pensar que com que a l'assaig de les ones ultrasòniques es necessita fer forats fixats per un trepant, i les marques en tots dos són les mateixes, el primer assaig a realitzar sigui el de les ones d'impacte.

Una vegada s'han fixat els transductors en les posicions correctes per fer les lectures corresponents, s'acciona la terminal i s'exerceix un suau cop amb el martell al transductor emissor (veure la Il·lustració 57), i automàticament la terminal de dades dóna un valor en microsegons del temps recorregut entre els dos focus, valors que són registrats.

Com que partim d'un valor de referència del 12% d'humitat, i és evident que en el moment de prendre les dades no hi havien aquestes condicions, es fa una petita rectificació. Per cada increment d'un 1% d'humitat, es produeix una disminució de la velocitat d'un 1% (segons norma UNE-EN:384/2010).



Il·lustració 58: Vistes generals de l'assaig des de diferents punts de vista. Lectura indirecta superior de la cara 2 de la biga

RESULTATS ONES D'IMPACTE

Nota: Alhora de realitzar l'assaig de l'última biga, en aquest cas la biga 6, l'aparell es va espallar i va començar a donar valors totalment erronis. Això va produir treure tots els resultats de la biga 6 d'aquest assaig i també amb les comparatives entre els altres assajos.

A l'hora de reflectir els resultats es fixa els mateixos criteris que es fan en les ones ultrasòniques. Les lectures de dades són les mateixes, i la referència de les cares també. S'agafa totes les velocitats de propagació de les ones d'impacte, calculades amb la divisió entre la distància dels dos focus i el temps de propagació, registrat per l'aparell. De cada lectura es fa la mitjana aritmètica i el coeficient de variació. Aquests resultats es mostren en la següent taula:

Lectura	Velocitat modificada al 12%	
	Mitjana	C.V
	(m/s)	(%)
directa Testa-testa	4553,69	11,64%
directa cara1-cara2	4383,85	11,93%
directa cara2-cara1	4287,19	11,58%
indirecta cara1	4334,51	17,61%
indirecta cara2	4214,32	21,15%

Taula 25: Mitjana aritmètica i el coeficient de variació de la velocitat de propagació de les diferents lectures de les ones d'impacte

Com a valor de referència es fixa la velocitat de propagació directa o testa-testa, per la seva condició és la més favorable, però tal com s'ha dit abans no és la més real. Per això es fa la comparativa de totes les altres amb la directa. Les relacions lineals existents amb les diferents velocitats de propagació són les següents:

$$Vel_{TT} = 0,99 \cdot Vel_{SD18H12} + 213,48 \quad R^2: 0,9544$$

$$Vel_{TT} = 1,0152 \cdot Vel_{SD18H21} + 201,42 \quad R^2: 0,905$$

$$Vel_{TT} = 0,615 \cdot Vel_{ID18H1} + 1888,2 \quad R^2: 0,7845$$

$$Vel_{TT} = 0,3913 \cdot Vel_{ID18H2} + 2904,4 \quad R^2: 0,4331$$

On

Vel_{TT} és la velocitat d'impacte en m/s de la lectura directa testa-testa corregida al 12% d'humitat

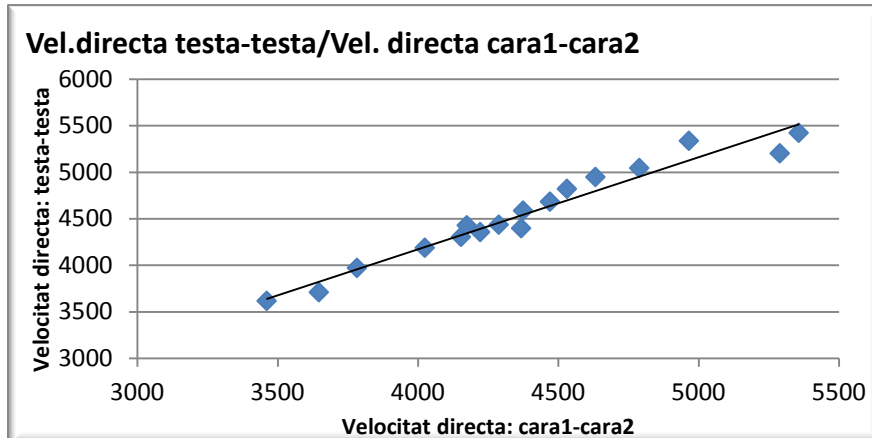
$Vel_{SD18H12}$ és la velocitat d'impacte en m/s de la lectura directa cara1-cara2 corregida al 12% d'humitat

$Vel_{SD18H21}$ és la velocitat d'impacte en m/s de la lectura directa cara2-cara1 corregida al 12% d'humitat

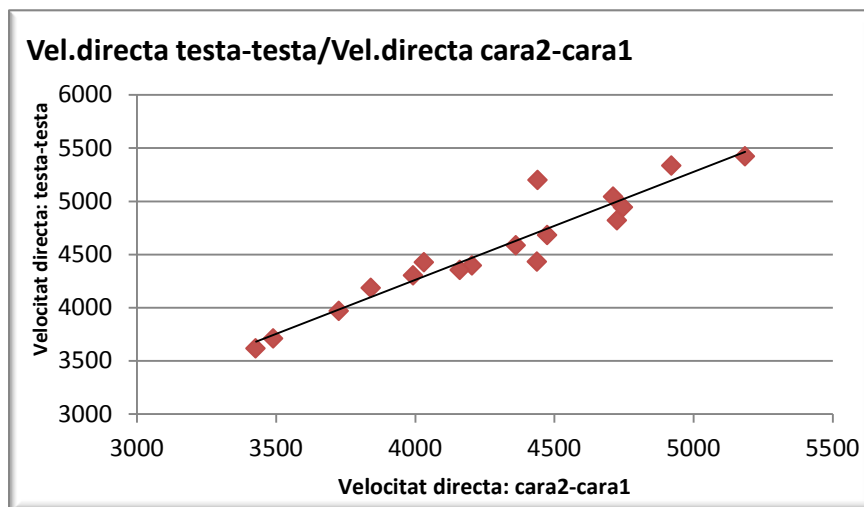
Vel_{ID18H1} és la velocitat d'impacte en m/s de la lectura indirecta cara1 corregida al 12% d'humitat

Vel_{ID18H2} és la velocitat d'impacte en m/s de la lectura indirecta cara2 corregida al 12% d'humitat

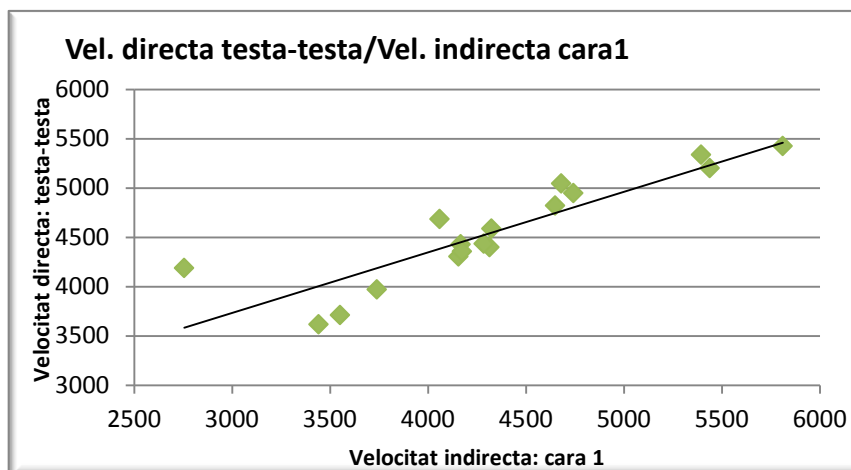
En les següents gràfiques es mostren les rectes de regressió lineal entre cada relació que s'ha fet de les velocitats registrades.



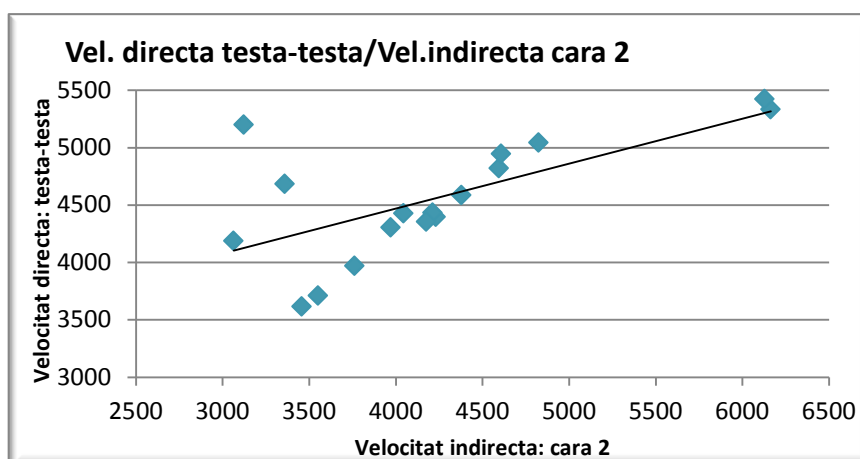
Gràfic 19: Recta regressió lineal velocitat ones d'impacte lectura testa-testa i directa cara1-cara2



Gràfic 20: Recta regressió lineal velocitat ones d'impacte lectura testa-testa i directa cara2-cara1



Gràfic 21: Recta regressió lineal velocitat ones d'impacte lectura testa-testa i indirecta cara1



Gràfic 22: Recta regressió lineal velocitat ones d'impacte lectura testa-testa i indirecta cara2

Exposats els resultats s'observa que les comparatives són bastant fiables, menys la de la lectura de la biga 6, per l'averia que va patir l'aparell comentat anteriorment. Un conjunt de mostres tan petita com la d'aquest projecte, 17 bigues, en el moment que dos o tres mostres tenen valors diferents que les altres (per avaria o mal ús de l'aparell o un mal registre de les dades) les comparatives varien amb facilitat.

S'agafen les lectures directes de testa-testa per l'assaig del Sylvatest i del MST i s'obtenen els següents resultats:

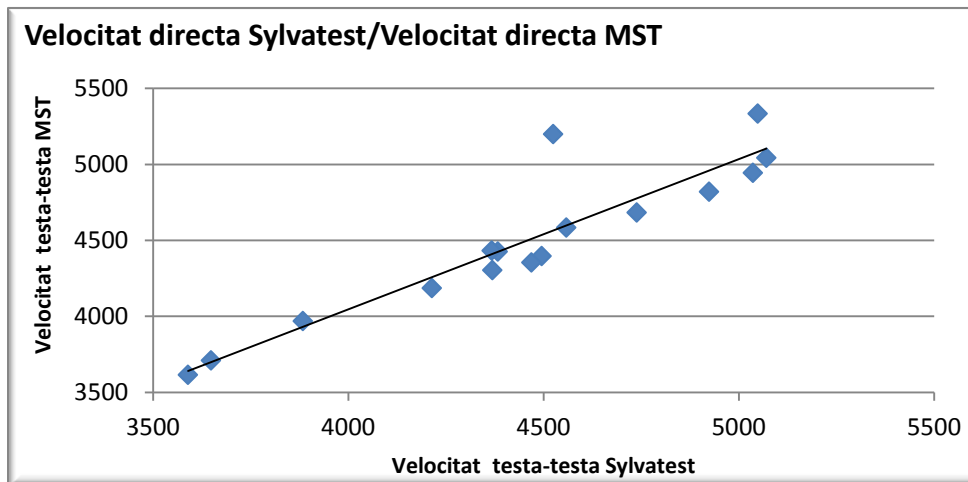
$$Vel_{TT-MST} = 0,9881 \cdot Vel_{TT-Syl} + 94,803 \quad R^2: 0,8437$$

On

Vel_{TT-MST} és la velocitat de l'assaig MST en m/s de la lectura directa testa-testa corregida al 12% d'humitat

Vel_{TT-Syl} és la velocitat de l'assaig Sylvatest en m/s de la lectura directa testa-testa corregida al 12% d'humitat

Comparativa, la qual traient la biga 6, podem afirmar que els dos assajos compleixen les hipòtesis de normalitat i linealitat.



Gràfic 23: Recta regressió lineal velocitats ones d'ultrasons i d'impacte en lectura testa-testa

Com es va comentar al principi del projecte, d'aquest assaig també s'agafen valors en l'obra de les mateixes bigues. Es realitza dos lectures, directa cara-cara i indirecta mateixa cara. Amb una referència de 14% d'humitat en totes les bigues i registrades les distàncies i els temps de propagació de les ones, s'obté la següent taula:

Lectura	Velocitat modificada al 12%	
	Mitjana Obra	Mitjana Lab.
	(m/s)	(m/s)
semidirecta	4163,44	4335,52
indirecta	4207,22	4274,41
Lectura	Mòdul d'elasticitat al 12%	
	Mitjana Obra	Mitjana Lab.
	N/mm ²	N/mm ²
semidirecta	9076,31	9947,45
indirecta	9275,70	9895,59

Taula 26: Resum comparativa dels resultats en l'obra i en el laboratori de l'assaig de les ones d'impacte en la obra

Amb aquesta comparativa, i referenciats en el 12% d'humitat, s'obtenen valors relativament similars, amb petites modificacions. Això fa valorar amb una bona fiabilitat l'assaig en l'obra de les ones d'impacte, i per tant potencia la credibilitat dels assajos no destructius realitzats en la mateixa obra.

ASSAIG AMB VIBRACIONS

DEFINICIÓ

Aquest assaig, que també s'engloba en el mètodes acústics, té la mateixa naturalesa que els altres, un focus emissor emet una ona i és rebuda per un focus receptor i enregistrada per una terminal. En aquest cas es treballa amb les vibracions. Existeix una relació molt estreta entre la freqüència natural de vibració d'un element o material i amb les seves propietats físiques i mecàniques. La determinació del mòdul d'elasticitat dinàmic es perfectament coneguda si podem conèixer la freqüència natural de vibració d'una peça acotada i la seva densitat. Totes aquestes relacions són assumibles tan en material homogenis com en material heterogenis, com és el cas de la fusta.

En aquest projecte s'han realitzat dos tipus d'assajos per vibracions. Un fent vibracions longitudinals i una altre fent vibracions transversals o en flexió.

La vibració longitudinal consisteix en colpejar una de les testes de la biga, i amb la vibració que es genera es determina la freqüència natural de vibració en sentit longitudinal, i amb això i la densitat s'obté la següent expressió (Weaver 1990):

$$E_{din} = (2L \cdot f)^2 \cdot \rho$$

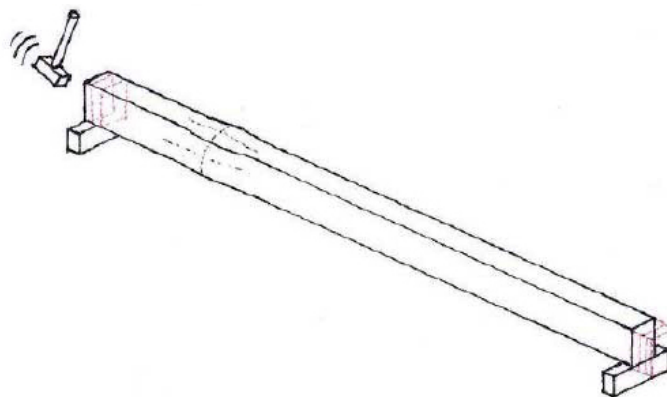
On:

E_{din} és el mòdul d'elasticitat dinàmic

L és la longitud de la biga

f és la freqüència natural de vibració longitudinal

ρ és la densitat de la biga



Il·lustració 59: Esquema general vibració longitudinal

La vibració transversal o en flexió consisteix en realitzar un cop transversal a la directriu de la biga i en sentit perpendicular a l'eix longitudinal, es generarà una vibració en flexió i així es pot calcular la freqüència natural de vibració a flexió de la biga.

Amb això i certs valors més s'obté la següent expressió:

$$E_{din} = \left(\frac{2 \cdot f_n}{\gamma_1 \cdot \pi} \right)^2 \cdot \left(\frac{m \cdot L^3}{I} \right)$$

On:

E_{din} és el mòdul d'elasticitat dinàmic

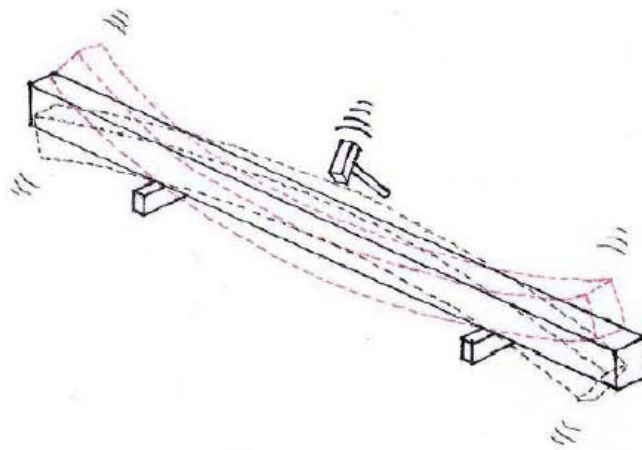
L és la longitud de la biga

m és la massa de la biga

f_n és la freqüència natural de vibració a flexió, sent "n" el mode 1 (bàsic)

γ_1 és la constant pel primer mode de vibració i de valor igual a 2,267

I és el moment d'inèrcia de la secció

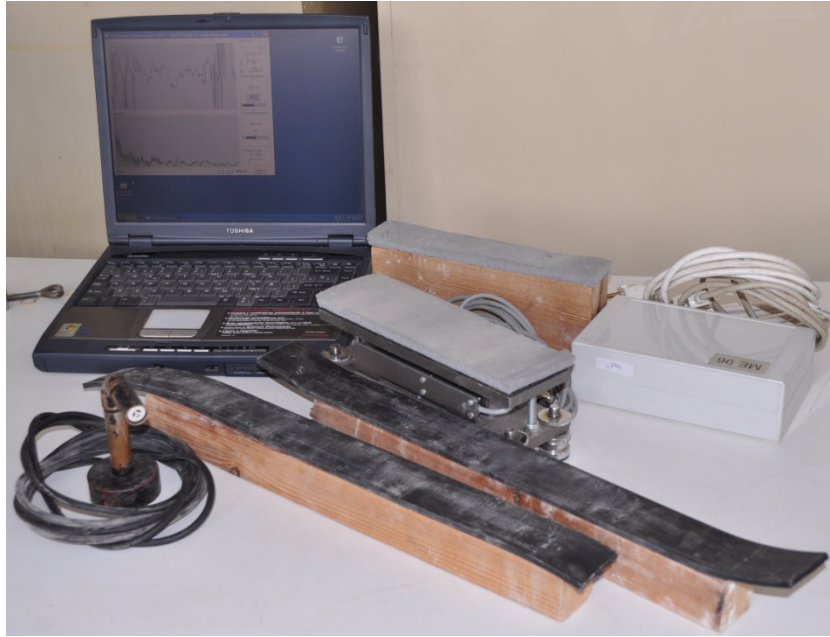


Il·lustració 60: Esquema general vibració transversal o en flexió

EQUIPS

Per aquest assaig s'ha utilitzat el següent equip:

- Portable Lumber Grader (PLG) de l'empresa FAKOPP
 - Un ordinador portàtil amb el software del fabricant
 - Una balança connectada a l'ordinador, determinant el pes de mitja biga, amb una precisió d'1 gram
 - Un micròfon connectat a l'ordinador, fent funcions de focus receptor de les vibracions
- Petit martell per produir els impactes
- Dos petis llistons de fusta i dos tires neoprè, usats com suports de les bigues



Il·lustració 61: Equip complet de l'assaig



Il·lustració 62: Micròfon. Ordinador portàtil. Balança

METODOLOGIA

S'explicaran per separat les dues metodologies dels dos assajos per facilitar la comprensió. La determinació de la freqüència natural de vibració longitudinal i la determinació de la freqüència natural de vibració transversal.

Assaig vibració longitudinal

Primer de tot es col·loca la biga entre dos suports, alineats a les testes. Un dels suports és la balança, que connectada a l'ordinador, calcula la meitat del pes de la biga. Abans d'entrar en servei la balança es tara. En l'altra testa, està col·locat l'altre suport, compostat per un petit llistó de fusta recobert, en la part de contacte amb la biga amb un neoprè. Gràcies això les condicions de l'assaig permet tenir una vibració lliure sense que afecti els suports de la biga. En aquesta testa es col·loca el micròfon, molt a prop d'ella però sense tocar-la.

Tot l'equip es connecta correctament. Una vegada el software, per enregistrar els valors, entra en funcionament, s'introdueixen els valors (veure Il·lustració 63). Dimensions de la biga, la tipologia de fusta (conífera), el valor de diferència d'humitat existent en relació al valor de referència del 12% i el CKDR (índex de concentració de diàmetre de nusos). Aquest últim valor de correcció no s'utilitza, ja que en estudis realitzats amb anterioritat, demostren que la inclusió del CKDR no millorava les prediccions en la classificació de la fusta (Acuña 2007).

Una vegada s'introdueixen tots aquest valors, es fa vibrar la biga amb un petit cop de martell (la intensitat del cop no influeix en els resultats) en la testa oposada a la del micròfon (veure Il·lustració 63). En l'altre punta de la biga el micròfon capta el so de la vibració induïda i dona la informació a l'ordinador, el qual finalment calcula la freqüència de vibració longitudinal.



Il·lustració 63: Introducció de dades. Petit cop de martell a la testa de la biga

Coneguda la freqüència natural de vibració longitudinal, es calcula la velocitat de propagació amb la següent fórmula:

$$v = 2 \cdot L \cdot f$$

On:

v és la velocitat de propagació en m/s

L és la longitud de la biga en m

f és la freqüència natural de vibració longitudinal en Hz

I gràcies al pes de la meitat de la biga, es pot obtenir la densitat de la biga, amb la següent fórmula:

$$\rho = \frac{2 \cdot R_{1/2}}{b \cdot h \cdot L}$$

On:

ρ és la densitat de la biga en kg/m³

L és la longitud de la biga en m

b és la distància entre les cares, amplària de la biga en m

h és l'alçada de la biga en m

$R_{1/2}$ és la meitat de la massa de la biga en kg

Com que partim d'un valor de referència del 12% d'humitat, i és evident que en el moment de prendre les dades no hi havien aquestes condicions, es fa una petita rectificació. Per cada increment d'un 1% d'humitat, es produeix una disminució de la velocitat d'un 1% (segons norma UNE-EN:384/2010). Això va fer rectificar tan els valors de la velocitat de propagació com el mòdul d'elasticitat dinàmic.



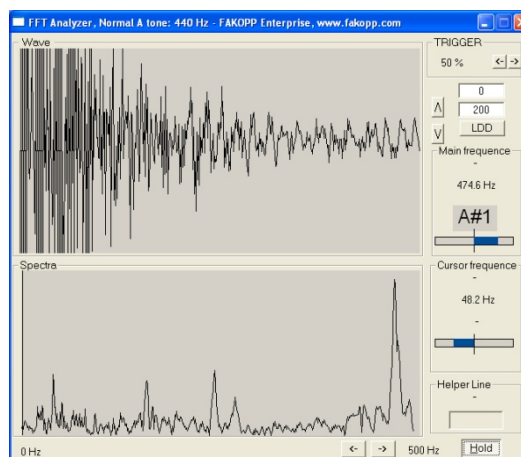
Il·lustració 64: Vista general de l'assaig de vibració longitudinal

Assaig vibració transversal o en flexió

En aquest cas els suports de la biga es col·loquen a $0,22L$ dels extrems, on L és la longitud de la biga. Els dos suports són uns llistons petits de fusta i per damunt d'ells unes gomes de neoprè facilitant una vibració lliure en tota la biga.

Es col·loca el micròfon en el punt mig de la biga, molt a prop però sense tocar la biga. A continuació es realitza un petit cop de martell en la part superior del punt mig de la biga. Aquest impacte genera una vibració que agafada pel micròfon és enviada a l'ordinador. El software de la màquina analitza la senyal i calcula la freqüència de vibració.

Gràcies a la massa de la biga que calculada abans i amb la fórmula citada anteriorment es calcula el mòdul d'elasticitat dinàmic transversal.



Il·lustració 65: Pantalla del software assaig PLG transversal

Com que partim d'un valor de referència del 12% d'humitat, i és evident que en el moment de prendre les dades no hi havien aquestes condicions, es fa una petita rectificació. Per cada increment d'un 1% d'humitat, es produeix una disminució del mòdul d'elasticitat dinàmic transversal d'un 1% (segons norma UNE-EN:384/2010).



Il·lustració 66: Realització del cop de martell en la biga. Vista general de l'assaig de vibració transversal

RESULTATS VIBRACIONS

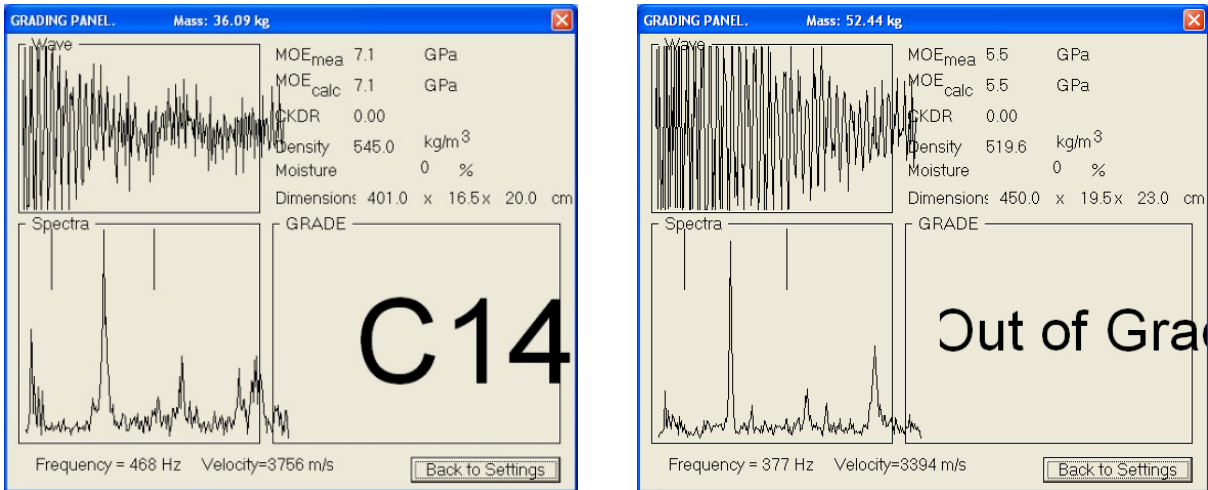
El càlcul de la freqüència de la vibració longitudinal, permet calcular la velocitat de vibració, mitjançant el producte de dues vegades la longitud de la biga per la freqüència calculada. Aquestes velocitats es modifiquen amb la referència del 12% d'humitat, fixada per normativa. Amb aquestes velocitats normalitzades, i amb el seu quadrat i fent el producte amb les densitats de cada biga, s'obté el mòdul d'elasticitat dinàmic, també normalitzat al 12% d'humitat.

Comentar que el software per l'assaig longitudinal, a part de calcular la freqüència, estima una possible classe de la fusta de la biga, en molt casos no donarà res (veure Il·lustració 67). Remarcar que és un valor fiable només per fusta que el fabricant hagi estudiat i tractat amb l'aparell, per tant, no és aquest cas.

El càlcul de la freqüència de la vibració transversal, dóna el valor necessari, que afegint valors dimensionals de les bigues, i gràcies a la fórmula fixada en l'apartat anterior, surt el càlcul del mòdul d'elasticitat dinàmic. Com tots els altres casos normalitzat al 12% d'humitat.

Resultats assaig PLG Longitudinal							
	Freq. Long.	Velocitat	Velocitat	E.din Long.	E.din Long		
	Hz	m/s	12%	N/mm ²	12%		
Biga 1	538	4407,30	4391,64	9320,17	9254,06		
Biga 2	470	4042,00	4183,44	8423,99	9023,84		
Biga 3	468	3753,36	3753,75	7684,21	7685,82		
Biga 4	436	3836,80	3883,30	7446,06	7627,66	Biga 1	C16
Biga 5	483	4153,80	4156,31	8547,71	8558,02	Biga 2	C14
Biga 6	433	3645,86	3673,79	5157,83	5237,15	Biga 3	C14
Biga 7	500	4300,00	4307,80	8658,64	8690,07	Biga 4	-
Biga 8	517	4446,20	4394,19	9374,27	9156,25	Biga 5	C16
Biga 9	377	3393,00	3425,51	5982,54	6097,75	Biga 6	-
Biga 10	440	3608,00	3622,43	5930,65	5978,18	Biga 7	C14
Biga 11	486	4111,56	4225,38	9049,36	9557,33	Biga 8	C16
Biga 12	459	3855,60	3938,47	9038,78	9431,50	Biga 9	-
Biga 13	377	3166,80	3174,16	5170,60	5194,68	Biga 10	-
Biga 14	461	3964,60	3988,19	7373,86	7461,87	Biga 11	C16
Biga 15	394	3081,08	3139,62	5017,64	5210,12	Biga 12	C16
Biga 16	492	4241,04	4306,21	9418,89	9710,57	Biga 13	-
Biga 17	489	4009,80	4030,25	6671,49	6739,71	Biga 14	-
Mitjana	460		3917,32		7683,21	Biga 15	-
SD	46,10		400,80		1649,77	Biga 16	C16
C.V	10,02%		10,23%		21,47%	Biga 17	-

Taula 27: Dades finals de l'assaig PLG longitudinal i classes segons PLG longitudinal



Il·lustració 67: Pantalles de resultats software assaig PLG longitudinal. Biga 3 i 9

Resultats assaig PLG transversal			
	Freq. Trans.	E.din Trans.	E.din Trans
	Hz	N/mm ²	12%
Biga 1	54,80	9313,79	9280,70
Biga 2	52,70	10022,63	10373,34
Biga 3	48,20	7751,91	7752,72
Biga 4	50,80	9565,76	9681,70
Biga 5	50,50	8842,53	8847,87
Biga 6	50,00	6539,36	6589,46
Biga 7	52,30	8562,15	8577,68
Biga 8	52,00	8974,32	8869,34
Biga 9	35,50	4804,05	4850,08
Biga 10	49,50	7103,06	7131,47
Biga 11	51,40	9716,11	9985,08
Biga 12	43,70	8136,11	8310,98
Biga 13	40,30	5094,48	5106,33
Biga 14	50,80	8092,65	8140,79
Biga 15	48,80	6313,06	6433,01
Biga 16	52,40	9701,07	9850,13
Biga 17	52,50	6615,96	6649,70
Mitjana	49,19		8025,32
SD	4,96		1672,53
C.V	10,07%		20,84%

Taula 28: Dades finals de l'assaig PLG transversal

Com s'ha fet amb anterioritat s'agafen les lectures directes de testa-testa per l'assaig del Sylvatest i del MST i es comparen amb les velocitats obtingudes per l'assaig PLG longitudinal. S'obtenen les següents relacions lineals:

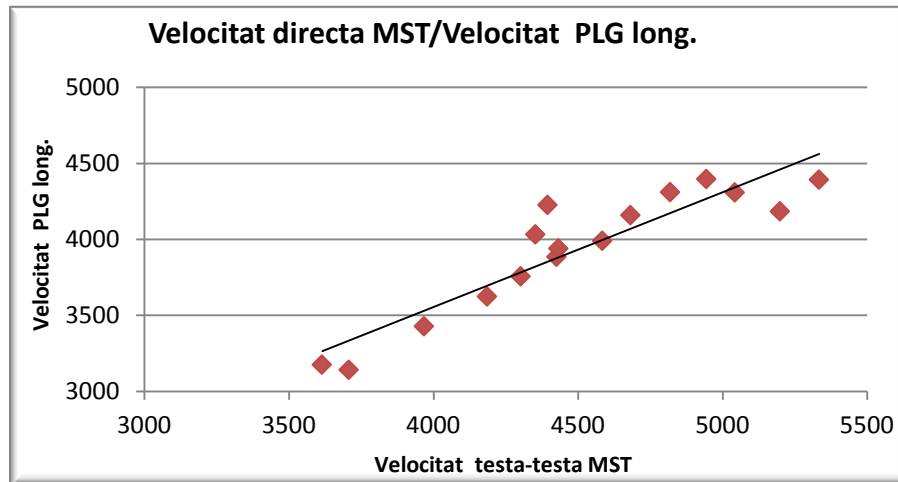
$$Vel_{PLG_long} = 0,7559 \cdot Vel_{TT-MST} + 531,32 \quad R^2: 0,8416$$

$$Vel_{PLG_long} = 0,8567 \cdot Vel_{TT-Syl} + 100,42 \quad R^2: 0,9117$$

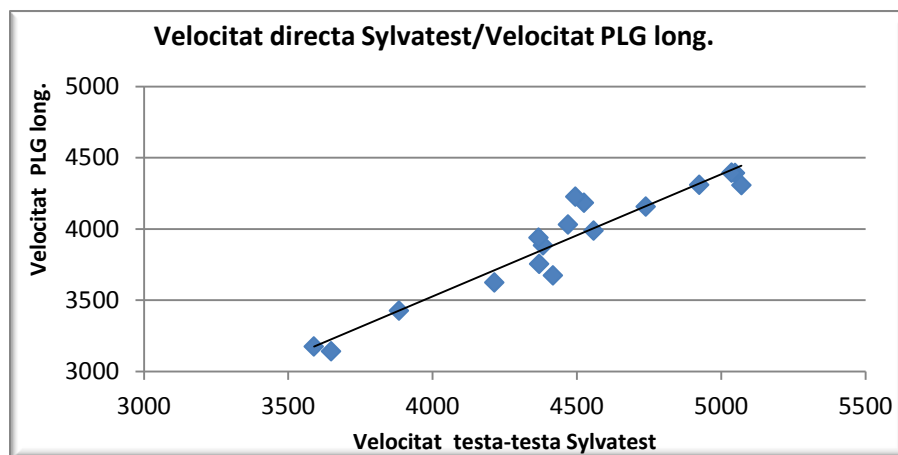
On

- Vel_{PLG_long} és la velocitat de l'assaig PLG longitudinal en m/s corregida al 12% d'humitat
- Vel_{TT-MST} és la velocitat de l'assaig MST en m/s de la lectura directa testa-testa corregida al 12% d'humitat
- Vel_{TT-Syl} és la velocitat de l'assaig Sylvatest en m/s de la lectura directa testa-testa corregida al 12% d'humitat

S'adjunten les respectives rectes de regressió lineals corresponents:



Gràfic 24: Recta regressió lineal velocitats ones d'impacte en lectura testa-testa i vibracions longitudinals



Gràfic 25: Recta regressió lineal velocitats ones d'ultrasons en lectura testa-testa i vibracions longitudinals

ASSAJOS MECÀNICS EN FLEXIÓ

INTRODUCCIÓ

La normativa europea que fa referència a la determinació de les propietats estructurals de la fusta és la norma UNE-EN 408:2011: "Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas". Aquesta norma especifica tots els sistemes i processos a fer en tots els assajos d'aquesta secció. En aquest apartat es realitza amb la màxima exactitud i precisió possible en funció d'aquesta normativa.

Durant tot el projecte fins aquest moment s'han realitzat assajos NO destructius, els quals han donat tota una sèrie de dades. Arribat aquest punt i en la finalització d'aquets assajos, les provetes o bigues quedaran inutilitzades en tot el seu conjunt per la realització d'altres assajos, provocarà una modificació geomètrica de les fibres de la fusta o simplement una ruptura de les provetes o bigues.

Per tant, la finalització dels assajos en el global de les bigues tindran en aquesta secció el seu punt final.

L'objectiu bàsic és la obtenció de valors reals de resistència de les 17 bigues, i d'alguna manera comparar-los amb els altres assajos NO destructius. Es realitzen tres assajos, amb l'objectiu de la determinació del mòdul d'elasticitat local en flexió, la determinació del mòdul d'elasticitat global en flexió i la determinació de la resistència a flexió o tensió de ruptura.

En els tres assajos es necessita que la velocitat del pistó sigui constant. Segons normativa la velocitat constant no pot superar 0,003h mm/s, on h és l'alçada de la biga. Com les bigues no tenen un h fixada, estan compreses en l'interval de (200,220) mm. Es fixa que la velocitat del pistó no superi els 0,6 mm/s, fet que es compleix amb molt marge.

EQUIPS

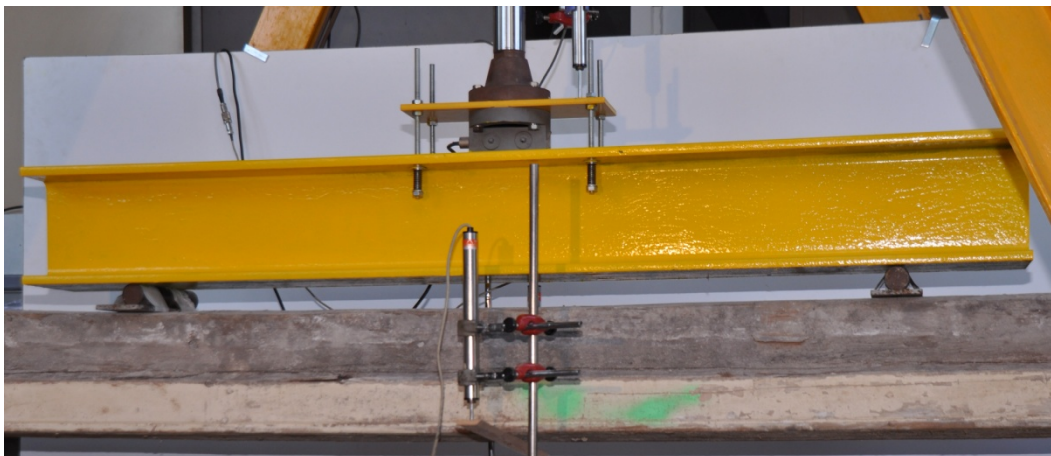
Per aquest assaig s'ha utilitzat el següent equip:

- Pòrtic hidràulic d'assajos. Amb aquest es realitzant tots els assajos de deformació local i global i de ruptura
 - Llargària màxima entre suports de 5,8 m
 - Capacitat de càrrega de 60 KN
 - Pot treballar amb freqüències de 2 kHz
 - Desplaçament vertical, cilindre oleohidràulic, Norge Martonair (CEDISA) Model HDS - 016125/950/B amb 900mm de recorregut
- Corrons i platines d'acer. Treballen conjunts, punt de contacte entre la biga i el pòrtic per la part superior i inferior de la biga. Només estan recolzats a la biga.
- Pont superior. Perfil d'acer dissenyat i construït pel Laboratori de Materials de l'EPSEB, usat exclusivament per aquets assajos
- Cèl·lula de càrrega. Model 750 20 de la casa Utilcell
 - Càrrega màxima nominal de 200 KN
 - Resolució de 0,023 KN
- Extensòmetres. Model HS/100 de la casa APEK MPE
 - De 102 mm de recorregut
 - Amb una sensibilitat de 0,001 mm i una precisió de 0,01 mm
- Penjadors, necessaris per fer l'assaig de deformació local. S'utilitzen dos, agafen els extensòmetres per enregistrar les deformacions. Dissenyats pel laboratori de Materials de l'EPSEB.
- Aparells informàtics per enregistrar dades. Un sistema de l'empresa NATIONAL INSTRUMENTS
 - Una caixa SCXI-1000 amb un mòdul de connexió a un portàtil via USB
 - Mòdul SCXI-1100 que permet la connexió de fins 32 sensors analògics
 - Ordinador portàtil, amb el software inclòs pel registre de dades
 - El programa informàtic LABVIEW 2009
 - Pantalla de televisió LCD de 32", per una millora alhora de visualitzar dades

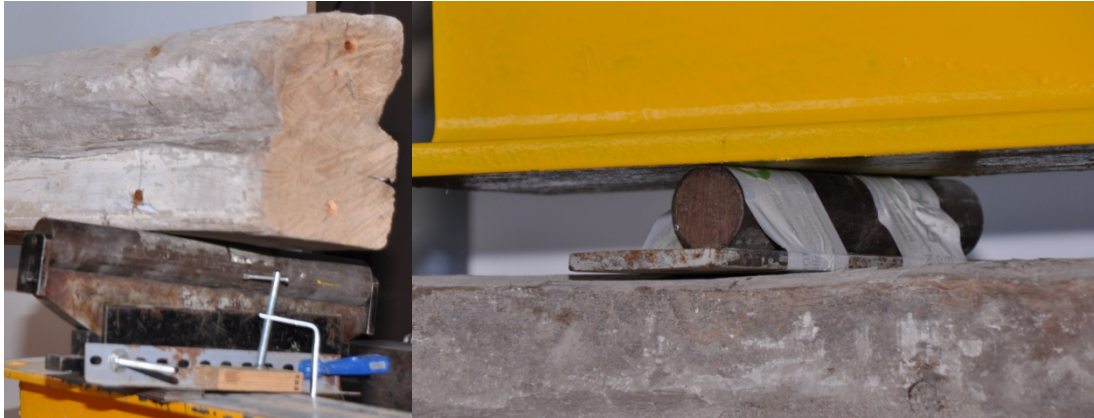
- Equip fotogràfic, compost per dues càmeres digitals petites. Col·locades en punts estratègics, agafades amb trípodes. Per poder realitzar tota una sèrie de vídeos. Fins a tres càmeres reflex-digital, per realitzar fotografies amb més detall.



Il·lustració 68: Vista general del pòrtic amb una biga col·locada per començar l'assaig de deformació global



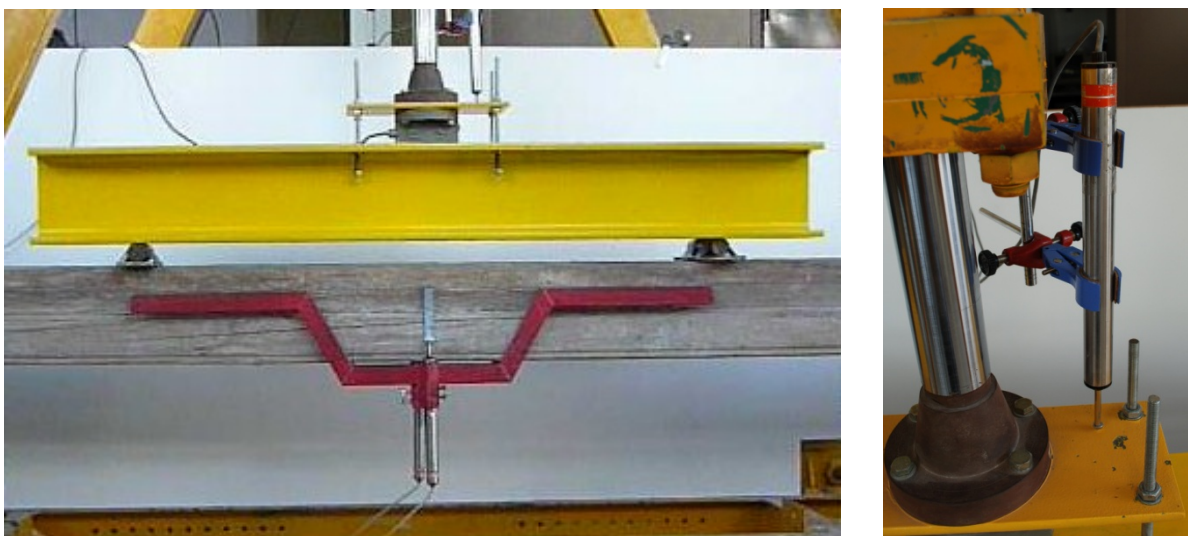
Il·lustració 69: Pont superior i cèl·lula de càrrega. Col·locació extensòmetre en l'assaig de deformació global



Il·lustració 70: Suports inferior i superiors de les bigues en tots els assajos de deformació



Il·lustració 71: Equip informàtic. Panell de funcionament del pòrtic



Il·lustració 72: Penjadors per l'assaig de deformació local. Extensòmetre de càrrega, col·locat al costat del pistó hidràulic

ASSAIG PER DETERMINAR EL MÒDUL D'ELASTICITAT LOCAL EN FLEXIÓ

DEFINICIÓ

El mòdul d'elasticitat local en flexió, també definit per les sigles MOE, determina en la zona central de la biga (tallant nul) la seva elasticitat, o sigui localment relaciona les tensions de tracció i compressió amb les deformacions que actuen paral·lelament a les fibres quan una càrrega està actuant.



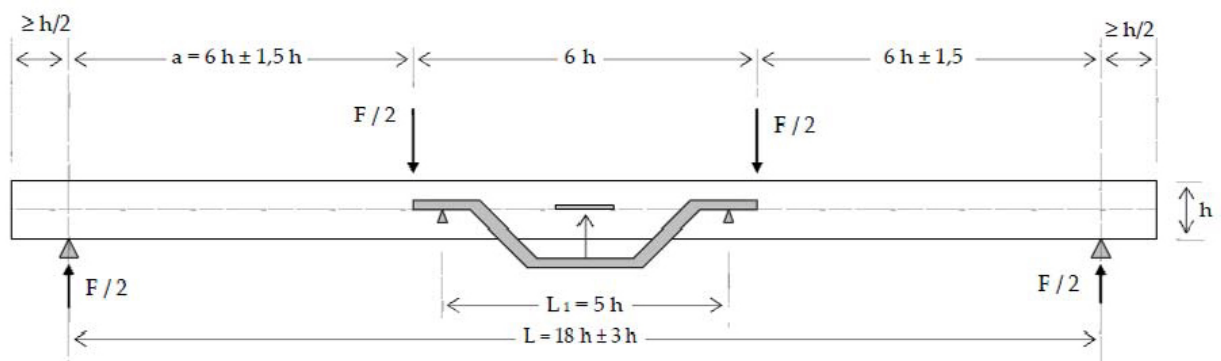
Il·lustració 73: Vista frontal de l'assaig del mòdul d'elasticitat local en flexió

METODOLOGIA

El primer pas que es realitza és la col·locació de la biga en els pòrtic hidràulic. La biga es col·loca recolzada, a uns cilindres d'acer, amb una llum de 18 vegades l'alçada de la cara de la biga, tal com diu la normativa. Com les alçades de les bigues no són les mateixes, els recolzaments es modifiquen en funció de la seva geometria. Els cilindres amb la seva mobilitat ajudaven a establir i nivellar la biga en relació al pòrtic. Veure Il·lustració 70.

Com l'assaig necessita dues càrregues puntuals situades simètricament i a una distància entre ells de $6h$, es col·loquen uns corròs i platines en la part superior de la biga a la distància corresponent, únicament recolzats. Com abans s'ha comentat, aquestes distàncies es modifiquen constantment per cada biga, ja que la geometria de totes les bigues és diferent. Veure Il·lustració 70.

En la zona central de la biga ($5h$), a l'alçada de la fibra neutra i en les dues cares de la biga, es col·loquen uns claus. Gràcies a ells es posen els penjadors (en les dues cares), els quals agafen els extensòmetres responsables de mesurar les deformacions, mesurades en mm pels extensòmetres i enregistrades per l'equip informàtic. Al tenir dos, un per cada cara de la biga, la deformació final és la mitjana aritmètica de les dos, gràcies això evitem possibles guerxaments de la biga. També es col·loca un altre extensòmetre al costat de la cèl·lula de càrrega per tal de mesurar el desplaçament del pistó, i amb aquesta dada i el temps, la velocitat d'avançament. Veure Il·lustració 72.



Il·lustració 74: Esquema general de l'assaig de deformació local a flexió

Una vegada la biga està col·locada en la posició correcta, segons marca la norma (Il·lustració 74) i anivellada, s'activa el pòrtic hidràulic amb velocitat constant. Quan la biga entra en càrrega, el pont superior entra en contacte amb la biga, les deformacions i la càrrega són registrades en l'ordinador pel moviment dels extensòmetres. Segons la norma s'ha de treballar entre un interval del 10% i 40% de la càrrega màxima estimada. Aquesta càrrega en veritat es calcula en funció de les altres bigues, ja que abans de fer aquest assaig es realitza els altres assajos de deformació a flexió de les altres bigues. I fent una mitja de les càrregues màximes reals de les altres bigues assajades s'obté l'estimació necessària.

S'acaba l'assaig quan la càrrega excedeix l'interval fixat. D'aquest interval es busca el tram més llarg que doni un coeficient de correlació de 0,99 o millor, i també que aquest interval contingui el tram comprès entre 20% i el 30% de la càrrega màxima. Amb aquestes condicions es calcula el mòdul d'elasticitat local a flexió amb la següent fórmula:

$$E_{loc} = \frac{a \cdot L_1^2 \cdot (F_2 - F_1)}{16 \cdot I \cdot (w_2 - w_1)}$$

On:

E_{loc} és el mòdul d'elasticitat local a flexió

a és la distància en mm entre el recolzament i el punt més pròxim d'aplicació de la càrrega. En aquest cas $6h$

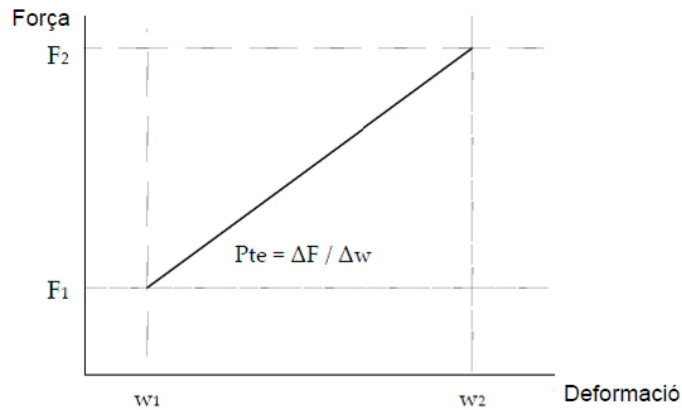
L_1 és la longitud en mm de la zona central en la que es mesura la deformació local. En aquest cas $5h$

$F_2 - F_1$ és l'increment de força en N produït en el tram de comportament elàstic de la peça sotmesa a flexió, o sigui l'interval entre el 10% i 40% de la càrrega màxima estimada

$w_2 - w_1$ és l'increment de les deformacions en mm corresponents a $F_2 - F_1$

I és el moment d'inèrcia en mm^4 de la secció mitja de la biga

En aquesta fórmula el valor $(F_2 - F_1)/(w_2 - w_1)$ es pot substituir per la pendent de la recta de regressió de la gràfica generada per les forces i les deformacions en el tram elàstic, o sigui en l'interval definit anteriorment. Aquesta gràfica és la següent:



Il·lustració 75: Gràfica forces-deformacions en el tram elàstic

Igual que es fa en els altres assajos, el factor de la humitat modifica i altera tots els resultats. Segons la norma UNE-EN 384:2010 s'augmenta o es disminueix el valor del mòdul d'elasticitat local en funció de la humitat de la biga i el 12% d'humitat com a valor de referència. Per cada increment d'un 1% d'humitat, es produeix una disminució del mòdul d'elasticitat local d'un 1%.

L'obtenció del mòdul local també es pot obtenir gràcies al mòdul d'elasticitat global. I el fet que aquest assaig sigui necessari una gran precisió tan en les dades com en els aparells. Només les bigues 11 i 16 han estat sotmeses aquest assaig.

ASSAIG PER DETERMINAR EL MÒDUL D'ELASTICITAT GLOBAL EN FLEXIÓ

DEFINICIÓ

El mòdul d'elasticitat global en flexió, també definit per les sigles MOEG, determina la rigidesa de la fusta en tota la biga, relaciona les tensions de tracció i compressió amb les deformacions que actuen paral·lelament a les fibres quan una càrrega està actuant.



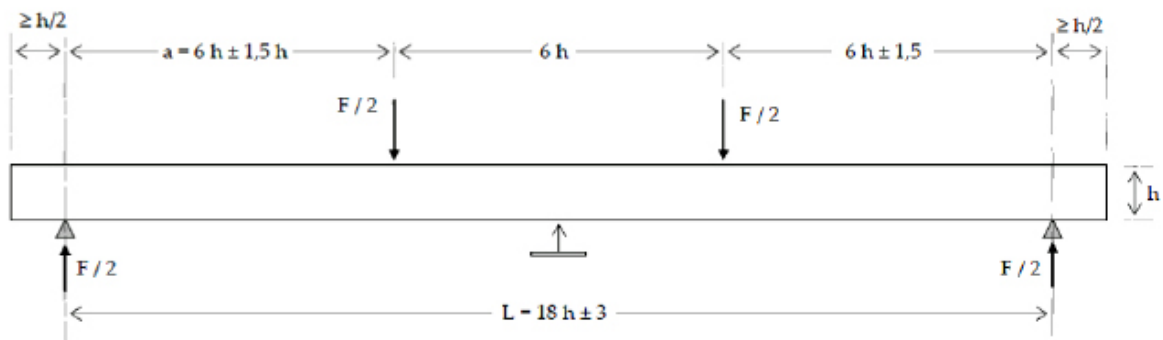
Il·lustració 76: Vista general de l'assaig del mòdul d'elasticitat global en flexió

METODOLOGIA

El procés d'aquest assaig porta una metodologia molt semblant a l'anterior, seguint escrupolosament totes les pautes i indicacions que fixa la norma UNE-EN 408:2011.

Les bigues amb una longitud de $20h$, sent h l'alçada mitjana de les cares de la biga, mides ja fixades des d'un inici del projecte. Es col·loca la biga en el pòrtic hidràulic, tal com indica la Il·lustració 77. Igual com s'ha comentat abans, el fet que totes les bigues tinguin diferents h , implica una col·locació personalitzada per a cada biga. En funció de la h de cada biga les distàncies entre els suports tan inferiors ($18h$) com a superiors ($6h$) són diferents i per tant cal la seva modificació constantment.

Una de les grans diferències d'aquest assaig amb l'altre, és la col·locació dels extensòmetres. En aquest cas les deformacions que es produeixen es mesuren en el centre de la part inferior de la biga i per les dues cares. Gràcies a l'ajuda d'una petita tira de fusta col·locada per sota i en el centre de la biga, serveix als extensòmetres com a punt d'inici per mesurar les deformacions (veure Il·lustració 78). L'extensòmetre de càrrega està situat en el mateix punt que en l'anterior assaig.



Il·lustració 77: Esquema general de l'assaig de deformació global a flexió



Il·lustració 78: Col·locació de l'extensòmetre pel càlcul de les deformacions en l'assaig global a flexió. La primera foto la càrrega està actuant i en la segona la biga està en repòs

Una vegada tota la biga està en disposició de ser assajada, s'activa el pistó hidràulic, i de la mateixa forma que l'altre assaig, es registren totes les dades. Igual que abans amb velocitat constant i amb l'interval màxim del 40% de la força màxima estimada. Destacar que com aquest assaig és l'inici de l'assaig a resistència a flexió o tensió a ruptura, tot el procés i funcionament del pòrtic finalitza en el moment que es produeix la ruptura a flexió. Per tant la força màxima no és estimada sinó que és totalment real. Emmagatzemades totes les dades, es s'acota l'interval fixat, i amb la següent fórmula es calcula el mòdul d'elasticitat global en flexió:

$$E_{glo} = \frac{3aL^2 - 4a^3}{2bh^3 \left(2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6a}{5Gbh} \right)}$$

On:

E_{glo}	és el mòdul d'elasticitat global a flexió
a	és la distància en mm entre el recolzament i el punt més pròxim d'aplicació de la càrrega. En aquest cas 6h
L	és la longitud en mm entre els recolzaments. En aquest cas 18h
$F_2 - F_1$	és l'increment de força en N produït en el tram de comportament elàstic de la peça sotmesa a flexió, o sigui l'interval entre el 10% i 40% de la càrrega màxima estimada
$w_2 - w_1$	és l'increment de les deformacions en mm corresponents a $F_2 - F_1$
I	és el moment d'inèrcia en mm^4 de la secció mitja de la biga
G	és el mòdul d'elasticitat transversal en N/mm^2
b	és l'ample mig de la biga en mm
h	és l'alçada mitja de la biga en mm

Segons la norma UNE-EN 384:2010 s'augmenta o es disminueix el valor del mòdul d'elasticitat global en funció de la humitat de la biga i el 12% d'humitat com a valor de referència. Per cada increment d'un 1% d'humitat, es produeix una disminució del mòdul d'elasticitat local d'un 1%. En aquest cas si que es realitza l'assaig en totes les bigues del projecte.

ASSAIG PER DETERMINAR LA RESISTÈNCIA A FLEXIÓ O TENSIÓ DE RUPTURA

DEFINICIÓ

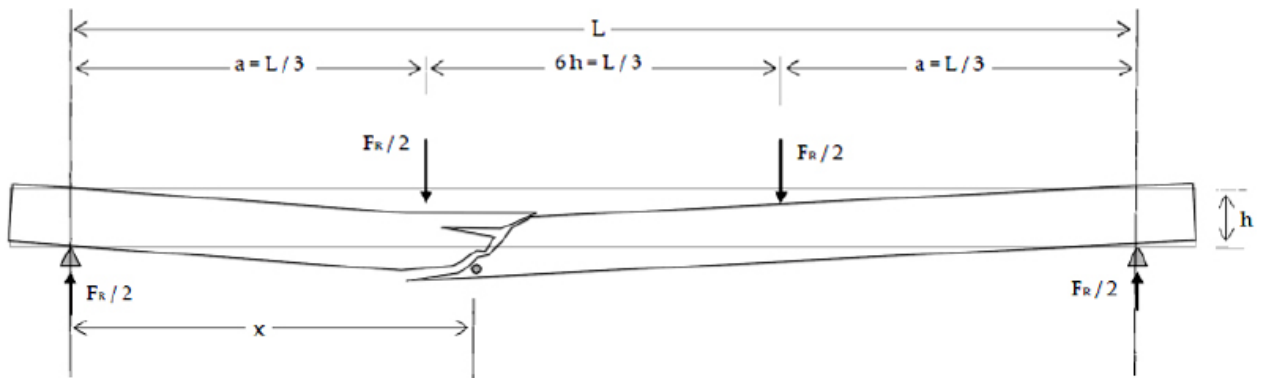
La resistència a flexió o tensió de ruptura d'una biga té com objectiu la determinació de la càrrega màxima que pot aguantar la peça a una càrrega a flexió. És la continuació de l'assaig de flexió global, sobrepasant l'interval elàstic, fins arribar al punt final de la ruptura de la biga.



Il·lustració 79 : Biga sotmesa a una càrrega a punt d'arribar al moment de la ruptura a flexió. Moment on es produeix la ruptura de la biga

METODOLOGIA

El fet que aquest assaig és continuació de l'anterior, la biga està col·locada tal com es disposa en la determinació del mòdul d'elasticitat global. En la següent il·lustració es veu l'esquema general de l'assaig. De cada biga es fa un croquis de la ruptura per les quatre cares i el registre de totes les dades de l'assaig.



Il·lustració 80: Esquema general de l'assaig de ruptura a flexió



Il·lustració 81: Diferents ruptures de bigues

Amb la següent fórmula s'obté la tensió a ruptura de la biga en N/mm^2

$$\sigma = \frac{3 \cdot F_R \cdot a}{b \cdot h^2}$$

On:

- F_R és la càrrega de ruptura en N
- a és la distància en mm entre el recolzament i el punt més pròxim d'aplicació de la càrrega. En aquest cas $6h$
- b és l'ample mig de la biga en mm
- h és l'alçada mitja de la biga en mm

Aquesta fórmula és la correcta quan la ruptura es produeix en el terç central de la biga, però pot ser que per anomalies o irregularitats internes de la biga la ruptura es produeixi fora d'aquest terç. Això succeeix en la biga 14. Provocant que el càlcul de la tensió tingui una modificació, reflectida en la següent fórmula:

$$\sigma = \frac{3 \cdot F_R}{b \cdot h^2} \cdot \left(\frac{L}{2} - y \right)$$

On:

F_R és la càrrega de ruptura en N

L és la longitud en mm entre els recolzaments. En aquest cas 18h

y és la distància en mm des del centre de la peça al punt de ruptura

b és l'ample mig de la biga en mm

h és l'alçada mitja de la biga en mm

RESULTATS ASSAJOS MECÀNICS EN FLEXIÓ

En aquesta taula es mostren tots els resultats finals de tots els assajos a flexió que es realitzen al laboratori, amb la humitat d'aquell moment i segons normativa modificats al 12% d'humitat referencial.

Taula resum resultats dels assajos a flexió						
	Càrr.màx.	MOEG	MOEG	MOE	MOE	TDR
	N	N/mm ²	12%	N/mm ²	12%	N/mm ²
Biga 1	53066,15	7381,33	7355,11	-	-	29,30
Biga 2	44061,06	6233,45	6451,57	-	-	21,08
Biga 3	55931,76	6713,15	6713,86	-	-	30,51
Biga 4	29441,88	4955,10	5015,16	-	-	15,06
Biga 5	64628,59	9141,76	9147,28	-	-	34,48
Biga 6	28051,26	3227,82	3252,54	-	-	15,32
Biga 7	57828,23	6775,89	6788,18	-	-	26,29
Biga 8	73099,11	7508,00	7420,17	-	-	32,73
Biga 9	36704,78	4098,47	4137,75	-	-	14,73
Biga 10	31484,52	4733,29	4752,22	-	-	16,19
Biga 11	55545,91	7223,21	7423,18	8161,61	8387,55	28,86
Biga 12	52397,45	6811,88	6958,29	-	-	27,88
Biga 13	37659,03	4083,38	4092,88	-	-	15,41
Biga 14	49031,71	5692,22	5726,09	-	-	20,06
Biga 15	22479,73	3224,73	3286,00	-	-	10,70
Biga 16	31945,70	6769,44	6873,46	9354,62	9498,37	14,13
Biga 17	44486,76	5545,24	5573,53	-	-	21,04
Mitjana	45167,27		5939,25			21,99
SD	14184,27		1649,63			7,56
C.V	31,40%		27,78%			34,39%

Taula 29: Resum dels assajos a flexió

Amb tots els assajos acústics realitzats, un dels valors que s'extreu és el mòdul d'elasticitat dinàmic. És un dels paràmetres no destructius més usat com estimador de les propietats mecàniques de la fusta. Aquest mòdul resulta del producte de la densitat per el quadrat de la velocitat de propagació. Tots aquests valors es comparen amb el mòdul d'elasticitat global.

	Mòdul d'elasticitat al 12%	
	Mitjana	C.V
	N/mm ²	(%)
MOEG	5939,25	27,78%
Edin-Sylvatest-TT	10415,99	25,93%
Edin-MST-TT	10743,81	31,17%
Edin-PLG.long	7683,21	21,47%
Edin-PLG.trans	8025,32	20,84%

Taula 30: Taula resum dels mòduls d'elasticitat dinàmic amb el MOEG

Fent l'anàlisi estadístic s'obté les següents relacions:

$$\text{MOEG} = 0,8787 \cdot E_{\text{din-PLG}_{\text{long}}} - 811,73 \quad R^2: 0,7722$$

$$\text{MOEG} = 0,6978 \cdot E_{\text{din-PLG}_{\text{trans.}}} + 339,19 \quad R^2: 0,5005$$

$$\text{MOEG} = 0,5845 \cdot E_{\text{din-Syl}_{\text{TT}}} - 290,49 \quad R^2: 0,5406$$

$$\text{MOEG} = 0,2704 \cdot E_{\text{din-MST}_{\text{TT}}} + 3201,7 \quad R^2: 0,3437$$

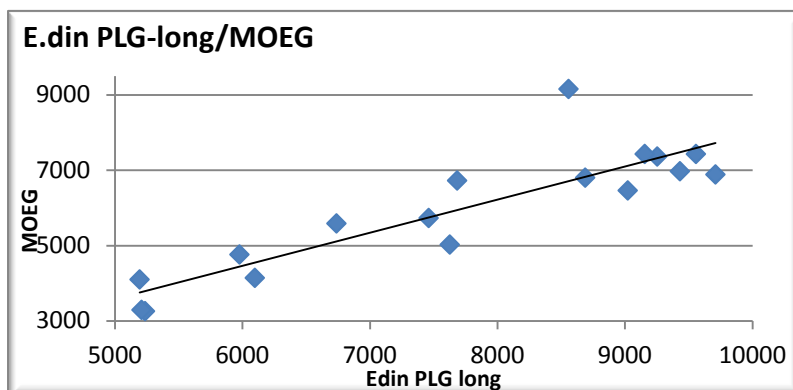
On

MOEG	és el mòdul d'elasticitat global en flexió en N/mm ² corregit al 12% d'humitat
$E_{\text{din-PLG}_{\text{long}}}$	és el mòdul d'elasticitat dinàmic en N/mm ² de l'assaig de vibracions longitudinals corregit al 12% d'humitat
$E_{\text{din-PLG}_{\text{trans.}}}$	és el mòdul d'elasticitat dinàmic en N/mm ² de l'assaig de vibracions transversals corregit al 12% d'humitat
$E_{\text{din-Syl}_{\text{TT}}}$	és el mòdul d'elasticitat dinàmic en N/mm ² de l'assaig d'ultrasons testa-testa corregit al 12% d'humitat
$E_{\text{din-MST}_{\text{TT}}}$	és el mòdul d'elasticitat dinàmic en N/mm ² de l'assaig d'ones d'impacte testa-testa corregit al 12% d'humitat

Els ultrasons com les ones d'impacte s'escull la lectura testa-testa, pot ser no és la més real, quan les bigues estan en servei les testes estan amagades, però si la més directa i per tant amb resultats més fiables.

S'observa que la que més divergeix és amb l'assaig de les ones d'impacte i la que més s'apropa és l'assaig de vibracions longitudinals. Tal com s'ha comentat en la nota inicial dels resultats de l'assaig d'ones d'impacte no es té en compte els resultats de la biga 6.

S'ha comentat amb anterioritat en el projecte, el fet que l'espai mostral sigui de petites dimensions (17) qualsevol dada que canviï o tingui valors molt diferents a les altres fa que tota la linealitat i en conseqüència molts valors estadístics, com les rectes de regressió, canviïn contundentment.



Gràfic 26: recta de regressió lineal entre el mòdul d'elasticitat dinàmic per l'assaig de vibracions longitudinals i el MOEG

També es compara el MOEG amb les velocitats registrades dels assajos acústics. És una comparativa menys fiable ja que el valor de la densitat no es té en compte, però potser per aquesta raó, més directe, ja que a vegades la determinació de la densitat pot ser un procés complex. Les relacions que s'obtenen són les següents:

$$\text{MOEG} = 3,357 \cdot \text{Vel}_{\text{PLG}_{\text{long}}} - 7211,2 \quad R^2: 0,6653$$

$$\text{MOEG} = 2,7305 \cdot \text{Vel}_{\text{Syl}_{\text{TT}}} - 6225,6 \quad R^2: 0,5467$$

$$\text{MOEG} = 2,2621 \cdot \text{Vel}_{\text{MST}_{\text{TT}}} - 4070,9 \quad R^2: 0,5268$$

On

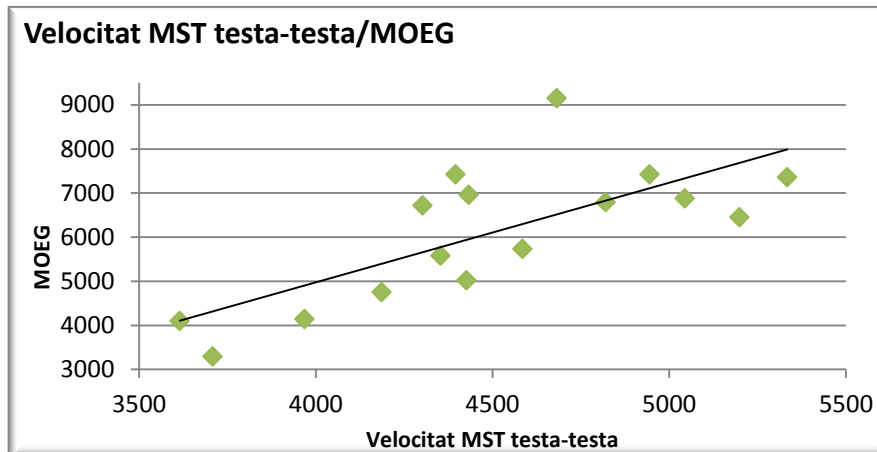
MOEG és el mòdul d'elasticitat global en flexió corregit al 12% d'humitat

$\text{Vel}_{\text{PLG}_{\text{long}}}$ és la velocitat en m/s de l'assaig de vibracions longitudinals corregit al 12% d'humitat

$\text{Vel}_{\text{Syl}_{\text{TT}}}$ és la velocitat en m/s de l'assaig d'ultrasons testa-testa corregit al 12% d'humitat

$\text{Vel}_{\text{MST}_{\text{TT}}}$ és la velocitat en m/s de l'assaig d'ones d'impacte testa-testa corregit al 12% d'humitat

Igualment les relacions no varien molt. La mateixa observació que s'ha citat anteriorment en la comparativa amb el mòdul d'elasticitat dinàmic, serveix per aquestes comparatives.



Gràfic 27: recta de regressió lineal entre la velocitat en m/s de l'assaig d'ones d'impactes i el MOEG en N/mm²

La realització del mòdul d'elasticitat local a flexió només es fa en dues bigues, això és un fet citat anteriorment, per motius de precisió dels aparells i de les dades. Per tant no té molt de sentit fer una comparativa entre el MOE i el MOEG. Únicament es pot comentar que segons la normativa UNE-EN 384:2004, existeix una fórmula que partint del mòdul d'elasticitat global es pot obtenir el local, però és una relació amb disparitats d'opinions. L'expressió és la següent:

$$MOE = 1,3 \cdot MOEG - 2690$$

Usant també el mòdul d'elasticitat dinàmic de tots els assajos acústics es comparen amb la resistència a flexió o tensió de ruptura de la fusta. Segons això s'obté les següents relacions lineals:

$$T_{rup} = 0,003 \cdot E_{din-PLG_{long}} - 1,3542 \quad R^2: 0,4395$$

$$T_{rup} = 0,0021 \cdot E_{din-PLG_{trans.}} + 5,5246 \quad R^2: 0,2059$$

$$T_{rup} = 0,0021 \cdot E_{din-Syl_{TT}} - 0,0444 \quad R^2: 0,3219$$

$$T_{rup} = 0,0008 \cdot E_{din-MST_{TT}} + 14,253 \quad R^2: 0,1116$$

On

T_{rup} és la tensió de ruptura a flexió en N/mm²

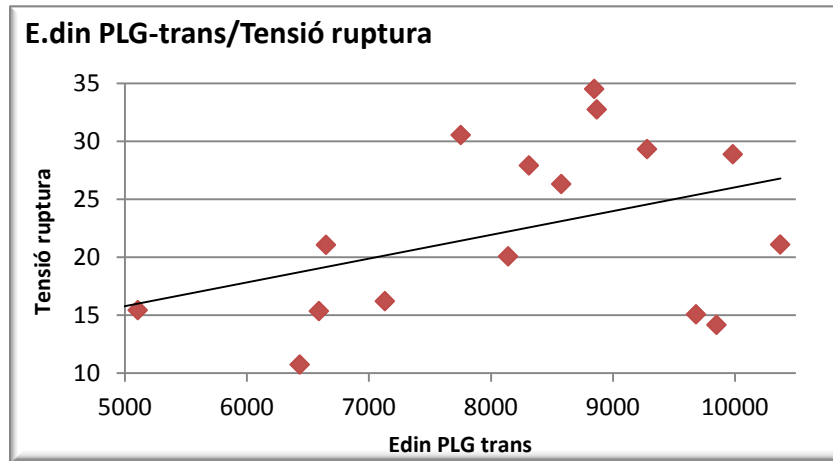
$E_{din-PLG_{long}}$ és el mòdul d'elasticitat dinàmic en N/mm² de l'assaig de vibracions longitudinals corregit al 12% d'humitat

$E_{din-PLG_{trans.}}$ és el mòdul d'elasticitat dinàmic en N/mm² de l'assaig de vibracions transversals corregit al 12% d'humitat

$E_{din-Syl_{TT}}$ és el mòdul d'elasticitat dinàmic en N/mm² de l'assaig d'ultrasons testa-testa corregit al 12% d'humitat

$E_{din-MST_{TT}}$ és el mòdul d'elasticitat dinàmic en N/mm² de l'assaig d'ones d'impacte testa-testa corregit al 12% d'humitat

Observar que les relacions no són de molta fiabilitat, ja que s'obtenen unes R^2 bastant petites, sobretot en la comparativa amb l'assaig d'ones d'impacte testa-testa. Es pot fer també la mateixa comparativa amb les velocitats de propagació, però si la darrera ha estat poc fiable, aquest encara podria ser pitjor.



Gràfic 28: recta de regressió lineal entre el mòdul d'elasticitat dinàmic en l'assaig de les vibracions transversals i la tensió a ruptura en N/mm^2

CONCLUSIONS

L'aplicació dels paràmetres de la classificació visual que marca la norma UNE 56544:2011, la considerem massa restrictiva, tot i que ampliant el marge d'acceptació de les bigues la podem considerar una eina útil per la diagnosi, que s'ha de recolzar amb altres assajos que estimin les característiques de les bigues, sobretot en gran escairada.

Una dada a tenir en consideració per determinar la classe resistent d'una fusta per l'ús estructural és la densitat, dada que en diagnosi es pot estimar amb diverses tècniques. En el nostre cas, hem fet servir la densitat d'una proveta per poder comparar les diverses densitats estimades en els assajos de microprovetes, penetròmetre tipus Pilodyn, màquina d'arrencament de vis i resistògraf. De tots aquests sistemes hem comprovat que el que més s'acosta a les dades de la densitat de les provetes que hem pres com a referent és la densitat extreta de les microprovetes, seguit amb una precisió inferior per la màquina d'arrencament de vis i el Resistògraf i en últim lloc amb un error prou considerable el penetròmetre.

El problema de les microprovetes és que extreuen una part de la biga, cosa que la resta de mètodes no, però al ser la precisió prou més elevada, que sovint és pot buscar un lloc on aquesta perforació no afecti a l'estructura i que l'aparell d'assaig és substancialment més econòmic el fa un sistema molt recomanable per la majoria d'estructures. No obstant això en els casos que aquest sistema es consideri massa destructiu es recomanaria la màquina d'arrencament de vis.

La comparació entre les dades de la humitat obtinguts per l'assecat amb estufa i el xilohigròmetre, són molt similars i la mitjana de l'error absolut és del 1,3%, cosa que per la simplicitat, portabilitat de l'equip, el fan un sistema molt recomanable per a la diagnosi.

Dels diferents assajos utilitzats per l'estimació del mòdul d'elasticitat el que manté una correlació més elevada és l'assaig de vibracions longitudinals amb un 77%, malgrat això, el fan un sistema molt recomanable per la classificació de fusta estructural, però no apta per la diagnosi, donat que la biga no pot estar col·locada a la obra per a la realització de l'assaig. Per aquest motiu es recomana l'ús d'un aparell d'ultrasons donat que ens permet estimar el mòdul d'elasticitat a l'obra amb un coeficient de correlació del 54%, hem de tenir present que tot i que un 54% pugui ser una mica baix en espais mostrals més grans, en un total de 17 mostres com és en el nostre cas el considerem una dada a tenir present.

El resultat de l'assaig a resistència a flexió ens dona una mitjana de 21,99 N/mm², tot i que si fem el 5è percentil de la mostra ens donaria un valor de 13,44 N/mm². Aquests valors de resistència són prou bons, si tenim en compte que hi ha algunes bigues que aparentment estaven en prou mal estat i tenint present que el 5è percentil equival en un espai mostral de 17 bigues, a un valor entre les dues dades més desfavorables.

Un cop analitzat tot un seguit de tesis, treballs, articles i documentació diversa ens hem adonat que no hi ha molts estudis que tinguin a veure amb la diagnosi de les característiques físiques i mecàniques de les bigues que han estat posades a obra, ni normativa específica, fet que tendeix a penalitzar les bigues en el cas d'una diagnosi per tal d'estar del costat de la seguretat, és per aquest motiu que creiem que s'ha de seguir investigant en aquesta línia per tal de poder dotar als tècnics de mètodes, i criteris més clars d'acceptació.

ÍNDEX IL·LUSTRACIONS

Il·lustració 1: Situació del immoble a la ciutat.....	9
Il·lustració 2: Vista general del immoble	9
Il·lustració 3: Enumeració de les bigues en l'obra	11
Il·lustració 4: Registre de la geometria de les bigues. Humitats de les bigues. Assaig amb el Resistògraf	11
Il·lustració 5: Extracció in situ de microprovetes cilíndriques	12
Il·lustració 6: Vista general de l'assaig acústic d'ones d'impacte.....	12
Il·lustració 7: Secció vista i oculta de una biga	15
Il·lustració 8: Fotografies de la Biga 2.....	16
Il·lustració 9: Distribució de les cares de la biga en la plantilla	16
Il·lustració 10: Plantilla visualització de les bigues	17
Il·lustració 11: Nus parcialment adherit. Manual de classificació de la madera	18
Il·lustració 12: Criteri de amidament dels nusos. UNE 565444:2011	18
Il·lustració 13: Clivella discontinua	19
Il·lustració 14: Fibra revirada. Manual de classificació de la madera	19
Il·lustració 15: Mesurament desviació de la fibra. Manual de classificació de la madera.....	20
Il·lustració 16: Sema remarcada amb guix blanc.....	20
Il·lustració 17: Mesurament i avaluació de les semes. UNE 565444:2011.....	20
Il·lustració 18: Deformacions de les peces. UNE 565444:2011	21
Il·lustració 19: Podridura cúbica	21
Il·lustració 20: Galeries serradures i excrements de <i>Hylotrupes bajulus</i>	22
Il·lustració 21: Dipòsit de resina	23
Il·lustració 22: Forat d'extracció d'un clau rovellat	28
Il·lustració 23: Detalls del procés de preparació de les mostres i estat final de la serra	29
Il·lustració 24: Mostres abans i després de tallar de llarg.....	29
Il·lustració 25: Mesurat i pesat de les provetes	30
Il·lustració 26: Microprovetes i corones.....	32
Il·lustració 27: Preparació de les microprovetes	33
Il·lustració 28: Equip Pilodyn 6J de l'empresa Proceq	35
Il·lustració 29: Mecanisme Pilodyn i lectura de dades	36
Il·lustració 30: Esquema de les posicions de lectura radial i tangencial. Informes de la Construcció ..	36
Il·lustració 31: Màquina d'arrencament de vis, galga de profunditat i unitat de control	42
Il·lustració 32: Esquema d'un Resistògraf. Intervenció en estructures de fusta	47
Il·lustració 33: Inspecció amb Resistògraf de caps de bigues.....	48
Il·lustració 34: RESISTOGRAPH® 4453-P, dins de la maleta de transport.....	48
Il·lustració 35: Realització del assaig del Resistògraf.....	49
Il·lustració 36: Desviació de les perforacions a raó dels anells de creixement	50
Il·lustració 37: Dades impreses pel RESISTOGRAPH	51
Il·lustració 38: Muntatge fotogràfic de la secció i gràfica del Resistògraf.....	52
Il·lustració 39: Punta de la broca i forat de sortida	53
Il·lustració 40: Estufes d'assecat amb circulació lliure d'aire en l'interior.....	59
Il·lustració 41: Bascula de laboratori amb precisió de 0,01g.....	60
Il·lustració 42: Pes safates de paper d'alumini i preparació de mostres.....	61

Il·lustració 43: Hydromette HT 85 T	63
Il·lustració 44: Marcat de la separació de les puntes del xilohigròmetre	64
Il·lustració 45: Mesurament de la humitat de la fusta	65
Il·lustració 46: Extracció de puntes	65
Il·lustració 47: Mètode de transmissió d'ultrasons.....	69
Il·lustració 48: Equip Sylvatest Duo	70
Il·lustració 49: Broca d'acer piramidal.....	70
Il·lustració 50: Lectura directa testa-testa	70
Il·lustració 51: Lectura directa cara-cara.....	71
Il·lustració 52: Lectura indirecta mateixa cara	71
Il·lustració 53: Realització dels forats i col·locació dels palpadors.....	72
Il·lustració 54: Vista general de l'assaig. Lectura indirecta superior de la cara 2 de la biga	73
Il·lustració 55: Posició de les cares.....	73
Il·lustració 56: Terminal de control i lectura de l'equip	77
Il·lustració 57: Transductor emissor sent copejat pel martell i així genera l'ona d'impacte	77
Il·lustració 58: Vistes generals de l'assaig des de diferents punts de vista. Lectura indirecta superior de la cara 2 de la biga.....	78
Il·lustració 59: Esquema general vibració longitudinal	83
Il·lustració 60: Esquema general vibració transversal o en flexió	84
Il·lustració 61: Equip complet de l'assaig.....	85
Il·lustració 62: Micròfon. Ordinador portàtil. Balança	85
Il·lustració 63: Introducció de dades. Petit cop de martell a la testa de la biga	86
Il·lustració 64: Vista general de l'assaig de vibració longitudinal.....	88
Il·lustració 65: Pantalla del software assaig PLG transversal	88
Il·lustració 66: Realització del cop de martell en la biga. Vista general de l'assaig de vibració transversal.....	89
Il·lustració 67: Pantalles de resultats software assaig PLG longitudinal. Biga 3 i 9.....	90
Il·lustració 68: Vista general del pòrtic amb una biga col·locada per començar l'assaig de deformació global.....	94
Il·lustració 69: Pont superior i cèl·lula de càrrega. Col·locació extensòmetre en l'assaig deformació global.....	94
Il·lustració 70: Suports inferior i superiors de les bigues en tos els assajos de deformació	95
Il·lustració 71: Equip informàtic. Panell de funcionament del pòrtic	95
Il·lustració 72: Penjadors per l'assaig de deformació local. Extensòmetre de càrrega, col·locat al costat del pistó hidràulic.....	95
Il·lustració 73: Vista frontal de l'assaig del mòdul d'elasticitat local en flexió	96
Il·lustració 74: Esquema general de l'assaig de deformació local a flexió	97
Il·lustració 75: Gràfica forces-deformacions en el tram elàstic	98
Il·lustració 76: Vista general de l'assaig del mòdul d'elasticitat global en flexió	98
Il·lustració 77: Esquema general de l'assaig de deformació global a flexió.....	99
Il·lustració 78: Col·locació de l'extensòmetre pel càlcul de les deformacions en l'assaig global a flexió. La primera foto la càrrega està actuant i en la segona la biga està en repòs.....	99
Il·lustració 79 : Biga sotmesa a una càrrega a punt d'arribar al moment de la ruptura a flexió. Moment on es produeix la ruptura de la biga	101

Il·lustració 80: Esquema general de l'assaig de ruptura a flexió	102
Il·lustració 81: Diferents ruptures de bigues	102

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1: Esquema de la classificació visual.....	13
Taula 2: Especificacions per la classificació de peces de secció rectangular amb amplada $b > 70$ mm. UNE 565444:2011	14
Taula 3: Detall de les singularitats de les bigues en el laboratori de totes les cares	23
Taula 4: Detall de les singularitats de les bigues a totes les cares sense guerxesa	24
Taula 5: Detall de les singularitats de les bigues a les cares vistes	25
Taula 6: Detall de les singularitats de les bigues a les cares vistes sense guerxesa.....	26
Taula 7: Comparativa bigues acceptades.....	26
Taula 8 Volums, masses i densitats de les mostres	31
Taula 9: Anàlisi de les densitats corregides.....	31
Taula 10: Volums, masses i densitats de les microprovetes corregides al 12% d'humitat.....	34
Taula 11: Densitats tangencials, radials i mitjanes corregides al 12% d'humitat	34
Taula 12: Profunditats de penetració del Pilodyn.....	37
Taula 13: Comparativa entre densitats predites i densitats de proveta.....	38
Taula 14: Forces d'extracció i densitats. Màquina arrencament de vis	44
Taula 15: Densitats mitjanes, desviacions estàndard i coeficients de variació.....	44
Taula 16: Densitats mitjanes, desviacions estàndard i coeficients de variació.....	45
Taula 17: Àrees, RR i densitats amb llurs errors absoluts	56
Taula 18: Comparativa dels resultats de les densitats	56
Taula 19: Àrees, RR i densitats amb llurs errors absoluts	58
Taula 20: Comparativa dels resultats de les densitats	58
Taula 21: Humitats pel mètode d'assecat amb estufa.....	62
Taula 22: Variació d'humitat segons la profunditat de penetració.....	64
Taula 23: Comparativa d'humitats	66
Taula 24: Mitjana aritmètica i el coeficient de variació de la velocitat de propagació de les diferents lectures de les ones ultrasòniques.....	74
Taula 25: Mitjana aritmètica i el coeficient de variació de la velocitat de propagació de les diferents lectures de les ones d'impacte.....	79
Taula 26: Resum comparativa dels resultats en l'obra i en el laboratori de l'assaig de les ones d'impacte en la obra	82
Taula 27: Dades finals de l'assaig PLG longitudinal i classes segons PLG longitudinal	90
Taula 28: Dades finals de l'assaig PLG transversal	91
Taula 29: Resum dels assajos a flexió.....	104
Taula 30: Taula resum dels mòduls d'elasticitat dinàmic amb el MOEG	104

ÍNDEX DE GRÀFICS

Gràfic 1: Freqüència de les singularitats de les bigues a totes les cares.....	24
Gràfic 2: Freqüència de les singularitats de les bigues a totes les cares sense guerxesa	24
Gràfic 3: Freqüència de les singularitats de les bigues a les cares vistes	25
Gràfic 4: Freqüència de les singularitats de les bigues a les cares vistes sense guerxesa.....	26
Gràfic 5: Densitats predites, densitats provetes i profunditats de Pilodyn.....	39
Gràfic 6: Densitats predites, densitats provetes i profunditats de Pilodyn.....	40
Gràfic 7: Densitats arrencament de vis - Densitat local	45
Gràfic 8: Densitats arrencament de vis - Densitat local	46
Gràfic 9: Densitat local - Força mitjana d'extracció.....	46
Gràfic 10: Gràfic d'Excel de la biga 2	52
Gràfic 11: Gràfiques de totes les bigues.....	54
Gràfic 12: Gràfics de les bigues 16 i 17 respectivament generats per Origin 8.....	55
Gràfic 13: Relació entre la Àrea gràfica i RR amb la Densitat.....	57
Gràfic 14: Comparativa de les humitats	66
Gràfic 15: Recta regressió lineal velocitat ultrasons lectura testa-testa i directa cara1-cara2.....	75
Gràfic 16: Recta regressió lineal velocitat ultrasons lectura testa-testa i directa cara2-cara1.....	75
Gràfic 17: Recta regressió lineal velocitat ultrasons lectura testa-testa i indirecta cara1.....	75
Gràfic 18: Recta regressió lineal velocitat ultrasons lectura testa-testa i indirecta cara2.....	76
Gràfic 19: Recta regressió lineal velocitat ones d'impacte lectura testa-testa i directa cara1-cara2...	80
Gràfic 20: Recta regressió lineal velocitat ones d'impacte lectura testa-testa i directa cara2-cara1 ...	80
Gràfic 21: Recta regressió lineal velocitat ones d'impacte lectura testa-testa i indirecta cara1	81
Gràfic 22: Recta regressió lineal velocitat ones d'impacte lectura testa-testa i indirecta cara2	81
Gràfic 23: Recta regressió lineal velocitats ones d'ultrasons i d'impacte en lectura testa-testa.....	82
Gràfic 24: Recta regressió lineal velocitats ones d'impacte en lectura testa-testa i vibracions longitudinals	92
Gràfic 25: Recta regressió lineal velocitats ones d'ultrasons en lectura testa-testa i vibracions longitudinals	92
Gràfic 26: recta de regressió lineal entre el mòdul d'elasticitat dinàmic per l'assaig de vibracions longitudinals i el MOEG	106
Gràfic 27: recta de regressió lineal entre la velocitat en m/s de l'assaig d'ones d'impactes i el MOEG en N/mm ²	107
Gràfic 28: recta de regressió lineal entre el mòdul d'elasticitat dinàmic en l'assaig de les vibracions transversals i la tensió a ruptura en N/mm ²	108

BIBLIOGRAFIA

LLIBRES I REVISTES

Acuña, L., Basterra, A., Casado, M., Pinazo, O. Técnicas de ensayo pseudo no destructivas en madera estructural mediante extracción de tornillos. Revista electrónica nº2. Recopar. Junio 2006.

Acuña, L., Casado, M., Garcia, M. Caracterización físico-mecánica del pinus pinaster ait. Procedencia sierra de Oña (Burgos), influencia del factor rectitud. E.T.S. ingenierías Agrarias, Palencia.

Acuña, L., Casado, M., Díez, R. Clasificación de Madera estructural de P. Pinaster Ait. Mediante ultrasonidos. E.T.S. ingenierías Agrarias, Palencia.

Acuña, L., Basterra, A., Casado, Pando, V., M., Vecilla, D. Determinación de la capacidad resistente de madera estructural de Pinus Sylvestris mediante PLG. Pag 3-4. 11º Congreso Español de END. Gijón 2007.

Adell, F.J., Arriaga, F., Hermoso, E., Richter, C. Comparison of the Spanish visual strength grading standard for structural sawn timber (UNE 56544) with the German one (DIN 4074) for Scots pine (Pinus sylvestris L.) from Germany. Springer-Verlag 2008.

Argüelles, R., Arriaga, F., Martínez, JJ. Estructuras de madera diseño y cálculo, AITIM, Madrid

Arriaga, F., Peraza, F, Esteban, M., Bobadilla, I. y García, F. Intervención en estructuras de madera. AITIM, Madrid

Arriaga, F., Peraza, F, Esteban, M. Madera aserrada estructural. AITIM, Madrid

Arriaga, F., Bobadilla, I., Esteban, M., Íñiguez, G. Estimación de la densidad de la madera aserrada de conífera mediante técnicas no destructivas de arranque de tornillos y penetrómetro y su aplicación en la estimación del módulo de elasticidad. Informes de la construcción vol.59, 506, 107-116. Abril-Junio 2007.

Arriaga, F., Bobadilla, I., Esteban, M., Íñiguez, G., Blazquez, I. Técnicas no destructivas de la madera I: El penetrómetro. Boletín de información técnica AITIM, n1 260, pag 66-71. 2009.

Divos, F. Portable Lumber Grader. Proceedings of the 13th International symposium on non-destructive testing of Wood. Berkeley, California, USA 2002.

Divos, F. Portable Lumber Grader: Software and hardware guide. Versión 2.0 Fakopp Enterprise. Disponible en: www.fakopp.com/site/download/PLG_Guide.pdf. 2011.

Divos, F. Acoustic tolos for seedling, tree and log selection. Edinburgh 2010.

Divos, F., Sismándy, K., Takats, P. Evaluation of historical wooden structures using nondestructive methods. SHATIS'11. Lisbon 2011.

Fernández-Golfin, J., Díez, M.R., Hermoso, E., Mier, R., Manual de clasificación de la madera, AITIM, Madrid.

Fernández-Golfin, J., Conde, M., Vega, L. Conceptos básicos de la construcción con la madera. Capítulo 0-5. Madrid: Construir con Madera (CcM) 2010.

Sandoz, J.L. Grading of construction timber by ultrasound. Wood Science and Technology, 23. Pag 95-108. 1989.

Weaver, W., Timoshenko. S.P., Young, D.H. Vibration problems in engineering. John Wiley & Sons Limited, 5th Edition, pag 610. 1990.

NORMATIVA

Código Técnico de la Edificación. DB SE-M. Ministerio de la Vivienda. Abril 2009.

UNE-EN 336:2003. Madera estructural dimensiones y tolerancias. Madrid: AENOR, 2003.

UNE-EN 338:2003. Madera estructural. Clases resistentes. Madrid: AENOR, 2003.

UNE-EN 384:2010. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. Madrid: AENOR, 2003.

UNE-EN 408:2011. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. Madrid: AENOR, 2011.

UNE-EN 844-1:1996. Madera aserrada y madera de rollo. Terminología. Parte 1: Términos generales comunes a la madera aserrada y a la madera en rollo. Madrid: AENOR, 1996.

UNE-EN 844-3:1996. Madera aserrada y madera de rollo. Terminología. Parte 3: Términos generales relativos a la madera aserrada. Madrid: AENOR, 1996.

UNE-EN 844-4:1997. Madera aserrada y madera de rollo. Terminología. Parte 4: Términos relativos al contenido de humedad. Madrid: AENOR, 1997.

UNE-EN 844-6:1997. Madera aserrada y madera de rollo. Terminología. Parte 6: Términos generales relativos a las dimensiones de la madera aserrada. Madrid: AENOR, 1997.

UNE-EN 844-7:1997. Madera aserrada y madera de rollo. Terminología. Parte 7: Términos relativos a la estructura anatómica de la madera. Madrid: AENOR, 1997.

UNE-EN 844-9:1997. Madera aserrada y madera de rollo. Terminología. Parte 9: Términos relativos a las singularidades de la madera aserrada. Madrid: AENOR, 1997.

UNE-EN 844-10:1998. Madera aserrada y madera de rollo. Terminología. Parte 10: Términos relativos a los hongos cromógenos y a otros ataques por hongos. Madrid: AENOR, 1998.

UNE-EN 844-11:1998. Madera aserrada y madera de rollo. Terminología. Parte 11: Términos relativos a la degradaciones originadas por los insectos. Madrid: AENOR, 1998.

UNE-EN 844-12:2001. Madera aserrada y madera de rollo. Terminología. Parte 12: Términos complementarios e índice general. Madrid: AENOR, 2001.

UNE-EN 1309-1:1997. Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de las dimensiones. Parte 1: Madera aserrada. Madrid: AENOR, 1997.

UNE-EN 1309-2:2007. Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de las dimensiones. Parte 2: Madera en rollo. Requisitos para la medida y reglas de cálculo del volumen. Madrid: AENOR, 2007.

UNE-EN 1912:2008 Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de calidades visuales y especies. Madrid: AENOR, 2008.

UNE-EN 13183-1:2002. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Determinación por el método de secado en estufa. Madrid: AENOR, 2002.

UNE-EN 13183-2:2002. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Estimación por el método de la resistencia eléctrica. Madrid: AENOR, 2002.

UNE-EN 13183-3:2005. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Estimación por el método capacitivo. Madrid: AENOR, 2005.

UNE 56544:2011. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural: Madera de coníferas. Madrid: AENOR, 2011.

UNE 56546:2011. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural: Madera de frondosas. Madrid: AENOR, 2011.

PROJECTES FINALS DE CARRERA I TESIS DOCTORALS

Escudero, A.; Dios, C. (2009). Desarrollo de técnicas no destructivas para la determinación de resistencia de madera estructural antigua. Projecte Final de Carrera. EPSEB. Universitat Politècnica de Barcelona.

Esteban Herrero, Miguel. Tesis Doctoral. (2002). Determinación de la capacidad resistente de la madera estructural de gran escuadría y su aplicación a las estructuras existentes de madera de conífera. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Director: Francisco Arriaga Martítegui.

Farràs, J.; Plensa, R. (2011). Caracterizació de la qualitat i les propietats de la fusta de pinus radiata D.Don procedent de Catalunya. Projecte Final de Carrera. EPSEB. Universitat Politècnica de Barcelona.

Hermoso, Eva. Tesis Doctoral (2001). Caracterización mecánica de la madera estructural de Pinus sylvestris L. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Director: Juan Ignacio Fernández-Golfín Seco.

Íñiguez Gonzalez, Guillermo. Tesis Doctoral. (2007). Clasificación mediante técnicas no destructivas y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Director: Francisco Arriaga Martítegui.

Montón Lecumberri, Joaquín. Tesis Doctoral. (2012). Clasificación estructural de la madera de Pinus radiata D.Don procedente de Cataluña mediante métodos no destructivos y su aplicabilidad en la diagnosis estructural. Universitat Politècnica de Barcelona, Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona. Directores: Francisco Arriaga Martítegui (UPM) Jaume Avellaneda i Díaz Grande (UPC).

PÀGINES WEB

AITIM: www.infomadera.net

Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR): www.aenor.es

FAKOPP Enterprise Bt: www.fakopp.com

Concept Bois Technologie: www.cbt-cbs.com

RINNTECH: www.rinntech.com

Proceq (NDT Systems): www.proceq.com

The American Society for Nondestructive Testing: www.asnt.org

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino: www.mma.es

Institut Català de la Fusta: www.incafust.org

Maquinaria para la clasificación automática: www.microtec.eu

CONFEMADERA. Construir con Madera (CcM): www.confemadera.es

AGRAÏMENTS

No volíem acabar aquest treball sense abans agrair a tots els companys i amics que ens han estat ajudant al llarg de tot el Treball Final de Grau.

En primer lloc als nostres tutors Joaquín Montón i Edgar Segués per haver-nos acompanyat durant totes les fases del projecte, engrescant-nos en tot moment.

A Francisco Arriaga, i els seus companys de la *Cátedra de Cálculo de Estructuras del instituto de Montes de la UPM*, pel seu constant assessorament per dur a terme els diferents assajos i per cedir-nos material de laboratori per poder completar l'anàlisi de les bigues amb diferents equips d'assaig.

A tot el personal del Laboratori de Materials de l'EPSEB per obrir-nos les seves instal·lacions i la seva permanent disponibilitat per donar-nos un cop de mà.

A Gràcia Moncho, pel suport i paciència incondicional al llarg de tota aquesta aventura.

A David Colomar, per les seves fotografies i ajudes constants principalment durant els assajos de flexió i ruptura.

A Mireia Alcón, per la seva paciència i la seva gran ajuda alhora de fer les traduccions, imprescindibles en els últims moments.

A Rubèn Plensa, pels seus consells de com portar un projecte i a les seves classes magistrals per fer els assajos de PLG.

A les nostres famílies i amics que ens han sabut aguantar al llarg d'aquest projecte, amb tot el que això comporta.

I finalment a tots vosaltres i els que en algun moment o d'altre ens heu donat un cop de mà.

Moltes gràcies,

Jordi i Xavi

ANNEX 1

En aquest annex consta la part de la memòria que hem traduït al anglès, per complir el requisit de la llengua estrangera.



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

BUILDING ENGINEERING

Final Project

DETERMINATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD BY THE COMBINATION OF DIFFERENT TECHNIQUES

Designers: Xavier Alcón Latorre
Jordi Sallent Aguilera
Directors: Joaquin Montón Lecumberri
Edgar Segués Agasca

Official

Announcement: October of 2012

INDEX

The Building site work	3
Determination of physical and mechanic properties of the wood	6
Visual Classification	7
Definition.....	7
Criteria of Acceptance	7
Equipment	9
Methodology	9
Photomontage.....	10
Register of data	10
Knots.....	11
Fissure	12
Slope of Grain	13
Waney arris	14
Deformations of the parts.....	15
Biological Alterations	15
Other Singularities.....	16
Results	17
Visual classification in the laboratory (all sides)	17
Visual classification on site (seen sides).....	19
Analysis of results.....	20
Laboratory	21
Preparation of specimens:	21
Equipment:.....	21
Methodology	21
Resultats.....	23
Density of the specimen.....	24
Definition.....	24
Equipment	24
Methodology	24
Results	25
Density of micro specimens	26

Definition	26
Equipment	26
Methodology	26
Results	28
Determination of density with indirect methods. Penetrometer	29
Definition	29
Equipment	29
Methodology	29
Results	30
Index illustration.....	36
Index Table	37
Index Graphic.....	38

THE BUILDING SITE WORK.

The starting point of this project is marked by its development and also, its analysis of the assays and processes. This file begins in an analysis which took place in a building where the seventeen beams of the present project were located. The building is in 38, Amàlia Street, in the middle of el Raval in Barcelona. See Illustration 1.

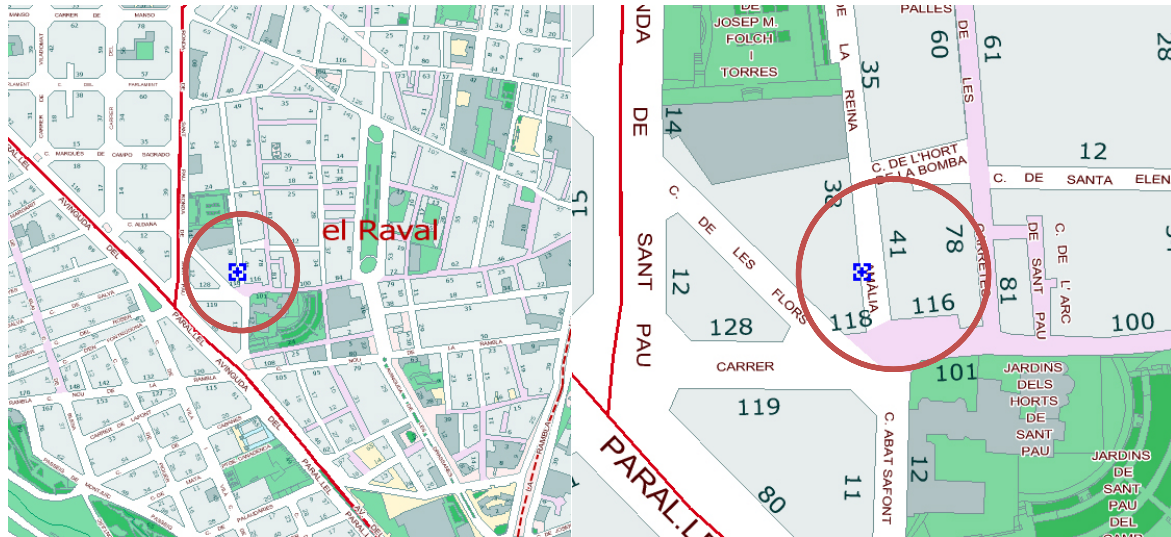


Illustration 1: Building location



Illustration 2: Outside view of the building

This building was partially demolished (foundation was kept) and, finally, it was totally restored. Before this take place, the whole EPSEB group, led by professor Joaquin Montón, analysed the beams.

In a building, every single structural element is subjected to stress and outside agents which, both, produce some damages over the time and intensity. If suitable pre-diagnosis and diagnosis can be executed those damages can be minimized, or even removed. Obviously, every element has a limited functionality even though it has been undergone to a properly preservation. Particularly, wooden beams are building elements which are subjected to great stress and outside effects which both can speed up their useful life.

In the last decades, heterogeneity of wood and its mechanic, physical and chemical behavior have led to a vast and accurate research which have contributed with a huge amount of results such as classification of wood, properties, rules, etc. Due to these parameters wood can be classified and quantified according to a variety of values. However, wood has lost prominence in building structures, we must keep in mind that there is, nowadays, a lot of this material in a big amount of buildings. The knowledge of wood by those parameters mentioned before let us generate a clear diagnosis for qualification and comparative assays in a laboratory. In fact, that was our purpose in the work.

With laboratory tools and EPSEB team we could put into practice some assays which we will detail gradually.

1. The beams were numbered and their geometry registered. This is essential to reach any diagnosis as you can see from Illustration 3 to Illustration 6.
2. Humidity registers by a xilohigrometer.
3. Measurement of beam's density using a penetrometer
4. With a Resistograph the beams were drilled. The device drew up some graphics where we could analyse the resistance of the material to drilling. That is a part of another study about beam's density.
5. We did an acoustic assay with the Microsecond Timer, an electronic device which measures the time the wave takes from the transmitter (a hammer impact) to the receiver. Thanks to this value we can establish the wave's speed of propagation in the beam ant the dynamic modulus elastic. We took two assays: semi direct and indirect.
6. Cylindrical micro samples were extracted by using a drill rig and bit crown.

Once all this work was done. All the beams were taken out and carried to the EPSEB laboratory were all the assays took place.



Illustration 3: Numeration of the beams



Illustration 4: Register of beams geometry. Humidity of beams. Assay with the Resistograph



Illustration 5: Extraction of cylindrical micro samples



Illustration 6: General view of acoustic assay of the waves of impact

DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANIC PROPERTIES OF THE WOOD

In order to use wood in building structures its physical and mechanic properties must be fixed.

These values can be fixed by visual classification or by different automatic Systems. Devices which takes profit of the relationship between the rigidity and the resistance by using load tests no destructives. Next group uses acoustic assays, and the third one both or even visual classification.

VISUAL CLASSIFICATION

DEFINITION

The visual classification of wood is done according to the regulation UNE 56544:2011 “Visual classification of sawn timber for structural use. Coniferous wood”. In which the singularities of wood are established in order to classify a piece as structural timber. In this new regulation, there are several criteria regarding acceptance of a piece of wood.

It is based on the observation of singularities, their size and localization and the number of times they appear on each piece. This allows the assignation of the visual quality and from this, the class of resistance.

There are several classifications of dimensions, which can be given according to the singularities of the pieces. Table 1.

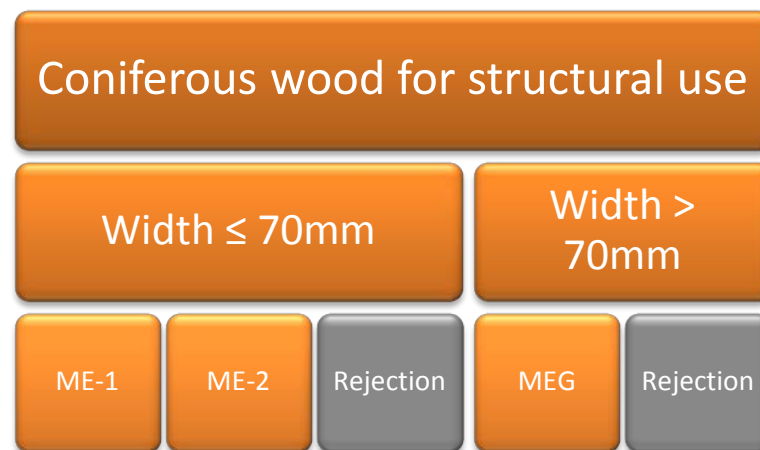


Table 1: Scheme of the visual classification

Given that our beams had over 70 mm of thickness, our classification was between MEG, which stands for “Madera Estructural Gruesa escuadría” in Spanish, and the Waste. This distinction between thickness over and below or equal to 70 mm was based on the new regulation UNE 565444:2011, as it was not present in former versions.

Width and thickness were defined as the larger and smaller dimensions of a transversal section of the piece, respectively. Different criteria regarding the characteristics of wood were considered when wood was either wet or dry.

CRITERIONS OF ACCEPTANCE

The criteria of acceptance of structural timber with thick squared are stated on the regulation UNE 565444:2011. Table 2 .

Tabla 3 – Especificaciones para la clasificación de piezas de sección rectangular con anchura $b > 70$ mm

CRITERIOS DE CALIDAD		MEG
DIÁMETRO DE LOS NUDOS SOBRE LA CARA (h)		$d \leq 2/3$ de "h"
DIÁMETRO DE LOS NUDOS SOBRE EL CANTO (b)		$d \leq 2/3$ de "b"
ANCHURA MÁXIMA DEL ANILLO DE CRECIMIENTO ⁽¹⁾ – Pino silvestre – Pino laricio – Pino gallego y pinaster – Pino insigne (radiata)		Sin limitación Sin limitación Sin limitación Sin limitación
FENDAS	De secado ^{(2) (3)}	$f \leq 3/5$ Las fendas de contracción sólo se consideran si su longitud es mayor que la menor de las dimensiones siguientes: 1/4 de la longitud de la pieza y 1 m.
	– Rayo – Heladura – Abatimiento	No permitidas
ACEBOLLADURAS		No permitidas
BOLSAS DE RESINA y ENTRECASCO		Se admiten si su longitud es menor o igual que $1,5 \cdot "h"$
MADERA DE COMPRESIÓN		Admisible en 2/5 de la sección o de la superficie externa de la pieza
DESVIACIÓN DE LA FIBRA		1:6 (16,7%)
GEMAS – longitud – dimensión relativa		$\leq 1/3$ de "L" $g \leq 1/3$
MÉDULA ⁽¹⁾		Admitida
ALTERACIONES BIOLÓGICAS – Muérdago (<i>V. album</i>) – Azulado – Pudrición – Galerías de insectos xilófagos		– No se admite – Se admite – No se admite – No se admiten
DEFORMACIONES MÁXIMAS ^{(2) (3) (4) (5)} – Curvatura de cara – Curvatura de canto – Alabeo – Abarquillado		20 (10) mm (para una longitud de 2 m) 12 (8) mm (para una longitud de 2 m) 2 (1) mm (por cada 25 mm de "h") (para una longitud de 2 m) sin limitación
<p>(1) Estos criterios sólo se consideran cuando se comercializa en húmedo.</p> <p>(2) Estos criterios no se consideran cuando la clasificación se efectúa en húmedo.</p> <p>(3) Referidas a un 20% de contenido de humedad.</p> <p>(4) Pueden aceptarse deformaciones mayores siempre que no afecten a la estabilidad de la construcción (porque puedan corregirse durante la fase del montaje) y exista acuerdo expreso al respecto entre el suministrador y el cliente.</p> <p>(5) Se toman los valores más exigentes indicados entre paréntesis, cuando la calidad MEG de lugar a una clase resistente superior a C18.</p>		

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD POLITECNICA MADRID

Table 2: Specifications for sorting pieces of rectangular section with width $b > 70$ mm. UNE 56544:2011

EQUIPMENT

The equipment used in order to perform the visual classification were mainly equipment of track and measure.

- 5 meters flexometer with precision of 1 millimeter.
- Ruler to measure of fiberglass length of 2 meters with precision of 1 millimeter.
- Sheet 0,2 millimeters thick.
- Caliper gauge with precision of 1 millimeter
- Aluminum rule.
- Tracer to mark the turning of wood fiber.
- Punch metal with plastic handle.

METHODOLOGY

Throughout this work we distinguished between the methods performed in the laboratory and those methods performed directly on the building site. And the visual classification did the same.

Only the lowest angle of a beam can be seen when it is already in the emplacement. This part of the beam, which usually corresponds to half of the lower part of both side h1 and h2, is named b2 throughout this work. See Illustration 7.

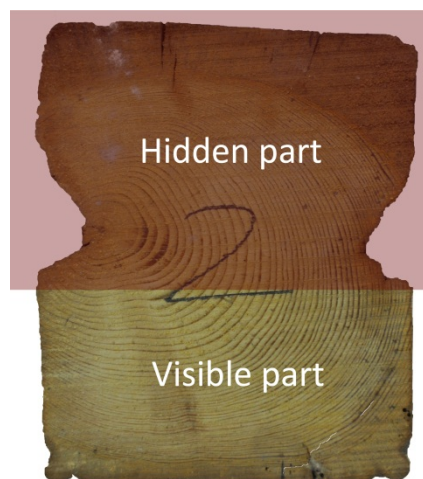


Illustration 7: Both parts of a beam

We considered that the shown part of the beam started at the marks that the beam had to put up the ceramic pieces of small vault.

The visual classification was performed considering the length of the beam as 20 times the angle of it, previously cut using a band saw. This allowed the corresponding comparison between the results obtained in this classification and those obtained in the breakage and bending tests.

The beams included in the study were obtained from a building, in which they had been painted. For this reason, cleaning of beam surfaces was required before classifying the beams,

PHOTOMONTAGE

The photomontage of each side of the beams allowed us to perform a virtual analysis of them based on our data. See illustration 8.



Illustration 8: Photographs of the beam 2

The images were processed using an image editor that allowed us to remove the background leaving therefore only the beams.

REGISTER OF DATA

In order to make easier the use of the register of data, we used a template and a graphic scale for each beam following the scheme shown in Illustration 9. The result is shown in Illustration 10.

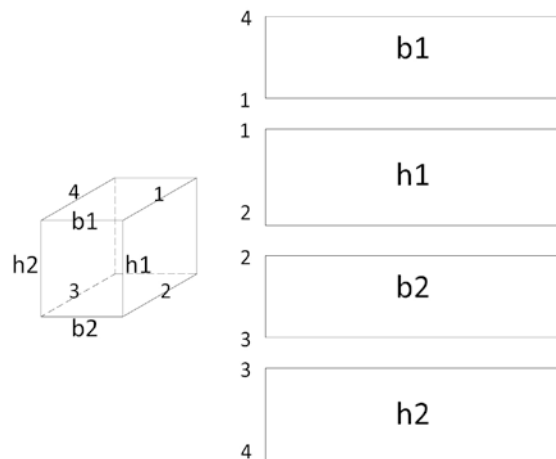


Illustration 9: Distribution of the sides of beam in the template.

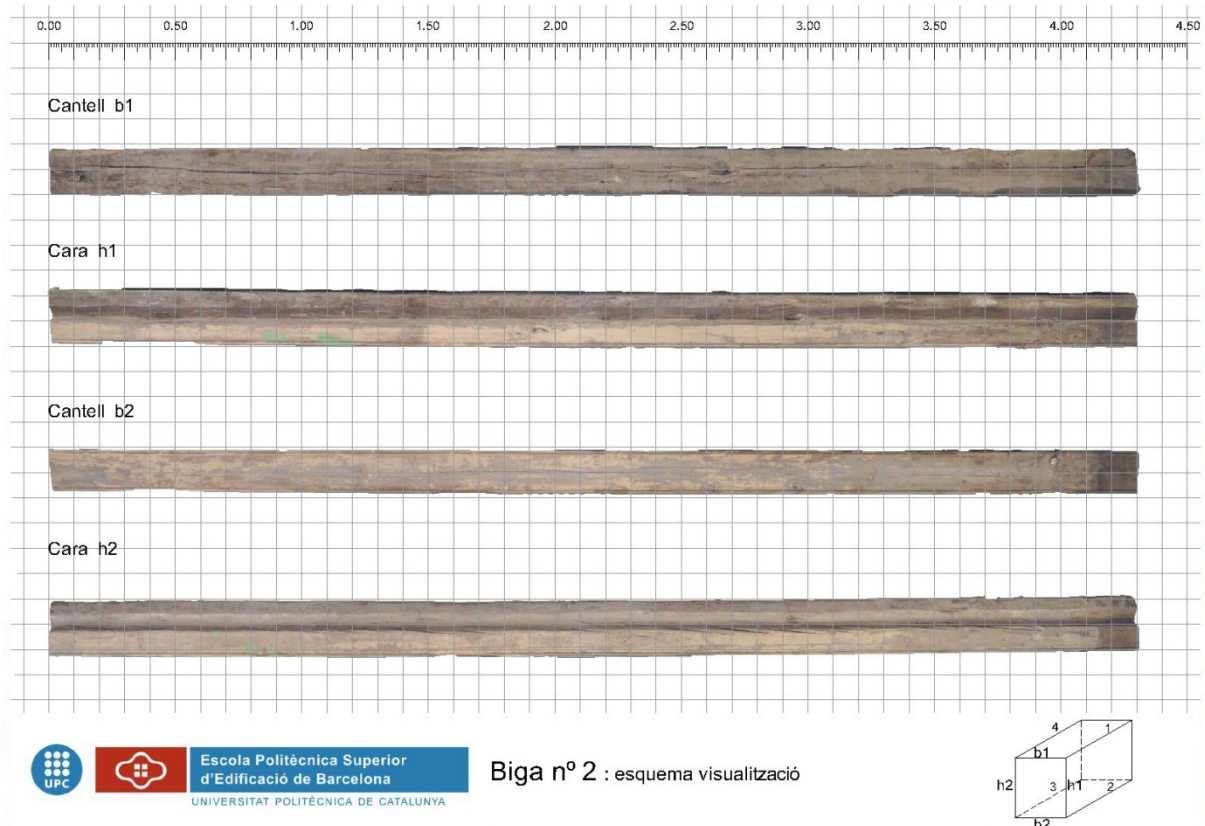


Illustration 10: Display template beams

We used a spread sheet to register all data and the template so as not to skip any singularities of the beam. All singularities based on the regulations UNE 565444:2011 were also registered. It should be highlighted that some singularities may have been unnoticed because they might be hidden within the beam section.

KNOTS

We should always bear in mind that wood comes from trees, which are constituted by trunks and branches. Consequently the presence of knots in wood is inevitable, as they are the origin of branches and therefore they are embedded when trunks grow.

There are different kind of knots, depending on their shape and location within the piece. Other characteristics are also considered, such as the level of adherence, the presence of rottenness, the place where the trunk was cut...

Regarding the resistance of wood, it is important to consider the slope of grain that has taken place when embedding the knot. This singularity is show in Illustration 11.

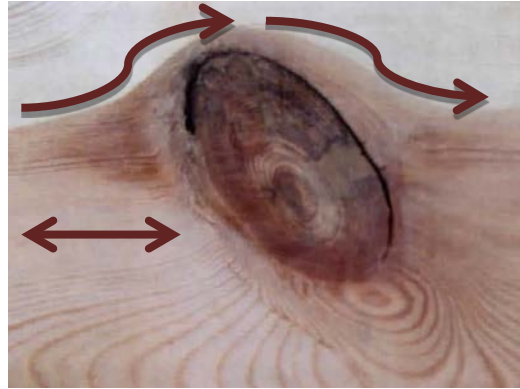


Illustration 11: A knot considered partially adhered according to the guide to classify wood

Once the beams were on the supports, their dimensions as well as the diameters of all knots were registered. Taking a mark previously cut as a reference for length, distances of all knots to the squared end were also recorded. All lengths were recorded in millimetres following the measuring criterion shown in Illustration 12.

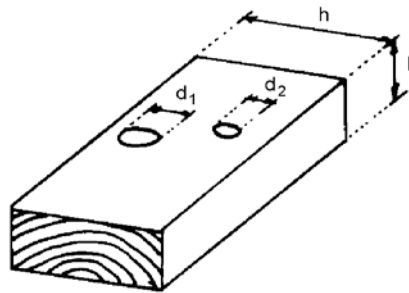


Illustration 12: Measuring criterion of knots. UNE 565444:2011

FISSURE

Fissure is defined as the separation of fibers following a longitudinal line. They are usually included in pieces that have a squared considerable, and they are due to different contractions of wood that take place between radial and tangential lines.

The shrinkage of the wood is between 50% and 60% smaller in the radial line than in the tangential line. Illustration 13 shows a discontinuous fissure present in one of our beams.

The presence of the fissures is more apparent when the piece is drier and the section of wood is bigger. Both situations usually happen in beams with a bigger squared.

Length was measured in all fissures that had over one millimetre of thickness. This was measured by using a flexible sheet of 0,2 millimetres. We also considered whether to fissure was continuous (only one) or discontinuous (several fissures separated by only few fibers). This fact was considered of relevance because pronounced flexion could communicate different fissures and act as just a fissure.



Illustration 13: Discontinuous fissure

SLOPE OF GRAIN

The next study was the slope of grain. This can be local, as in the case of a knot, which is not taken into account in the Standard, or general, which is the fiber's inclination in relation with the longitudinal axis of the piece.

This slope is due, among other factors, to the conical form of trees' trunks. This fact turns into some inclinations on the sides of the wood once it has been squared.

Another factor that can lead to the slope of grain being higher than what we could consider as acceptable is the twisty growth of the trunk. This can be seen in Illustration 14



Illustration 14: Spiral grain

In order to measure the slope of grain, a tracer was used. A tracer is a sharp end attached to a handle that allows the rotation of that sharp end. This rotation allows to follow and mark the direction of the grain in the piece. Note that this line marked in the piece can not go through specific points with singularities such as knots, since this would alter the outcome. The Standard so provides.

Once one meter length line was marked, it was measured its slope in relation with the beam direction, as shown in Illustration 15.

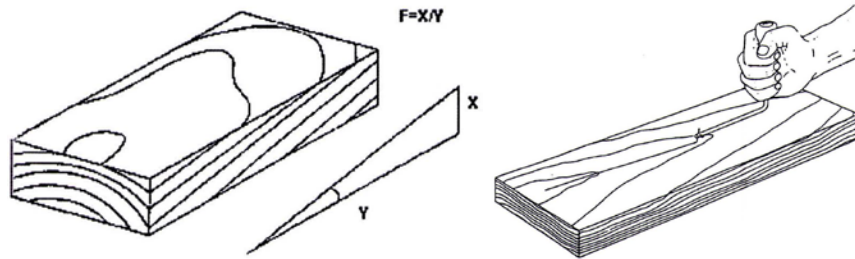


Illustration 15: Slope of grain measurement

WANEY ARRIS

Waney arris is the rounded surface of an original trunk, with or without bark, which appears on the edges of the piece of lumber.

The reason for the appearance of waney arris is to maximize the section of the trunk, it is obvious that the conicity of the trunk is the major cause of the occurrence of waney arris. Illustration 16.



Illustration 16: Waney arris marked with white chalk

Two factors are analysed from waney arris. Illustration 17:

- Its length, which should not exceed 1/3 of the length of the beam.
- The cross section from the "g" coefficient. The Standard provides this must be $\leq 1/3$.

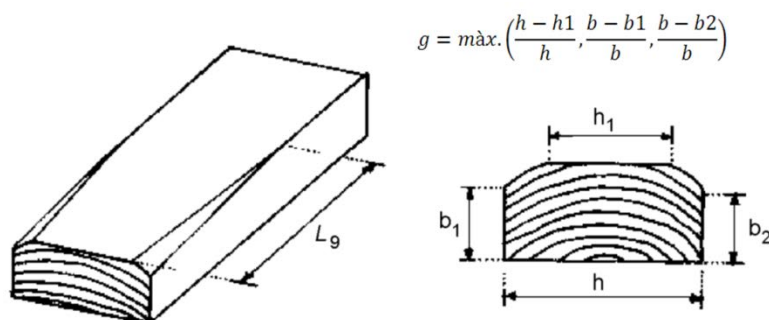


Illustration 17: Measurement and analysis of waney arris. UNE 565444:2011

DEFORMATIONS OF THE PARTS

There are three types of deformations in large squared lumbers. Illustration 18:

- Face sweep
- Edge sweep
- Twist

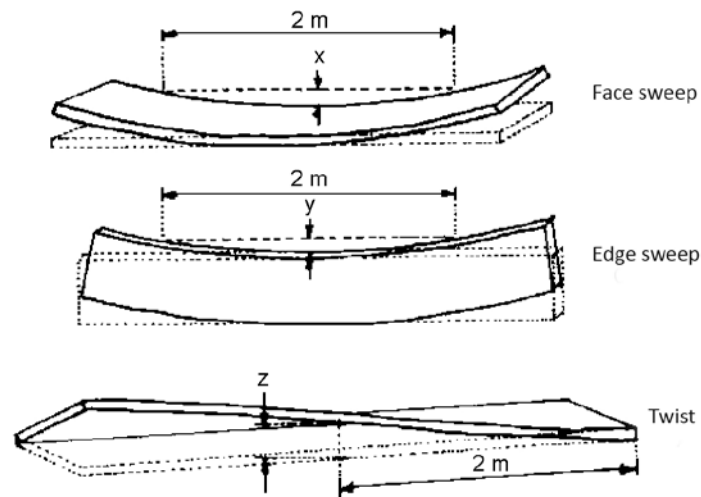


Illustration 18: Deformation of the parts. UNE 565444:2011

It was used an aluminium section to measure and quantify the deformation degree of the beams. This tool was used as a ruler, so it allowed to measure sweeps, and as a flat surface, so it allowed to measure twist. In addition, a meter was used to quantify the results following the outline of the figure above.

BIOLOGICAL ALTERATIONS

The Standard provides as biological alterations the following:

Mistletoe, a parasitic plant that causes slope of grain. Blue stain, which is a chromogenic fungus that just changes the appearance of wood but procures wood being attacked by other fungi. Rot, which is caused by fungi that seriously alter wood structure and destroy it, to a greater or lesser degree. Illustration 19.



Illustration 19: Cubical rot

Finally, xylophagous insects that live in the wood and ate it while constructing galleries; these will have a higher or lower diameter depending on the insect species. Illustration 20.



Illustration 20: Galleries, sciure and *Hylotrupes bajulus* droppings

Blue stain is the only alteration accepted, probably because it only affects the external appearance of the wood and does not its strength.

Although, according to the Standard, it is only necessary to determine whether alterations exist or not they were analysed after a visual inspection. First, an awl was nailed to determine the approximate depth of rot. Then, it was identified the type of rot and xylophagous when possible and it was written down on the worksheet.

OTHER SINGULARITIES

Apart from alterations mentioned above, the Standard provides other singularities such as Illustration 21:

- Ladles
- Resin pocket
- Bark pocket
- Compression wood

Ladles, bark pockets and compression wood were not found in any part of the beam. One resin pocket was found in its inner part, but this was located outside of 20h, therefore this was not taken into account. It would have been accepted if considering its dimension.



Illustration 21: Resin pocket

RESULTS

Following the proposed methodology, the analysis of data was made considering two aspects: one that only considers what could be seen in an in situ diagnosis, that is visible parts of the beam; and other that considers the analysis of the whole beam (seen and hidden parts), which had to be done at the laboratory.

Finally, once the whole data was revealed, a comparative analysis was done.

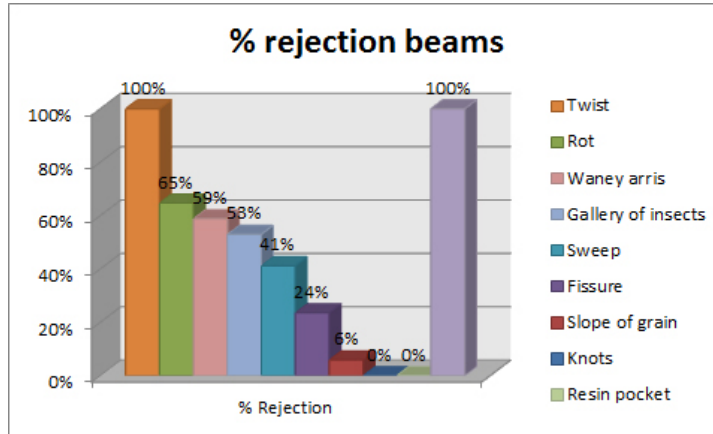
VISUAL CLASSIFICATION IN THE LABORATORY (ALL SIDES)

Once the results were written down in our spread sheet, criteria provided by standard UNE 565444:2011 was applied in Chart 3: Details revealed in the laboratory of beams' characteristics in all of their faces; from here, data was analysed. Charts and graphics were used to better analyse data, they helped to evaluate the batch of beams overall.

Beam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Knots	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Slope of grain	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Rot	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓
Fissure	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Sweep	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓
Twist	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Gallery of insects	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓
Waney arris	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗
Resin pocket	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ladles	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Table 3: Details revealed in the laboratory of beams' characteristics in all their faces

According to the Standard and as it is written down in Table 3, all the beams should have been rejected, since all of them had a twist degree higher than that allowed.



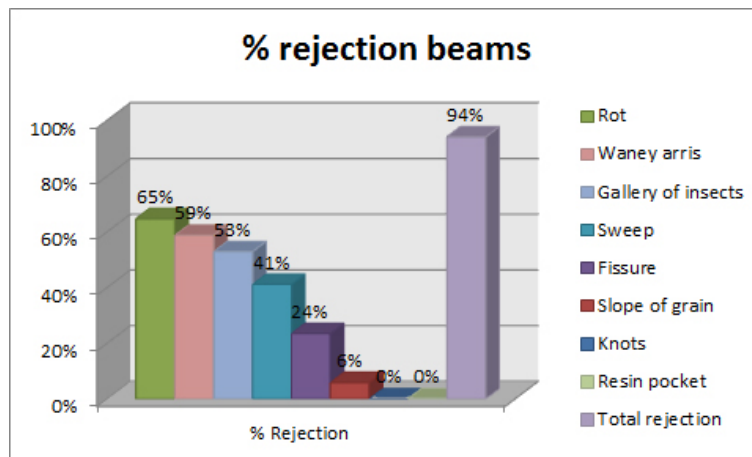
Graphic 1: Frequency of beams' singularities in all their faces

As can be seen in Graphic 1, all beams were rejected by its pronounced twist that exceeded the standards. Therefore, it was decided to analyse them again obviating twist.

Beam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Knots	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Slope of grain	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Rot	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓
Fissure	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Sweep	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓
Gallery of insects	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓
Waney arris	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗
Resin pocket	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ladles	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Table 4: Detail of beams' singularities in all their faces without twist

Once twist was avoided, Table 4 shows that beam 14 is the only one admitted, so the improvement was rather scarce and the percentage of rejected beams is 94%. Graphic 2: Frequency of beams' singularities in all their faces without twist.



Graphic 2: Frequency of beams' singularities in all their faces without twist

VISUAL CLASSIFICATION ON SITE (SEEN SIDES)

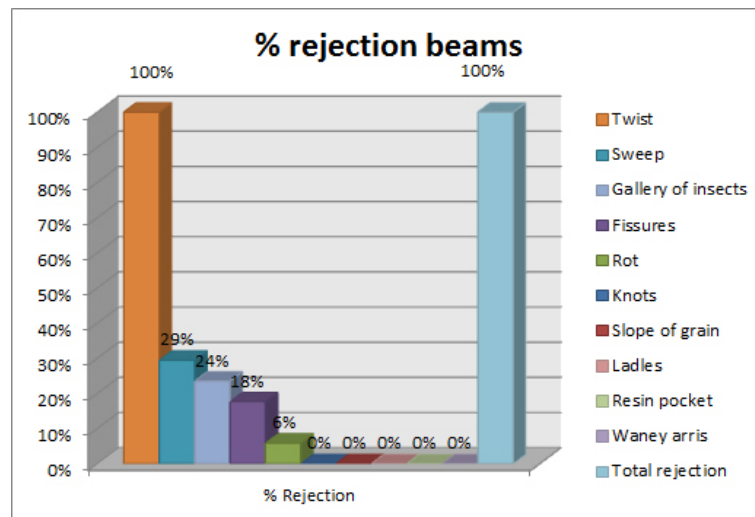
As mentioned before, data was also analysed using parameters that could be obtained from a diagnosis on site, that is to say, analyzing the underside and lower halves of the beam’s edges. Predictably, fewer singularities were found analyzing half, so the acceptance rate also improved. Moreover, it has to be taken into consideration that the bottom is the part usually chosen by the carpenter, since it is the best for moldings, with no waney arris, less knotty or with small knots.

Same method of analysis is followed to make easier this new interpretation and comparison.

Beam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Knot	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Slope of grain	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Rot	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fissures	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Sweep	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Twist	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Gallery of insects	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Waney arris	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Resin pocket	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ladles	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Table 5: Detail of beams’ singularities in seen faces

As it is clearly seen in Table 5: Detail of beams’ singularities in seen faces, the factor that makes impossible to accept any of the beams is, again, warping, which is present in all beams. However, looking at the frequency bar chart Graphic 3, it is clearly seen that rot is still present with a 29%.

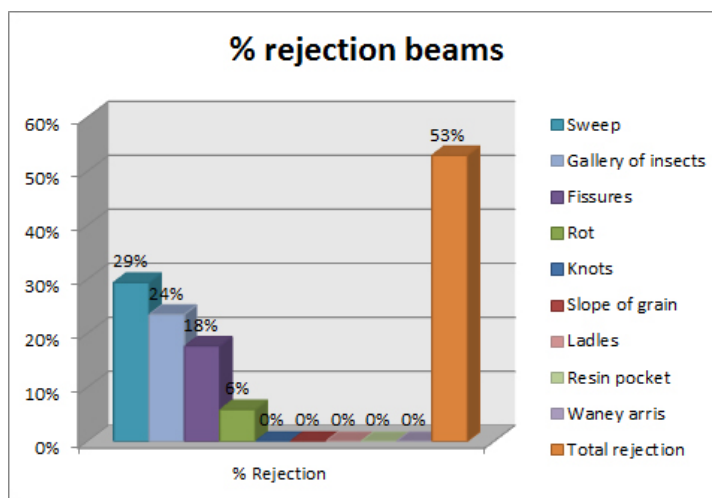


Graphic 3: Frequency of beams’ singularities in seen faces

For the same reason mentioned before, beams were re-analysed without taking into consideration warping. Therefore, the analysis went from the initial results in which all beams were rejected, to consider 8 beams as MEG. Table 6.

Beam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Knots	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Slope of grain	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Rot	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fissures	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Sweep	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Gallery of insects	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Waney arris	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Resin pocket	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ladles	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Table 6: Detail of beams’ singularities in seen faces without twist



Graphic 4: Frequency of beams’ singularities in seen faces without twist

ANALYSIS OF RESULTS

Next and taking into consideration data obtained, the comparison of both cases is analysed.

Accepted beams UNE 565444:2011 according to regulations	Comparative			
	Laboratory		Diagnosis	
according to regulations	0	0%	0	0%
according twist	1	6%	8	47%

Table 7: Comparison of accepted beams

As can be seen in Table 7, according to the Standard, any beams should have been accepted if they have been made of new wood, and it could not be accepted any of them taking only into consideration the information provided by seen faces. However, another very different thing would have happened if beams would have not been warped, since in a diagnosis and without taking into consideration any other data, 47% of beams would have been accepted; however, a whole analysis of the beams in the laboratory revealed that only the 6% should be accepted.

LABORATORY

Throughout the project we have worked with four different types of samples:

- Beams cut to a length of 20h.
- Entire section of beams to Resistograph trials.
- Cubic specimens of 10 x 10 x 10 cm to remove the moisture, drying the specimens and density.
- Micro specimens to extract density.

The beams were needed that size to perform most of the test, as can be seen throughout the work. The wood pieces were allowed to analyze the graphs of the Resistograph. The cubic specimens allowed us to remove the wood density to study, with much less margin of error than if we had done with his own beam to the difficulty of calculating its volume. And micro specimens have been thinking about its usefulness in the diagnosis.

PREPARATION OF SPECIMENS:

DEFINITION

In order to make different test we had to prepare several samples, the samples will be used in more than one trial and it is for this reason that has been explained in this section in which is related how they were prepared.

The samples prepared are about 100x100x100mm.

EQUIPMENT:

For the realization of this work were used different machines and hand tools for carpentry of the high school called "La Pineda". All these machines are called conventional machines:

- Band saw
- Planer
- Thicknessing machine
- Electric mitre saw

METHODOLOGY

We started from the pieces that were left when we cut the beams to a length of 20h, which were loaded into a van to transport it to the factory wood of the High school "La Pineda" of Badalona, where he gave facilities to prepare the samples.

The first thing we did was with the help of a metal detector and hand tools: chisel, screwdrivers, hammer, pliers... remove all the nails that were nailed to the beams, this work was very laborious work because most of these nailed were completely rusted and stuck in the wood, which had to be broken into pieces when trying to remove.

The first thing he did was with the help of a metal detector and hand tools: chisel, screwdrivers, hammer, pliers ... remove all the nails that were nailed to the beams, this work was very laborious work since most of these keys were completely rusted and stuck in the wood, which had to be broken into pieces when you try to remove. Illustration 22.



Illustration 22: Extraction hole of a rusty nail

Once we had the wood clean of nails, it was cut with a band saw at the length of the pieces in order to get a piece of 60cm which consist of 10 x 10cm of squared. The, from the part of the wood that we wanted to draw the piece, was cut a face that would allow us to avoid the bloodletting and specifics of the beam to remove a piece as clean as possible. Then, supporting the cutting face of the beam in the frame of the saw tape, it was cut a face closer so that we had an angle more or less good. Now go missing recently cut face by the machine to act, which will do a flat and polished surface, once we have the face in conditions, we supported it making the edge, in addition to being flat and polished, was also perpendicular to the face. Finally it was only to put the guide in the saw in order to draw pieces with more or less the same width and making them to plane, in the thicknessing machine. What this machine does is to polish a parallel face to another at predetermined extent, in our case was these that we had left flat and perpendicular to each other, so we have a regular bar with the same size between faces and also between edges.

Now we only have to go to the electric mitre saw and take a piece of 10cm., long. This process can be seen in Illustration 23.



Illustration 23: Details of the sample preparation process and final state of the saw

RESULTATS

The result was different samples of 10 x 10 x 10cm of each one of the beams. In the Illustration 24 we can see the samples before being cut by the thickening machine and after being cut.



Illustration 24: Samples before and being cutting long

DENSITY OF THE SPECIMEN

DEFINITION

Given the difficulty of cubing with guarantees a complete section of the beam, because it is not a regular form and it is not maintained throughout the beam, it was decided to take one of the cube-shaped specimens, which will facilitate things. The density we want to extract in this section is that we all use to compare other densities, that is, for us it will be our reference density.

EQUIPMENT

The equipment that we used to determine the density are:

- A digital calliper with an accuracy of 0.01mm
- A balance accurate to 0.01g

METHODOLOGY

The methodology that was followed is very simple. First was measured and scored three dimensions of length, width and thickness of the piece in a spreadsheet that we had prepared for us to give the volume of the sample. Illustration 25.



Illustration 25: Measured and weight of the specimens

$$V = \frac{(L \cdot A \cdot G)}{1 \cdot 10^9}$$

Where:

V is the volume in m^3

L is the length of the sample in mm

A is the width of the sample in mm

G is the thickness of the sample in mm

The next step was to weigh the sample on the scale and record the result in the spread-sheet that gave us the result in kg/m^3 using the following formula:

$$\rho = \frac{(m/(1 \cdot 10^3))}{V}$$

Where:

ρ is the density of the sample in kg/m^3

m is the mass of the sample in g

V is the volume of the sample in m^3

RESULTS

In Table 8 presents the different densities in a table that exists in these samples, as we can see the average density is 517.43 and are distributed over a range that goes from the maximum density of 668.22 to minimum density of 417.35.

	Length	Wide	Width	Volume	Mass	Density	% Humidity	Density 12%
Beam 1	100,24	100,05	100,02	0,00100	533,55	531,90	11,6%	532,85
Beam 2	100,76	100,16	100,07	0,00101	674,85	668,22	15,5%	656,53
Beam 3	100,93	100,11	100,03	0,00101	532,61	526,96	12,0%	526,94
Beam 4	101,21	100,11	100,08	0,00101	435,64	429,62	13,2%	427,01
Beam 5	100,96	100,11	100,04	0,00101	464,49	459,38	12,1%	459,25
Beam 6	100,83	100,07	100,13	0,00101	500,23	495,12	12,8%	493,23
Beam 7	100,56	100,08	100,11	0,00101	491,13	487,47	12,2%	487,03
Beam 8	100,57	100,08	99,95	0,00101	515,25	512,18	10,8%	515,17
Beam 9	100,53	99,96	99,95	0,00100	419,64	417,80	13,0%	415,80
Beam 10	99,96	100,07	100,18	0,00100	435,10	434,19	12,4%	433,32
Beam 11	100,28	99,95	100,04	0,00100	559,84	558,33	14,8%	550,60
Beam 12	101,24	100,04	99,93	0,00101	602,48	595,28	14,1%	588,88
Beam 13	100,60	99,87	99,57	0,00100	544,44	544,24	12,2%	543,60
Beam 14	101,02	100,10	99,95	0,00101	595,74	589,43	12,6%	587,68
Beam 15	99,75	101,91	100	0,00102	535,90	527,17	13,9%	522,17
Beam 16	100,62	99,82	99,81	0,00100	603,22	601,73	13,5%	597,10
Beam 17	100,82	99,98	100,05	0,00101	420,90	417,35	12,5%	416,29
Average	100,64	100,15	99,99	0,00101	521,47	517,43	12,9%	514,91

Table 8: Volumes, masses and densities of the samples

In Table 9 we present the numerical analysis of the data to facilitate the reading and interpretation of the data in Table densities.

Density 12%	Maximum	Minimum	Average	Sd	C.V
	656,53	415,80	514,91	70,03	14%

Table 9: Analysis of the corrected density

DENSITY OF MICRO SPECIMENS

DEFINITION

As mentioned before one of the objectives of this work is to test, in moderation as possible 17 beams, the relationship between different systems that there are in order to define a parameter. Given the parameters that can be set on site and what we need to remove the beam and do the work in a laboratory, that it is why we have decided to watch what we say micro specimens in order to determine the density although it is a moderately destructive system.

What we call micro specimens are small cylinders that are extracted from the beam with the help of a drill and a drill bit to the crown that removing the drill core that acts as a guide. Illustration 26.



Illustration 26: Drill bit and micro specimens

EQUIPMENT

The equipment are required for this test were:

- To prepare micro specimen
 - A horizontal drill
 - Drill bit of 16mm diameter
 - Spindle moulder
 - A disc saw of 25cm diameter
- To measure and weigh the micro specimen
 - Laboratory scales with an accuracy of 0.001g
 - Digital calliper with an accuracy of 0.01mm

METHODOLOGY

To make easier micro specimens became the first hole with a drill horizontal to facilitate the extraction with the help of the spindle moulder cut that limit the depth of the hole and thus was open the cylinder to extract micro specimens. Clearly, this system cannot be made as a visit to work, but what we want to see is the reliability of the results.

Of each sample was removed in a tangential direction is marked in blue with the number of the beam and the other in the radial direction is marked in red.

To prevent changes in humidity once the specimens were gradually taken keeping in airtight bags and we were getting out. Illustration 27.



Illustration 27: Preparing micro specimens

Once we have had the micro specimens done we proceeded to measure its dimensions with an accuracy of 0.01mm and weighing scales with precision 0.001g.



Once we had already done what has remained is to calculate its volume and then weighed to calculate the density.

To calculate the volume we have done with the following formula:

$$V = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot L}{1 \cdot 10^9}$$

Where:

V is the volume in m^3

r is the radius of the micro specimen in mm

L is the length of the sample in mm

And calculate the density we used the following formula:

$$\rho = \frac{(m/(1 \cdot 10^3))}{V}$$

Where:

ρ is the density of the sample in kg/m^3

m is the mass of the sample in g

V is the volume in m^3

RESULTS

In Table 10 are exposed all densities were calculated, details of which were obtained in respect of micro specimen tangential, radial, and the average of the two, which is the data that is given as well.

	Tangential					Radial					Density Average	Den. Ave. 12%
	Lenght	Diameter	Mass	Density	Den. 12%	Lenght	Diameter	Mass	Density	Den. 12%		
1	39,77	11,48	2,091	507,95	508,86	39,5	11,56	2,191	528,49	529,43	518,22	519,14
2	39,66	11,68	2,504	589,26	578,95	39,5	11,74	3,029	708,40	696,00	648,83	637,48
3	39,32	11,64	2,293	548,02	547,99	39,53	11,79	2,352	545,00	544,97	546,51	546,48
4	39,37	11,64	1,963	468,55	465,71	39,58	11,66	1,937	458,32	455,54	463,44	460,63
5	39,32	11,54	2,059	500,66	500,51	39,71	11,75	2,38	552,73	552,56	526,69	526,53
6	39,77	11,71	2,397	559,64	557,50	39,34	11,77	2,233	521,69	519,69	540,66	538,59
7	39,39	11,64	2,419	577,10	576,58	39,4	11,64	2,212	527,59	527,11	552,34	551,84
8	39,36	11,92	2,373	540,26	543,42	39,82	11,49	2,191	530,65	533,76	535,46	538,59
9	39,54	11,61	1,904	454,86	452,68	39,25	11,75	1,971	463,11	460,89	458,98	456,78
10	39,54	11,71	1,95	457,92	457,01	39,57	11,74	1,86	434,23	433,36	446,08	445,19
11	39,78	11,39	2,313	570,65	562,76	39,77	11,7	2,401	561,53	553,76	566,09	558,26
12	39,3	11,75	2,607	611,76	605,19	39,54	11,83	2,713	624,24	617,53	618,00	611,36
13	39,2	11,69	2,24	532,41	531,79	39,56	11,61	2,381	568,52	567,86	550,47	549,83
14	39,44	11,55	2,331	564,09	562,42	39,47	11,69	2,284	539,15	537,55	551,62	549,98
16	39,06	11,52	2,519	618,73	613,98	39,36	11,7	2,704	638,98	634,07	628,86	624,03
17	39,29	11,59	1,889	455,71	454,55	39,34	11,61	1,827	438,68	437,56	447,20	446,06

Table 10: Volumes, masses and densities of the micro specimens corrected at 12% of moisture

To facilitate analysis of the data we calculated the maximum and minimum data for each type of density and standard deviation and coefficient of variation. Table 11.

Density 12%	Maximum	Minimum	Average	Sd	C.V
D. Tangential	613,98	452,68	532,49	53,55	10%
D. Radial	696,00	433,36	537,60	71,30	13%
D. Average	637,48	445,19	535,05	59,80	11%

Table 11: Tangential, radial and average densities corrected at 12% of moisture

DETERMINATION OF DENSITY WITH INDIRECT METHODS.

PENETROMETER

DEFINITION

The penetrometer is a device consisting of a spring that drives the tip of the device to a particular strength of 6 joules, to drive this pin with a force as always, we measure the variable surface hardness of the wood.

The penetrometer that was used is known commercially by the name of Pilodyn6, and it is used with different aims, the first would be to look at the phytosanitary state of the trees, it is also used to determinate the extent of biotic attacks doing various test throughout the beam, so by comparing the depths of a healthy zone with others which are not, we can get an idea of what the real state of the beam and the last use that made in this paper: what is the estimate of the density of our beams.

EQUIPMENT

The equipment for carrying out the test is penetrometer Pilodyn 6J Proceq company. As you can see in Illustration 28, consists of a mechanism that drives the pin through a metal spring that makes it penetrate in the wood. The depth of penetration of the pin can be seen in the window is a graduate of Pilodyn graduated with an accuracy of 1mm.



Illustration 28: Pilodyn 6J of Proceq Company

The trial of the penetrometer is considered a non-destructive test of metering, which as mentioned above depends on the surface hardness of the wood that tends to be closely associated with density although there is a variation among the species of wood.

L'assaig del penetròmetre es considera una tècnica no destructiva de mesura puntual, que com ja hem comentat abans depèn de la duresa superficial de la fusta que acostuma a estar íntimament relacionada amb la densitat, variant això sí, entre cada espècie de fusta.

METHODOLOGY

The test consists of releasing a spring compressed with an energy of 6 joules, pushing a needle of 2.5 mm diameter, causing it to become stuck in the wood, and then measuring the depth of penetration through the window of reading, as shown in the Illustration 29.

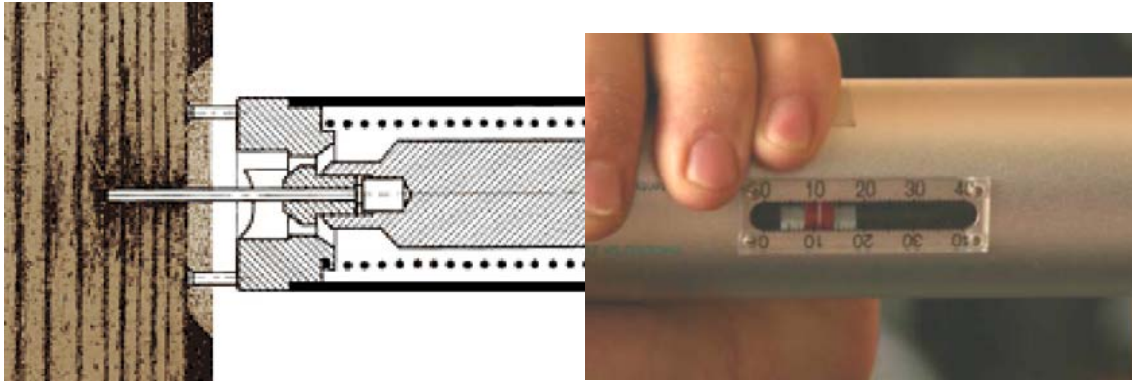


Illustration 29: Mechanism Pilodyn and reading data

Following the scheme of work in which he was trying to shed some light on the validity of the tests and comparisons with a diagnosis approach to reality that we can work in the laboratory, having seen all sides of the beam. We performed the test taking 4 steps to beam in two and two facing the side of the beam.

For each face was done a reading in the tangential direction of the wood and the other in the radial direction of the growth rings of the wood, as we can see in the Illustration 30. Values that we have applied to the mean and the last is the fact that we gave as good.

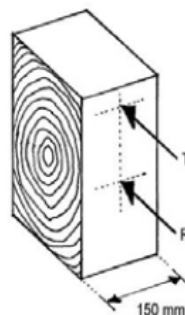


Illustration 30: Diagram of the radial and tangential reading positions

RESULTS

Measurements of penetration that gives the Pilodyn are often difficult to interpret, because despite being linked with surface hardness penetration of the pin, which was intended to deduce was the density of the beam. In Table 12 shows the depth of penetration.

	Depth of penetration						
	Seen edge			Hidden edge			Total Average
	Tangential	Radial	Average	Tangential	Radial	Average	
Bean 1	14,5	14,5	14,5	15	17	16	15,25
Bean 2	12	19	15,5	16	14	15	15,25
Bean 3	14	15	14,5	11,5	12	11,75	13,13
Bean 4	14	17	15,5	15,5	20	17,75	16,63
Bean 5	13	14	13,5	11	12	11,5	12,50
Bean 6	13	13	13	18	24	21	17,00
Bean 7	11,5	17	14,25	14	16	15	14,63
Bean 8	15	14	14,5	14	14,5	14,25	14,38
Bean 9	15	14,5	14,75	19,5	20	19,75	17,25
Bean 10	15	17	16	19	20	19,5	17,75
Bean 11	18	18,5	18,25	24	21,5	22,75	20,50
Bean 12	10	12	11	13	15	14	12,50
Bean 13	14	16	15	14,5	13,5	14	14,50
Bean 14	13	16,5	14,75	21	14,5	17,75	16,25
Bean 15	13	15	14	16	22	19	16,50
Bean 16	11,5	14	12,75	14	13	13,5	13,13
Bean 17	18,5	16	17,25	20	18	19	18,13
Average	13,82	15,47	14,65	16,24	16,88	16,56	15,60

Table 12: Depths of penetration of the Pilodyn

That's why he went to the thesis "Clasificación mediante técnicas no destructiva y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural" (G. Iñiguez) which gave us as a result of their tests a regression line with a correlation coefficient of $R^2 = 0.59$ that was related to the density of the specimen with the depth of penetration of Pilodyn. The equation of the line is:

$$Den_{loc} = 771.91 - 19.03 \cdot Prof_{med} - 63.19$$

Where:

Den_{loc} is the local density of the slice at humidity of 12%

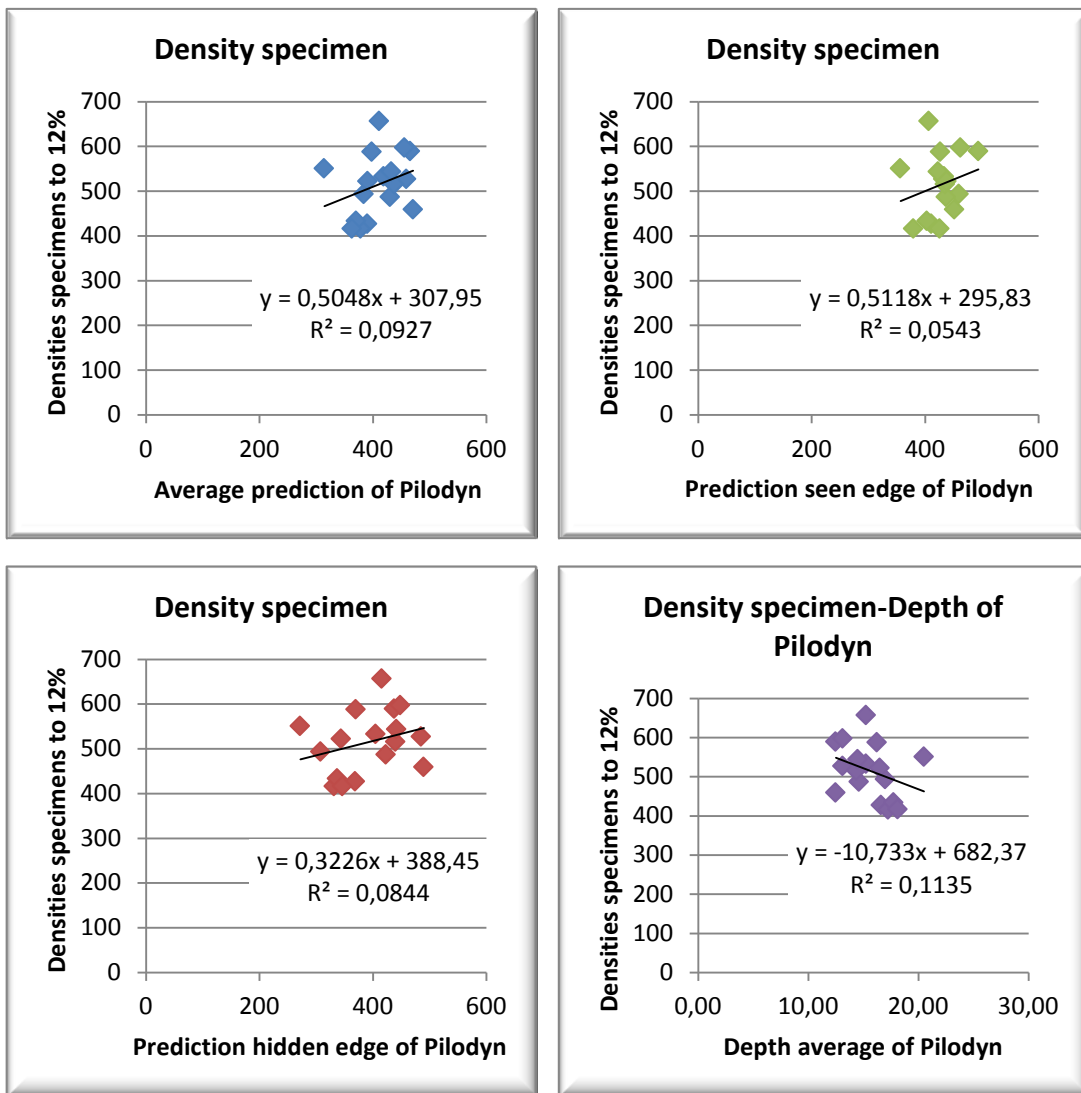
$Prof_{med}$ is the penetration depth in mm (average reading between the radial and tangential)

Then, we show the Table 13 with data of the estimated densities from the depth of the penetration in the seen edge, hidden edge and the average between both estimated densities and the real densities taken from the specimens and corrected to 12% of humidity with a correction of 0.5% for every 1% of wood moisture, increasing the density at lower humidity of 12% and decreasing in proportion to the higher humidity.

	Density regression line Iñiguez						Specimen density at 12%
	Seen edge		Hidden edge		Average		
	Density	Den. 12%	Density	Den. 12%	Density	Den. 12%	
Bean 1	433	434	404	405	419	419	533
Bean 2	414	407	423	416	419	411	657
Bean 3	433	433	485	485	459	459	527
Bean 4	414	411	371	369	392	390	427
Bean 5	452	452	490	490	471	471	459
Bean 6	461	460	309	308	385	384	493
Bean 7	438	437	423	423	430	430	487
Bean 8	433	435	438	440	435	438	515
Bean 9	428	426	333	331	380	379	416
Bean 10	404	403	338	337	371	370	433
Bean 11	361	356	276	272	319	314	551
Bean 12	499	494	442	438	471	466	589
Bean 13	423	423	442	442	433	432	544
Bean 14	428	427	371	370	399	398	588
Bean 15	442	438	347	344	395	391	522
Bean 16	466	463	452	448	459	455	597
Bean 17	380	379	347	346	364	363	416
Average	430	428	394	392	412	410	515

Table 13: Comparison between predicted densities and density specimen

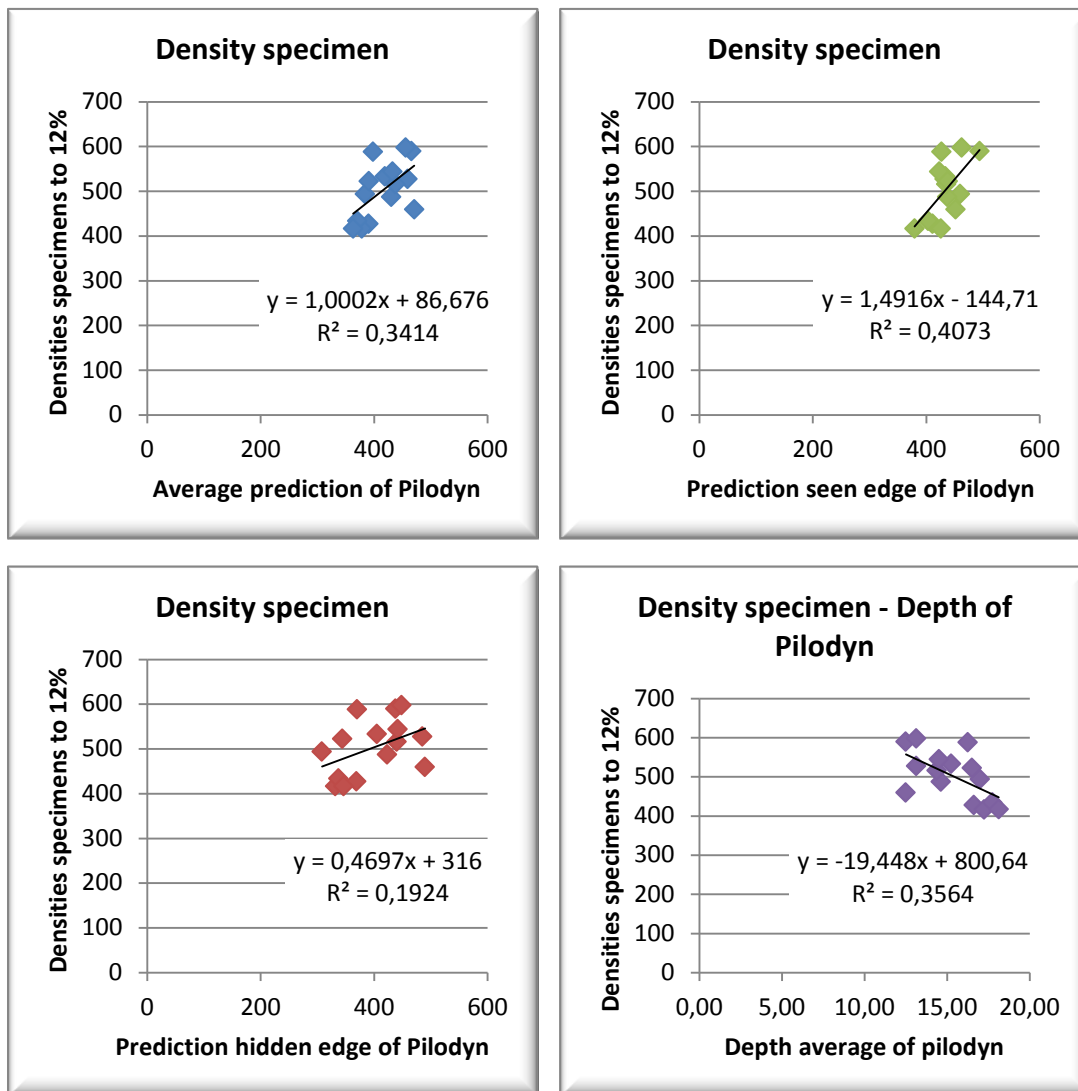
As we can see in the Table 13, the predicted results with the regression line of the doctoral thesis of G. Iñiguez and the results of the real density have an average of 105km/m³ higher than expected, approaching more to the case of the seen edge readings. Finally analyzing data was indented to make a graphic tracking of dispersion of points with it's thank straight and coefficients of correlation squared, to make conclusions in the above data. And finally, a graph that relates the deep middle with densities adjusted to 12 %.



Graphic 5: Predicted densities, densities of specimens and depths of Pilodyn

As can be drawn from Graphic 5 and correlation coefficients correlation between predicted and actual density is very low, a fact which increases if we make a comparison between the depths and densities.

Having seen the poor results of the graphs we have decided to re-analyze the data excluding the two beams that are furthest from the line, which in addition are also those with higher humidity, in order to see if we can give a regression line that may be used in diagnosis. Graphic 6.



Graphic 6: Predicted densities, densities and depths of specimens of Pilodyn

There is a fact that if we look at the mean density of the edges of the seen and unseen edge separately as opposed to the density of the sample, we find that the closest are the readings made at the edge seen, which is still be somewhat logical because we believe it is normal to have a significantly better surface hardness of the wood on the sides that are permanently ventilated and are less likely to retain some water infiltration, which makes them less likely to be fungi, as seen in the visual classification.

We analyzed the latest graphics in which was annulled two beams that were further from the line, and also we can see the correlation of the prediction of the seen edges with the density of the sample is better, which shall not be considering the beams 2 and 11 in our study.

So, with our beams of equation of the regression line with $R^2=0.41$ is the following:

$$Den_{loc} = 1,4916 \cdot Prof_{med} - 144,71$$

Where:

Den_{loc} is the local density of the slice at humidity of 12%

$Prof_{med}$ is the penetration depth in mm (average reading between the radial and tangential seen edge).

INDEX ILLUSTRATION

Illustration 1: Building location	3
Illustration 2: Outside view of the building	3
Illustration 3: Numeration of the beams.....	5
Illustration 4: Register of beams geometry. Humidity of beams. Assay with the Resistograph	5
Illustration 5: Extraction of cylindrical micro samples	6
Illustration 6: General view of acoustic assay of the waves of impact.....	6
Illustration 7: Both parts of a beam.....	9
Illustration 8: Photographs of the beam 2	10
Illustration 9: Distribution of the sides of beam in the template.....	10
Illustration 10: Display template beams.....	11
Illustration 11: A knot considered partially adhered according to the guide to classify wood.....	12
Illustration 12: Measuring criterion of knots. UNE 565444:2011	12
Illustration 13: Discontinuous fissure	13
Illustration 14: Spiral grain	13
Illustration 15: Slope of grain measurement.....	14
Illustration 16: Waney arris marked with white chalk	14
Illustration 17: Measurement and analysis of waney arris. UNE 565444:2011	14
Illustration 18: Deformation of the parts. UNE 565444:2011	15
Illustration 19: Cubical rot.....	15
Illustration 20: Galleries, sciure and <i>Hylotrupes bajulus</i> droppings	16
Illustration 21: Resin pocket.....	17
Illustration 22: Extraction hole of a rusty nail	22
Illustration 23: Details of the sample preparation process and final state of the saw	23
Illustration 24: Samples before and being cutting long	23
Illustration 25: Measured and weight of the specimens.....	24
Illustration 26: Drill bit and micro specimens.....	26
Illustration 27: Preparing micro specimens.....	27
Illustration 28: Pilodyn 6J of Procead Company.....	29
Illustration 29: Mechanism Pilodyn and reading data	30
Illustration 30: Diagram of the radial and tangential reading positions	30

INDEX TABLE

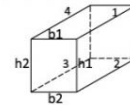
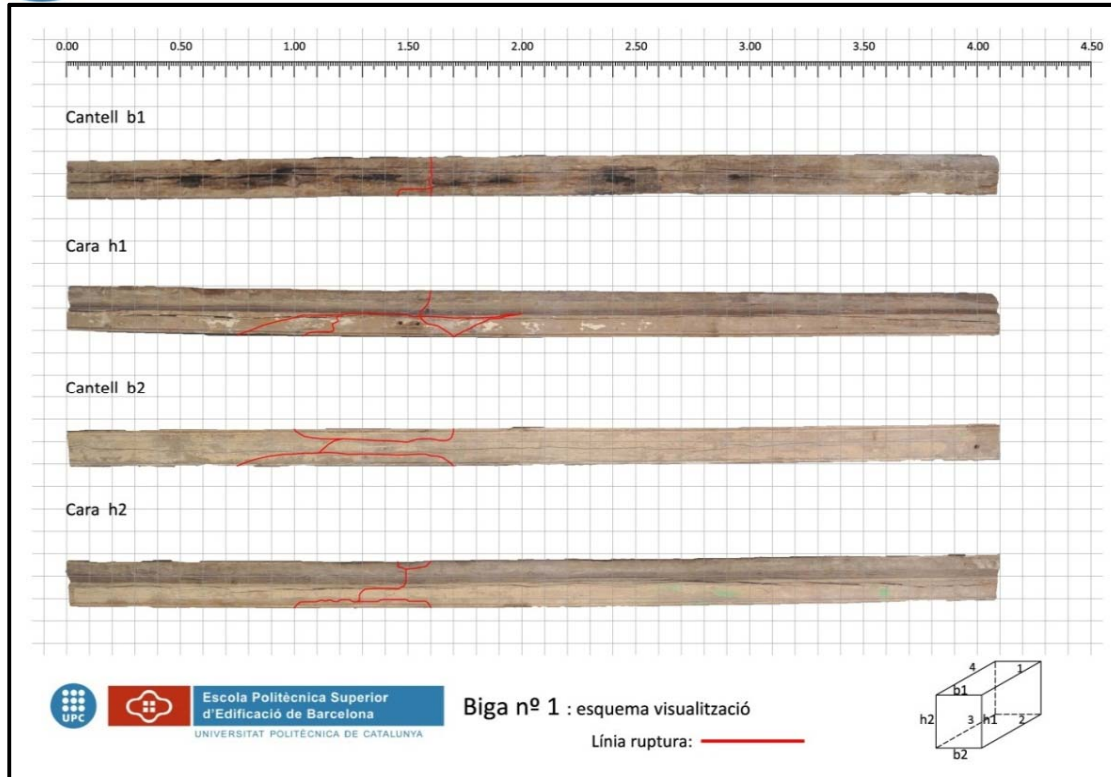
Table 1: Scheme of the visual classification	7
Table 2: Specifications for sorting pieces of rectangular section with width $b > 70$ mm. UNE 565444:2011	8
Table 3: Details revealed in the laboratory of beams' characteristics in all their faces	17
Table 4: Detail of beams' singularities in all their faces without twist	18
Table 5: Detail of beams' singularities in seen faces.....	19
Table 6: Detail of beams' singularities in seen faces without twist	20
Table 7: Comparison of accepted beams	20
Table 8: Volumes, masses and densities of the samples	25
Table 9: Analysis of the corrected density	25
Table 10: Volumes, masses and densities of the micro specimens corrected at 12% of moisture	28
Table 11: Tangential, radial and average densities corrected at 12% of moisture.....	28
Table 12: Depths of penetration of the Pilodyn.....	31
Table 13: Comparison between predicted densities and density specimen	32

INDEX GRAPHIC

Graphic 1: Frequency of beams' singularities in all their faces	18
Graphic 2: Frequency of beams' singularities in all their faces without twist	18
Graphic 3: Frequency of beams' singularities in seen faces.....	19
Graphic 4: Frequency of beams' singularities in seen faces without twist	20
Graphic 5: Predicted densities, densities of specimens and depths of Pilodyn	33
Graphic 6: Predicted densities, densities and depths of specimens of Pilodyn.....	34

ANNEX 2

En aquest annex hem afegit les fitxes en que es descriu les bigues, i llurs propietats de forma que serveix de recolzament del treball i d'ajuda per qui vulgui estudiar a fons el seu contingut i aprofundir en el mateix.



Dades generals biga				
Long. (mm)	h (mm)	203,00	Humitat %	Massa (kg)
4096,00	b (mm)	174,00	12,8%	69,42

Dades generals proveta				
Llarg (mm)	Ample (mm)	Gruix (mm)	Humitat %	Massa (gr)
100,24	100,05	100,02	11,6%	533,55
Densitat	531,90	Dens. 12%	532,85	

Dades generals Microproveta					
	Llarg	∅	Massa (gr)	Densitat	Dens. 12%
Tangencial	39,77	11,48	2,091	507,95	508,86
Radial	39,5	11,56	2,19	528,49	529,43
Mitjana				518,22	519,14

Nusos (mm) segons UNE 56544:2011													Clivelles (mm) segons UNE 56544:2011						
Nusos	Distància	170	190	275	760	1035	1045	1325	1595	1650	1788	2065	2065	Clivelles	Longitud	4096	Clivella discontinua al llarg de tota la biga		
Cara h1	∅	36	34	17	17	25	18	12	38	20	34	25	20	Cara h1	Profuditat	57			
Nusos	Distància	770	1012	1277	1597	1800	2769	3080						Clivelles	Longitud	4096	Clivella discontinua al llarg de tota la biga		
Cantell b1	∅	25	32	30	35	25	35	14						Cantell b1	Profuditat	50			
Nusos	Distància	10	240	440	745	1065	1010	1635	1653	2035	2228	3015	3058	3335	3930				
Cara h2	∅	11	20	45	35	35	15	35	20	45	30	28	15	30	20	Clivelles	Longitud	0	Clivella discontinua al llarg de tota la biga
																Cara h2	Profuditat	4096	
Nusos	Distància	65	458	665	1325	2508	3000	3320	3493						Clivelles	Longitud	54	Clivella discontinua al llarg de tota la biga	
Cantell b2	∅	30	19	20	18	19	28	25	18						Cantell b2	Profuditat	4096		



Sema (mm) segons UNE 56544:2011				Deformacions	Curvatura	Guexesa	Podridura		Galeria d'insectes		Desviació de la fibra	
Cara h1	140	Aresta 1	1300	Cara h1	1	8	Cara h1	No	Cara h1	No	Cara h1	7,06%
Cara h2	170	Aresta 2	0	Cara h2	3	6	Cara h2	No	Cara h2	No	Cara h2	1,00%
Cantell b1	130	Aresta 3	0	Cantell b1	4	1	Cantell b1	No	Cantell b1	No	Cantell b1	0,00%
Cantell b2	174	Aresta 4	420	Cantell b2	5	2	Cantell b2	No	Cantell b2	No	Cantell b2	1,30%

Resum UNE 56544:2011

Nusos	Admès
Desviació de la fibra	Admès
Podridura	Admès
Clivelles	No admès
Curvatura	Admès
Guexesa	No admès
Galeries d'insectes	Admès
Sema	Admès

Assajos NO destructius

Profunditats de penetració (mm)

Pilodyn

	Cantell vist	Cantell ocult
Tangencial	14,5	15,0
Radial	14,5	17,0
Mitjana	14,5	16,00

Arrencament de vis

Força d'arrencament (KN)

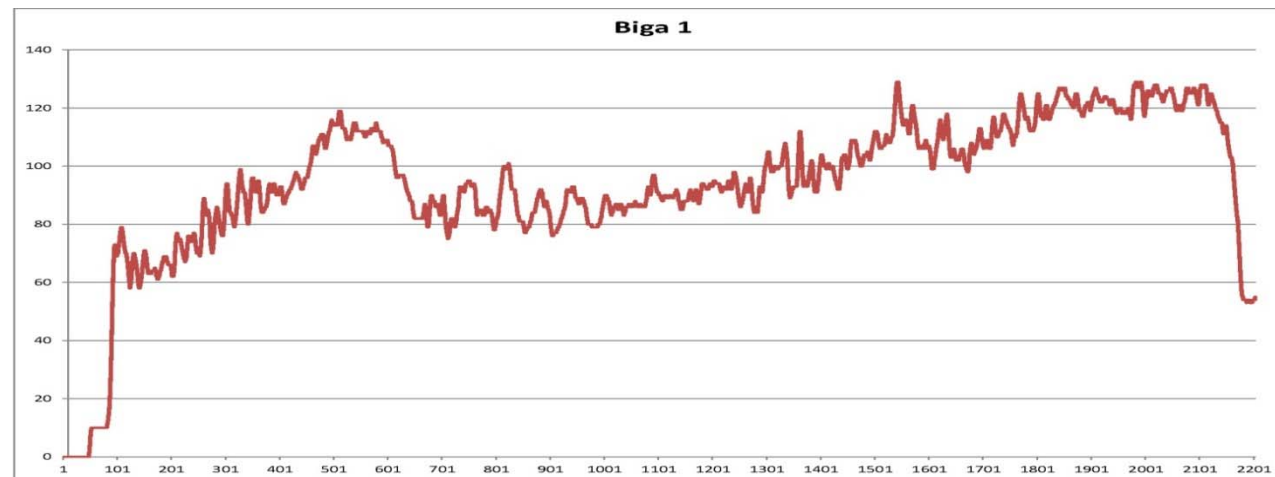
Tangencial	1,60
Radial	1,71
Mitjana	1,66
Densitat (kg/m ³)	475,51

Resistògraf

Àrea	2073,40
Resist. Relat.	94,09
Dens. Area	526,30
Dens. RR	514,86



Testa de la biga





Assajos NO destructius. Mètodes acústics.

Assajos d'ones d'ultrasòniques (Sylvatest-Duo) i d'ones d'impacte (Microsecond Timer)

Velocitats (m/s) E.din (N/mm ²)	Ultrasons	Impacte	12%	Ultrasons	Impacte	
Lectura directa	Velocitat	5016,53	5291,31	Velocitat	5048,64	5333,64
Testa-testa	E.din	13385,59	14892,10	E.din	13557,48	15131,32
Lectura Semidirecta	Velocitat	4973,68	4925,46	Velocitat	5005,51	4964,87
Cara1-Cara2	E.din	13157,87	12903,99	E.din	13326,83	13111,28
Lectura Semidirecta	Velocitat	4829,23	4882,08	Velocitat	4860,14	4921,13
Cara2-Cara1	E.din	12404,68	12677,67	E.din	12563,97	12881,32
Lectura Indirecta	Velocitat	4826,95	5351,49	Velocitat	4857,84	5394,31
Cara1	E.din	12392,97	15232,82	E.din	12552,11	15477,52
Lectura Indirecta	Velocitat	4888,29	6114,46	Velocitat	4919,58	6163,37
Cara2	E.din	12709,98	19885,94	E.din	12873,19	20205,38

Assaig per vibracions, mètode longitudinal (PLG)

Freqüència long. (Hz)	538,00	12%	
Velocitat (m/s)	4407,30	Velocitat 12%	4391,64
E.din long. (N/mm ²)	9320,17	E.din long. 12%	9254,06

Assaig per vibracions, mètode transversal (PLG)

Freqüència trans. (Hz)	54,80	12%	
E.din trans. (N/mm ²)	9313,79	E.din trans. 12%	9280,70

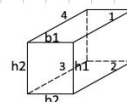
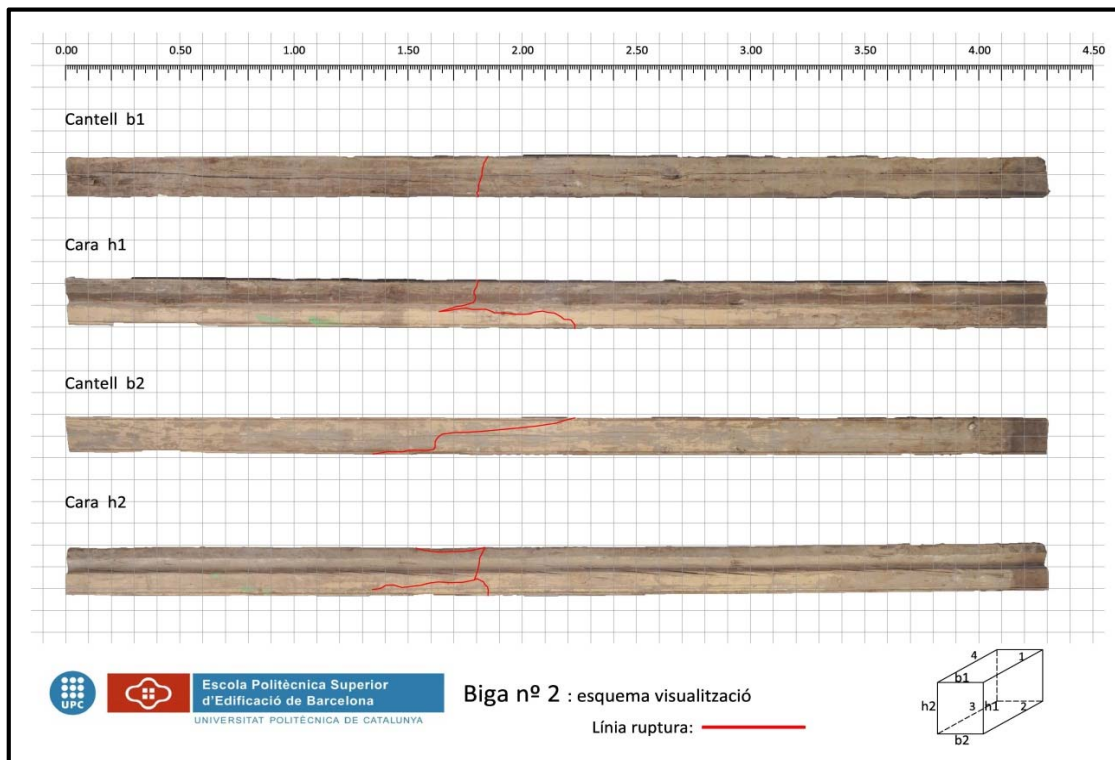
Assajos a Flexió. UNE-EN 408:2011

Resultats dels assajos		Interval F1-F2 Global	
Càrrega màxima (N)	53066,15	F1 (0,1Fmax)	5362,30
Mòdul d'elasticitat global (MOEG) (N/mm ²)	7381,33	F2 (0,4Fmax)	21127,45
Mòdul d'elasticitat global 12% (N/mm ²)	7355,11	w1 (mm)	5,23
Mòdul d'elasticitat local (MOE) (N/mm ²)	-	w2 (mm)	21,79
Mòdul d'elasticitat local 12% (N/mm ²)	-		
Tensió de ruptura (N/mm ²)	29,30		
Desplaçament pistó fins la ruptura (mm)	55,56		
Temps fins la ruptura (s)	515,00		

Gràfica de ruptura Biga 1 en N



Gràfica de la ruptura en Newtons



Dades generals biga				
Long. (mm)	h (mm)	215	Humitat %	Massa (kg)
4300,00	b (mm)	175	11,7%	83,42

Dades generals proveta				
Llarg (mm)	Ample (mm)	Gruix (mm)	Humitat %	Massa (gr)
100,76	100,16	100,07	15,5%	674,85
Densitat	668,22	Dens. 12%	656,53	

Dades generals Microproveta					
	Llarg	∅	Massa (gr)	Densitat	Dens. 12%
Tangencial	39,66	11,68	2,504	589,26	578,95
Radial	39,5	11,74	3,03	708,40	696,00
Mitjana				648,83	637,48

Nusos (mm) segons UNE 56544:2011													Clivelles (mm) segons UNE 56544:2011				
Nusos	Distància	460	1200	1472	1805	1877	2205	2605	2920	3205	3280	3670	3920	Clivelles	Longitud	0	
Cara h1	∅	40	40	42	20	52	22	35	40	13	50	40	57	Cara h1	Profuditat	0	
Nusos	Distància	200	2265	2645	4230												
Cantell b1	∅	26	32	45	33												
Nusos	Distància	235	440	860	1475	2250	2890	3212	3585	3640	3910	4300	Clivelles	Longitud	4300		
Cara h2	∅	30	30	45	37	78	38	20	18	40	12	25	Cara h2	Profuditat	4300		
Nusos	Distància	458	805	1190	1465	1830	2250	2230	2615	2925	3265	3955	Clivelles	Longitud	28		
Cantell b2	∅	18	20	40	30	43	35	35	50	35	40	50	Cantell b2	Profuditat	4300		



Sema (mm) segons UNE 56544:2011				Deformacions	Curvatura	Guexesa	Podridura		Galeria d'insectes		Desviació de la fibra	
Cara h1	150	Aresta 1	1540	Cara h1	2	7	Cara h1	No	Cara h1	No	Cara h1	0,70%
Cara h2	200	Aresta 2	0	Cara h2	0	7	Cara h2	No	Cara h2	No	Cara h2	0,00%
Cantell b1	130	Aresta 3	0	Cantell b1	2	7	Cantell b1	No	Cantell b1	No	Cantell b1	5,00%
Cantell b2	175	Aresta 4	460	Cantell b2	0	4	Cantell b2	No	Cantell b2	No	Cantell b2	0,30%

Resum UNE 56544:2011	
Nusos	Admès
Desviació de la fibra	Admès
Podridura	Admès
Clivelles	Admès
Curvatura	Admès
Guexesa	No admès
Galeries d'insectes	Admès
Sema	No admès

Assajos NO destructius

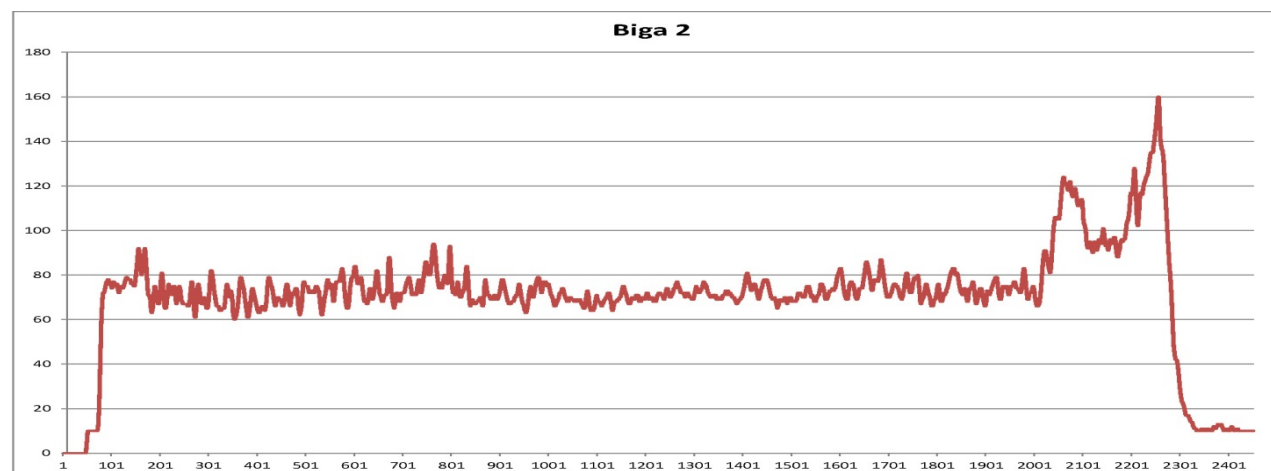
Profunditats de penetració (mm)		
Pilodyn		
	Cantell vist	Cantell ocult
Tangencial	12	16
Radial	19	14
Mitjana	15,5	15,00

Arrencament de vis	
Força d'arrencament (KN)	
Tangencial	1,13
Radial	1,73
Mitjana	1,43
Densitat (kg/m³)	410,87

Resistògraf	
Àrea	1721,77
Resist. Relat.	70,22
Dens. Area	492,30
Dens. RR	453,35



Testa de la biga



Gràfic de les dades registrades pel resistògraf



Assajos NO destructius. Mètodes acústics.

Assajos d'ones d'ultrasòniques (Sylvatest-Duo) i d'ones d'impacte (Microsecond Timer)

Velocitats (m/s) E.din (N/mm ²)		Ultrasons	Impacte	12%	Ultrasons	Impacte
Lectura directa	Velocitat	4535,86	5214,65	Velocitat	4524,98	5199,01
Testa-testa	E.din	13748,05	18170,68	E.din	13682,14	18061,82
Lectura Semidirecta	Velocitat	4465,65	5305,33	Velocitat	4454,94	5289,42
Cara1-Cara2	E.din	13325,73	18808,16	E.din	13261,84	18695,48
Lectura Semidirecta	Velocitat	4340,57	4453,33	Velocitat	4330,15	4439,97
Cara2-Cara1	E.din	12589,65	13252,30	E.din	12529,29	13172,91
Lectura Indirecta	Velocitat	4264,46	5454,55	Velocitat	4254,23	5438,18
Cara1	E.din	12152,05	19880,99	E.din	12093,79	19761,88
Lectura Indirecta	Velocitat	4440,62	3132,59	Velocitat	4429,96	3123,19
Cara2	E.din	13176,74	6557,34	E.din	13113,57	6518,05

Assaig per vibracions, mètode longitudinal (PLG)

Freqüència long. (Hz)	470,00	12%	
Velocitat (m/s)	4042,00	Velocitat 12%	4183,44
E.din long. (N/mm ²)	8423,99	E.din long. 12%	9023,84

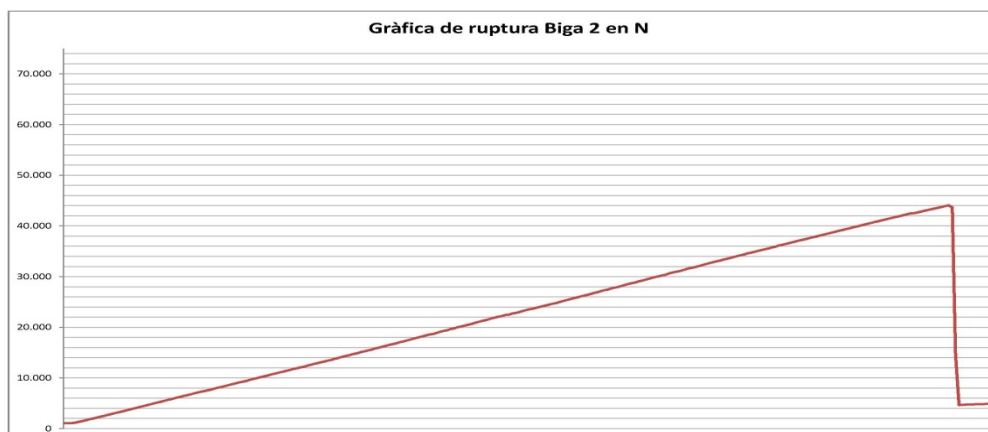
Assaig per vibracions, mètode transversal (PLG)

Freqüència trans. (Hz)	52,70	12%	
E.din trans. (N/mm ²)	10022,63	E.din trans. 12%	10373,34

Assajos a Flexió. UNE-EN 408:2011

Resultats dels assajos		Interval F1-F2 Global	
Càrrega màxima (N)	44061,06	F1 (0,1F _{max})	2113,54
Mòdul d'elasticitat global (MOEG) (N/mm ²)	6233,45	F2 (0,4F _{max})	14921,80
Mòdul d'elasticitat global 12% (N/mm ²)	6451,57	w1 (mm)	1,56
Mòdul d'elasticitat local (MOE) (N/mm ²)	-	w2 (mm)	16,55
Mòdul d'elasticitat local 12% (N/mm ²)	-		
Tensió de ruptura (N/mm ²)	21,08		
Desplaçament pistó fins la ruptura (mm)	48,81		
Temps fins la ruptura (s)	392		

Gràfica de ruptura Biga 2 en N



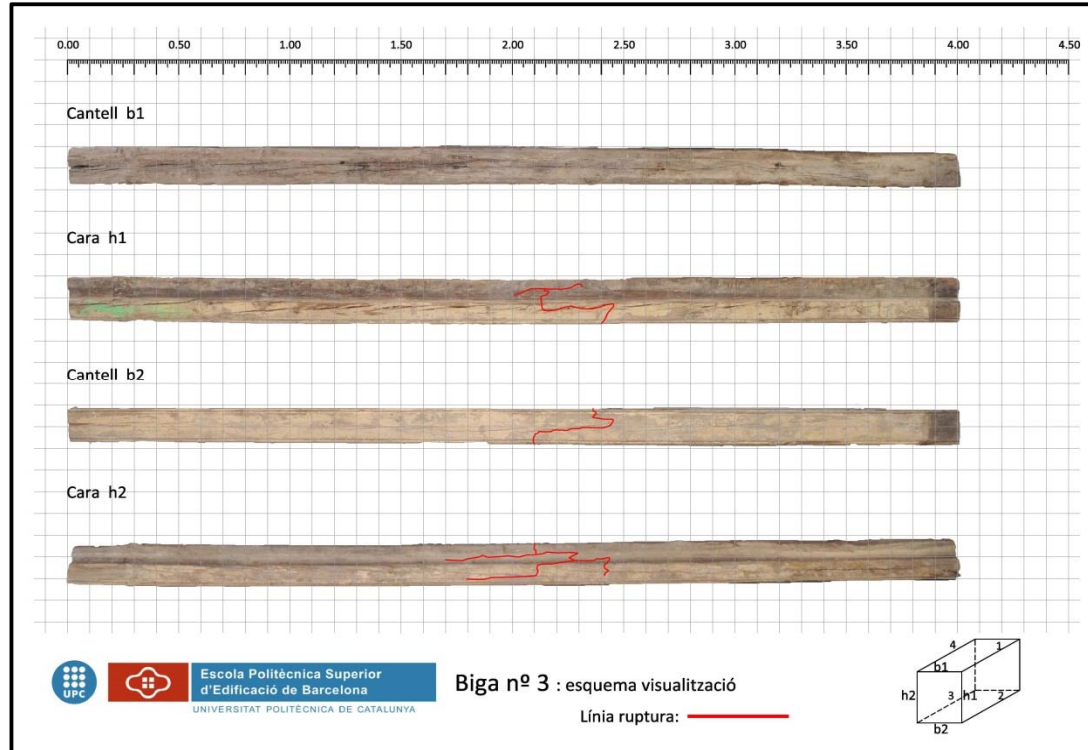
Gràfica de la ruptura en Newtons



Laboratori de Materials de l'EPSEB

Fitxa tècnica I

biga nº 3



Dades generals biga				
Long. (mm)	h (mm)	200	Humitat %	Massa (kg)
4010,00	b (mm)	165	12,1%	72,18

Dades generals proveta				
Llarg (mm)	Ample (mm)	Gruix (mm)	Humitat %	Massa (gr)
100,93	100,11	100,03	12,0%	532,61
Densitat	526,96	Dens. 12%	526,94	

Dades generals Microproveta					
	Llarg	∅	Massa (gr)	Densitat	Dens. 12%
Tangencial	39,32	11,64	2,293	548,02	547,99
Radial	39,53	11,79	2,35	545,00	544,97
Mitjana				546,51	546,48

Nusos (mm) segons UNE 56544:2011											Clivelles (mm) segons UNE 56544:2011				
Nusos	Distància	226	640	910	1294	2090	2415	2785	2825	3290	3560	Clivelles	Longitud	4010	
Cara h1	∅	75	40	50	35	30	65	40	22	35	30	Cara h1	Profunditat	55	
Nusos	Distància	290	630	1410	1635	2335	2735	3015	3465			Clivelles	Longitud	4010	
Cantell b1	∅	65	82	18	23	25	33	38	40			Cantell b1	Profunditat	24	
Nusos	Distància	290	2920	2940	1525	1640	1680	2745	2830			Clivelles	Longitud	0	
Cara h2	∅	40	35	36	22	35	40	20	11			Cara h2	Profunditat	4010	
Nusos	Distància	930	1680	1690	2092	2705	3190					Clivelles	Longitud	36	
Cantell b2	∅	45	22	50	25	25	45					Cantell b2	Profunditat	4010	



Sema (mm) segons UNE 56544:2011				Deformacions	Curvatura	Guexesa	Podridura		Galeria d'insectes		Desviació de la fibra	
Cara h1	200	Aresta 1	0	Cara h1	7	10	Cara h1	No	Cara h1	Si	Cara h1	1,10%
Cara h2	160	Aresta 2	0	Cara h2	3	0	Cara h2	No	Cara h2	Si	Cara h2	4,63%
Cantell b1	110	Aresta 3	0	Cantell b1	9	12	Cantell b1	SI	Cantell b1	Si	Cantell b1	1,25%
Cantell b2	165	Aresta 4	2050	Cantell b2	0	0	Cantell b2	No	Cantell b2	No	Cantell b2	1,50%

Resum UNE 56544:2011	
Nusos	Admès
Desviació de la fibra	Admès
Podridura	No admès
Clivelles	Admès
Curvatura	No admès
Guexesa	No admès
Galeries d'insectes	No admès
Sema	No admès

Assajos NO destructius

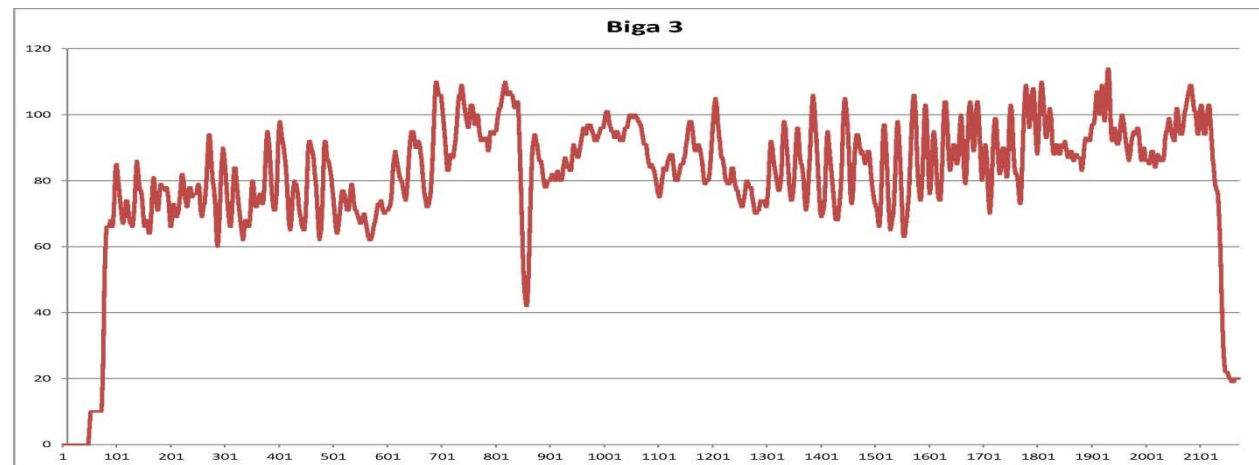
Profunditats de penetració (mm)		
Pilodyn		
	Cantell vist	Cantell ocult
Tangencial	14	12
Radial	15	12
Mitjana	14,5	11,75

Arrencament de vis	
Força d'arrencament (KN)	
Tangencial	2,23
Radial	1,96
Mitjana	2,10
Densitat (kg/m³)	410,87

Resistògraf	
Àrea	1766,84
Resist. Relat.	81,35
Dens. Area	496,65
Dens. RR	482,04



Testa de la biga



Gràfic de les dades registrades pel resistògraf



Assajos NO destructius. Mètodes acústics.

Assajos d'ones d'ultrasòniques (Sylvatest-Duo) i d'ones d'impacte (Microsecond Timer)

Velocitats (m/s) E.din (N/mm ²)		Ultrasons	Impacte	12%	Ultrasons	Impacte
Lectura directa	Velocitat	4365,81	4297,96	Velocitat	4369,31	4302,26
	Testa-testa	E.din	10044,12	9734,35	E.din	10060,19
Lectura Semidirecta	Velocitat	4074,37	4149,43	Velocitat	4077,63	4153,58
	Cara1-Cara2	E.din	8747,86	9073,15	E.din	8761,87
Lectura Semidirecta	Velocitat	3960,20	3988,69	Velocitat	3963,37	3992,68
	Cara2-Cara1	E.din	8264,47	8383,81	E.din	8277,70
Lectura Indirecta	Velocitat	4029,10	4152,25	Velocitat	4032,32	4156,40
	Cara1	E.din	8554,55	9085,49	E.din	8568,24
Lectura Indirecta	Velocitat	3980,10	3966,94	Velocitat	3983,28	3970,91
	Cara2	E.din	8347,74	8292,64	E.din	8361,11

Assaig per vibracions, mètode longitudinal (PLG)

Freqüència long. (Hz)	468,00	12%	
Velocitat (m/s)	3753,36	Velocitat 12%	3753,75
E.din long. (N/mm ²)	7684,21	E.din long. 12%	7685,82

Assaig per vibracions, mètode transversal (PLG)

Freqüència trans. (Hz)	48,20	12%	
E.din trans. (N/mm ²)	7751,91	E.din trans. 12%	7752,72

Assajos a Flexió. UNE-EN 408:2011

Resultats dels assajos		Interval F1-F2 Global	
Càrrega màxima (N)	55931,76	F1 (0,1F _{max})	5647,10
Mòdul d'elasticitat global (MOEG) (N/mm ²)	6713,15	F2 (0,4F _{max})	22320,34
Mòdul d'elasticitat global 12% (N/mm ²)	6713,86	w1 (mm)	5,47
Mòdul d'elasticitat local (MOE) (N/mm ²)	-	w2 (mm)	24,73
Mòdul d'elasticitat local 12% (N/mm ²)	-		
Tensió de ruptura (N/mm ²)	30,51		
Desplaçament pistó fins la ruptura (mm)	68,48		
Temps fins la ruptura (s)	354		

Gràfica de ruptura Biga 3 en N



Gràfica de la ruptura en Newtons



Laboratori de Materials de l'EPSEB

Fitxa tècnica I

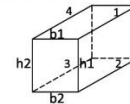
biga nº 4



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Biga nº 4 : esquema visualització

Línia ruptura: —



Dades generals biga				
Long. (mm)	h (mm)	220	Humitat %	Massa (kg)
4400,00	b (mm)	160	15,2%	78,34

Dades generals proveta				
Llarg (mm)	Ample (mm)	Gruix (mm)	Humitat %	Massa (gr)
101,21	100,11	100,08	13,2%	435,64
Densitat	429,62	Dens. 12%	427,01	

Dades generals Microproveta					
	Llarg	∅	Massa (gr)	Densitat	Dens. 12%
Tangencial	39,37	11,64	1,963	468,55	465,71
Radial	39,58	11,66	1,94	458,32	455,54
Mitjana				463,44	460,63

Nusos (mm) segons UNE 56544:2011											Clivelles (mm) segons UNE 56544:2011					
Nusos	Distància	55	330	1350	2025	2340	2725	3025	3260	3590	4010	Clivelles	Longitud	1100		
Cara h1	∅	25	60	60	35	15	55	40	45	28	20	Cara h1	Profunditat	56		
Nusos	Distància	320	1035	1390	1770	2305	2702	3475	3585	4048		Clivelles	Longitud	4400		
Cantell b1	∅	30	50	14	50	20	65	33	43	12		Cantell b1	Profunditat	47		
Nusos	Distància	310	545	1075	1345	1790	2055	2285	2745	2800	3050	3260	3420	3830	4240	4265
Cara h2	∅	47	55	30	58	45	50	75	50	50	40	35	30	40	18	38
Nusos	Distància	535	558	755	1078	2048	2265	3388								
Cantell b2	∅	27	30	35	30	20	35	25								
												Clivelles	Longitud	45		
												Cantell b2	Profunditat	0		



Sema (mm) segons UNE 56544:2011				Deformacions	Curvatura	Guexesa	Podridura		Galeria d'insectes		Desviació de la fibra	
Cara h1	220	Aresta 1	0	Cara h1	2	25	Cara h1	No	Cara h1	Si	Cara h1	0,83%
Cara h2	220	Aresta 2	0	Cara h2	2	30	Cara h2	No	Cara h2	No	Cara h2	0,86%
Cantell b1	160	Aresta 3	0	Cantell b1	5	12	Cantell b1	Si	Cantell b1	No	Cantell b1	4,20%
Cantell b2	160	Aresta 4	0	Cantell b2	4	10	Cantell b2	No	Cantell b2	No	Cantell b2	0,40%

Resum UNE 56544:2011	
Nusos	Admès
Desviació de la fibra	Admès
Podridura	No admès
Guexesa	No admès
Curvatura	Admès
Guexesa	No admès
Galeries d'insectes	No admès
Sema	Admès

Assajos NO destructius

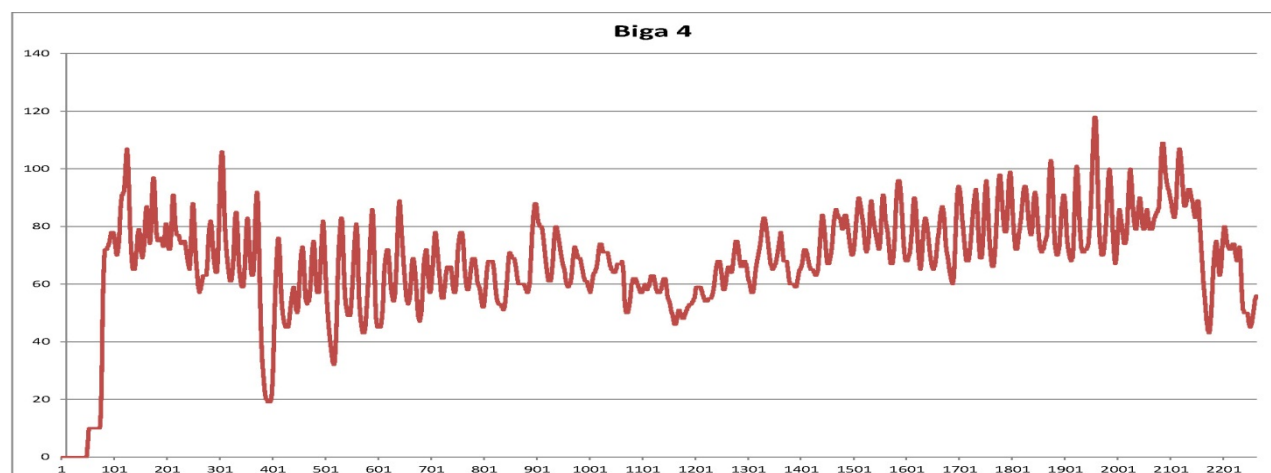
Profunditats de penetració (mm)		
Tangencial		
	Cantell vist	Cantell ocult
Tangencial	14	16
Radial	17	20
Mitjana	15,5	17,75

Arrencament de vis	
Radial	
Tangencial	1,27
Radial	0,27
Mitjana	0,77
Densitat (kg/m ³)	475,51

Resistògraf	
Àrea	1537,87
Resist. Relat.	67,97
Dens. Area	474,51
Dens. RR	447,55



Testa de la biga



Gràfic de les dades registrades pel resistògraf



Assajos NO destructius. Mètodes acústics.

Assajos d'ones d'ultrasòniques (Sylvatest-Duo) i d'ones d'impacte (Microsecond Timer)

Velocitats (m/s) E.din (N/mm ²)		Ultrasons	Impacte	12%	Ultrasons	Impacte
Lectura directa	Velocitat	4273,92	4288,50	Velocitat	4383,33	4425,73
Testa-testa	E.din	7847,52	7901,15	E.din	8254,45	8414,91
Lectura Semidirecta	Velocitat	3844,06	4044,11	Velocitat	3942,47	4173,52
Cara1-Cara2	E.din	6348,35	7026,29	E.din	6677,55	7483,17
Lectura Semidirecta	Velocitat	3900,82	3906,59	Velocitat	4000,68	4031,60
Cara1	E.din	6537,19	6556,53	E.din	6876,18	6982,86
Lectura Indirecta	Velocitat	3850,27	4038,76	Velocitat	3948,83	4168,00
Cara1	E.din	6368,85	7007,69	E.din	6699,11	7463,36
Lectura Indirecta	Velocitat	3901,48	3918,85	Velocitat	4001,36	4044,26
Cara2	E.din	6539,40	6597,77	E.din	6878,50	7026,79

Assaig per vibracions, mètode longitudinal (PLG)

Freqüència long. (Hz)	436,00	12%	
Velocitat (m/s)	3836,80	Velocitat 12%	3883,30
E.din long. (N/mm ²)	7446,06	E.din long. 12%	7627,66

Assaig per vibracions, mètode transversal (PLG)

Freqüència trans. (Hz)	50,80	12%	
E.din trans. (N/mm ²)	9565,76	E.din trans. 12%	9681,70

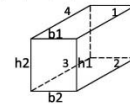
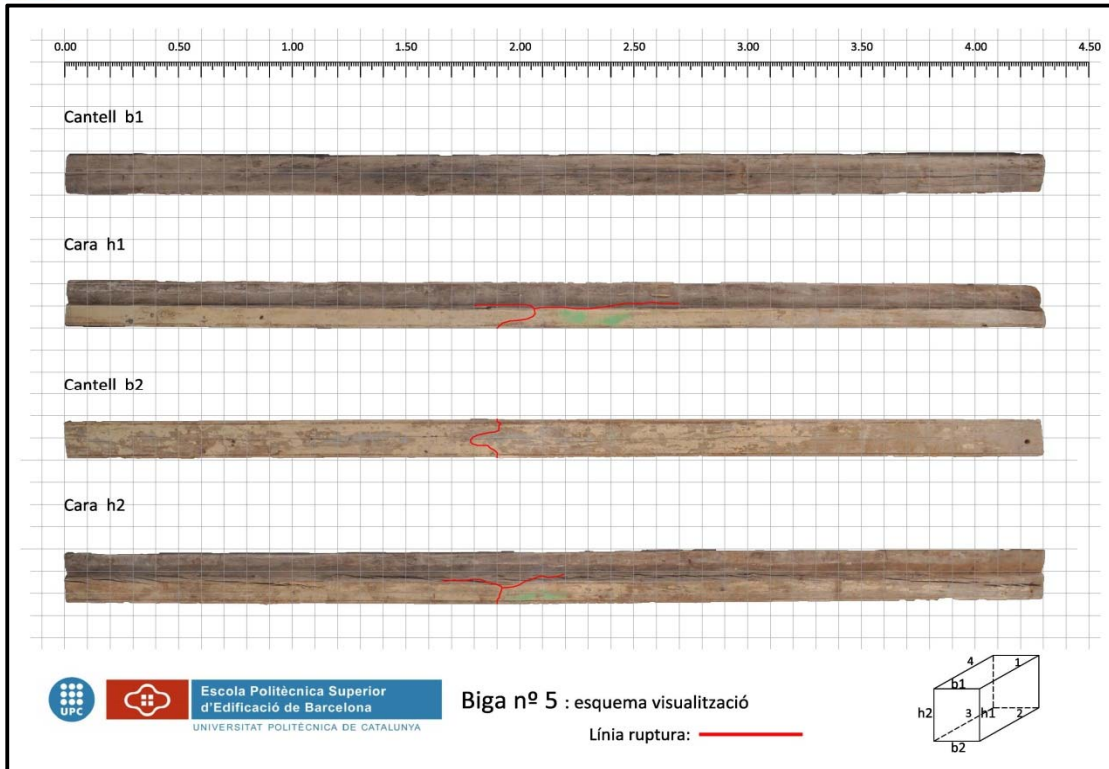
Assajos a Flexió. UNE-EN 408:2011

Resultats dels assajos		Interval F1-F2 Global	
Càrrega màxima (N)	29441,88	F1 (0,1F _{max})	2969,30
Mòdul d'elasticitat global (MOEG) (N/mm ²)	4955,10	F2 (0,4F _{max})	11709,14
Mòdul d'elasticitat global 12% (N/mm ²)	5015,16	w1 (mm)	3,25
Mòdul d'elasticitat local (MOE) (N/mm ²)	-	w2 (mm)	17,24
Mòdul d'elasticitat local 12% (N/mm ²)	-		
Tensió de ruptura (N/mm ²)	15,06		
Desplaçament pistó fins la ruptura (mm)	46,36		
Temps fins la ruptura (s)	260		

Gràfica de ruptura Biga 4 en N



Gràfica de la ruptura en Newtons



Dades generals biga				
Long. (mm)	h (mm)	215	Humitat %	Massa (kg)
4300,00	b (mm)	170	13,6%	77,86

Dades generals proveta				
Llarg (mm)	Ample (mm)	Gruix (mm)	Humitat %	Massa (gr)
100,96	100,11	100,04	12,1%	464,49
Densitat	459,38	Dens. 12%	459,25	

Dades generals Microproveta					
	Llarg	∅	Massa (gr)	Densitat	Dens. 12%
Tangencial	39,32	11,54	2,059	500,66	500,51
Radial	39,71	11,75	2,38	552,73	552,56
Mitjana				526,69	526,53

Nusos (mm) segons UNE 56544:2011										Clivelles (mm) segons UNE 56544:2011					
Nusos	Distància	115	282	1240	1250	1600	1873	3180	4028	Clivelles	Longitud	0			
Cara h1	∅	50	75	60	35	18	17	20	20	Cara h1	Profunditat	0			
Nusos	Distància	100	280	635	950	1278	1565	1872	1895	3178	Clivelles	Longitud	4300		
Cantell b1	∅	55	35	22	35	19	18	25	18	16	Cantell b1	Profunditat	65		
Nusos	Distància	145	375	600	1195	1580	1625	2072	2320	2990	3020	Clivelles	Longitud	0	
Cara h2	∅	30	30	30	50	32	30	12	35	20	18	Cara h2	Profunditat	0	
Nusos	Distància	85	805	1580	1865	2442						Clivelles	Longitud	0	
Cantell b2	∅	45	35	20	15	28						Cantell b2	Profunditat	0	



Sema (mm) segons UNE 56544:2011				Deformacions	Curvatura	Guexesa	Podridura		Galeria d'insectes		Desviació de la fibra	
Cara h1	160	Aresta 1	1350	Cara h1	2	14	Cara h1	Si	Cara h1	No	Cara h1	1,50%
Cara h2	215	Aresta 2	0	Cara h2	3	*	Cara h2	No	Cara h2	No	Cara h2	1,30%
Cantell b1	135	Aresta 3	0	Cantell b1	16	16	Cantell b1	Si	Cantell b1	No	Cantell b1	0,01%
Cantell b2	170	Aresta 4	0	Cantell b2	1	2	Cantell b2	No	Cantell b2	No	Cantell b2	2,90%

Resum UNE 56544:2011	
Nusos	Admès
Desviació de la fibra	Admès
Podridura	No admès
Clivelles	Admès
Curvatura	No admès
Guexesa	No admès
Galeries d'insectes	Admès
Sema	Admès

Assajos NO destructius

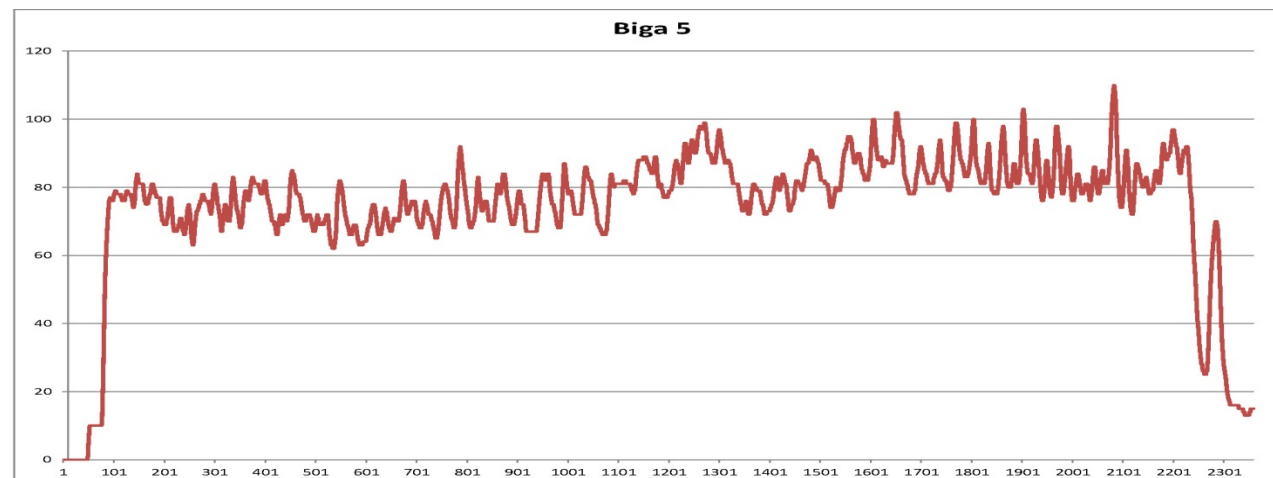
Profunditats de penetració (mm)		
Pilodyn		
	Cantell vist	Cantell ocult
Tangencial	13	11
Radial	14	12
Mitjana	13,5	11,50

Arrencament de vis	
Força d'arrencament (KN)	
Tangencial	1,81
Radial	1,51
Mitjana	1,66
Densitat (kg/m³)	475,51

Resistògraf	
Àrea	1759,61
Resist. Relat.	74,59
Dens. Area	495,95
Dens. RR	464,62



Testa de la biga



Gràfic de les dades registrades pel resistògraf



Assajos NO destructius. Mètodes acústics.

Assajos d'ones d'ultrasòniques (Sylvatest-Duo) i d'ones d'impacte (Microsecond Timer)

Velocitats (m/s) E.din (N/mm ²)		Ultrasons	Impacte	12%	Ultrasons	Impacte
Lectura directa	Velocitat	4679,00	4607,80	Velocitat	4738,89	4681,53
Testa-testa	E.din	10057,31	9753,56	E.din	10316,42	10068,17
Lectura Semidirecta	Velocitat	4592,45	4399,47	Velocitat	4651,23	4469,86
Cara1-Cara2	E.din	9688,69	8891,53	E.din	9938,30	9178,33
Lectura Semidirecta	Velocitat	4595,17	4404,97	Velocitat	4653,99	4475,45
Cara2-Cara1	E.din	9700,18	8913,78	E.din	9950,10	9201,31
Lectura Indirecta	Velocitat	4550,26	3996,28	Velocitat	4608,51	4060,22
Cara1	E.din	9511,50	7336,49	E.din	9756,56	7573,13
Lectura Indirecta	Velocitat	4560,99	3306,00	Velocitat	4619,37	3358,89
Cara2	E.din	9556,40	5020,89	E.din	9802,61	5182,84

Assaig per vibracions, mètode longitudinal (PLG)

Freqüència long. (Hz)	483,00	12%	
Velocitat (m/s)	4153,80	Velocitat 12%	4156,31
E.din long. (N/mm ²)	8547,71	E.din long. 12%	8558,02

Assaig per vibracions, mètode transversal (PLG)

Freqüència trans. (Hz)	50,50	12%	
E.din trans. (N/mm ²)	8842,53	E.din trans. 12%	8847,87

Assajos a Flexió. UNE-EN 408:2011

Resultats dels assajos		Interval F1-F2 Global	
Càrrega màxima (N)	64628,59	F1 (0,1F _{max})	6513,08
Mòdul d'elasticitat global (MOEG) (N/mm ²)	9141,76	F2 (0,4F _{max})	25783,22
Mòdul d'elasticitat global 12% (N/mm ²)	9147,28	w1 (mm)	5,95
Mòdul d'elasticitat local (MOE) (N/mm ²)	-	w2 (mm)	22,81
Mòdul d'elasticitat local 12% (N/mm ²)	-		
Tensió de ruptura (N/mm ²)	34,48		
Desplaçament pistó fins la ruptura (mm)	56,52		
Temps fins la ruptura (s)	826		

Gràfica de ruptura Biga 5 en N



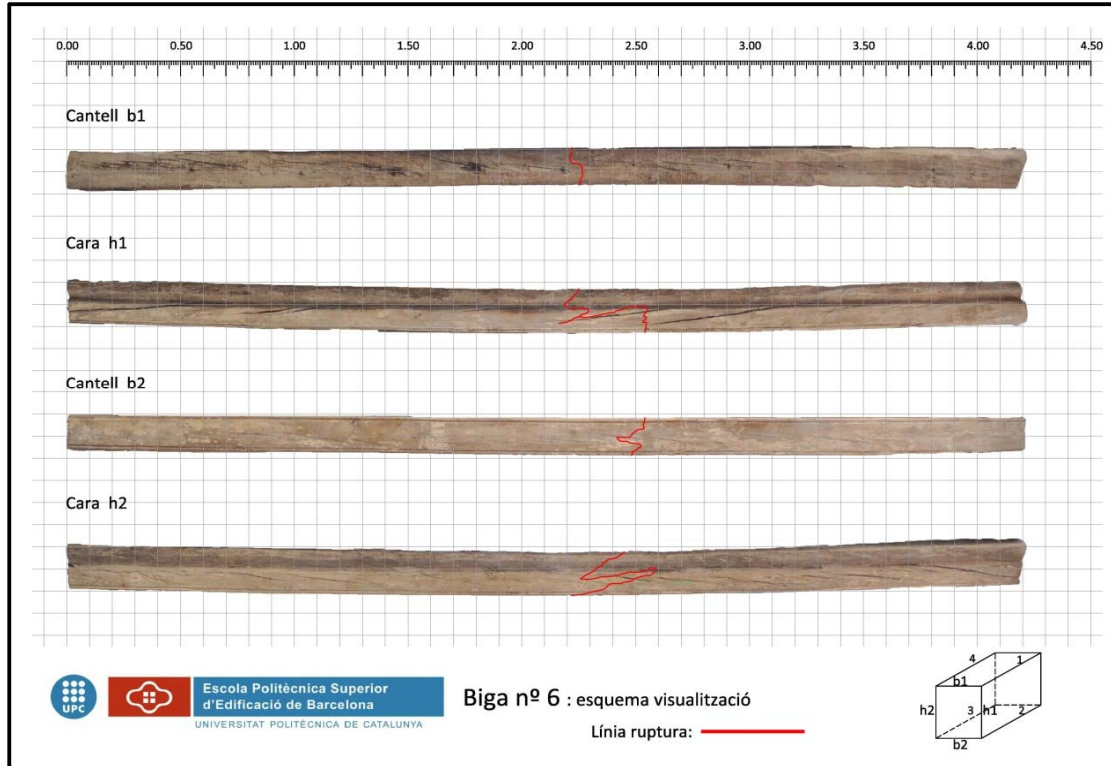
Gràfica de la ruptura en Newtons



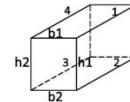
Laboratori de Materials de l'EPSEB

Fitxa tècnica I

biga nº 6



Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



Dades generals biga				
Long. (mm)	h (mm)	210	Humitat %	Massa (kg)
4210,00	b (mm)	170	16,2%	58,32

Dades generals proveta				
Llarg (mm)	Ample (mm)	Gruix (mm)	Humitat %	Massa (gr)
100,83	100,07	100,13	12,8%	500,23
Densitat	495,12	Dens. 12%	493,23	

Dades generals Microproveta					
	Llarg	∅	Massa (gr)	Densitat	Dens. 12%
Tangencial	39,77	11,71	2,397	559,64	557,50
Radial	39,34	11,77	2,23	521,69	519,69
Mitjana				540,66	538,59

Nusos (mm) segons UNE 56544:2011											Clivelles (mm) segons UNE 56544:2011				
Nusos	Distància	505	870	1550	3988						Clivelles	Longitud	4210		
Cara h1	∅	43	16	35	22						Cara h1	Profunditat	44		
Nusos	Distància	50	535	830	1594	1895	2570	3105	3245	3760	3994	Clivelles	Longitud	4210	
Cantell b1	∅	45	20	43	35	45	38	15	60	45	11	Cantell b1	Profunditat	57	
Nusos	Distància	45	320	514	780	1000	1550	1875	2904	3105	3520	Clivelles	Longitud	0	
Cara h2	∅	40	50	23	45	45	30	55	55	45	25	Cara h2	Profunditat	4210	
Nusos	Distància	50	290	530	810	1295	1570	2875	3250	3550	3760	Clivelles	Longitud	40	
Cantell b2	∅	40	38	42	40	40	42	40	30	45	22	Cantell b2	Profunditat	4210	



Sema (mm) segons UNE 56544:2011				Deformacions	Curvatura	Guexesa	Podridura		Galeria d'insectes		Desviació de la fibra	
Cara h1	125	Aresta 1	1000	Cara h1	2	29	Cara h1	Si	Cara h1	No	Cara h1	2,00%
Cara h2	210	Aresta 2	470	Cara h2	4	26	Cara h2	No	Cara h2	No	Cara h2	1,01%
Cantell b1	145	Aresta 3	0	Cantell b1	5	28	Cantell b1	Si	Cantell b1	No	Cantell b1	3,70%
Cantell b2	140	Aresta 4	0	Cantell b2	8	35	Cantell b2	No	Cantell b2	No	Cantell b2	0,90%

Resum UNE 56544:2011	
Nusos	Admès
Desviació de la fibra	Admès
Podridura	No admès
Clivelles	Admès
Curvatura	Admès
Guexesa	No admès
Galeries d'insectes	Admès
Sema	Admès

Assajos NO destructius

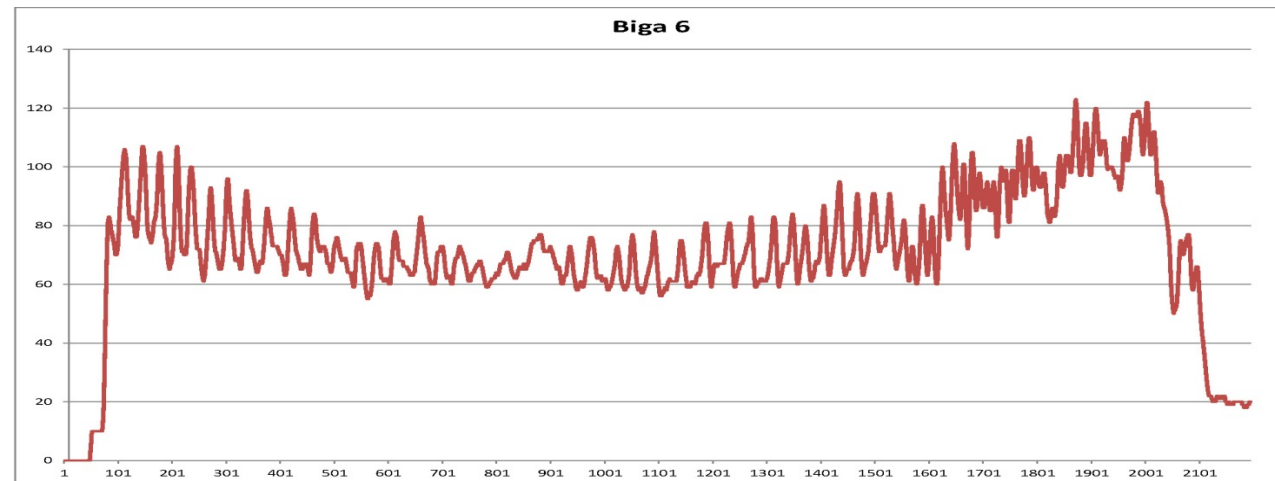
Profunditats de penetració (mm)		
Pilodyn		
	Cantell vist	Cantell ocult
Tangencial	13	18
Radial	13	24
Mitjana	13,0	21,00

Arrencament de vis	
Força d'arrencament (KN)	
Tangencial	1,18
Radial	1,39
Mitjana	1,29
Densitat (kg/m³)	475,51

Resistògraf	
Àrea	1616,63
Resist. Relat.	79,37
Dens. Area	482,13
Dens. RR	476,93



Testa de la biga



Gràfic de les dades registrades pel resistògraf



Assajos NO destructius. Mètodes acústics.

Assajos d'ones d'ultrasòniques (Sylvatest-Duo) i d'ones d'impacte (Microsecond Timer)

Velocitats (m/s) E.din (N/mm ²)		Ultrasons	Impacte	12%	Ultrasons	Impacte
Lectura directa	Velocitat	4274,11	-	Velocitat	4417,72	-
Testa-testa	E.din	9044,90	-	E.din	9662,92	-
Lectura Semidirecta	Velocitat	4153,48	-	Velocitat	4293,04	-
Cara1-Cara2	E.din	8541,54	-	E.din	9125,18	-
Lectura Semidirecta	Velocitat	4112,85	-	Velocitat	4251,04	-
Cara2-Cara1	E.din	8375,24	-	E.din	8947,51	-
Lectura Indirecta	Velocitat	4099,78	-	Velocitat	4237,54	-
Cara1	E.din	8322,11	-	E.din	8890,75	-
Lectura Indirecta	Velocitat	4160,70	-	Velocitat	4300,50	-
Cara2	E.din	8571,28	-	E.din	9156,94	-

Assaig per vibracions, mètode longitudinal (PLG)

Freqüència long. (Hz)	433,00	12%	
Velocitat (m/s)	3645,86	Velocitat 12%	3673,79
E.din long. (N/mm ²)	5157,83	E.din long. 12%	5237,15

Assaig per vibracions, mètode transversal (PLG)

Freqüència trans. (Hz)	50,00	12%	
E.din trans. (N/mm ²)	6539,36	E.din trans. 12%	6589,46

Assajos a Flexió. UNE-EN 408:2011

Resultats dels assajos		Interval F1-F2 Global	
Càrrega màxima (N)	28051,26	F1 (0,1F _{max})	2824,94
Mòdul d'elasticitat global (MOEG) (N/mm ²)	3227,82	F2 (0,4F _{max})	11190,51
Mòdul d'elasticitat global 12% (N/mm ²)	3252,54	w1 (mm)	5,50
Mòdul d'elasticitat local (MOE) (N/mm ²)	-	w2 (mm)	25,69
Mòdul d'elasticitat local 12% (N/mm ²)	-		
Tensió de ruptura (N/mm ²)	15,32		
Desplaçament pistó fins la ruptura (mm)	70,18		
Temps fins la ruptura (s)	534		

Gràfica de ruptura Biga 6 en N



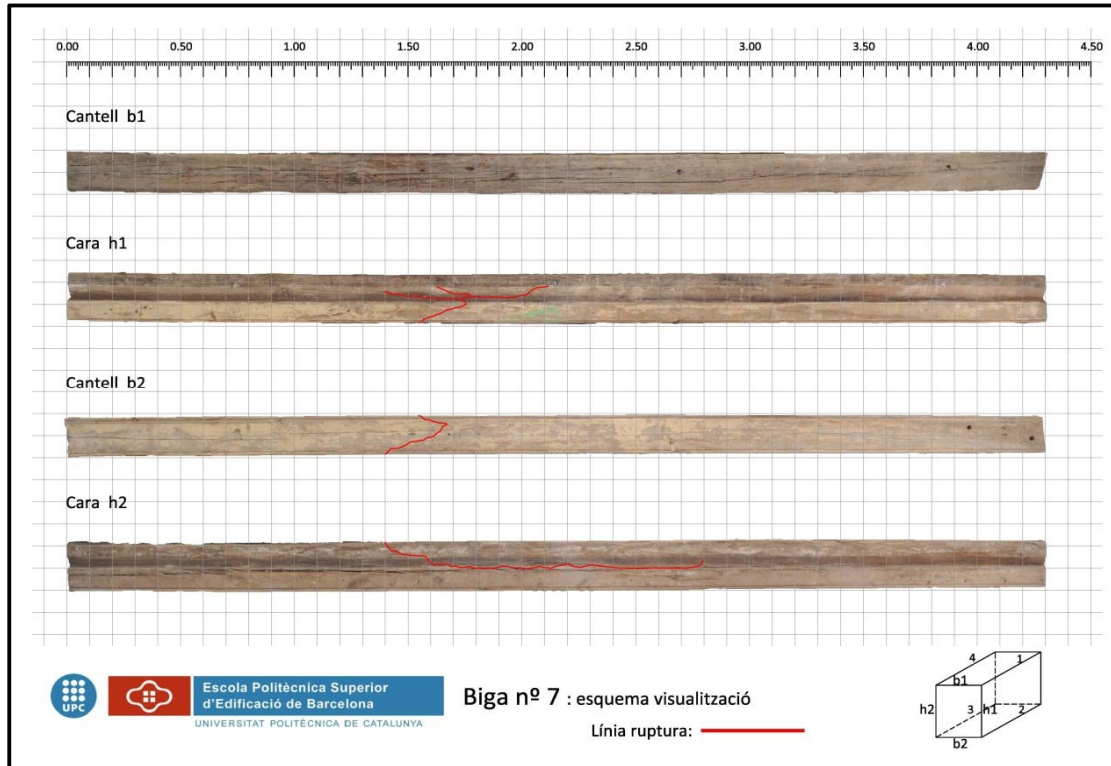
Gràfica de la ruptura en Newtons



Laboratori de Materials de l'EPSEB

Fitxa tècnica I

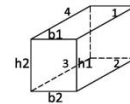
biga nº 7



Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Biga nº 7 : esquema visualització

Línia ruptura: —



Dades generals biga				
Long. (mm)	h (mm)	220	Humitat %	Massa (kg)
4300,00	b (mm)	180	13,1%	79,74

Dades generals proveta				
Llarg (mm)	Ample (mm)	Gruix (mm)	Humitat %	Massa (gr)
100,56	100,08	100,11	12,2%	491,13
Densitat	487,47	Dens. 12%	487,03	

Dades generals Microproveta					
	Llarg	∅	Massa (gr)	Densitat	Dens. 12%
Tangencial	39,39	11,64	2,419	577,10	576,58
Radial	39,4	11,64	2,21	527,59	527,11
Mitjana				552,34	551,84

Nusos (mm) segons UNE 56544:2011										Clivelles (mm) segons UNE 56544:2011					
Nusos	Distància	320	760	980	1320	1660	1780	2050	2140	3260	3530	Clivelles	Longitud	1700	
Cara h1	∅	40	25	55	25	30	18	40	30	18	30	Cara h1	Profunditat	45	
Nusos	Distància	750	1310									Clivelles	Longitud	3280	
Cantell b1	∅	22	40									Cantell b1	Profunditat	55	
Nusos	Distància	740	1300	1645	2080	2265	2660	2855	3080	3280	3520	Clivelles	Longitud	0	
Cara h2	∅	38	50	45	17	35	45	18	22	30	16	Cara h2	Profunditat	1200	
Nusos	Distància	340	755	980	2470	2850	3065					Clivelles	Longitud	30	
Cantell b2	∅	35	15	40	40	35	12					Cantell b2	Profunditat	1000	



Sema (mm) segons UNE 56544:2011				Deformacions	Curvatura	Guexesa	Podridura		Galeria d'insectes		Desviació de la fibra	
Cara h1	200	Aresta 1	1000	Cara h1	4	5	Cara h1	No	Cara h1	No	Cara h1	2,40%
Cara h2	145	Aresta 2	0	Cara h2	7	10	Cara h2	No	Cara h2	Si	Cara h2	0,20%
Cantell b1	130	Aresta 3	0	Cantell b1	6	22	Cantell b1	Si	Cantell b1	No	Cantell b1	5,80%
Cantell b2	180	Aresta 4	4300	Cantell b2	6	4	Cantell b2	No	Cantell b2	No	Cantell b2	0,20%

Resum UNE 56544:2011

Nusos	Admès
Desviació de la fibra	Admès
Podridura	No admès
Clivelles	Admès
Curvatura	Admès
Guexesa	No admès
Galeries d'insectes	No admès
Sema	No admès

Assajos NO destructius

Profunditats de penetració (mm)

Pilodyn

	Cantell vist	Cantell ocult
Tangencial	12	14
Radial	17	16
Mitjana	14,3	15,00

Arrencament de vis

Força d'arrencament (KN)

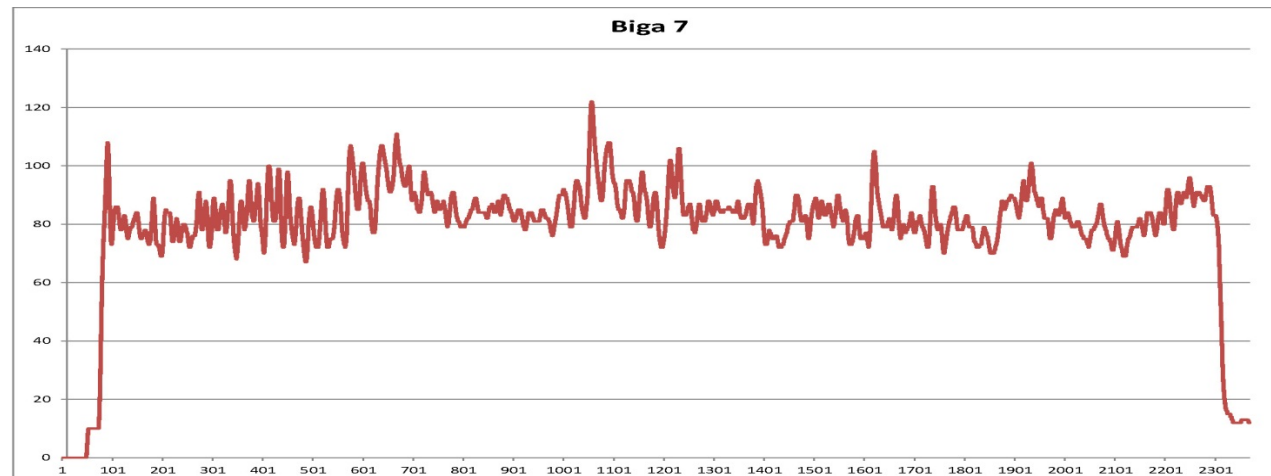
Tangencial	2,37
Radial	1,91
Mitjana	2,14
Densitat (kg/m³)	475,51

Resistògraf

Àrea	1821,83
Resist. Relat.	79,35
Dens. Area	501,97
Dens. RR	476,89



Testa de la biga



Gràfic de les dades registrades pel resistògraf



Assajos NO destructius. Mètodes acústics.

Assajos d'ones d'ultrasòniques (Sylvatest-Duo) i d'ones d'impacte (Microsecond Timer)

Velocitats (m/s) E.din (N/mm ²)		Ultrasons	Impacte	12%	Ultrasons	Impacte
Lectura directa	Velocitat	4880,82	4767,18	Velocitat	4923,77	4819,62
Testa-testa	E.din	11612,66	11078,23	E.din	11817,94	11323,29
Lectura Semidirecta	Velocitat	4577,47	4481,73	Velocitat	4617,75	4531,03
Cara1-Cara2	E.din	10214,04	9791,24	E.din	10394,59	10007,83
Lectura Semidirecta	Velocitat	4807,87	4674,63	Velocitat	4850,18	4726,05
Cara2-Cara1	E.din	11268,13	10652,25	E.din	11467,32	10887,89
Lectura Indirecta	Velocitat	4731,18	4599,30	Velocitat	4772,82	4649,90
Cara1	E.din	10911,54	10311,71	E.din	11104,42	10539,81
Lectura Indirecta	Velocitat	4585,99	4543,89	Velocitat	4626,34	4593,87
Cara2	E.din	10252,08	10064,73	E.din	10433,31	10287,37

Assaig per vibracions, mètode longitudinal (PLG)

Freqüència long. (Hz)	500,00	12%	
Velocitat (m/s)	4300,00	Velocitat 12%	4307,80
E.din long. (N/mm ²)	8658,64	E.din long. 12%	8690,07

Assaig per vibracions, mètode transversal (PLG)

Freqüència trans. (Hz)	52,30	12%	
E.din trans. (N/mm ²)	8562,15	E.din trans. 12%	8577,68

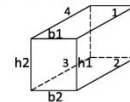
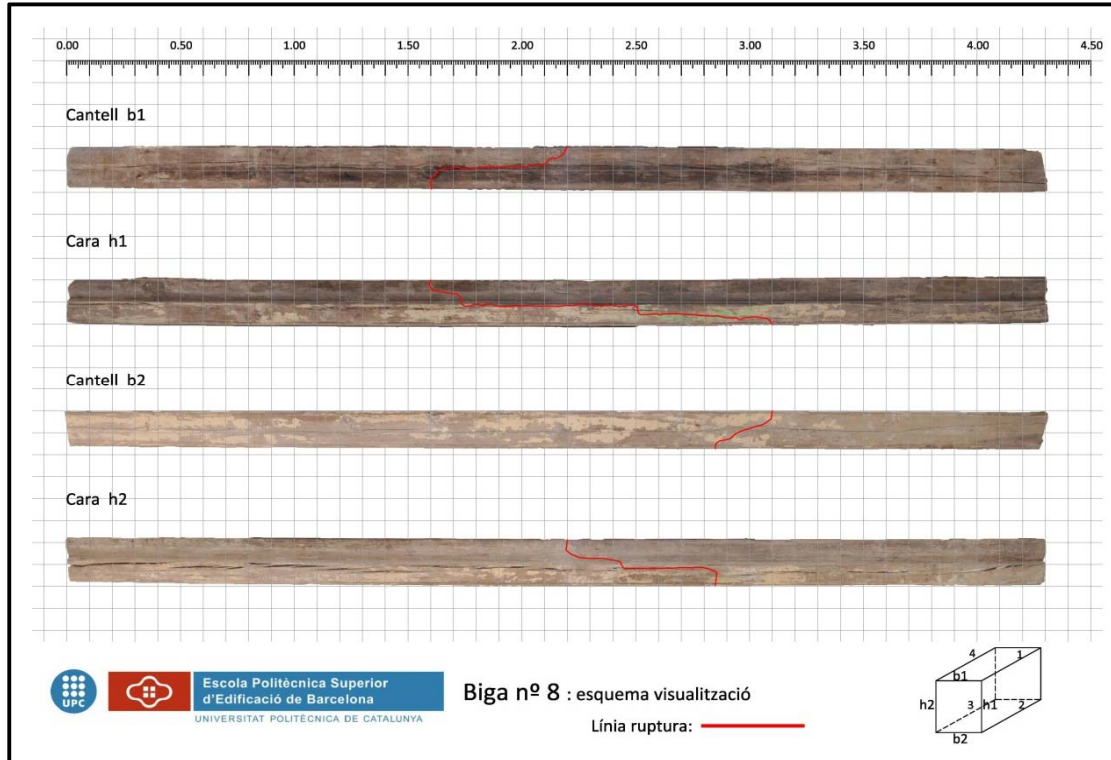
Assajos a Flexió. UNE-EN 408:2011

Resultats dels assajos		Interval F1-F2 Global	
Càrrega màxima (N)	57828,23	F1 (0,1Fmax)	5874,31
Mòdul d'elasticitat global (MOEG) (N/mm ²)	6775,89	F2 (0,4Fmax)	23028,88
Mòdul d'elasticitat global 12% (N/mm ²)	6788,18	w1 (mm)	6,26
Mòdul d'elasticitat local (MOE) (N/mm ²)	-	w2 (mm)	24,25
Mòdul d'elasticitat local 12% (N/mm ²)	-		
Tensió de ruptura (N/mm ²)	26,29		
Desplaçament pistó fins la ruptura (mm)	59,86		
Temps fins la ruptura (s)	478		

Gràfica de ruptura Biga 7 en N



Gràfica de la ruptura en Newtons



Dades generals biga				
Long. (mm)	h (mm)	215	Humitat %	Massa (kg)
4300,00	b (mm)	187	12,9%	81,98

Dades generals proveta				
Llarg (mm)	Ample (mm)	Gruix (mm)	Humitat %	Massa (gr)
100,57	100,08	99,95	10,8%	515,25
Densitat	512,18	Dens. 12%	515,17	

Dades generals Microproveta					
	Llarg	∅	Massa (gr)	Densitat	Dens. 12%
Tangencial	39,36	11,92	2,373	540,26	543,42
Radial	39,82	11,49	2,19	530,65	533,76
Mitjana				535,46	538,59

Nusos (mm) segons UNE 56544:2011										Clivelles (mm) segons UNE 56544:2011						
Nusos	Distància	65	835	1910	2435	3345	3620	4135			Clivelles	Longitud	4300			
Cara h1	∅	30	35	30	40	45	33	37			Cara h1	Profunditat	52			
Nusos	Distància	385	850	1605	2140	2420					Clivelles	Longitud	4300			
Cantell b1	∅	35	35	55	50	14					Cantell b1	Profunditat	34			
Nusos	Distància	50	400	850	1282	1670	1680	2185	3103	3152	3897	4125				
Cara h2	∅	15	80	50	32	17	15	19	40	38	18	18				
Nusos	Distància	405	867	1255	1625	1695	2160	2420	2648	3355	3620	3297				
Cantell b2	∅	50	47	50	40	17	36	22	35	30	30	14				
													Clivelles	Longitud	58	
													Cantell b2	Profunditat	4300	



Sema (mm) segons UNE 56544:2011				Deformacions	Curvatura	Guexesa	Podridura		Galeria d'insectes		Desviació de la fibra	
Cara h1	215	Aresta 1	0	Cara h1	11	0	Cara h1	No	Cara h1	Si	Cara h1	0,20%
Cara h2	165	Aresta 2	0	Cara h2	3	5	Cara h2	Si	Cara h2	Si	Cara h2	2,07%
Cantell b1	140	Aresta 3	0	Cantell b1	5	10	Cantell b1	Si	Cantell b1	No	Cantell b1	3,61%
Cantell b2	187	Aresta 4	320	Cantell b2	2	0	Cantell b2	No	Cantell b2	No	Cantell b2	0,00%

Resum UNE 56544:2011	
Nusos	Admès
Desviació de la fibra	Admès
Podridura	No admès
Clivelles	Admès
Curvatura	No admès
Guexesa	No admès
Galeries d'insectes	No admès
Sema	Admès

Assajos NO destructius

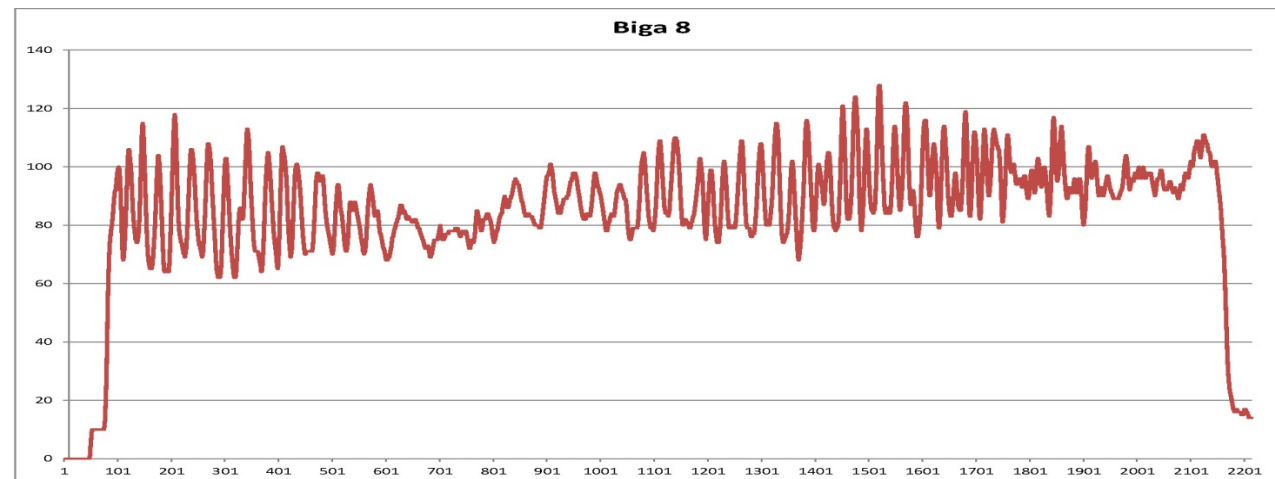
Profunditats de penetració (mm)		
Pilodyn		
	Cantell vist	Cantell ocult
Tangencial	15	14
Radial	14	15
Mitjana	14,5	14,25

Arrencament de vis	
Força d'arrencament (KN)	
Tangencial	2,29
Radial	1,53
Mitjana	1,91
Densitat (kg/m³)	475,51

Resistògraf	
Àrea	1591,32
Resist. Relat.	68,65
Dens. Area	479,68
Dens. RR	449,31



Testa de la biga



Gràfic de les dades registrades pel resistògraf



Assajos NO destructius. Mètodes acústics.

Assajos d'ones d'ultrasòniques (Sylvatest-Duo) i d'ones d'impacte (Microsecond Timer)

Velocitats (m/s) E.din (N/mm ²)		Ultrasons	Impacte	12%	Ultrasons	Impacte
Lectura directa	Velocitat	5000,00	4900,28	Velocitat	5036,00	4944,39
Testa-testa	E.din	12804,41	12298,78	E.din	12989,45	12521,16
Lectura Semidirecta	Velocitat	4656,87	4590,66	Velocitat	4690,40	4631,97
Cara1-Cara2	E.din	11107,28	10793,67	E.din	11267,80	10988,84
Lectura Semidirecta	Velocitat	4789,26	4704,94	Velocitat	4823,75	4747,28
Cara2-Cara1	E.din	11747,82	11337,75	E.din	11917,59	11542,75
Lectura Indirecta	Velocitat	4777,78	4699,45	Velocitat	4812,18	4741,75
Cara1	E.din	11691,53	11311,34	E.din	11860,49	11515,86
Lectura Indirecta	Velocitat	4623,66	4566,37	Velocitat	4656,95	4607,47
Cara2	E.din	10949,40	10679,77	E.din	11107,64	10872,87

Assaig per vibracions, mètode longitudinal (PLG)

Freqüència long. (Hz)	517,00	12%	
Velocitat (m/s)	4446,20	Velocitat 12%	4394,19
E.din long. (N/mm ²)	9374,27	E.din long. 12%	9156,25

Assaig per vibracions, mètode transversal (PLG)

Freqüència trans. (Hz)	52,00	12%	
E.din trans. (N/mm ²)	8974,32	E.din trans. 12%	8869,34

Assajos a Flexió. UNE-EN 408:2011

Resultats dels assajos		Interval F1-F2 Global	
Càrrega màxima (N)	73099,11	F1 (0,1Fmax)	7498,76
Mòdul d'elasticitat global (MOEG) (N/mm ²)	7508,00	F2 (0,4Fmax)	29102,50
Mòdul d'elasticitat global 12% (N/mm ²)	7420,17	w1 (mm)	7,17
Mòdul d'elasticitat local (MOE) (N/mm ²)	-	w2 (mm)	26,92
Mòdul d'elasticitat local 12% (N/mm ²)	-		
Tensió de ruptura (N/mm ²)	32,73		
Desplaçament pistó fins la ruptura (mm)	69,60		
Temps fins la ruptura (s)	353		

Gràfica de ruptura Biga 8 en N



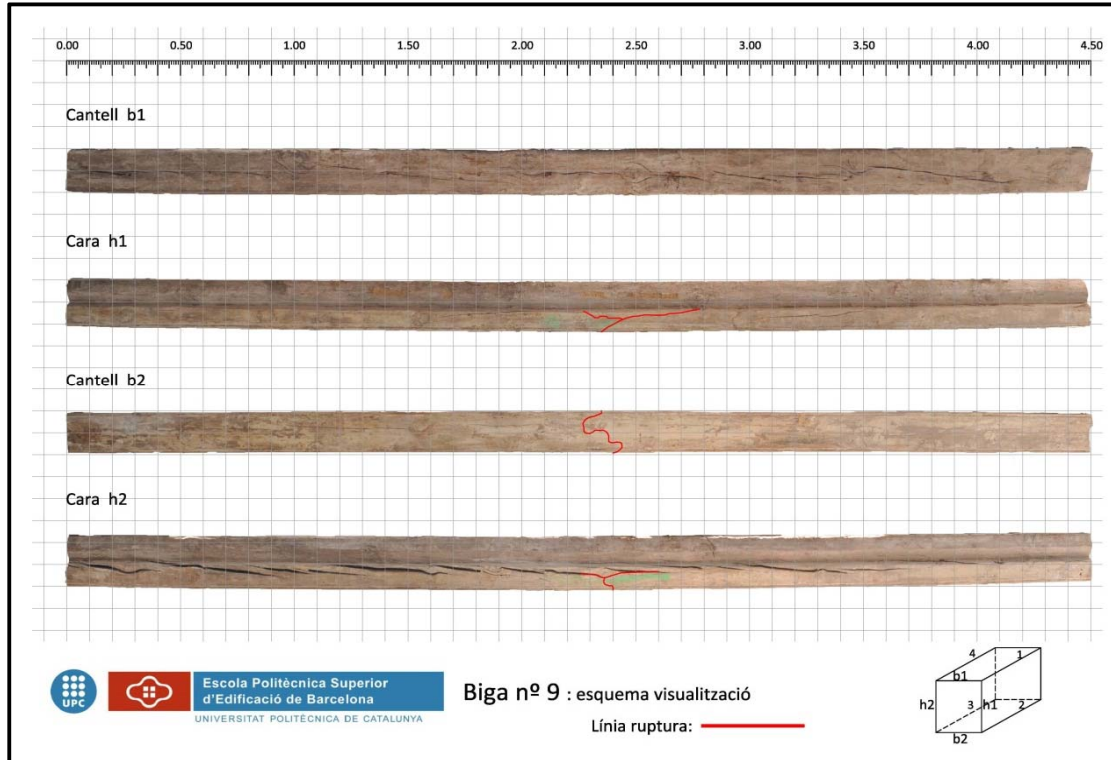
Gràfica de la ruptura en Newtons



Laboratori de Materials de l'EPSEB

Fitxa tècnica I

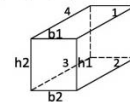
biga nº 9



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Biga nº 9 : esquema visualització

Línia ruptura: —



Dades generals biga				
Long. (mm)	h (mm)	230	Humitat %	Massa (kg)
4500,00	b (mm)	195	13,0%	104,88

Dades generals proveta				
Llarg (mm)	Ample (mm)	Gruix (mm)	Humitat %	Massa (gr)
100,53	99,96	99,95	13,0%	419,64
Densitat	417,80	Dens. 12%	415,80	

Dades generals Microproveta					
	Llarg	∅	Massa (gr)	Densitat	Dens. 12%
Tangencial	39,54	11,61	1,904	454,86	452,68
Radial	39,25	11,75	1,97	463,11	460,89
Mitjana				458,98	456,78

Nusos (mm) segons UNE 56544:2011											Clivelles (mm) segons UNE 56544:2011												
Nusos	Distància	280	555	920	1345	1570	2280	2760	2960	3700	4050	Clivelles	Longitud	0									
Cara h1	∅	50	75	60	23	70	45	45	50	70	70	Cara h1	Profuditat	0									
Nusos	Distància	260	1010	1350	1595	2020	2265	2475	2805	3445	4365	Clivelles	Longitud	3700	Una gran clivella en el mig de la cara, amb petites interrupcions quan arriba als nusos. Un gruix de 20mm								
Cantell b1	∅	30	65	25	22	75	40	75	25	65	50	Cantell b1	Profuditat	60									
Nusos	Distància	290	570	960	980	1360	1615	1870	2125	2350	2760	2800	2990	3270	3520	3800	4070	4220	4370	Clivelles	Longitud	0	Clivella amb direcció els nusos més grans del cantell (1940-4180)
Cara h2	∅	60	60	30	15	55	40	70	32	50	65	27	22	40	45	32	40	35	40	Cara h2	Profuditat	2240	
Nusos	Distància	290	550	960	1110	1580	2040	2350	2545	2805	3260	3470	4040	4367	Clivelles	Longitud	35	Taques verdes (moho superficial) per tot el cantell					
Cantell b2	∅	27	60	25	40	47	55	35	35	30	40	70	50	35	Cantell b2	Profuditat	0						



Sema (mm) segons UNE 56544:2011				Deformacions	Curvatura	Guerxesa	Podridura		Galeria d'insectes		Desviació de la fibra	
Cara h1	150	Aresta 1	4500	Cara h1	15	20	Cara h1	No	Cara h1	No	Cara h1	1,00%
Cara h2	230	Aresta 2	0	Cara h2	10	21	Cara h2	No	Cara h2	No	Cara h2	2,70%
Cantell b1	150	Aresta 3	0	Cantell b1	8	20	Cantell b1	No	Cantell b1	No	Cantell b1	3,50%
Cantell b2	195	Aresta 4	0	Cantell b2	12	22	Cantell b2	Si	Cantell b2	No	Cantell b2	4,50%

Resum UNE 56544:2011	
Nusos	Admès
Desviació de la fibra	Admès
Podridura	No admès
Clivelles	Admès
Curvatura	No admès
Guerxesa	No admès
Galeries d'insectes	Admès
Sema	No admès

Assajos NO destructius

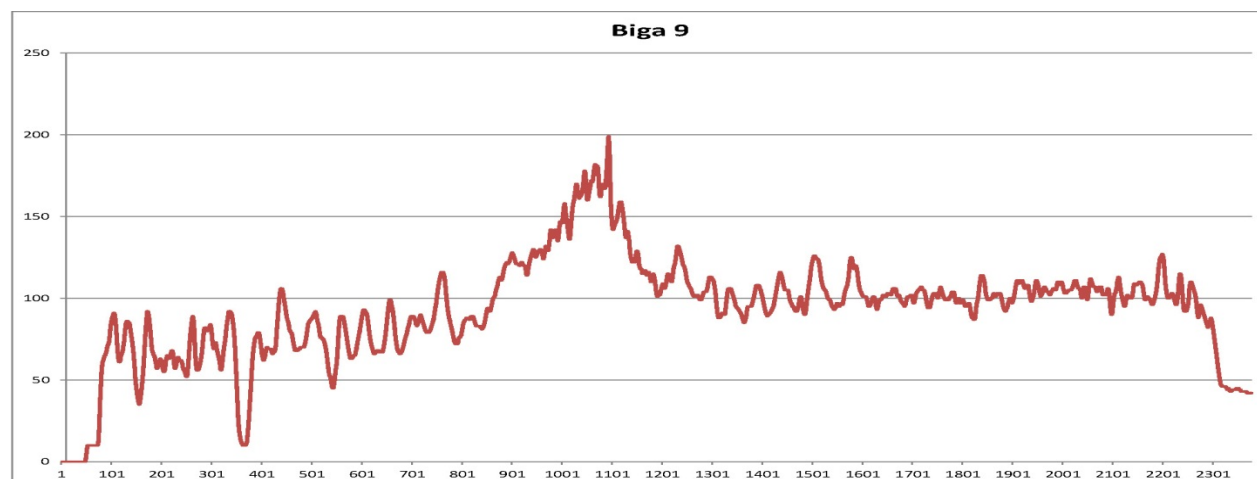
Profunditats de penetració (mm)		
Pilodyn		
	Cantell vist	Cantell ocult
Tangencial	15	20
Radial	15	20
Mitjana	14,8	19,75

Arrencament de vis	
Força d'arrencament (KN)	
Tangencial	1,02
Radial	1,18
Mitjana	1,10
Densitat (kg/m³)	475,51

Resistògraf	
Àrea	1569,03
Resist. Relat.	71,49
Dens. Area	477,53
Dens. RR	456,62



Testa de la biga



Gràfic de les dades registrades pel resistògraf



Assajos NO destructius. Mètodes acústics.

Assajos d'ones d'ultrasòniques (Sylvatest-Duo) i d'ones d'impacte (Microsecond Timer)

Velocitats (m/s) E.din (N/mm ²)		Ultrasons	Impacte	12%	Ultrasons	Impacte
Lectura directa	Velocitat	3852,74	3928,42	Velocitat	3883,56	3967,70
Testa-testa	E.din	6201,71	6447,73	E.din	6301,33	6577,33
Lectura Semidirecta	Velocitat	3513,85	3745,68	Velocitat	3541,96	3783,13
Cara1-Cara2	E.din	5158,69	5861,82	E.din	5241,56	5979,64
Lectura Semidirecta	Velocitat	3448,08	3689,00	Velocitat	3475,66	3725,89
Cara2-Cara1	E.din	4967,37	5685,77	E.din	5047,16	5800,05
Lectura Indirecta	Velocitat	3480,45	3703,04	Velocitat	3508,30	3740,07
Cara1	E.din	5061,09	5729,14	E.din	5142,39	5844,29
Lectura Indirecta	Velocitat	3450,00	3724,70	Velocitat	3477,60	3761,94
Cara2	E.din	4972,91	5796,34	E.din	5052,79	5912,85

Assaig per vibracions, mètode longitudinal (PLG)

Freqüència long. (Hz)	377,00	12%	
Velocitat (m/s)	3393,00	Velocitat 12%	3425,51
E.din long. (N/mm ²)	5982,54	E.din long. 12%	6097,75

Assaig per vibracions, mètode transversal (PLG)

Freqüència trans. (Hz)	35,50	12%	
E.din trans. (N/mm ²)	4804,05	E.din trans. 12%	4850,08

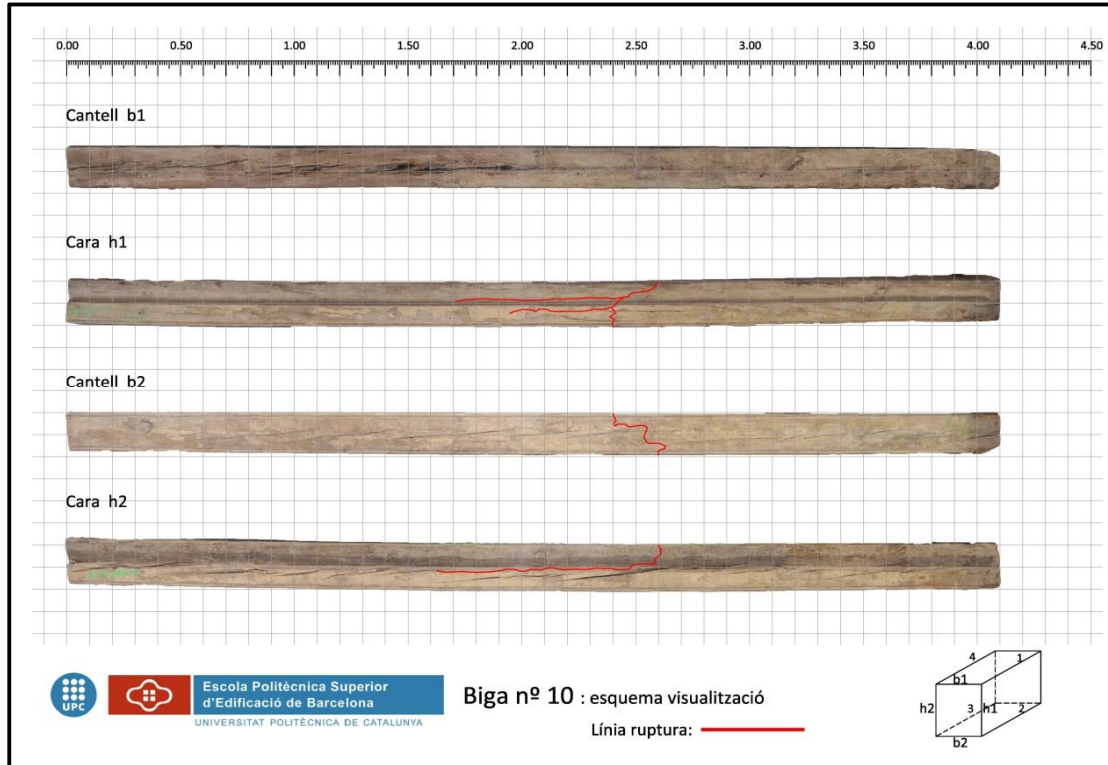
Assajos a Flexió. UNE-EN 408:2011

Resultats dels assajos		Interval F1-F2 Global	
Càrrega màxima (N)	36704,78	F1 (0,1Fmax)	3682,36
Mòdul d'elasticitat global (MOEG) (N/mm ²)	4098,47	F2 (0,4Fmax)	14555,50
Mòdul d'elasticitat global 12% (N/mm ²)	4137,75	w1 (mm)	4,45
Mòdul d'elasticitat local (MOE) (N/mm ²)	-	w2 (mm)	21,66
Mòdul d'elasticitat local 12% (N/mm ²)	-		
Tensió de ruptura (N/mm ²)	14,73		
Desplaçament pistó fins la ruptura (mm)	56,25		
Temps fins la ruptura (s)	305		

Gràfica de ruptura Biga 9 en N



Gràfica de la ruptura en Newtons



Dades generals biga				
Long. (mm)	h (mm)	205	Humitat %	Massa (kg)
4100,00	b (mm)	185	12,4%	70,84

Dades generals proveta				
Llarg (mm)	Ample (mm)	Gruix (mm)	Humitat %	Massa (gr)
99,96	100,07	100,18	12,4%	435,10
Densitat	434,19	Dens. 12%	433,32	

Dades generals Microproveta					
	Llarg	∅	Massa (gr)	Densitat	Dens. 12%
Tangencial	39,54	11,71	1,95	457,92	457,01
Radial	39,57	11,74	1,86	434,23	433,36
Mitjana				446,08	445,19

Nusos (mm) segons UNE 56544:2011													Clivelles (mm) segons UNE 56544:2011					
Nusos	Distància	25	680	830	840	1150	1435	1450	2080	2810	3110	3420	3670	3920	Clivelles	Longitud	4100	
Cara h1	∅	25	35	50	25	25	30	30	70	30	40	15	40	30	Cara h1	Profunditat	55	
Nusos	Distància	35	280	350	650	815	1150	1745	2080	2470	2800	3130	3890	Clivelles	Longitud	0		
Cantell b1	∅	25	20	30	25	35	20	40	40	50	40	40	40	Cantell b1	Profunditat	0		
Nusos	Distància	50	290	360	650	660	890	1460	1760	2050	2800	3540	3940	Clivelles	Longitud	0		
Cara h2	∅	35	25	20	25	20	35	40	40	30	30	70	30	Cara h2	Profunditat	2600		
Nusos	Distància	20	370	1165	1450	1730	1750	2090	2510	3110	3470	3660	3920	Clivelles	Longitud	35		
Cantell b2	∅	30	50	35	20	30	35	40	35	30	40	25	40	Cantell b2	Profunditat	3500		



Sema (mm) segons UNE 56544:2011				Deformacions	Curvatura	Guexesa	Podridura		Galeria d'insectes		Desviació de la fibra	
Cara h1	165	Aresta 1	4100	Cara h1	15	20	Cara h1	SI	Cara h1	SI	Cara h1	1,00%
Cara h2	155	Aresta 2	0	Cara h2	12	18	Cara h2	No	Cara h2	No	Cara h2	1,41%
Cantell b1	140	Aresta 3	0	Cantell b1	25	30	Cantell b1	SI	Cantell b1	SI	Cantell b1	7,50%
Cantell b2	185	Aresta 4	4100	Cantell b2	15	20	Cantell b2	No	Cantell b2	No	Cantell b2	4,00%

Resum UNE 56544:2011

Nusos	Admès
Desviació de la fibra	Admès
Podridura	No admès
Clivelles	Admès
Curvatura	No admès
Guexesa	No admès
Galeries d'insectes	No admès
Sema	No admès

Assajos NO destructius

Profunditats de penetració (mm)

Pilodyn

	Cantell vist	Cantell ocult
Tangencial	15	19
Radial	17	20
Mitjana	16,0	19,50

Arrencament de vis

Força d'arrencament (KN)

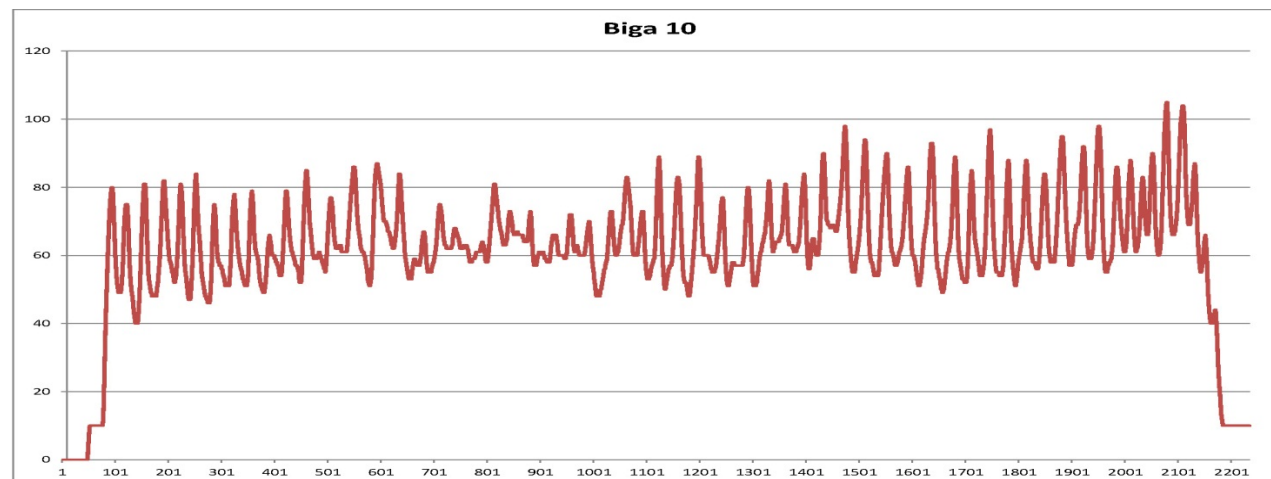
Tangencial	0,89
Radial	1,32
Mitjana	1,11
Densitat (kg/m³)	475,51

Resistògraf

Àrea	1887,16
Resist. Relat.	79,66
Dens. Area	508,29
Dens. RR	477,69



Testa de la biga



Gràfic de les dades registrades pel resistògraf



Assajos NO destructius. Mètodes acústics.

Assajos d'ones d'ultrasòniques (Sylvatest-Duo) i d'ones d'impacte (Microsecond Timer)

Velocitats (m/s) E.din (N/mm ²)		Ultrasons	Impacte	12%	Ultrasons	Impacte
Lectura directa	Velocitat	4200,82	4169,21	Velocitat	4214,26	4185,89
Testa-testa	E.din	7662,07	7547,19	E.din	7711,18	7607,69
Lectura Semidirecta	Velocitat	4100,59	4008,07	Velocitat	4113,72	4024,10
Cara1-Cara2	E.din	7300,81	6975,05	E.din	7347,61	7030,96
Lectura Semidirecta	Velocitat	4040,06	3825,47	Velocitat	4052,99	3840,77
Cara2-Cara1	E.din	7086,85	6353,99	E.din	7132,28	6404,92
Lectura Indirecta	Velocitat	4043,84	2744,51	Velocitat	4056,78	2755,49
Cara1	E.din	7100,11	3270,46	E.din	7145,62	3296,68
Lectura Indirecta	Velocitat	4043,84	3051,60	Velocitat	4056,78	3063,81
Cara2	E.din	7100,11	4043,29	E.din	7145,62	4075,70

Assaig per vibracions, mètode longitudinal (PLG)

Freqüència long. (Hz)	440,00	12%	
Velocitat (m/s)	3608,00	Velocitat 12%	3622,43
E.din long. (N/mm ²)	5930,65	E.din long. 12%	5978,18

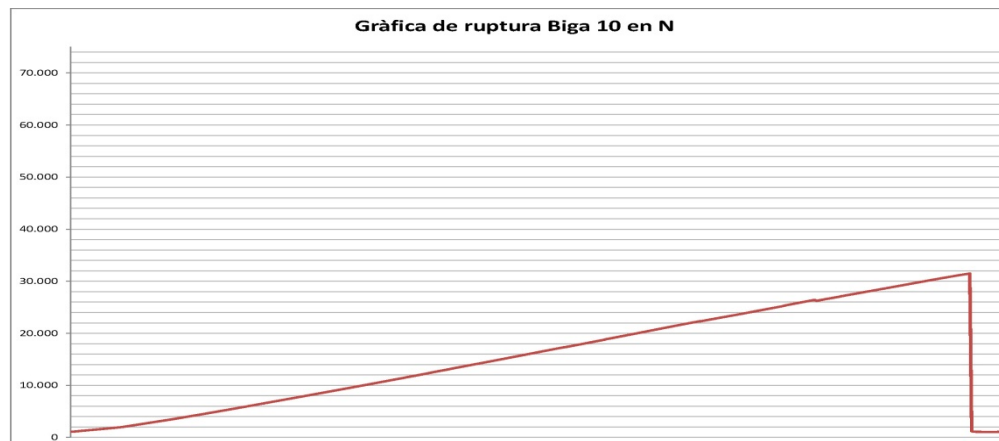
Assaig per vibracions, mètode transversal (PLG)

Freqüència trans. (Hz)	49,50	12%	
E.din trans. (N/mm ²)	7103,06	E.din trans. 12%	7131,47

Assajos a Flexió. UNE-EN 408:2011

Resultats dels assajos		Interval F1-F2 Global	
Càrrega màxima (N)	31484,52	F1 (0,1F _{max})	3169,29
Mòdul d'elasticitat global (MOEG) (N/mm ²)	4733,29	F2 (0,4F _{max})	12554,82
Mòdul d'elasticitat global 12% (N/mm ²)	4752,22	w1 (mm)	4,17
Mòdul d'elasticitat local (MOE) (N/mm ²)	-	w2 (mm)	18,46
Mòdul d'elasticitat local 12% (N/mm ²)	-		
Tensió de ruptura (N/mm ²)	16,19		
Desplaçament pistó fins la ruptura (mm)	48,62		
Temps fins la ruptura (s)	469		

Gràfica de ruptura Biga 10 en N



Gràfica de la ruptura en Newtons



Sema (mm) segons UNE 56544:2011				Deformacions	Curvatura	Guexesa	Podridura		Galeria d'insectes		Desviació de la fibra	
Cara h1	160	Aresta 1	1820	Cara h1	3	10	Cara h1	No	Cara h1	No	Cara h1	3,80%
Cara h2	210	Aresta 2	0	Cara h2	8	10	Cara h2	No	Cara h2	No	Cara h2	2,00%
Cantell b1	150	Aresta 3	0	Cantell b1	8	8	Cantell b1	No	Cantell b1	No	Cantell b1	0,40%
Cantell b2	165	Aresta 4	0	Cantell b2	9	8	Cantell b2	No	Cantell b2	No	Cantell b2	2,00%

Resum UNE 56544:2011	
Nusos	Admès
Desviació de la fibra	Admès
Podridura	Admès
Clivelles	Admès
Curvatura	No admès
Guexesa	No admès
Galeries d'insectes	Admès
Sema	No admès

Assajos NO destructius

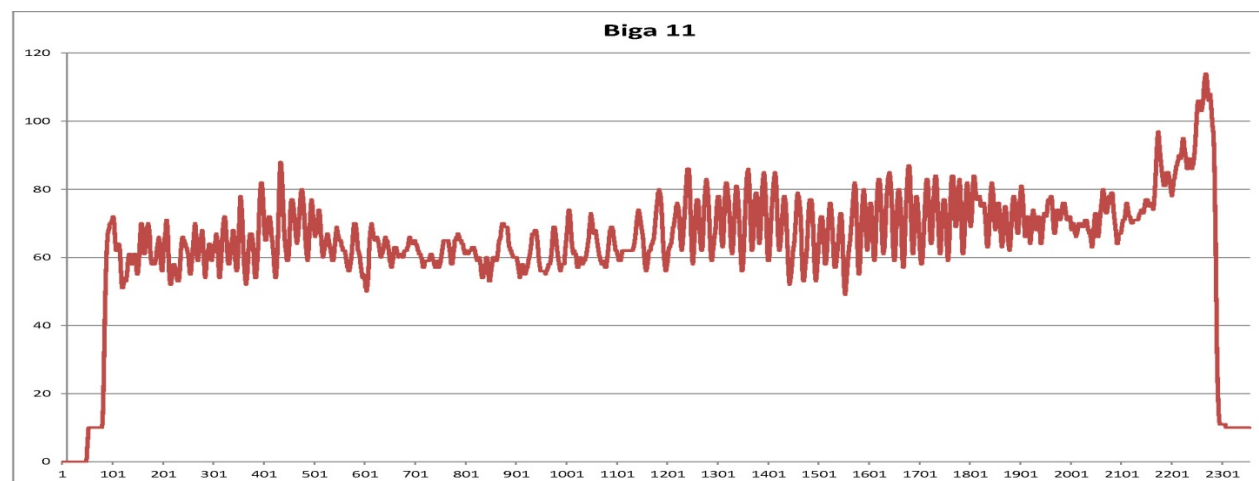
Profunditats de penetració (mm)		
Pilodyn		
	Cantell vist	Cantell ocult
Tangencial	18	24
Radial	19	22
Mitjana	18,3	22,75

Arrencament de vis	
Força d'arrencament (KN)	
Tangencial	1,42
Radial	1,52
Mitjana	1,47
Densitat (kg/m³)	475,51

Resistògraf	
Àrea	1871,88
Resist. Relat.	84,55
Dens. Area	506,81
Dens. RR	490,28



Testa de la biga



Gràfic de les dades registrades pel resistògraf



Assajos NO destructius. Mètodes acústics.

Assajos d'ones d'ultrasòniques (Sylvatest-Duo) i d'ones d'impacte (Microsecond Timer)

Velocitats (m/s) E.din (N/mm ²)		Ultrasons	Impacte	12%	Ultrasons	Impacte
Lectura directa	Velocitat	4502,39	4403,96	Velocitat	4495,19	4395,15
Testa-testa	E.din	11318,28	10828,77	E.din	11282,09	10785,50
Lectura Semidirecta	Velocitat	4185,40	4376,63	Velocitat	4178,70	4367,88
Cara1-Cara2	E.din	9780,62	10694,82	E.din	9749,35	10652,08
Lectura Semidirecta	Velocitat	4144,14	4213,36	Velocitat	4137,51	4204,94
Cara2-Cara1	E.din	9588,75	9911,76	E.din	9558,09	9872,15
Lectura Indirecta	Velocitat	4209,35	4322,47	Velocitat	4202,62	4313,83
Cara1	E.din	9892,91	10431,75	E.din	9861,28	10390,06
Lectura Indirecta	Velocitat	4106,46	4240,04	Velocitat	4099,89	4231,56
Cara2	E.din	9415,19	10037,70	E.din	9385,09	9997,59

Assaig per vibracions, mètode longitudinal (PLG)

Freqüència long. (Hz)	486,00	12%	
Velocitat (m/s)	4111,56	Velocitat 12%	4225,38
E.din long. (N/mm ²)	9049,36	E.din long. 12%	9557,33

Assaig per vibracions, mètode transversal (PLG)

Freqüència trans. (Hz)	51,40	12%	
E.din trans. (N/mm ²)	9716,11	E.din trans. 12%	9985,08

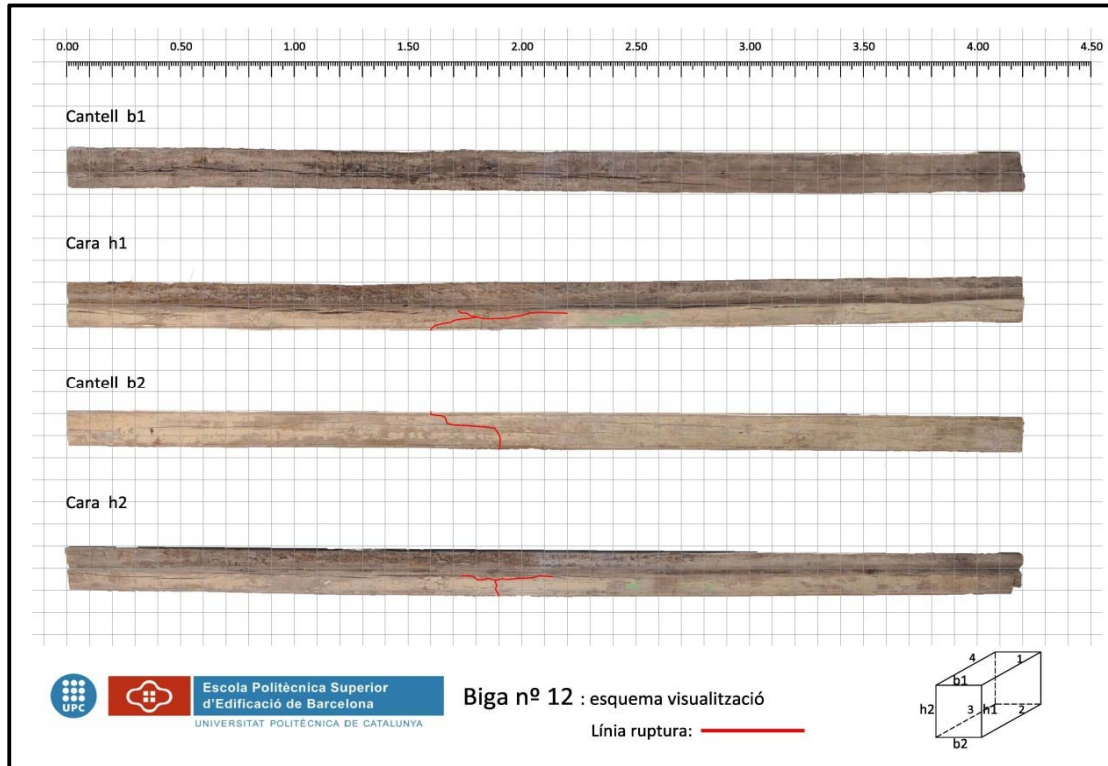
Assajos a Flexió. UNE-EN 408:2011

Resultats dels assajos		Interval F1-F2 Global	
Càrrega màxima (N)	55545,91	F1 (0,1F _{max})	5560,49
Mòdul d'elasticitat global (MOEG) (N/mm ²)	7223,21	F2 (0,4F _{max})	22069,67
Mòdul d'elasticitat global 12% (N/mm ²)	7423,18	w1 (mm)	5,16
Mòdul d'elasticitat local (MOE) (N/mm ²)	8161,61	w2 (mm)	22,91
Mòdul d'elasticitat local 12% (N/mm ²)	8387,55		
Tensió de ruptura (N/mm ²)	28,86		
Desplaçament pistó fins la ruptura (mm)	63,23		
Temps fins la ruptura (s)	349		

Gràfica de ruptura Biga 11 en N

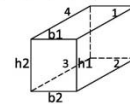


Gràfica de la ruptura en Newtons



Biga nº 12 : esquema visualització

Línia ruptura:



Dades generals biga				
Long. (mm)	h (mm)	205	Humitat %	Massa (kg)
4200,00	b (mm)	165	14,9%	86,38

Dades generals proveta				
Llarg (mm)	Ample (mm)	Gruix (mm)	Humitat %	Massa (gr)
101,24	100,04	99,93	14,1%	602,48
Densitat	595,28	Dens. 12%	588,88	

Dades generals Microproveta					
	Llarg	∅	Massa (gr)	Densitat	Dens. 12%
Tangencial	39,3	11,75	2,607	611,76	605,19
Radial	39,54	11,83	2,71	624,24	617,53
Mitjana				618,00	611,36

Nusos (mm) segons UNE 56544:2011														Clivelles (mm) segons UNE 56544:2011					
Nusos	Distància	670	1130	1187	1380	1885	2405	2645	2880	3020	3170	3445	3555	3805	3940	Clivelles	Longitud	4200	Clivella discontinua de poca entitat a tot el llarg de la biga
Cara h1	∅	32	50	20	30	48	40	30	35	18	15	35	30	32	25	Cara h1	Profuditat	35	
Nusos	Distància	15	480	700	93	1630	1860	2377	2615	2915	3385				Clivelles	Longitud	4200	Clivella discontinua a tot el llarg de la biga	
Cantell b1	∅	15	45	38	14	18	45	28	40	25	35				Cantell b1	Profuditat	69		
Nusos	Distància	250	880	1150	1495	1634	3490	3640	3995				Clivelles	Longitud	0	Clivella discontinua a tot el llarg de la biga			
Cara h2	∅	25	55	15	18	14	55	45	38				Cara h2	Profuditat	4200				
Nusos	Distància	280	1310	1880	2245	2500	3155	3665	3735	3776	4045				Clivelles	Longitud	65	Clivella discontinua a tot el llarg de la biga	
Cantell b2	∅	55	50	38	20	25	50	20	30	16	65				Cantell b2	Profuditat	4200		



Sema (mm) segons UNE 56544:2011				Deformacions	Curvatura	Guexesa	Podridura		Galeria d'insectes		Desviació de la fibra	
Cara h1	165	Aresta 1	440	Cara h1	3	7	Cara h1	Si	Cara h1	Si	Cara h1	1,90%
Cara h2	180	Aresta 2	0	Cara h2	5	8	Cara h2	Si	Cara h2	Si	Cara h2	0,40%
Cantell b1	140	Aresta 3	0	Cantell b1	4	8	Cantell b1	Si	Cantell b1	Si	Cantell b1	0,80%
Cantell b2	165	Aresta 4	2350	Cantell b2	2	5	Cantell b2	No	Cantell b2	Si	Cantell b2	2,30%

Resum UNE 56544:2011	
Nusos	Admès
Desviació de la fibra	Admès
Podridura	No admès
Clivelles	No admès
Curvatura	Admès
Guexesa	No admès
Galeries d'insectes	No admès
Sema	No admès

Assajos NO destructius

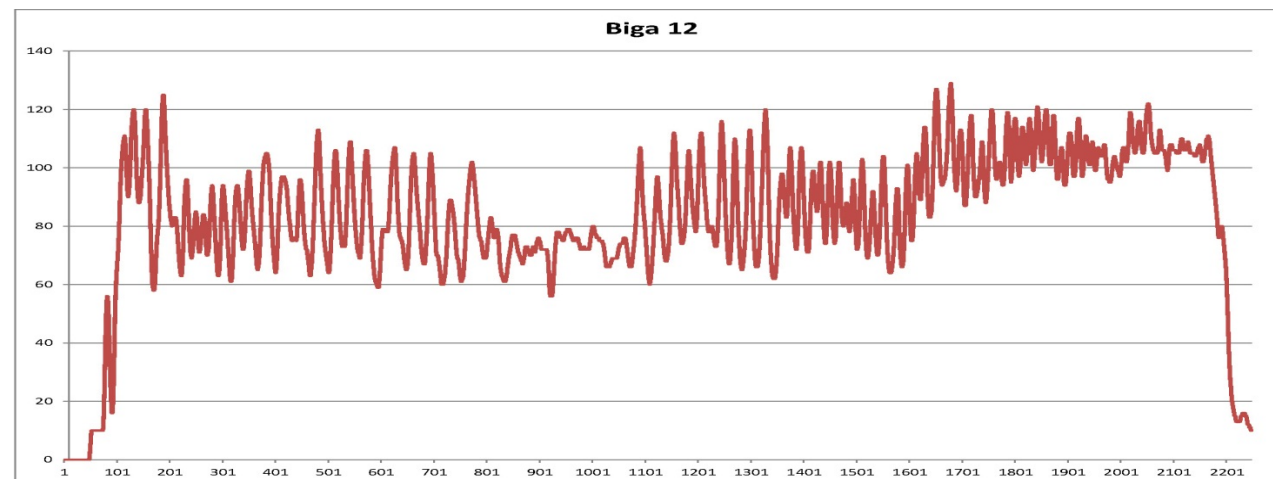
Profunditats de penetració (mm)		
Pilodyn		
	Cantell vist	Cantell ocult
Tangencial	10	13
Radial	12	15
Mitjana	11,0	14,00

Arrencament de vis	
Força d'arrencament (KN)	
Tangencial	1,93
Radial	2,01
Mitjana	1,97
Densitat (kg/m³)	475,51

Resistògraf	
Àrea	2215,38
Resist. Relat.	93,17
Dens. Area	540,03
Dens. RR	512,50



Testa de la biga



Gràfic de les dades registrades pel resistògraf



Assajos NO destructius. Mètodes acústics.

Assajos d'ones d'ultrasòniques (Sylvatest-Duo) i d'ones d'impacte (Microsecond Timer)

Velocitats (m/s) E.din (N/mm ²)		Ultrasons	Impacte	12%	Ultrasons	Impacte
Lectura directa	Velocitat	4268,29	4307,69	Velocitat	4367,32	4432,62
Testa-testa	E.din	10844,99	11046,13	E.din	11354,04	11696,10
Lectura Semidirecta	Velocitat	4122,42	4166,60	Velocitat	4218,06	4287,43
Cara1-Cara2	E.din	10116,38	10334,36	E.din	10591,23	10942,45
Lectura Semidirecta	Velocitat	4047,88	4312,54	Velocitat	4141,79	4437,60
Cara2-Cara1	E.din	9753,84	11070,99	E.din	10211,66	11722,42
Lectura Indirecta	Velocitat	4037,20	4164,79	Velocitat	4130,86	4285,56
Cara1	E.din	9702,45	10325,38	E.din	10157,86	10932,94
Lectura Indirecta	Velocitat	4084,12	4093,18	Velocitat	4178,87	4211,88
Cara2	E.din	9929,27	9973,38	E.din	10395,33	10560,22

Assaig per vibracions, mètode longitudinal (PLG)

Freqüència long. (Hz)	459,00	12%	
Velocitat (m/s)	3855,60	Velocitat 12%	3938,47
E.din long. (N/mm ²)	9038,78	E.din long. 12%	9431,50

Assaig per vibracions, mètode transversal (PLG)

Freqüència trans. (Hz)	43,70	12%	
E.din trans. (N/mm ²)	8136,11	E.din trans. 12%	8310,98

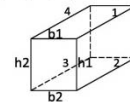
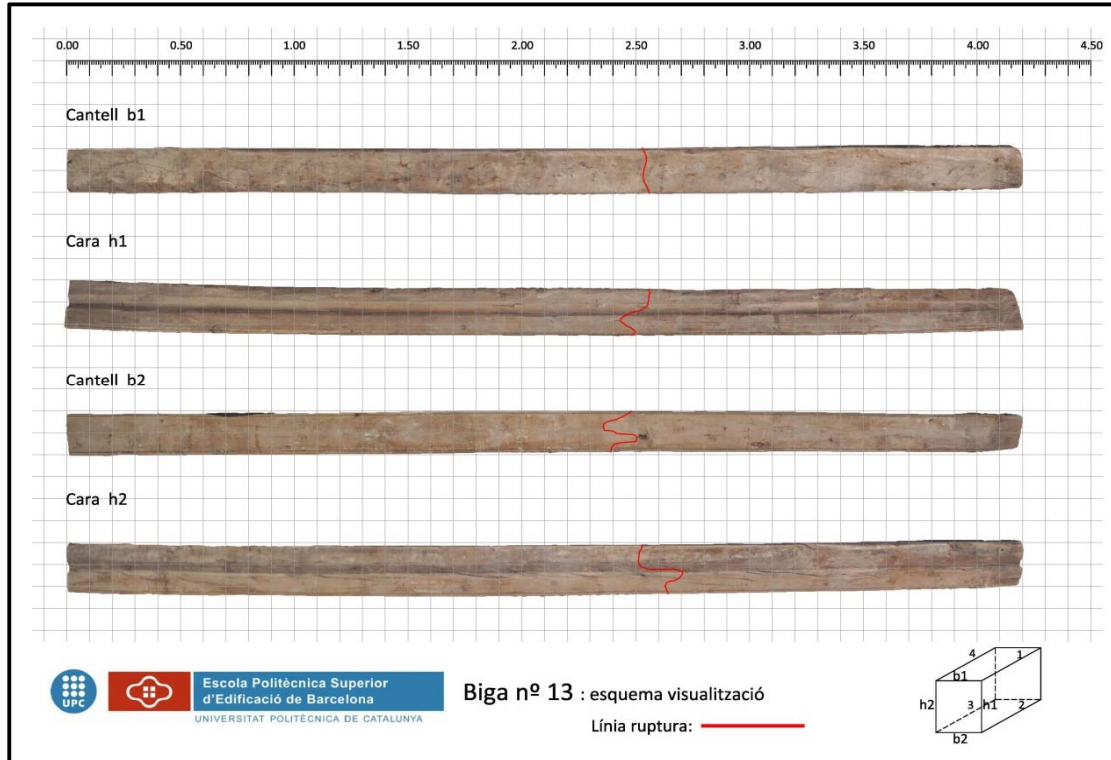
Assajos a Flexió. UNE-EN 408:2011

Resultats dels assajos		Interval F1-F2 Global	
Càrrega màxima (N)	52397,45	F1 (0,1F _{max})	5335,23
Mòdul d'elasticitat global (MOEG) (N/mm ²)	6811,88	F2 (0,4F _{max})	20807,01
Mòdul d'elasticitat global 12% (N/mm ²)	6451,57	w1 (mm)	1,56
Mòdul d'elasticitat local (MOE) (N/mm ²)	-	w2 (mm)	22,85
Mòdul d'elasticitat local 12% (N/mm ²)	-		
Tensió de ruptura (N/mm ²)	27,88		
Desplaçament pistó fins la ruptura (mm)	63,07		
Temps fins la ruptura (s)	347		

Gràfica de ruptura Biga 12 en N



Gràfica de la ruptura en Newtons



Dades generals biga				
Long. (mm)	h (mm)	230	Humitat %	Massa (kg)
4200,00	b (mm)	200	13,0%	95,28

Dades generals proveta				
Llarg (mm)	Ample (mm)	Gruix (mm)	Humitat %	Massa (gr)
100,60	99,87	99,57	12,2%	544,44
Densitat	544,24	Dens. 12%	543,60	

Dades generals Microproveta					
	Llarg	∅	Massa (gr)	Densitat	Dens. 12%
Tangencial	39,2	11,69	2,24	532,41	531,79
Radial	39,56	11,61	2,38	568,52	567,86
Mitjana				550,47	549,83

Nusos (mm) segons UNE 56544:2011														Clivelles (mm) segons UNE 56544:2011							
Nusos	Distància	450	700	1250	1390	1760	2170	2330	2890	3100	3400	3510	3950	4095	Clivelles	Longitud	0				
Cara h1	∅	30	30	15	30	25	30	30	50	40	50	15	45	17	Cara h1	Profuditat	0				
Nusos	Distància	30	520	1065	1270	1500	1590	1820	2010	2700	2840	3230	3560	3810	3960	4100	Tota una clivella discontinua i oblicua en el mig de la cara				
Cantell b1	∅	35	40	25	20	30	30	65	40	30	25	30	20	30	25	55					
Nusos	Distància	190	450	855	1750	2135	2360	2570	2820	3090	3170	3320	3560	3790	3900	4000	4090	Clivelles	Longitud	0	
Cara h2	∅	25	50	25	30	25	25	45	20	25	50	25	30	30	40	30	30	Cara h2	Profuditat	0	
Nusos	Distància	65	210	310	450	870	1080	1255	1410	1950	2530	2830	3050	3530	3780	3790	3970	Clivelles	Longitud	0	
Cantell b2	∅	15	20	25	15	15	20	20	20	20	55	30	35	20	20	25	40	Cantell b2	Profuditat	0	



Sema (mm) segons UNE 56544:2011				Deformacions	Curvatura	Guexesa	Podridura		Galeria d'insectes		Desviació de la fibra	
Cara h1	150	Aresta 1	3480	Cara h1	15	25	Cara h1	No	Cara h1	Si	Cara h1	1,43%
Cara h2	160	Aresta 2	0	Cara h2	7	15	Cara h2	No	Cara h2	No	Cara h2	2,50%
Cantell b1	110	Aresta 3	0	Cantell b1	7	14	Cantell b1	No	Cantell b1	No	Cantell b1	5,00%
Cantell b2	200	Aresta 4	870	Cantell b2	14	20	Cantell b2	No	Cantell b2	Si	Cantell b2	1,00%

Resum UNE 56544:2011

Nusos	Admès
Desviació de la fibra	Admès
Podridura	Admès
Clivelles	Admès
Curvatura	No admès
Guexesa	No admès
Galeries d'insectes	No admès
Sema	No admès

Assajos NO destructius

Profunditats de penetració (mm)

Pilodyn

	Cantell vist	Cantell ocult
Tangencial	14	15
Radial	16	14
Mitjana	15,0	14,00

Arrencament de vis

Força d'arrencament (KN)

Tangencial	1,98
Radial	1,74
Mitjana	1,86
Densitat (kg/m ³)	475,51

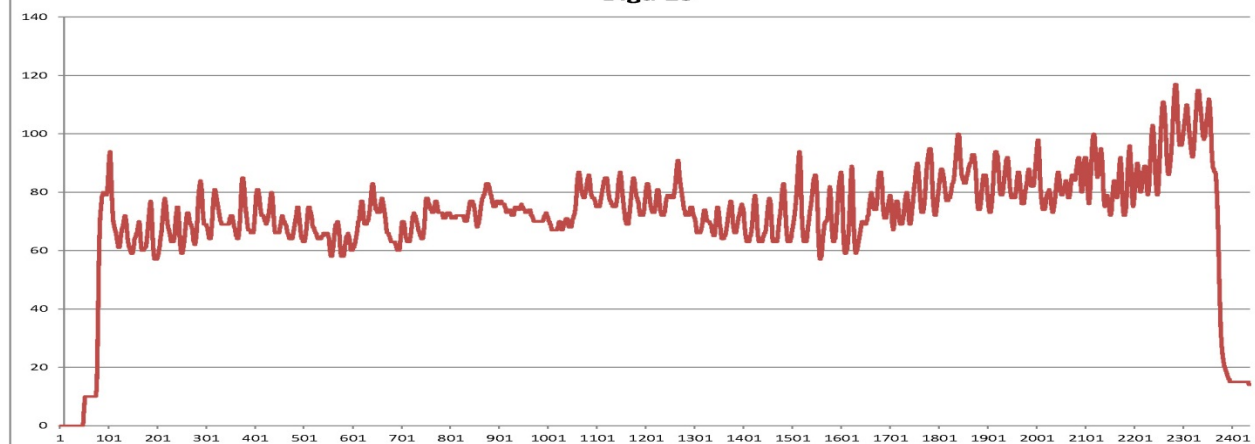
Resistògraf

Àrea	1377,77
Resist. Relat.	61,65
Dens. Area	459,03
Dens. RR	431,26



Testa de la biga

Biga 13



Gràfic de les dades registrades pel resistògraf



Assajos NO destructius. Mètodes acústics.

Assajos d'ones d'ultrasòniques (Sylvatest-Duo) i d'ones d'impacte (Microsecond Timer)

Velocitats (m/s) E.din (N/mm ²)		Ultrasons	Impacte	12%	Ultrasons	Impacte
Lectura directa	Velocitat	3560,83	3579,04	Velocitat	3589,32	3614,83
Testa-testa	E.din	6900,67	6971,41	E.din	7011,52	7111,54
Lectura Semidirecta	Velocitat	3282,32	3427,01	Velocitat	3308,58	3461,28
Cara1-Cara2	E.din	5863,42	6391,73	E.din	5957,61	6520,21
Lectura Semidirecta	Velocitat	3182,22	3393,28	Velocitat	3207,68	3427,21
Cara2-Cara1	E.din	5511,24	6266,54	E.din	5599,77	6392,50
Lectura Indirecta	Velocitat	3198,71	3407,92	Velocitat	3224,30	3442,00
Cara1	E.din	5568,49	6320,72	E.din	5657,94	6447,77
Lectura Indirecta	Velocitat	3290,40	3422,64	Velocitat	3316,73	3456,87
Cara2	E.din	5892,32	6375,47	E.din	5986,98	6503,62

Assaig per vibracions, mètode longitudinal (PLG)

Freqüència long. (Hz)	377,00	12%	
Velocitat (m/s)	3166,80	Velocitat 12%	3174,16
E.din long. (N/mm ²)	5170,60	E.din long. 12%	5194,68

Assaig per vibracions, mètode transversal (PLG)

Freqüència trans. (Hz)	40,30	12%	
E.din trans. (N/mm ²)	5094,48	E.din trans. 12%	5106,33

Assajos a Flexió. UNE-EN 408:2011

Resultats dels assajos		Interval F1-F2 Global	
Càrrega màxima (N)	37659,03	F1 (0,1Fmax)	3833,63
Mòdul d'elasticitat global (MOEG) (N/mm ²)	4083,38	F2 (0,4Fmax)	15013,08
Mòdul d'elasticitat global 12% (N/mm ²)	4092,88	w1 (mm)	4,41
Mòdul d'elasticitat local (MOE) (N/mm ²)	-	w2 (mm)	21,72
Mòdul d'elasticitat local 12% (N/mm ²)	-		
Tensió de ruptura (N/mm ²)	15,41		
Desplaçament pistó fins la ruptura (mm)	55,62		
Temps fins la ruptura (s)	275		

Gràfica de ruptura Biga 13 en N

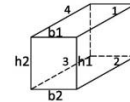


Gràfica de la ruptura en Newtons



Biga nº 14 : esquema visualització

Línia ruptura:



Dades generals biga				
Long. (mm)	h (mm)	220	Humitat %	Massa (kg)
4300,00	b (mm)	200	15,2%	88,76

Dades generals proveta				
Llarg (mm)	Ample (mm)	Gruix (mm)	Humitat %	Massa (gr)
101,02	100,10	99,95	12,6%	595,74
Densitat	589,43	Dens. 12%	587,68	

Dades generals Microproveta					
	Llarg	∅	Massa (gr)	Densitat	Dens. 12%
Tangencial	39,44	11,55	2,331	564,09	562,42
Radial	39,47	11,69	2,28	539,15	537,55
Mitjana				551,62	549,98

Nusos (mm) segons UNE 56544:2011													Clivelles (mm) segons UNE 56544:2011											
Nusos	Distància	80	330	355	1030	1110	1450	1850	1900	2230	2470	2500	3070	3460	3700	3870	3920	4170	Clivelles	Longitud	4300	Clivella discontinua en tota la cara situada al mig		
Cara h1	∅	40	15	30	40	40	45	35	20	40	25	30	45	35	55	40	35	50	Cara h1	Profuditat	40	Clivella discontinua en tota la cara situada al mig		
Nusos	Distància	110	690	1040	1470	1870	2170	2910	3100	3450	3710	3930	4130	660 (23)					Clivelles	Longitud	4300	Clivella discontinua en tota la cara situada al mig		
Cantell b1	∅	20	35	25	35	60	25	35	40	40	20	40	25						Cantell b1	Profuditat	55	Clivella discontinua en tota la cara situada al mig		
Nusos	Distància	100	680	1030	1420	1430	1800	2120	2420	2990	3450	3710	4160						Clivelles	Longitud	0	Clivella discontinua en tota la cara situada al mig		
Cara h2	∅	20	50	30	30	35	30	20	30	30	45	35	50						Cara h2	Profuditat	4300	Clivella discontinua en tota la cara situada al mig		
Nusos	Distància	85	350	640	1070	1390	1860	2180	2480	2850	3060	3460	3650	3910	4120						Clivelles	Longitud	40	Clivella discontinua en tota la cara situada al mig
Cantell b2	∅	30	25	25	45	20	30	40	35	35	30	40	15	25	20						Cantell b2	Profuditat	4300	Clivella discontinua en tota la cara situada al mig

Sema (mm) segons UNE 56544:2011				Deformacions	Curvatura	Guexesa	Podridura		Galeria d'insectes		Desviació de la fibra	
Cara h1	180	Aresta 1	1000	Cara h1	0	5	Cara h1	No	Cara h1	No	Cara h1	3,00%
Cara h2	160	Aresta 2	0	Cara h2	8	20	Cara h2	No	Cara h2	No	Cara h2	1,00%
Cantell b1	160	Aresta 3	0	Cantell b1	2	6	Cantell b1	No	Cantell b1	No	Cantell b1	3,00%
Cantell b2	200	Aresta 4	800	Cantell b2	7	14	Cantell b2	No	Cantell b2	No	Cantell b2	1,00%

Resum UNE 56544:2011	
Nusos	Admès
Desviació de la fibra	Admès
Podridura	Admès
Clivelles	Admès
Curvatura	Admès
Guexesa	No admès
Galeries d'insectes	Admès
Sema	Admès

Assajos NO destructius

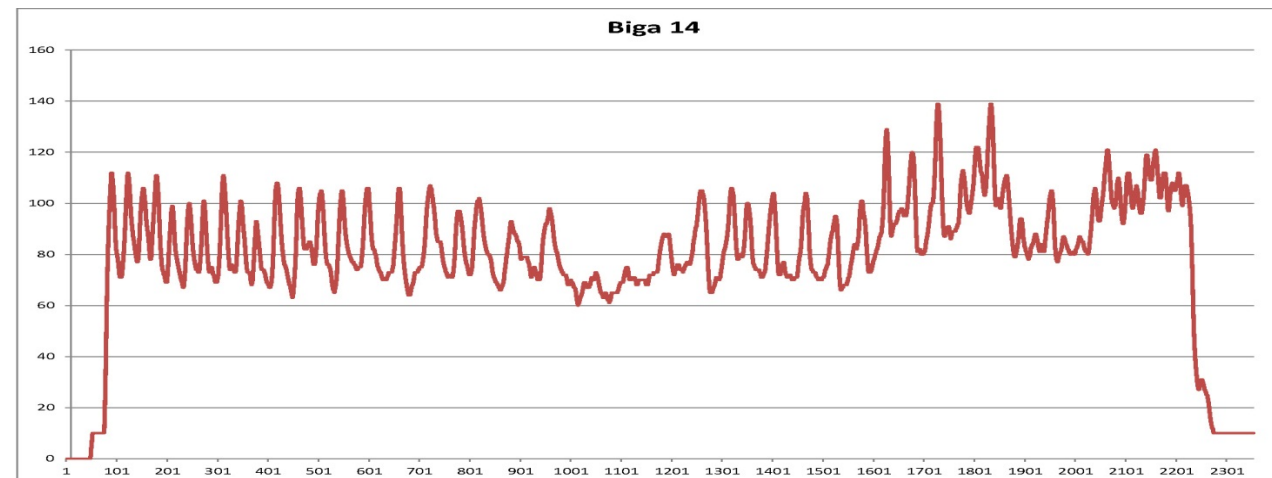
Profunditats de penetració (mm)		
Pilodyn		
	Cantell vist	Cantell ocult
Tangencial	13	21
Radial	17	15
Mitjana	14,8	17,75

Arrencament de vis	
Força d'arrencament (KN)	
Tangencial	2,03
Radial	2,30
Mitjana	2,17
Densitat (kg/m³)	475,51

Resistògraf	
Àrea	1510,80
Resist. Relat.	64,15
Dens. Area	471,89
Dens. RR	437,72



Testa de la biga



Gràfic de les dades registrades pel resistògraf



Assajos NO destructius. Mètodes acústics.

Assajos d'ones d'ultrasòniques (Sylvatest-Duo) i d'ones d'impacte (Microsecond Timer)

Velocitats (m/s) E.din (N/mm ²)		Ultrasons	Impacte	12%	Ultrasons	Impacte
Lectura directa	Velocitat	4444,44	4442,15	Velocitat	4558,22	4584,30
Testa-testa	E.din	11643,07	11631,04	E.din	12246,82	12387,34
Lectura Semidirecta	Velocitat	3978,97	4238,43	Velocitat	4080,84	4374,06
Cara1-Cara2	E.din	9332,00	10588,68	E.din	9815,91	11277,19
Lectura Semidirecta	Velocitat	4019,31	4227,13	Velocitat	4122,20	4362,40
Cara2-Cara1	E.din	9522,15	10532,31	E.din	10015,93	11217,16
Lectura Indirecta	Velocitat	4014,19	4190,48	Velocitat	4116,95	4324,57
Cara1	E.din	9497,92	10350,45	E.din	9990,44	11023,48
Lectura Indirecta	Velocitat	3936,38	4242,10	Velocitat	4037,15	4377,85
Cara2	E.din	9133,28	10607,04	E.din	9606,89	11296,75

Assaig per vibracions, mètode longitudinal (PLG)

Freqüència long. (Hz)	461,00	12%	
Velocitat (m/s)	3964,60	Velocitat 12%	3988,19
E.din long. (N/mm ²)	7373,86	E.din long. 12%	7461,87

Assaig per vibracions, mètode transversal (PLG)

Freqüència trans. (Hz)	50,80	12%	
E.din trans. (N/mm ²)	8092,65	E.din trans. 12%	8140,79

Assajos a Flexió. UNE-EN 408:2011

Resultats dels assajos		Interval F1-F2 Global	
Càrrega màxima (N)	49031,71	F1 (0,1F _{max})	4962,46
Mòdul d'elasticitat global (MOEG) (N/mm ²)	5692,22	F2 (0,4F _{max})	19574,57
Mòdul d'elasticitat global 12% (N/mm ²)	5726,09	w1 (mm)	5,02
Mòdul d'elasticitat local (MOE) (N/mm ²)	-	w2 (mm)	21,37
Mòdul d'elasticitat local 12% (N/mm ²)	-		
Tensió de ruptura (N/mm ²)	20,06		
Desplaçament pistó fins la ruptura (mm)	55,16		
Temps fins la ruptura (s)	285		

Gràfica de ruptura Biga 14 en N



Gràfica de la ruptura en Newtons



Dades generals biga				
Long. (mm)	h (mm)	210	Humitat %	Massa (kg)
3910,00	b (mm)	180	13,9%	78,12

Dades generals proveta				
Llarg (mm)	Ample (mm)	Gruix (mm)	Humitat %	Massa (gr)
99,75	101,91	100,00	13,9%	535,90
Densitat	527,17	Dens. 12%	522,17	

Dades generals Microproveta					
	Llarg	∅	Massa (gr)	Densitat	Dens. 12%
Tangencial	0	0	0	0,00	0,00
Radial	0	0	0,00	0,00	0,00
Mitjana				0,00	0,00

Nusos (mm) segons UNE 56544:2011													Clivelles (mm) segons UNE 56544:2011				
Nusos	Distància	505	930	1300	1490	1730	2050	2260	2340	2660	2675	2910	3260	Clivelles	Longitud	3910	
Cara h1	∅	50	27	50	65	22	60	50	38	100	16	65	90	Cara h1	Profunditat	67	
Nusos	Distància	20	430	900	1440	1660	1790	2250	2620	3170	3420			Clivelles	Longitud	3910	Civella discontinua en tota la biga en molts trams es veuria en l'obra
Cantell b1	∅	20	40	60	60	40	40	50	50	30	30			Cantell b1	Profunditat	52	
Nusos	Distància	430	530	900	1300	1570	1815	2010	2285	3535				Clivelles	Longitud	0	
Cara h2	∅	40	30	50	65	50	30	70	55	25				Cara h2	Profunditat	0	
Nusos	Distància	20	510	920	1350	1555	1570	2080	3725					Clivelles	Longitud	0	
Cantell b2	∅	20	40	30	45	40	40	25	12					Cantell b2	Profunditat	3910	



Sema (mm) segons UNE 56544:2011				Deformacions	Curvatura	Guexesa	Podridura		Galeria d'insectes		Desviació de la fibra	
Cara h1	160	Aresta 1	3910	Cara h1	2	20	Cara h1	No	Cara h1	Si	Cara h1	1,93%
Cara h2	150	Aresta 2	0	Cara h2	2	2	Cara h2	No	Cara h2	No	Cara h2	0,60%
Cantell b1	120	Aresta 3	0	Cantell b1	20	25	Cantell b1	No	Cantell b1	Si	Cantell b1	8,33%
Cantell b2	180	Aresta 4	3910	Cantell b2	6	5	Cantell b2	No	Cantell b2	Si	Cantell b2	0,30%

Resum UNE 56544:2011	
Nusos	Admès
Desviació de la fibra	Admès
Podridura	Admès
Clivelles	Admès
Curvatura	No admès
Guexesa	No admès
Galeries d'insectes	No admès
Sema	No admès

Assajos NO destructius

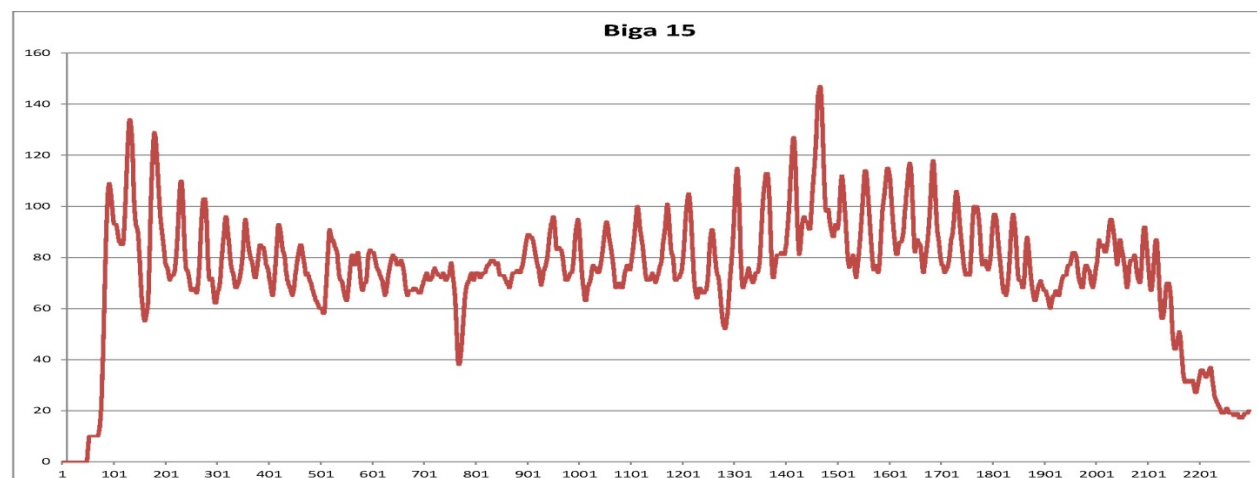
Profunditats de penetració (mm)		
Pilodyn		
	Cantell vist	Cantell ocult
Tangencial	13	16
Radial	15	22
Mitjana	14,0	19,00

Arrencament de vis	
Força d'arrencament (KN)	
Tangencial	1,36
Radial	2,04
Mitjana	1,70
Densitat (kg/m³)	475,51

Resistògraf	
Àrea	1876,50
Resist. Relat.	83,48
Dens. Area	507,26
Dens. RR	487,52



Testa de la biga



Gràfic de les dades registrades pel resistògraf



Assajos NO destructius. Mètodes acústics.

Assajos d'ones d'ultrasòniques (Sylvatest-Duo) i d'ones d'impacte (Microsecond Timer)

Velocitats (m/s) E.din (N/mm ²)		Ultrasons	Impacte	12%	Ultrasons	Impacte
Lectura directa	Velocitat	3593,75	3638,90	Velocitat	3648,38	3708,04
Testa-testa	E.din	6808,47	6980,63	E.din	7017,02	7248,42
Lectura Semidirecta	Velocitat	3235,81	3578,52	Velocitat	3285,00	3646,51
Cara1-Cara2	E.din	5519,77	6750,88	E.din	5688,84	7009,85
Lectura Semidirecta	Velocitat	3219,30	3424,69	Velocitat	3268,23	3489,76
Cara2-Cara1	E.din	5463,56	6182,96	E.din	5630,92	6420,15
Lectura Indirecta	Velocitat	3257,22	3485,48	Velocitat	3306,73	3551,70
Cara1	E.din	5593,03	6404,40	E.din	5764,35	6650,08
Lectura Indirecta	Velocitat	3291,25	3485,48	Velocitat	3341,28	3551,70
Cara2	E.din	5710,52	6404,40	E.din	5885,44	6650,08

Assaig per vibracions, mètode longitudinal (PLG)

Frequència long. (Hz)	394,00	12%	
Velocitat (m/s)	3081,08	Velocitat 12%	3139,62
E.din long. (N/mm ²)	5017,64	E.din long. 12%	5210,12

Assaig per vibracions, mètode transversal (PLG)

Frequència trans. (Hz)	48,80	12%	
E.din trans. (N/mm ²)	6313,06	E.din trans. 12%	6433,01

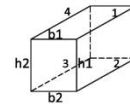
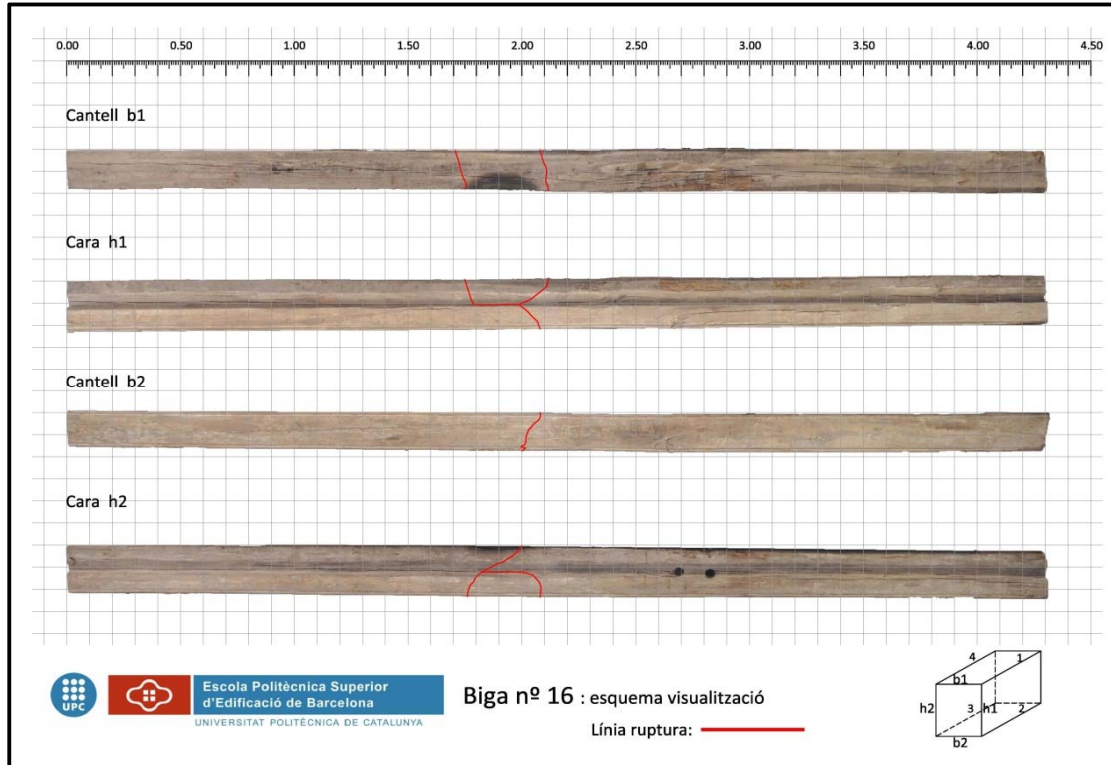
Assajos a Flexió. UNE-EN 408:2011

Resultats dels assajos		Interval F1-F2 Global	
Càrrega màxima (N)	22479,73	F1 (0,1Fmax)	2267,22
Mòdul d'elasticitat global (MOEG) (N/mm ²)	3224,73	F2 (0,4Fmax)	8934,95
Mòdul d'elasticitat global 12% (N/mm ²)	3286,00	w1 (mm)	3,42
Mòdul d'elasticitat local (MOE) (N/mm ²)	-	w2 (mm)	17,90
Mòdul d'elasticitat local 12% (N/mm ²)	-		
Tensió de ruptura (N/mm ²)	10,70		
Desplaçament pistó fins la ruptura (mm)	43,22		
Temps fins la ruptura (s)	236		

Gràfica de ruptura Biga 15 en N



Gràfica de la ruptura en Newtons



Dades generals biga				
Long. (mm)	h (mm)	220	Humitat %	Massa (kg)
4310,00	b (mm)	185	13,1%	91,86

Dades generals proveta				
Llarg (mm)	Ample (mm)	Gruix (mm)	Humitat %	Massa (gr)
100,62	99,82	99,81	13,5%	603,22
Densitat	601,73	Dens. 12%	597,10	

Dades generals Microproveta					
	Llarg	∅	Massa (gr)	Densitat	Dens. 12%
Tangencial	39,06	11,52	2,519	618,73	613,98
Radial	39,36	11,7	2,70	638,98	634,07
Mitjana				628,86	624,03

Nusos (mm) segons UNE 56544:2011										Clivelles (mm) segons UNE 56544:2011				
Nusos	Distància	220	500	770	990	1140	1860	3210	4090	ió 300	Clivelles	Longitud	0	
Cara h1	∅	25	20	45	20	15	25	25	25		Cara h1	Profuditat	0	
Nusos	Distància	2050	3265	ició 640				da 310			Clivelles	Longitud	1150	
Cantell b1	∅	15	15								Cantell b1	Profuditat	30	
Nusos	Distància	1490	forat	1625	forat	4285					Clivelles	Longitud	0	A tot el llarg de la biga de forma discontinua
Cara h2	∅	45	prof.80	45	prof.70	40					Cara h2	Profuditat	4310	
Nusos	Distància	240	775	1010	1650	1730	3 capa s				Clivelles	Longitud	25	
Cantell b2	∅	20	25	32	40	35					Cantell b2	Profuditat	0	

Sema (mm) segons UNE 56544:2011				Deformacions	Curvatura	Guexesa	Podridura		Galeria d'insectes		Desviació de la fibra	
Cara h1	160	Aresta 1	600	Cara h1	6	5	Cara h1	No	Cara h1	No	Cara h1	4,00%
Cara h2	135	Aresta 2	100	Cara h2	0	3	Cara h2	No	Cara h2	No	Cara h2	2,50%
Cantell b1	150	Aresta 3	0	Cantell b1	7	6	Cantell b1	No	Cantell b1	No	Cantell b1	25,00%
Cantell b2	155	Aresta 4	1300	Cantell b2	5	7	Cantell b2	Si	Cantell b2	No	Cantell b2	1,50%

Resum UNE 56544:2011	
Nusos	Admès
Desviació de la fibra	No admès
Podridura	No admès
Clivelles	Admès
Curvatura	Admès
Guexesa	No admès
Galeries d'insectes	Admès
Sema	Admès

Assajos NO destructius

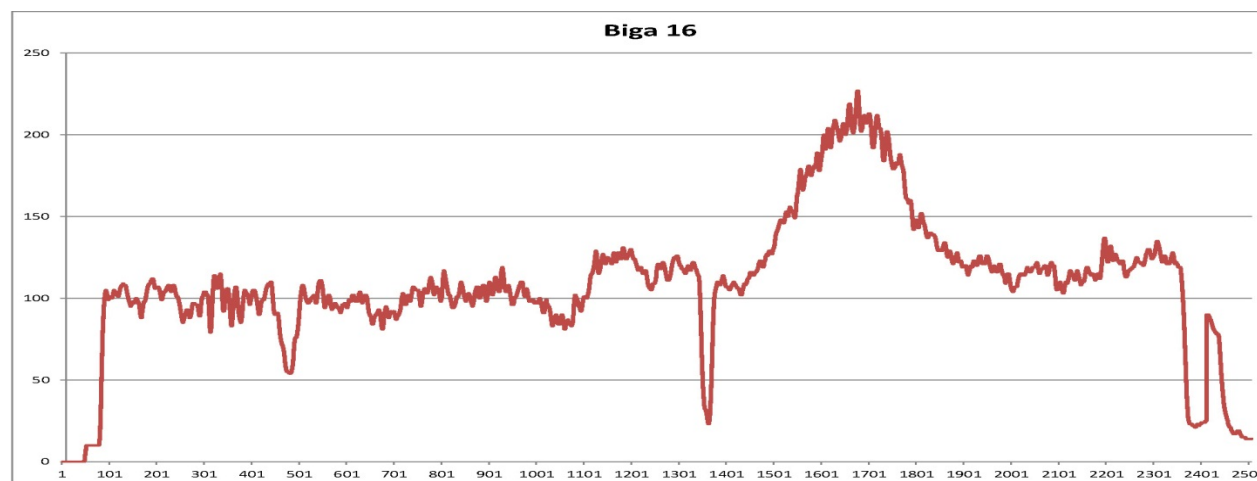
Profunditats de penetració (mm)		
Pilodyn		
	Cantell vist	Cantell ocult
Tangencial	12	14
Radial	14	13
Mitjana	12,8	13,50

Arrencament de vis	
Força d'arrencament (KN)	
Tangencial	2,92
Radial	2,33
Mitjana	2,63
Densitat (kg/m³)	475,51

Resistògraf	
Àrea	1751,85
Resist. Relat.	71,92
Dens. Area	495,20
Dens. RR	457,73



Testa de la biga



Gràfic de les dades registrades pel resistògraf



Assajos NO destructius. Mètodes acústics.

Assajos d'ones d'ultrasòniques (Sylvatest-Duo) i d'ones d'impacte (Microsecond Timer)

Velocitats (m/s) E.din (N/mm ²)		Ultrasons	Impacte	12%	Ultrasons	Impacte
Lectura directa	Velocitat	5026,24	4988,43	Velocitat	5070,47	5043,30
Testa-testa	E.din	15201,49	14973,62	E.din	15470,21	15304,85
Lectura Semidirecta	Velocitat	4543,63	4736,34	Velocitat	4583,62	4788,44
Cara1-Cara2	E.din	12422,42	13498,52	E.din	12642,01	13797,12
Lectura Semidirecta	Velocitat	4606,99	4661,16	Velocitat	4647,54	4712,44
Cara2-Cara1	E.din	12771,30	13073,39	E.din	12997,07	13362,59
Lectura Indirecta	Velocitat	4604,65	4628,87	Velocitat	4645,17	4679,79
Cara1	E.din	12758,31	12892,89	E.din	12983,85	13178,09
Lectura Indirecta	Velocitat	4559,59	4771,08	Velocitat	4599,71	4823,57
Cara2	E.din	12509,80	13697,27	E.din	12730,95	14000,27

Assaig per vibracions, mètode longitudinal (PLG)

Freqüència long. (Hz)	492,00	12%	
Velocitat (m/s)	4241,04	Velocitat 12%	4306,21
E.din long. (N/mm ²)	9418,89	E.din long. 12%	9710,57

Assaig per vibracions, mètode transversal (PLG)

Freqüència trans. (Hz)	52,40	12%	
E.din trans. (N/mm ²)	9701,07	E.din trans. 12%	9850,13

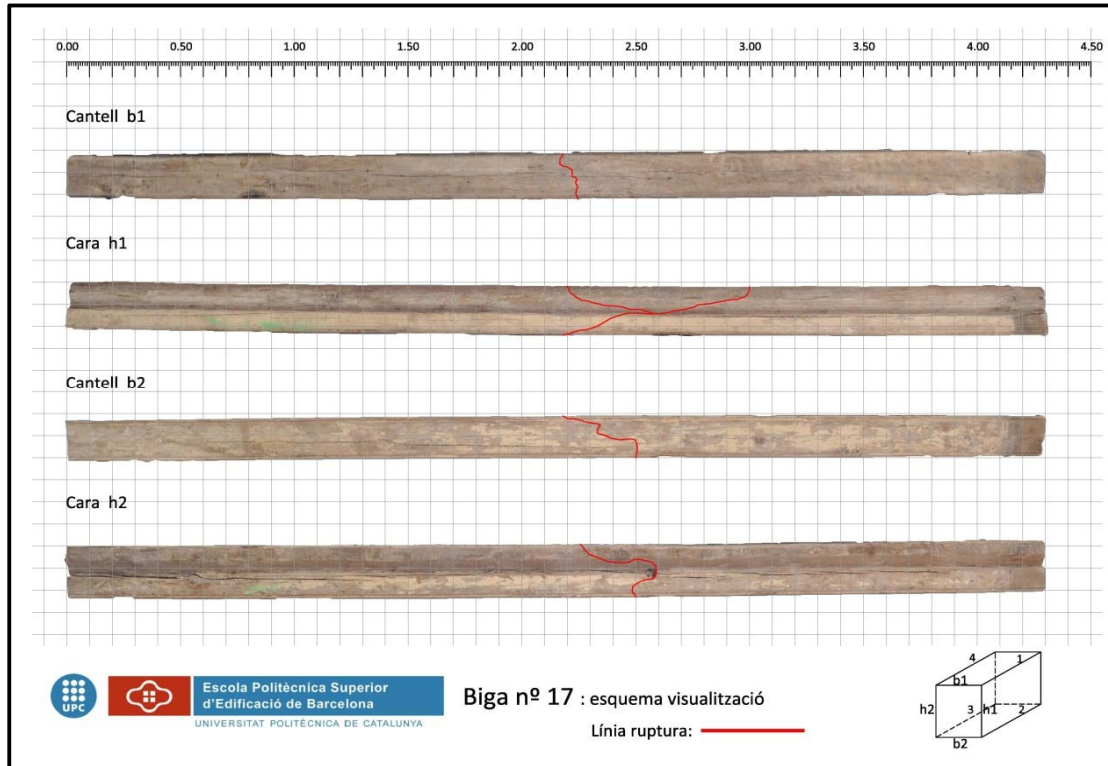
Assajos a Flexió. UNE-EN 408:2011

Resultats dels assajos		Interval F1-F2 Global	
Càrrega màxima (N)	31945,70	F1 (0,1Fmax)	3288,84
Mòdul d'elasticitat global (MOEG) (N/mm ²)	6769,44	F2 (0,4Fmax)	12639,63
Mòdul d'elasticitat global 12% (N/mm ²)	6873,46	w1 (mm)	2,96
Mòdul d'elasticitat local (MOE) (N/mm ²)	9354,62	w2 (mm)	12,51
Mòdul d'elasticitat local 12% (N/mm ²)	9498,37		
Tensió de ruptura (N/mm ²)	14,13		
Desplaçament pistó fins la ruptura (mm)	35,47		
Temps fins la ruptura (s)	172		

Gràfica de ruptura Biga 16 en N

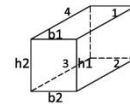


Gràfica de la ruptura en Newtons



Biga nº 17 : esquema visualització

Línia ruptura:



Dades generals biga				
Long. (mm)	h (mm)	215	Humitat %	Massa (kg)
4100,00	b (mm)	177	12,7%	64,74

Dades generals proveta				
Llarg (mm)	Ample (mm)	Gruix (mm)	Humitat %	Massa (gr)
100,82	99,98	100,05	12,5%	420,90
Densitat	417,35	Dens. 12%	416,29	

Dades generals Microproveta					
	Llarg	∅	Massa (gr)	Densitat	Dens. 12%
Tangencial	39,29	11,59	1,889	455,71	454,55
Radial	39,34	11,61	1,83	438,68	437,56
Mitjana				447,20	446,06

Nusos (mm) segons UNE 56544:2011											Clivelles (mm) segons UNE 56544:2011			
Nusos	Distància	190	865	1120	1575	1785	2080	3475	3684	3940	Clivelles	Longitud	1430	
Cara h1	∅	20	30	50	25	55	45	17	14	70	Cara h1	Profunditat	20	
Nusos	Distància	225	915	1270	2705	3085	3763	3923			Clivelles	Longitud	1340	
Cantell b1	∅	45	40	15	20	50	18	18			Cantell b1	Profunditat	65	
Nusos	Distància	550	1390	1575	1780	2050	2325	2445	2700	2846	3420	3590	3965	
Cara h2	∅	33	22	34	56	27	80	45	22	12	25	16	74	
Nusos	Distància	405	895	1132	1350	2207	2715	2890	3050	3265	3777	3930	4100	
Cantell b2	∅	37	40	12	47	17	25	35	30	50	45	13	63	
											Clivelles	Longitud	0	
											Cantell b2	Profunditat	1820	



Sema (mm) segons UNE 56544:2011				Deformacions	Curvatura	Guexesa	Podridura		Galeria d'insectes		Desviació de la fibra	
Cara h1	150	Aresta 1	4100	Cara h1	2	2	Cara h1	No	Cara h1	No	Cara h1	0,20%
Cara h2	165	Aresta 2	0	Cara h2	0	0	Cara h2	No	Cara h2	No	Cara h2	0,80%
Cantell b1	153	Aresta 3	0	Cantell b1	8	11	Cantell b1	No	Cantell b1	No	Cantell b1	0,70%
Cantell b2	177	Aresta 4	700	Cantell b2	6	3	Cantell b2	No	Cantell b2	No	Cantell b2	2,90%

Resum UNE 56544:2011	
Nusos	Admès
Desviació de la fibra	Admès
Podridura	Admès
Clivelles	Admès
Curvatura	Admès
Guexesa	No admès
Galeries d'insectes	Admès
Sema	No admès

Assajos NO destructius

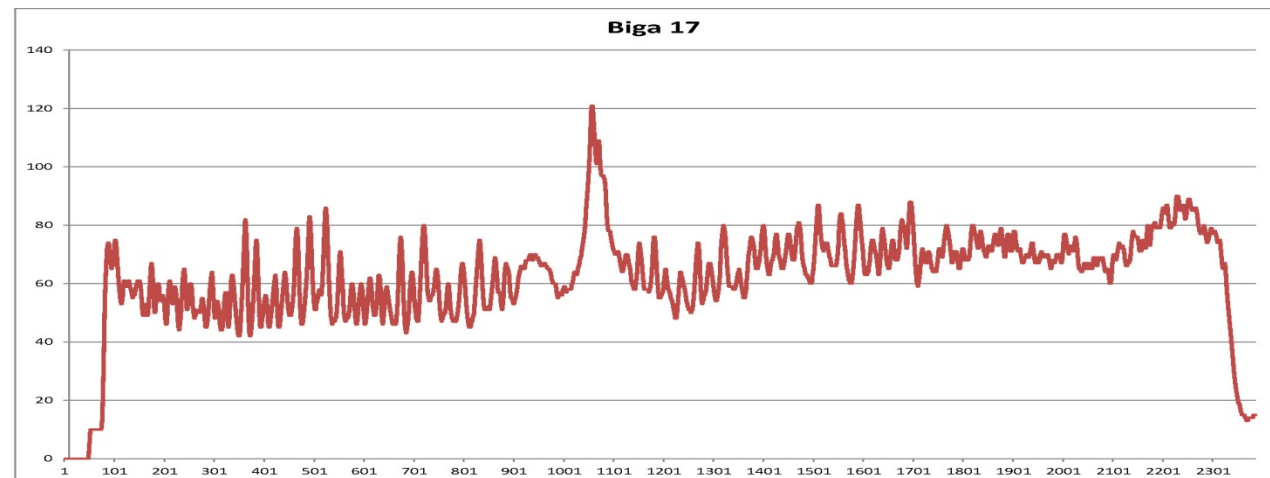
Profunditats de penetració (mm)		
Pilodyn		
	Cantell vist	Cantell ocult
Tangencial	19	20
Radial	16	18
Mitjana	17,3	19,00

Arrencament de vis	
Força d'arrencament (KN)	
Tangencial	1,28
Radial	0,91
Mitjana	1,10
Densitat (kg/m³)	475,51

Resistògraf	
Àrea	1874,71
Resist. Relat.	79,64
Dens. Area	507,08
Dens. RR	477,63



Testa de la biga



Gràfic de les dades registrades pel resistògraf



Assajos NO destructius. Mètodes acústics.

Assajos d'ones d'ultrasòniques (Sylvatest-Duo) i d'ones d'impacte (Microsecond Timer)

Velocitats (m/s) E.din (N/mm ²)		Ultrasons	Impacte	12%	Ultrasons	Impacte
Lectura directa	Velocitat	4444,44	4322,61	Velocitat	4469,33	4352,87
Testa-testa	E.din	8243,98	7798,21	E.din	8336,57	7907,77
Lectura Semidirecta	Velocitat	4290,19	4192,69	Velocitat	4314,22	4222,04
Cara1-Cara2	E.din	7681,68	7336,48	E.din	7767,95	7439,55
Lectura Semidirecta	Velocitat	4285,45	4132,32	Velocitat	4309,45	4161,24
Cara2-Cara1	E.din	7664,69	7126,71	E.din	7750,77	7226,83
Lectura Indirecta	Velocitat	4245,75	4145,69	Velocitat	4269,52	4174,71
Cara1	E.din	7523,34	7172,91	E.din	7607,84	7273,68
Lectura Indirecta	Velocitat	4324,02	4145,69	Velocitat	4348,24	4174,71
Cara2	E.din	7803,29	7172,91	E.din	7890,93	7273,68

Assaig per vibracions, mètode longitudinal (PLG)

Freqüència long. (Hz)	489,00	12%	
Velocitat (m/s)	4009,80	Velocitat 12%	4030,25
E.din long. (N/mm ²)	6671,49	E.din long. 12%	6739,71

Assaig per vibracions, mètode transversal (PLG)

Freqüència trans. (Hz)	52,50	12%	
E.din trans. (N/mm ²)	6615,96	E.din trans. 12%	6649,70

Assajos a Flexió. UNE-EN 408:2011

Resultats dels assajos		Interval F1-F2 Global	
Càrrega màxima (N)	44486,76	F1 (0,1Fmax)	4514,21
Mòdul d'elasticitat global (MOEG) (N/mm ²)	5545,24	F2 (0,4Fmax)	17672,23
Mòdul d'elasticitat global 12% (N/mm ²)	5573,53	w1 (mm)	5,15
Mòdul d'elasticitat local (MOE) (N/mm ²)	-	w2 (mm)	22,21
Mòdul d'elasticitat local 12% (N/mm ²)	-		
Tensió de ruptura (N/mm ²)	21,04		
Desplaçament pistó fins la ruptura (mm)	55,01		
Temps fins la ruptura (s)	324		

Gràfica de ruptura Biga 17 en N



Gràfica de la ruptura en Newtons

